

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.)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	1950, n° 4 bis
	1951, n° 1 (janv.-mars)
	1951, n° 2 (avril-juin)
	1951, n° 3 (juil.-sept.)
	1951, n° 4 (oct.-déc.)
	1952, n° 1 (janv.-mars)
	1952, n° 2 (avril-juin)
	1952, n° 3 (juil.-sept.)
	1952, n° 4 (oct.-déc.)
	1952, n° spécial
	1953, n° 1 (janv.-mars)
	1953, n° 2 (avril-juin)
	1953, n° 3 (juil.-sept.)
	1953, n° 4 (oct.-déc.)
	1953, n° spécial
	1954, n° 1 (janv.-mars)
	1954, n° 2 (avril-juin)
	1954, n° 3 (juil.-sept.)
	1954, n° 4 (oct.-déc.)
	1955, n° 1 (janv.-mars)

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

	1967, n° 4 (oct.-déc.)
	1968, n° 1
	1968, n° 2
	1968, n° 3
	1968, n° 4
	1969, n° 1 (janv.-mars)
	1969, n° 2
	1969, n° 3
	1969, n° 4
	1970, n° 1
	1970, n° 2
	1970, n° 3
	1970, n° 4
	1971, n° 1
	1971, n° 2
	1971, n° 4
	1972, n° 1
	1972, n° 2
	1972, n° 3
	1972, n° 4
	1973, n° 1
	1973, n° 2
	1973, n° 3
	1973, n° 4
	1974, n° 1
	1974, n° 2
	1974, n° 3
	1974, n° 4
	1975, n° 1
	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	1950, n° 4 bis
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1950

Collation	1 vol. (p. [137]-176, [4] p.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	64
Cote	INDNAT (10)
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.10

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

1950

N° 4^{bis}

NUMÉRO SUPPLÉMENTAIRE

L'INDUSTRIE NATIONALE

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

publiés sous la direction de **M. Albert CAQUOT**, membre de l'Institut, président,
avec le concours de la Commission des Publications
et du Secrétariat de la Société

NUMÉRO SUPPLÉMENTAIRE (4^{bis})

SOMMAIRE

LES SILICONES, par M. G. CHAMPETIER 137

LA POMPE DE CHALEUR, par M. Paul DUBERTRET 149

★

COMPTES RENDUS DES SÉANCES PUBLIQUES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT.

Séance du 30 Mars 1950 166

Séance du 20 Avril 1950. 167

Séance du 4 Mai 1950 172

Séance du 25 Mai 1950. 174

★

COMPTES RENDUS DE COMITÉS

Comité d'Agriculture (10 Novembre 1950). 177

★

ANNEXES

Index des Noms d'Auteurs 178

Table des Matières. 179

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

Publication trimestrielle

**BÉTON PRÉCONTRAIT
PROCÉDÉS FREYSSINET**

S. T. U. P.

SOCIÉTÉ TECHNIQUE POUR L'UTILISATION DE LA PRÉCONTRAÎTE
Société anonyme au capital de 10.000.000 de francs.

BUREAU D'ÉTUDES - CONCESSION DE LICENCES

GÉNIE CIVIL

PRÉFABRICATION

42, avenue de Friedland

PARIS

WAG 75-01

PÉTROFRANCE

Société de Distribution des Pétroles en France

SIÈGE SOCIAL : 8, rue de Berri, PARIS (8^e)

Téléph. : ELYsées 83-41 (5 lignes)

Adresse Télégr. : ZETNA-PARIS

CARBURANTS - LUBRIFIANTS - FUEL OILS - SOUTES DE NAVIRES

PÉTROFRANCE met gracieusement ses services techniques à votre disposition pour étudier vos problèmes :

de STOCKAGE, de GRAISSAGE, de CHAUFFAGE

ÉQUIPEMENT AU MAZOUT

(Chaufferies et Fours individuels - Chauffage central)

Sociétés filiales :

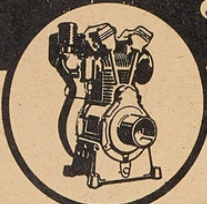
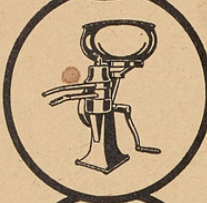
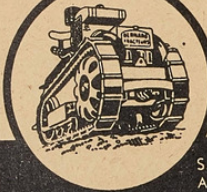
PETROTANKERS

PETROTRANSPORTS

SOCIÉTÉ DES PRODUITS DU PÉTROLE

SOCIÉTÉ MAROCAINE DES PRODUITS DU PÉTROLE

STEAUA (AGENCIES) LIMITED

"BERNARD-MOTEURS"

PRODUCTIONS :

ESSENCE DIESEL
1 à 24 CH.

ÉCRÉMEUSES
150 - 225 - 300 litres

TRACTEURS 15 CH.
à chenilles

MOTEURS THERMIQUES

"BERNARD-MOTEURS"

"C.L".CONORD

"JAPY"

•

ÉCRÉMEUSES

"BERNARD-ÉCRÉMEUSES"

LACTINOX

•

TRACTEURS

"BERNARD-TRACTEURS"

•

CATALOGUES ET RENSEIGNEMENTS SUR DEMANDE

S. A. "BERNARD-MOTEURS" - 12, rue Médéric, PARIS (17^e) - Wagram 96-30
Adresser toute la correspondance : BOÎTE POSTALE 163-17- PARIS (17^e)

C . I . C . R . A

ROBINETTERIE
T U B E S

RACCORDS
OÙTILLAGE

C^{IE} INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE DE ROBINETTERIE,
RACCORDS & ACCESSOIRES

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 150 MILLIONS DE FRANCS

31, RUE DE LA FOLIE-MÉRICOURT, PARIS (XI^e)

Tél. ROQ. 77-20 à 77-27.

R. C. Seine 179.644

AGENTS de CRANE C^o

USINE A LA COURNEUVE (Seine)

ÉTABLISSEMENTS **KUHLMANN**

SOCIÉTÉ ANONYME au CAPITAL de 2.745.000.000 de FRS
Siège Social : 11, rue de La Baume, PARIS (8^e)

★

PRODUITS CHIMIQUES

DÉRIVÉS DU SOUFRE - DÉRIVÉS DU CHLORE - PRODUITS
AZOTÉS - DÉRIVÉS DU BARYUM - DÉRIVÉS DU BROME
DÉRIVÉS DU CHROME - DÉRIVÉS DU COBALT - DÉRIVÉS
DU NICKEL - DÉRIVÉS DU CERIUM - DÉRIVÉS DU PHOS-
PHORE - LESSIVES - SILICATES - DÉRIVÉS DE L'ÉTHYLÈNE
DÉRIVÉS DU PROPYLÈNE - ALCOOLS DE SYNTHÈSE
HYDROCARBURES DE SYNTHÈSE

★

PRODUITS POUR L'AGRICULTURE

ENGRAIS PHOSPHATÉS - ENGRAIS AZOTÉS - ENGRAIS
COMPLEXES - PRODUITS INSECTICIDES ET ANTICRYPTO-
GAMIQUES - PRODUITS POUR L'ALIMENTATION DU
BÉTAIL - AMENDEMENTS - HERBICIDES - DÉSINFECTANTS

★

PRODUITS CHIMIQUES ORGANIQUES

RÉSINES SYNTHÉTIQUES - COLLES SYNTHÉTIQUES
MATIÈRES PLASTIQUES - TANINS SYNTHÉTIQUES
PRODUITS INTERMÉDIAIRES - PRODUITS AUXILIAIRES
INDUSTRIELS - PRODUITS R. A. L.

★

TEXTILES CHIMIQUES

RAYONNE VISCOSE - FIBRANNE VISCOSE - CRINODOZ

WORMS et C^{ie}

45, bld Haussmann, PARIS (9°)

Téléphone : OPÉra 62-50 et 21-36

Télégrammes : LOCATOR-PARIS

**IMPORTATEURS DE CHARBON
ARMATEURS – BANQUIERS
LIGNES RÉGULIÈRES DE CABOTAGE
AGENCE – TRANSIT – MANUTENTION
TRANSPORTS AÉRIENS**

C . I . C . O . L

CARBURANT-AUTO

GAS-OIL



FUELS

HUILES

105, rue St-Lazare, PARIS (9^e)

Téléphone : TRI 95-38 et la suite

PECHELBRONN

LA MINE FRANÇAISE DE PETROLE

PECHELBRONN

Société anonyme d'exploitations minières au capital de 397.880.000 de francs.

Siège social à MERKWILLER-PECHELBRONN (Bas-Rhin)

Direction générale : 4, rue Léon-Jost, PARIS (17^e)



Tous les Produits Pétrolifères
IMPORTATION – DISTRIBUTION



" RÉNOIL "

L'HUILE IDÉALE pour AUTOS

Compagnie **PÉTROSTAR**

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 1.000.000 DE FRANCS

★ ★

191, rue de Courcelles – PARIS (XVII^e)

Téléphone ÉTOILE 49-75

— — 49-76

— — 49-77

R. C. Seine 260.523 B



E N T R E P R I S E S

BOUSSIRON

10, Boulevard des Batignolles, PARIS-17°.
ALGER - CASABLANCA - TUNIS

S. E. T. A. O. à ABIDJAN (Cote d'Ivoire)

BÉTON ARMÉ
TRAVAUX PUBLICS
CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES

Société Générale d'Entreprises

Société Anonyme au Capital de 1.356.250.000 francs

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

Registre du Commerce Seine N° 37.997

ENTREPRISES GÉNÉRALES en FRANCE, dans L'UNION FRANÇAISE et à L'ÉTRANGER

CONSTRUCTION ET ÉQUIPEMENT D'USINES HYDRO-ÉLECTRIQUES
ET DE CENTRALES THERMIQUES

RÉSEAUX DE TRANSPORT D'ÉNERGIE A HAUTE-TENSION

ÉLECTRIFICATION DE CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS - ELECTROBUS

RÉSEAUX D'ÉLECTRIFICATION RURALE

USINES, ATELIERS ET BATIMENTS INDUSTRIELS

CITÉS OUVRIÈRES - ÉDIFICES PUBLICS ET PARTICULIERS

ASSAINISSEMENT DES VILLES - ADDUCTIONS D'EAU

ROUTES - CHEMINS DE FER - TRAMWAYS

OUVRAGES D'ART

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

Compagnie Française de Raffinage

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 6.000.000.000 DE FRF.

R. C. Seine n° 239.319 B.

SIÈGE SOCIAL : 11, rue du Docteur-Lancereaux, PARIS (8°)

RAFFINERIE DE NORMANDIE

à GONFREVILLE-L'ORCHER (Seine-Inf.)

RAFFINERIE DE PROVENCE

à MARTIGUES (Bouches-du-Rhône)

Hauts Fourneaux Forges et Aciéries de POMPEY

61, rue de Monceau, PARIS (8°) — Tél. : LAB. 97-10 à 97-19 et 91-74 à 91-76

USINES : { POMPEY et DIEULOUARD (M.-et-M.)
 { MANOIR (EURE) — LORETTE (LOIRE)

ACIERS THOMAS, MARTIN et ÉLECTRIQUE
ACIERS FINS AU CARBONE et ACIERS ALLIÉS
ACIERS RÉSISTANT A LA CORROSION (acide et saline)
ACIERS MOULÉS ET FORGÉS
ACIERS ÉTIRÉS ET COMPRIMÉS
FONTES HÉMATITES — SPIEGEL — FERRO-MANGANÈSE

Aciers de Construction et d'Outillage

LES SILICONES⁽¹⁾

par M. G. CHAMPETIER,

Professeur à la Sorbonne,

Directeur des Études à l'École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris.

Il y a quatre ans, la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale m'avait fait l'honneur de me demander d'exposer, à l'occasion de la Conférence Bardy, les relations entre les propriétés mécaniques et la constitution des hauts polymères.

J'avais alors essayé de montrer comment les propriétés de haute résistance mécanique, de plasticité ou d'élasticité qui conditionnent les applications techniques de ces corps étaient dues à l'existence d'immenses enchaînements atomiques comportant parfois plusieurs dizaines de milliers d'atomes et s'étendant dans une, deux ou les trois directions de l'espace en engendrant des molécules géantes.

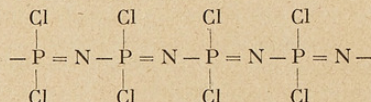
J'avais indiqué que la synthèse, copiant la nature, avait réussi à reproduire de tels enchaînements en unissant des atomes de carbone les uns aux autres et en les associant éventuellement dans le squelette macromoléculaire aux autres éléments classiques de la chimie organique : l'oxygène, l'azote, le soufre. C'est en jouant sur la nature et la forme de ces enchaînements atomiques que les chimistes ont réussi à créer, en une trentaine d'années, une diversité étonnante de composés macromoléculaires trouvant leurs multiples emplois dans l'industrie des plastiques, des élastomères, des textiles, des peintures et vernis, des films, des colles et dans bien d'autres domaines.

Mais la possibilité de former des enchaînements atomiques géants n'est pas l'apanage du carbone et des quelques éléments qui interviennent avec lui en chimie organique. Il est maintenant reconnu que de nombreux corps minéraux ont une structure macromoléculaire. Le soufre mou, par exemple, est formé de macromolécules linéaires, tandis que le phosphore noir a une structure macromoléculaire lamellaire et l'étain gris un réseau macromoléculaire tridimensionnel.

Un grand nombre de composés minéraux

paraissent également ressortir à la chimie macromoléculaire : l'anhydride sélénieux SeO_2 , l'anhydride sulfurique SO_3 sous la forme β , la silice SiO_2 , l'anhydride borique B_2O_3 , pour n'en citer que quelques-uns.

Il est vrai qu'aucun de ces corps minéraux n'a trouvé des applications analogues à celles des composés macromoléculaires organiques, mais il n'est pas douteux que l'analogie de constitution se traduit par une similitude des propriétés mécaniques. Le soufre mou doit à ses macromolécules linéaires ses caractères de haute extensibilité renversable, comparables, dans une certaine mesure, à celles des élastomères, tandis que les chlorures de polyphosphonitrile



sont de véritables caoutchoucs minéraux. Le carborundum SiC , dont le réseau macromoléculaire tridimensionnel est semblable à celui du diamant, doit à cette structure sa dureté exceptionnelle.

Parmi les éléments très répandus, le silicium devait tout naturellement retenir l'attention, car son importance comme matériau de l'écorce terrestre est comparable à celle du carbone comme constituant de la matière vivante. La diversité des composés du silicium ne le cède en rien à celle du carbone et pendant longtemps la constitution des silicates fut une énigme. Les classifications qui furent tentées sur la base de la composition chimique ne conduisirent à aucun résultat appréciable, et il fallut les études structurales de Sir Lawrence Bragg pour reconnaître l'extraordinaire simplicité de la constitution des silicates et des aluminosilicates.

Il est intéressant de s'arrêter un moment sur la structure des silicates, car nous verrons qu'elle présente de fortes analogies avec celles des silicones.

(1) Conférence faite le 30 mars 1950 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

L'Industrie nationale : 1950,

Le motif atomique fondamental de la structure des silicates est constitué par un atome de silicium relié à quatre atomes d'oxygène disposés tétraédriquement autour de lui. Comme le silicium est quadrivalent et l'oxygène bivalent, le groupement SiO_4 comporte quatre valences disponibles. Ces valences libres peuvent fixer chacune un électron en acquérant une électrovalence négative, c'est-à-dire un caractère ionique, ou encore un atome d'oxygène peut servir de lien entre deux atomes de silicium.

Dans le premier cas, on aura affaire à un anion $(\text{SiO}_4)^{4-}$ tel qu'on le trouve dans l'olivine $\text{Si}_2\text{O}_7\text{Mg}_2$. Dans le second cas, il pourra se former des anions plus ou moins complexes. L'union covalente de deux groupements SiO_4 donne un anion porteur de 6 charges négatives $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$ existant dans la thorvéitite, silicate de scandium $\text{Si}_2\text{O}_7\text{Sc}_2$. Des anions cycliques peuvent être réalisés par l'union de 3 groupements SiO_4 comme cela a lieu dans le bérillite $\text{Si}_3\text{O}_9\text{BaTi}$ ou de 6 groupements SiO_4 comme c'est le cas dans le beryl ou émeraude $\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{Al}_2\text{Gl}_2$.

Tous ces silicates conservent de petites dimensions moléculaires, mais l'on peut concevoir que les groupements SiO_4 s'unissent pour donner naissance à des chaînes anioniques ou à des bandes anioniques illimitées. C'est effectivement une telle structure que révèle l'étude des clichés de diffraction de rayons X du diopside $(\text{SiO}_3)_2\text{CaMg}$ ou de la trémolite $(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2\text{Ca}_2\text{Mg}_3(\text{OH})_2$. Dans de tels composés, les macroanions rappellent tout à fait les macromolécules filiformes de la chimie organique. Les cations viennent se placer entre les macroanions indéfinis et contribuent à assurer la stabilité du réseau cristallin par le jeu des attractions électrostatiques. Il est curieux de constater que la structure filiforme submicroscopique correspond à une structure fibreuse macroscopique, comme c'est le cas pour les hauts polymères organiques. L'asbeste (amiante), le chrysotile, minéraux fibreux, sont formés de tels macroanions à configuration linéaire.

Mais les groupements SiO_4 peuvent engendrer par leur union des macroanions lamellaires s'étendant indéfiniment dans deux directions de l'espace. C'est le cas pour le talc $(\text{Si}_2\text{O}_5)_2\text{Mg}_3(\text{OH})_2$ et de nombreux aluminosilicates tels que les micas ou les argiles qui se clivent facilement en feuillets. On

retrouve ici encore, à l'échelle du cristal, un rappel des particularités structurales moléculaires.

Enfin, les groupements SiO_4 peuvent s'unir dans toutes les directions de l'espace et l'on aboutit aux molécules géantes tridimensionnelles de la silice, ou aux macroanions géants tridimensionnels de certains aluminosilicates, comme l'outremer.

Ainsi le silicium, comme le carbone, peut engendrer de grandes et de petites molécules; toutefois les silicates se distinguent des composés macromoléculaires organiques par deux points essentiels : les silicates sont des composés macromoléculaires ioniques, dont les macroanions sont formés par des enchaînements alternés de silicium et d'oxygène, tandis que la plupart des macromolécules organiques ont une structure covalente et peuvent contenir des enchaînements quasi illimités d'atomes de carbone.

L'oxygène joue un rôle fondamental dans le squelette macromoléculaire des silicates, tandis qu'il n'intervient qu'accessoirement, au même titre que l'azote ou le soufre, dans celui des hauts polymères organiques.

Il était donc séduisant de tenter de créer une chimie de synthèse des composés macromoléculaires de silicium, analogue à celle des hauts polymères organiques, et d'essayer de trouver aux macromolécules à base de silicium des applications plastiques ou élastiques comparables à celles des composés carbonés. Il était cependant évident que les recherches ne devaient pas s'orienter du côté des silicates qui, par suite de leur caractère ionique, mettent en jeu des énergies de cohésion bien trop grandes. Les interactions ioniques correspondent à des énergies de dissociation de l'ordre de 150 kcal/mole dans les cristaux et ne peuvent permettre aux phénomènes de plasticité de se manifester à l'échelle moléculaire, en empêchant complètement le glissement des macroions les uns par rapport aux autres. Il en est de même, à plus forte raison, pour les phénomènes d'élasticité qui requièrent un grand degré de liberté des enchaînements atomiques les laissant se replier sur eux-mêmes puis s'étendre sous des effets de traction. En outre, la chimie des silicates est une chimie de haute température difficile à contrôler et à orienter en vue de modifications structurales éventuelles.

Il importait donc de faire disparaître le

caractère ionique des enchaînements d'atomes de silicium et d'oxygène constituant le squelette macromoléculaire, en remplaçant les atomes d'oxygène non liés, et à caractère ionique, par des groupements électriquement neutres, par exemple par des radicaux organiques.

En associant ainsi le silicium, l'oxygène et le carbone, il devait être possible de créer des composés macromoléculaires comparables

aux composés purement carbonés, ayant des propriétés techniques analogues, mais devant présenter des caractères propres, dus à la présence du silicium, tels qu'une plus grande résistance aux agents chimiques et à la chaleur. Ces composés mixtes sont les *silicones* qui devaient bientôt justifier tous les espoirs qu'ils avaient suscités en offrant un champ d'applications tout à fait remarquables.

LES COMPOSÉS SILICO ORGANIQUES.

En vérité, la synthèse des composés silico organiques macromoléculaires ne nécessita pas de bien longues recherches. Ces composés existaient depuis plus de quarante ans sans qu'ils eussent attiré l'attention des chimistes. Bien au contraire, tous s'étaient ingéniés à restreindre le plus possible leur formation, car, au début de ce siècle, les produits résineux étaient complètement dédaignés et seuls paraissaient dignes d'intérêt les corps susceptibles d'être purifiés par cristallisation ou distillation et caractérisés comme corps purs par des points fixes de fusion ou d'ébullition.

La chimie macromoléculaire n'existait pas; l'existence de molécules géantes était insoupçonnée et l'on ne prévoyait pas que les textiles naturels, le caoutchouc et les quelques matières plastiques connues devaient leurs étonnantes propriétés mécaniques à l'existence de très grands enchaînements atomiques pour lesquels la notion habituelle d'espèce chimique définie devait subir d'importants amendements.

Dans le domaine des petites molécules, de nombreux chercheurs avaient déjà reconnu la parenté étroite du silicium et du carbone, mise en évidence par la position voisine de ces deux éléments dans la classification périodique des éléments. Le silicium se situe en effet immédiatement au-dessous du carbone et comporte, comme lui, une couche externe de quatre électrons.

Il existe de nombreux composés du silicium tout à fait comparables à ceux du carbone, tant par leurs formules que par leurs propriétés physiques.

Les hydrures de silicium ou *silanes* correspondent parfaitement aux carbures d'hydrogène. Le silane SiH_4 s'apparente au méthane CH_4 , le disilane Si_2H_6 à l'éthane C_2H_6

et le trisilane Si_3H_8 au propane C_3H_8 ; il est même possible d'obtenir quelques homologues supérieurs. Le premier terme est gazeux, les autres liquides, de moins en moins volatils lorsque leur poids moléculaire augmente. Il est vrai que les silanes sont beaucoup plus réactifs que les carbures d'hydrogène; ils sont décomposés par les solutions aqueuses alcalines et s'oxydent facilement à l'air avec inflammation.

Les dérivés halogénés du silicium se rapprochent également des dérivés halogénés du carbone. Le tétrachlorure de silicium est comparable au tétrachlorure de carbone. Les composés SiHCl_3 , SiH_2Cl_2 , SiH_3Cl sont analogues au chloroforme CHCl_3 , au chlorure de méthylène CH_2Cl_2 et au chlorure de méthyle CH_3Cl , quoique beaucoup plus réactifs.

L'analogie se retrouve pour les composés oxygénés. On ne peut manquer de comparer la silice SiO_2 au gaz carbonique CO_2 et le sous-oxyde de silicium SiO à l'oxyde de carbone CO . L'acide orthosilicique $\text{Si}(\text{OH})_4$ est instable comme l'acide orthocarbonique $\text{C}(\text{OH})_4$, mais le silicate d'éthyle $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ressemble aux esters orthocarboniques $\text{C}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ de Ingold et Powell. Il est inutile de rappeler la similitude des carbonates CO_3Ca ou CO_3Na_2 et des silicates SiO_3Ca ou SiO_3Na_2 .

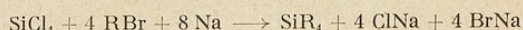
On peut même entrevoir une chimie du silicium comparable à la chimie organique si l'on rapproche l'acide silici-oxalique $\text{Si}_2\text{O}_4\text{H}_2$ de l'acide oxalique $\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2$, le protosiloxane SiH_2O de l'aldéhyde formique CH_2O , et qui se polymérise comme ce dernier, le disiloxane $(\text{SiH}_3)_2\text{O}$ et le tetrasiloxane $(\text{Si}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ de l'oxyde de méthyle $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ et de l'oxyde d'éthyle $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$. Comme précédemment, les seules différences résident dans la stabilité; les composés siliciés se trans-

formant facilement en silicates par l'action des bases alcalines tandis que les composés carbonés demeurent inaltérés.

De telles analogies ne pouvaient manquer d'amener à associer le carbone et le silicium dans des composés silico-organiques. Les plus grands progrès effectués dans cette voie sont dus au chimiste anglais F. S. Kipping qui, de 1899 à 1936, créa un nombre imposant de

ces composés, notamment les halogéno organosilanes et les silanols, termes intermédiaires de la préparation des silicones.

Un premier procédé pour obtenir des dérivés organosiliciques consiste à faire réagir le sodium métallique sur un mélange de tétrachlorure de silicium et d'halogénure organique.

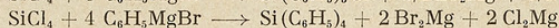
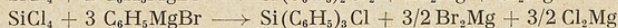
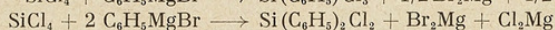
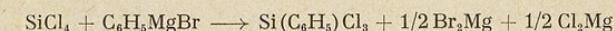


On prépare ainsi des dérivés tétrasubstitués dont la stabilité est fort grande contrairement à ce que l'on observe pour les composés siliciés précédents. Ainsi le tétraméthylsilane $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ est un liquide bouillant à 26° , absolument inerte et qui n'est même pas attaqué par l'acide sulfurique concentré. Le tétraphénylsilane $\text{Si}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ est un corps solide fondant à 233° et bouillant sans décomposition vers 500° . Cette grande stabilité à la chaleur fait utiliser industriellement ce dernier corps comme échangeur de chaleur.

Cette méthode ne se prête pas toutefois à

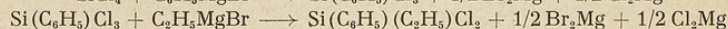
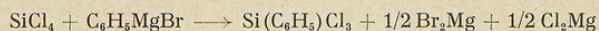
l'obtention de dérivés halogénés des organosilanes. Ceux-ci peuvent être aisément préparés en faisant réagir sur le chlorure de silicium des composés organométalliques (organozinciques, organomercuriques ou organomagnésiens).

La méthode de Kipping fait appel aux composés organomagnésiens mixtes de Grignard. Il est alors possible d'obtenir des halogéno organosilanes renfermant 1, 2 ou 3 atomes de chlore ou des dérivés tétrasubstitués en faisant varier les proportions relatives de tétrachlorure de silicium et d'organomagnésien



La méthode convient également à la préparation de dérivés contenant deux radicaux

organiques différents en faisant agir successivement deux composés organomagnésiens

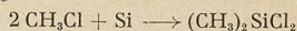


C'est ce procédé de Kipping qui a pris, tout d'abord, une certaine importance. Mais la préparation d'organomagnésiens en grande quantité est toujours une opération délicate, dangereuse par l'éther mis en œuvre comme solvant, et d'un prix de revient élevé. Aussi divers perfectionnements techniques ont-ils été apportés pour la rendre plus sûre et plus économique.

Un abaissement du prix de revient a tout d'abord été obtenu en substituant aux organomagnésiens bromés, qui sont les plus courants, des organomagnésiens chlorés plus difficiles à obtenir et moins réactifs, mais moins coûteux. L'emploi du chlorobenzène au lieu du bromobenzène pour préparer un organomagnésien phényle présente même l'avantage d'éviter l'emploi de l'éther, solvant volatil et dangereux des organomagnésiens, car le chlorobenzène en excès dissout le

chlorure de phénylmagnésium et permet ensuite la réaction du tétrachlorure de silicium.

Les techniciens ont également cherché à s'affranchir de la préparation des organomagnésiens pour la préparation des halogéno organosilanes en essayant de les obtenir par action directe du silicium métallique sur les dérivés halogénés organiques par des réactions du type

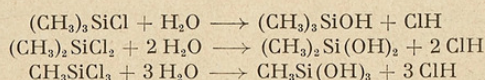


mais cette réaction s'accompagne de la formation de nombreux sous-produits et les rendements en halogéno organosilanes deviennent de plus en plus faibles quand la masse du radical organique s'accroît.

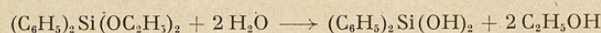
Toutefois, l'addition de divers métaux au silicium a un effet catalytique et accroît notablement les rendements en dérivés intéressants. Les meilleurs catalyseurs sont le cuivre

pour les dérivés halogénés aliphatiques et l'argent pour les dérivés halogénés aromatiques. Ainsi, en envoyant un courant de vapeurs de chlorure de méthyle sur un mélange intime de 90 p. 100 de silicium et de 10 p. 100 de cuivre chauffé à 250-350°, on obtient un mélange de méthylchlorosilanes formé principalement de diméthylchlorosilane $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$ et de triméthylchlorosilane $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$ séparables par distillation fractionnée.

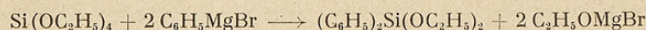
Les halogéno organosilanes sont en général des liquides incolores et huileux, fumant à l'air, d'autant plus sensibles à l'action de l'eau qu'ils renferment des radicaux organiques moins lourds. Cette réaction d'hydrolyse donne des produits dans lesquels les atomes de chlore ont été remplacés par des oxhydriles, qui portent le nom de silanols et qui sont les seconds termes dans la préparation des silicones.



Signalons que ces silanols peuvent être également obtenus par hydrolyse des éthoxyorganosilanes



et que les éthoxyorganosilanes se préparent aisément par action des organomagnésiens sur le silicate d'éthyle.



L'intérêt de ce procédé est que le silicate d'éthyle étant un solvant des organomagnésiens, la réaction de formation de l'éthoxyorganosilane peut être effectuée en une seule

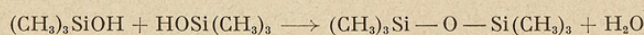
phase par action du magnésium sur le mélange de dérivé halogéné organique et d'un excès de silicate d'éthyle sans qu'il soit nécessaire de mettre en œuvre d'éther.

POLYCONDENSATION DES SILANOLS. LES SILICONES.

Kipping n'avait pas été sans remarquer que les silanols obtenus par hydrolyse des halogéno organosilanes ont une grande tendance à se condenser sur eux-mêmes avec élimination d'eau. Si, dans certains cas, on obtient ainsi des corps à poids moléculaire relativement faible, c'est au cours de ces

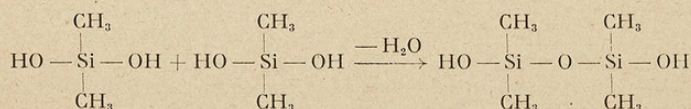
réactions qu'apparaissent fréquemment les résines qui avaient été négligées à l'origine.

L'élimination d'une molécule d'eau entre deux molécules de trialcoyl ou triarylsilanol donne naissance, en effet, à une molécule dont le poids moléculaire n'est que sensiblement doublé

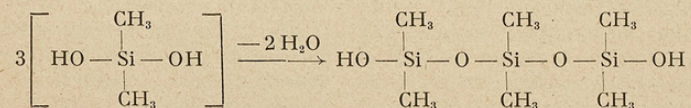


Mais si l'on provoque la condensation d'un dérivé renfermant deux oxhydriles, par exemple du diméthylsilane diol, plusieurs possibi-

lités peuvent être envisagées. La condensation peut s'effectuer, comme précédemment, en donnant un tétraméthylidisiloxane diol

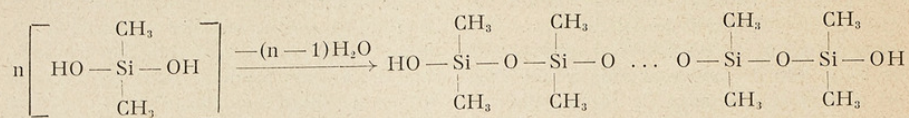


mais elle peut se poursuivre et conduire tout d'abord à un hexaméthyl trisiloxane diol

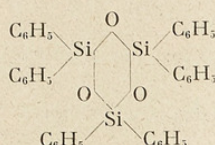


puis à des produits résultant de la condensation d'un plus grand nombre de silane diols

ayant finalement la configuration de hauts polymères linéaires

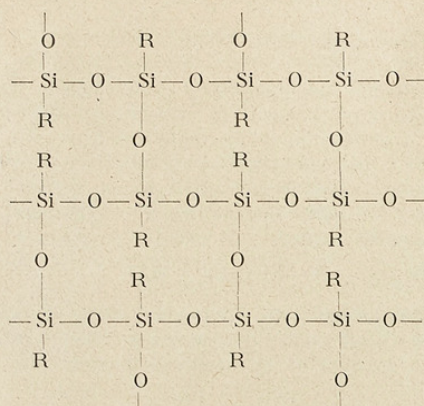


Il est possible d'ailleurs d'obtenir des produits cycliques par élimination d'eau entre les deux oxhydriles terminaux et l'on a pu caractériser un hexaphénylcyclotrisiloxane, produit cristallin fondant à 200°



Il semble que la formation de tétramères cycliques soit également aisée, mais que l'on ne puisse pas préparer des dérivés cycliques renfermant plus de 9 groupements monomères R_2SiO .

Enfin, avec les silane-triols, qui se polycondensent très facilement par déshydratation, on aboutit à des réseaux macromoléculaires tridimensionnels du type



Ainsi, la polycondensation des silanols permet de préparer soit des produits de faible poids moléculaire, soit des composés macromoléculaires linéaires, soit des composés macromoléculaires tridimensionnels comme dans le domaine de la chimie organique, mais aussi comme dans le domaine des silicates et il est intéressant de constater que les structures des silicones envisagées sont tout à

fait comparables à celles des macroanions siliciques examinés précédemment. La stabilité de ces composés est due à l'existence d'un squelette macromoléculaire formé d'atomes de silicium et d'oxygène régulièrement alternés.

La préparation des silicones se ramène donc à la polycondensation des silanols et les techniques employées dépendent de la nature des radicaux organiques fixés au silicium et de la forme des enchainements que l'on a désiré réaliser.

Les silanols n'ont pas besoin le plus souvent d'être isolés; on procède à l'hydrolyse des chloro organosilanes et à la condensation simultanée des silanols.

Les méthylchlorosilanes sont particulièrement sensibles à l'eau et, en présence d'humidité, donnent très rapidement des silicones. On utilise cette propriété pour recouvrir d'une couche mince de silicone hydrofuge la porcelaine des isolateurs électriques. Il suffit d'exposer l'objet humidifié aux vapeurs du chlorosilane pour qu'il se dépose à sa surface un film de silicone méthylée d'un dixième de micron d'épaisseur suffisant pour rendre cet objet immouillable.

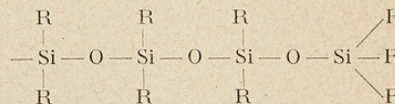
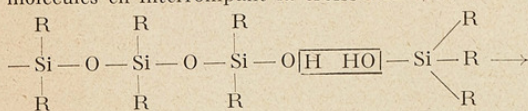
Avec les chloro organosilanes plus lourds, l'hydrolyse et la polycondensation des silanols sont plus lentes. C'est ainsi que le diphenylsilane diol est facilement isolable sous forme d'une poudre blanche qui ne se condense par déshydratation qu'à 200°. D'une manière générale, une hydrolyse effectuée à basse température en présence d'un large excès d'eau au sein d'un solvant comme l'éther donne des silicones à bas poids moléculaire; par contre, en l'absence de solvant et en élevant la température, on obtient des produits à plus haut poids moléculaire.

L'emploi d'agents déshydratants comme l'anhydride phosphorique, l'acide sulfurique, la silice, l'alumine, favorise la formation des silicones par élimination d'eau entre les oxhydriles des silanols. Il en est de même de divers catalyseurs comme l'acide chlorhydrique

employé seul ou additionné de chlorures métalliques tels que Cl_2Zn , Cl_3Al , Cl_3Fe .

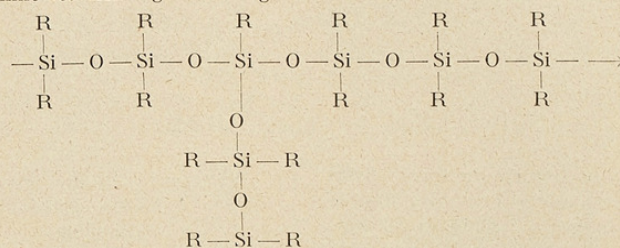
Comme dans toutes les réactions de polycondensation, la présence d'impuretés monofonctionnelles limite la grandeur des macromolécules en interrompant la croissance des

chaînes. C'est le cas pour les monohalogénures de silanes qui une fois fixés en bout d'une chaîne ne présentent plus de fonction réactive et arrêtent la réaction de polycondensation.



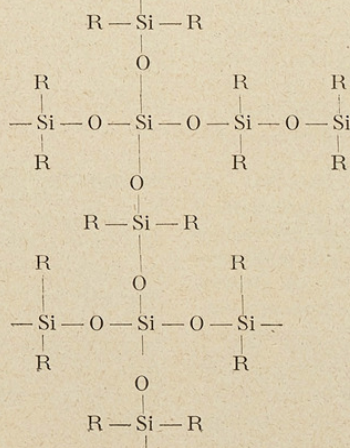
De même la présence d'impuretés trifonctionnelles, comme les trihalogénures engen-

drant des silane triols, détermine la formation de structures ramifiées

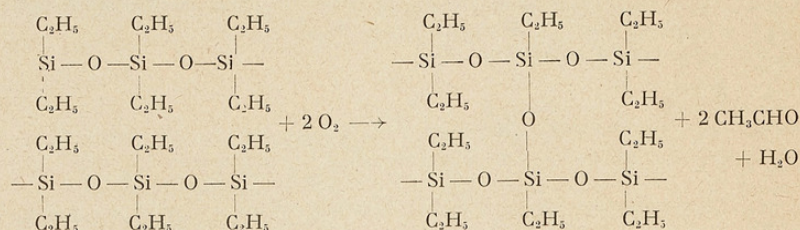


L'obtention de silicones à réseau macromoléculaire tridimensionnel nécessite l'emploi de monomères au moins trifonctionnels. Nous avons vu que c'est le cas pour les produits de polycondensation des silane-triols obtenus par hydrolyse des trihalogénosilanes; mais il est possible de réaliser des réseaux macromoléculaires plus ou moins compacts en réa-

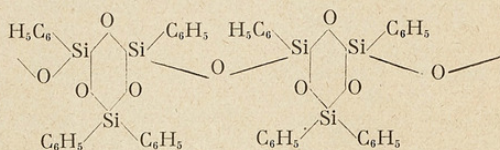
lisant des copolycondensations à partir de mélanges de dihalogénosilanes et de trihalogénosilanes ou de dihalogénosilanes et de tétrachlorure de silicium, ce dernier engendrant transitoirement par hydrolyse de l'acide orthosilicique $\text{Si}(\text{OH})_4$ tétrafonctionnel qui participe à la copolycondensation



Il est encore possible de réaliser des ponts oxygène entre des silicones linéaires par oxydation à l'aide de peroxydes ou par l'air à 300°,



La même réaction peut se produire avec les silicones cycliques et conduire à des enchaînements de cycles du type



Ces différentes possibilités conduisent à des structures très complexes dans lesquelles la proportion des radicaux organiques par rapport aux atomes de silicium peut varier dans de larges limites, ce qui conduit à des produits de propriétés très différentes. La réaction des organomagnésiens sur le tétrachlorure de silicium donne un mélange des différents halogénosilanes; si donc l'on ne prend pas soin de séparer ceux-ci par distillation fractionnée, il sera très difficile, sinon impossible de préciser la structure du produit final après hydrolyse et condensation; les qualités de la silicone obtenue dépendront du rapport des quantités d'organomagnésiens et de tétrachlorure de silicium mis en œuvre. Par exemple, dans le cas de la réaction du bromure de méthylmagnésium CH_3MgBr sur le chlorure de silicium, on aboutira aux différents types de résines suivants :

$1,9 > \frac{\text{CH}_3}{\text{Si}} > 1,5$ Produit volatil donnant par chauffage à 200° un gel insoluble caoutchoutique devenant cassant au bout de quelques semaines.

$1,5 > \frac{\text{CH}_3}{\text{Si}} > 1,3$ Huile incolore dont la viscosité s'accroît par chauffage à 100° et qui devient une résine dure et transparente par chauffage à 200°.

$1,3 > \frac{\text{CH}_3}{\text{Si}} > 1$ Résine dure et transparente devenant cassante par chauffage.

On remarquera que le produit final obtenu par chauffage est toujours une résine dure et cassante, ce qui est dû à la formation d'un réseau tridimensionnel par oxydation et pontage, comme il a été vu précédemment.

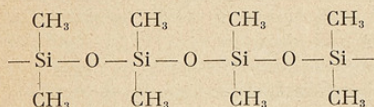
Il est encore possible de modifier les propriétés des silicones en variant la nature des radicaux organiques, ou en effectuant des copolycondensations de silanols à radicaux organiques différents. On réalise ainsi des silicones éthylées et phénylées en hydrolysant soit l'éthylphényldichlorosilane, soit un mélange d'éthyl et de phénylchlorosilanes. Les propriétés de dureté et de flexibilité dépendent alors à la fois du rapport $\frac{\text{C}_2\text{H}_5, \text{C}_6\text{H}_5}{\text{Si}}$ et

du rapport $\frac{\text{C}_2\text{H}_5}{\text{C}_6\text{H}_5}$.

Finalement, l'industrie livre actuellement toute une gamme de silicones allant depuis des liquides bouillant au-dessus de 300° jusqu'à des résines thermodurcissables, en passant par des produits thermoplastiques et caoutchouteux dont la caractéristique essentielle est une résistance à la chaleur bien supérieure à celle des hauts polymères organiques.

HUILES DE SILICONES.

Les huiles de silicones sont formées de chaînes macromoléculaires provenant de l'hydrolyse de diméthylchlorosilanes



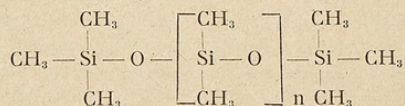
Toutefois, certaines précautions doivent être prises dans leur préparation pour leur assurer la stabilité convenant à leurs emplois industriels.

En effet, l'hydrolyse d'un diméthylchlorosilane fournit un mélange de silicones comprenant environ 50 p. 100 de produits à bas poids moléculaires correspondant à des silicones cycliques, silicones facilement distil-

lables, et 50 p. 100 de produits à poids moléculaires élevés qui subissent de profondes modifications par chauffage au-dessus de 350°.

Ces produits non volatils correspondent en effet à des chaînes présentant des oxhydriles comme groupes terminaux, ce qui leur permet de continuer à se condenser par chauffage en donnant des silicones de plus en plus lourdes. Elles subissent donc par élévation de température un accroissement continu de viscosité avec départ d'eau.

On peut pallier cet inconvénient en bloquant les chaînes linéaires à une certaine longueur par l'addition au diméthylchlorosilane de la quantité convenable de triméthylmonochlorosilane, réactif monofonctionnel qui permet la terminaison des chaînes par des groupements méthyl non réactifs



La croissance des chaînes se trouvant limitée par la présence des groupes terminaux $\text{Si}(\text{CH}_3)_3$, les huiles ne subissent plus par chauffage d'accroissement de viscosité.

Toutefois, la préparation des huiles de silicones par cohydrolyse de diméthylchlorosilane et de triméthylmonochlorosilane donne un mélange de produits d'une grande diversité de poids moléculaire. Il est possible d'homogénéiser ces produits en les agitant à la température ordinaire avec 4 p. 100 d'acide sulfurique concentré. Il se produit une série d'hydrolyses et de nouvelles condensations qui permettent d'obtenir une huile constituée de silicones s'écartant peu d'un poids moléculaire moyen, déterminé par la proportion du diméthylchlorosilane et du triméthylmonochlorosilane mis en œuvre au moment de l'hydrolyse.

Ces huiles de silicones lavées à l'eau et séchées subissent par chauffage à 150° tout d'abord une perte de poids due au départ de quelques produits à bas poids moléculaire, en même temps que leur viscosité s'accroît. Elles gardent ensuite une viscosité constante, quelle que soit la durée du chauffage. Elles résistent également à l'oxydation par

l'air à 150°. Toutefois, par chauffage à l'air à des températures supérieures, elles s'oxydent en dégageant du formaldéhyde et de l'acide formique et en engendrant des ponts siloxanes entre les macromolécules linéaires. Elles acquièrent ainsi peu à peu un réseau tridimensionnel et se gélifient progressivement. La rapidité de la gélification dépend de la température de chauffage; elle est de 10 jours à 200° et de 2 heures à 300°, mais elle peut être retardée par l'addition d'antioxygènes (pyrogallol, aminophénols, phényl naphtylamine) ou par des sels organiques de fer, de nickel, de cuivre ou de cobalt.

Les huiles de silicones stabilisées présentent une très faible variation de viscosité avec la température par rapport aux huiles organiques extraites des pétroles. Leur refroidissement de 40° à -20° n'amène un accroissement de viscosité que de 3 fois 1/2, alors que dans le même intervalle de températures les huiles paraffiniques voient leur viscosité presque centuplée.

Le point de congélation des huiles de silicones dépend de leur degré de ramification. Les huiles à macromolécules strictement linéaires ont un point de congélation de l'ordre de

— 40°. Il peut s'abaisser à — 100° si les chaînes correspondent à une ramification de l'ordre de 5 p. 100.

Les huiles de silicones sont des composés macromoléculaires non polaires. Si cette propriété est un inconvénient pour certaines applications à la lubrification nécessitant la formation d'un film adhérent sur les métaux, inconvénient auquel il a été possible de remédier par introduction de groupes polaires dans la macromolécule, c'est un gros avantage en ce qui concerne leurs applications électriques. Leur facteur de puissance est $5 \cdot 10^{-4}$ et leur constante diélectrique 2,5. Elles sont en outre hydrophobes et n'absorbent pas l'humidité. De plus, les huiles de silicones n'étant pas acides n'attaquent pas les métaux. Elles n'altèrent pas le caoutchouc naturel et les caoutchoucs artificiels, les résines vinyliques et, d'une manière générale, les substances organiques utilisées couramment comme isolants électriques.

En bref, les huiles de silicones trouvent leur emploi quand il s'agit de mettre en œuvre des produits liquides ou visqueux ne présentant que de faibles variations de viscosité avec la température, une grande inertie chimique, de bonnes qualités électriques ou un caractère hydrophobe accentué.

L'industrie livre des « fluides silicones » incolores, restant fluides à très basse température, stables à la chaleur et chimiquement inertes, insolubles dans l'eau et les alcools, mais solubles dans de nombreux solvants organiques, résistant bien à l'oxygène, aux agents oxydants et aux solutions acides minérales, mouillant rapidement le verre, la céramique et les métaux en les hydrofugeant. On les utilise comme liquides échangeurs de température et liquides de dilatation, comme

diélectriques liquides et aussi, pour casser et empêcher la formation des mousses. On les emploie comme liquides pour les transmissions hydrauliques.

Les huiles de silicones entrent également dans la composition de *compounds* divers, utilisés comme matériaux diélectriques hydrophobes. Ces produits ne durcissent pas et ne se craquèlent pas entre — 40° et + 200°; ils sont solubles dans l'essence, le benzol, le tétrachlorure de carbone, mais insolubles dans l'eau, les huiles de graissage, les liquides anti-gel. Ils trouvent d'intéressants emplois en électricité et surtout en aviation pour rendre étanches les entrées de câbles d'allumage dans les carter ou les trous de bougies. Ils sont employés pour les connexions des appareils de radio ou de radar soumis à des conditions de forte humidité. Ils n'attaquent pas les métaux, notamment l'aluminium des câbleries, ni les matières plastiques, ni les isolants à base de caoutchouc.

Les *graisses de silicones* obtenues par addition aux huiles de savons métalliques et de charges restent plastiques à basse température et conservent leurs propriétés lubrifiantes à températures élevées. Elles s'appliquent bien sur les métaux en les rendant hydrophobes et les protègent bien aussi contre les agents de corrosion. Elles sont, en outre, totalement insolubles dans l'eau. On les emploie comme graisses de laboratoires et comme agent d'étanchéité pour les vannes à haute pression ou à vide poussé. Elles conservent leur stabilité en présence d'oxygène et résistent aux alcalis. On les emploie pour le graissage des pompes à alcalis caustiques fondus, ce qui ne peut être fait avec d'autres graisses.

RÉSINES DE SILICONES.

Les résines de silicones sont obtenues à partir de chlorométhyl, chloroéthyl ou chlorophénylsilanes et correspondent, au terme final de leur évolution, à un réseau macromoléculaire tridimensionnel plus ou moins compact suivant la fonctionnalité moyenne des silanes mis en œuvre. Nous avons vu précédemment que les dichlorosilanes du type R_2SiCl_2 sont bifonctionnels et donnent des macromolécules linéaires dans lesquelles le

rapport R/Si est égal à 2 tandis que les trichlorosilanes $R SiCl_3$ sont trifonctionnels et conduisent à un réseau tridimensionnel correspondant à un rapport R/Si égal à 1. Dans les résines de silicones techniques, le rapport R/Si est compris entre 2 et 1 suivant la compacité du réseau tridimensionnel.

Ce résultat peut être atteint en hydrolysant un mélange convenable de dichloro et de trichlorosilanes, mais il est nécessaire de

prendre certaines précautions pour obtenir un produit techniquement utilisable. En effet, l'hydrolyse directe du mélange précédent fournit un gel insoluble et infusible qu'il est impossible de mettre en œuvre. Par contre, on obtient un produit soluble en effectuant l'hydrolyse en solution toluénique, en présence d'alcool butylique ou amylique. La solution de silicone ainsi obtenue peut être appliquée comme un vernis. Le séchage est ensuite réalisé en chauffant à la température de 200-250°, la polycondensation s'achève et l'on obtient un film de recouvrement dur et résistant, parfaitement insoluble. Les résines des silicones se comportent donc comme des résines thermodurcissables. Il est possible d'accroître la vitesse de séchage en incorporant aux vernis des agents déshydratants tels que de l'acide sulfurique, du chlorure d'antimoine, des esters boriques ou de l'alumine activée. Un autre type de catalyseur est fourni par les sels organiques de plomb, tels que le linoléate de plomb.

Une seconde méthode pour préparer les résines de silicones consiste à éliminer partiellement les radicaux organiques de silicones linéaires, de manière à permettre la formation de liaisons pontales conduisant au réseau tridimensionnel de rapport R/Si convenable. Dans ce cas, comme dans le précédent, il est nécessaire de conduire l'opération en conservant la solubilité de la résine de façon à permettre son application.

L'élimination des radicaux organiques est obtenue dans le premier stade par divers procédés. Les groupes alcoyl sont détruits par oxydation par l'air à 200-300°. Les groupes aryl sont éliminés par chauffage à 170-180°, en présence d'eau ou mieux d'acide chlorhydrique. Ces traitements sont effectués jusqu'à ce que l'on obtienne un produit ayant la viscosité désirée. On peut ainsi régler parfaitement le rapport R/Si dans la résine finale.

Le durcissement est ensuite obtenu comme précédemment, après application, en achevant la formation du réseau tridimensionnel

par chauffage à 200-250°, éventuellement en présence d'un catalyseur.

Les résines de silicones contiennent soit des radicaux organiques identiques, soit des radicaux différents en proportions variées suivant les applications envisagées. Les résines phénylées durcissent plus lentement que les résines méthylées ou éthylées et présentent une plus grande thermoplasticité.

Les résines de silicones peuvent subir des températures de l'ordre de 300° sans altération. Ce sont d'excellents isolants électriques, leur constante diélectrique est de l'ordre de 2,5 et leur facteur de puissance est faible. Elles sont, comme toutes les silicones, fortement hydrophobes et conviennent parfaitement à l'isolement électrique en atmosphère humide.

Toutefois, les résines de silicones ne peuvent guère être employées seules comme vernis isolants car elles ont une trop faible résistance mécanique et une adhérence insuffisante sur les métaux. On les utilise comme vernis ou agents d'imprégnation sur fils de verre ou d'amiante, ce qui permet d'obtenir des produits isolants résistant à des températures de l'ordre de 200-250° alors que les mêmes supports recouverts d'isolants organiques ne conservent guère leurs propriétés au-dessus de 100-110°. Les silicones se trouvent donc être le complément nécessaire des isolants à base de fibres de verre, d'amiante et de mica, et c'est là, sans doute, leur principal champ d'application. Un moteur comportant des enroulements isolés aux silicones est donc susceptible d'être utilisé dans des conditions de température bien plus élevée qu'un moteur ordinaire et, de ce fait, il sera possible à puissance égale de réduire notablement les dimensions de ses enroulements, et par suite son encombrement.

Les résines de silicones entrent également dans la composition de peintures et vernis devant résister à des températures élevées : peintures de cheminées, émaillage de fours de cuisine. Elles ne jaunissent pas sous l'action de la chaleur.

LES CAOUTCHOUCS DE SILICONES.

Les silicones sont également susceptibles de donner des produits présentant les phénomènes de haute élasticité comme les caout-

choucs naturels et synthétiques. Ce sont des silicones linéaires, préparées par hydrolyse de diméthylchlorosilanes en évitant soi-

gneusement la présence de triméthylchlorosilane qui arrêterait la croissance des macromolécules et de méthyltrichlorosilane qui rovoquerait la formation de liaisons pontales. On obtient ainsi des macromolécules dont la masse moléculaire moyenne est de l'ordre de 300.000 à 400 000.

La vulcanisation de ces caoutchoucs de silicone est réalisée, une fois la polymérisation achevée, par oxydation à l'aide d'un peroxyde organique de manière à créer quelques liaisons pontales jouant le même rôle que les ponts de soufre dans le caoutchouc naturel vulcanisé.

Ces caoutchoucs de silicones sont employés avec des charges diverses en quantité variable suivant la dureté désirable. L'intérêt principal de ces caoutchoucs de silicones (*Silastics*) est leur faible variation de propriétés dans un grand intervalle de température allant de -50° à 260° . Ils conservent leur élasticité et peuvent être chauffés à l'air à

150° sans altération. Toutefois, leur allongement est plus faible que celui du caoutchouc ordinaire et ne dépasse pas suivant les cas, 100 à 300 p. 100. Leur résistance à la rupture varie énormément suivant la nature des adjuvants (35 à 700 kg/cm²).

Les caoutchoucs de silicones sont utilisables dans tous les emplois ne nécessitant pas une grande élasticité, ni une forte charge de rupture, mais une bonne résistance à la chaleur (joints de glace de projecteurs de marine) ou une grande résistance à l'oxydation et aux agents chimiques.

Certaines variétés peuvent être moulées ou boudinées, d'autres peuvent être utilisées comme revêtement.

Une variété de silicone a une telle réactivité mécanique qu'elle se présente à la fois comme un corps plastique ou élastique suivant qu'elle est soumise à des efforts de déformation lents ou rapides.

SILICONES POUR HYDROFUGATION.

Le caractère hydrophobe des silicones a déjà été signalé à plusieurs reprises. Aussi a-t-on songé à les utiliser pour hydrofuger le papier, les tissus ou d'autres subjectiles. Les enduits de silicones ne sont pas mouillés par l'eau qui, au lieu de s'étaler à leur surface, reste à l'état de gouttelettes non adhérentes. Plongé dans l'eau, un objet recouvert de silicone ne se mouille pas et se présente parfaitement sec une fois sorti de l'eau. Cette application est particulièrement intéressante pour les isolateurs électriques en verre ou en céramique qui peuvent alors être utilisés dans les atmosphères les plus humides sans se recouvrir d'une pellicule d'humidité susceptible de conduire le courant et de provoquer des pertes électriques.

L'hydrofugation peut être réalisée très simplement en soumettant l'isolateur humide aux vapeurs de diméthylchlorosilane, l'hydrolyse et la condensation se produisent au contact de l'humidité; la pellicule hydrofuge se forme immédiatement et adhère parfaitement au support. Cette parfaite adhérence sur le verre ou la porcelaine est très

vraisemblablement due à la grande parenté de structure des silicates, de la silice et des chaînes siloxanes formant le squelette des silicones.

Cette rapide revue de la constitution et des propriétés des silicones montre qu'un vaste champ d'applications s'ouvre à ces nouveaux produits de la chimie macromoléculaire. La principale cause qui s'oppose actuellement à leur développement est leur prix relativement élevé, conséquence de leurs procédés de préparation. Dès à présent, les silicones trouvent de très importantes utilisations dans l'industrie électrique lorsque le prix de leur mise en œuvre n'entre que pour une faible part dans le coût global des équipements. Mais il est vraisemblable qu'il sera possible dans l'avenir d'abaisser leur prix de revient et que la technique disposera alors de toute une gamme de produits qui viendra heureusement compléter la série déjà fort grande des hauts polymères purement organiques.

LA POMPE DE CHALEUR⁽¹⁾

par M. Paul DUBERTRET,

*Ingénieur des Arts et Manufactures,
Ingénieur en chef honoraire de la C^{ie} Electro-Mécanique.*

SOMMAIRE.

La pompe de chaleur, ou mieux machine calorifique, identique dans son fonctionnement à la machine frigorifique, emprunte comme cette dernière, à basse température, une quantité de chaleur qu'elle restitue à haute température, en y ajoutant l'équivalent calorifique du travail qu'elle effectue. L'efficacité du procédé est caractérisée par le coefficient de performance, rapport de la quantité de chaleur fournie à température élevée à l'équivalent calorifique du travail de la machine. Le coefficient de performance, en raison même de sa définition, est toujours supérieur à l'unité : cette propriété ouvre une séduisante perspective de chauffage économique. Un examen plus poussé de la théorie, des conditions pratiques, des chiffres actuellement réalisables, conduit à limiter des espoirs trop ambitieux pour l'immédiat.

Plusieurs causes de restrictions doivent être retenues :

- le coût de la machine, de son installation,
- le prix de l'énergie électrique nécessaire à son fonctionnement,
- le défaut d'économie d'ensemble du procédé (dans certains cas).

On peut espérer que les deux premiers obstacles perdront de leur importance avec les progrès de la technique. Le troisième point est plus grave, tenant à la nature physique des choses.

La pompe de chaleur trouve dès maintenant de nombreuses possibilités d'emploi, comme en font foi les belles installations qu'on est heureux d'admirer. Les applications doivent se développer, mais l'extension du procédé ne saurait être décidée qu'à bon

escient, après un sérieux examen comptable.

La pompe de chaleur mérite de retenir notre attention dans l'espoir d'aider à l'essor rêvé par Lord Kelvin.

Des indications bibliographiques sont données en fin de texte.

Le rôle du feu dans l'existence humaine explique qu'il fût divinisé et que soient associées dans la préhistoire les apparitions de l'homme et du feu artificiel.

Assurément, pour nous, les limites du mystère, qui subsiste, se sont reculées et nous sommes devenus plus maîtres de phénomènes dont nous savons calculer les grandeurs. Mais la Science, ici comme ailleurs, ne nous libère pas de l'inquiétude profonde : nous sentons peser sur nous la crainte de voir s'amenuiser au-dessous des limites vitales les sources de chaleur dont l'habitude nous fit user avec une insouciance prodigieuse ; nous sommes ainsi conduits à la recherche de l'économie et cela justifie l'intérêt suscité par la pompe de chaleur dont j'ai été convié à vous entretenir.

Je compte, pour cet exposé d'information, passer en revue les points suivants :

- principe de fonctionnement,
- description sommaire,
- notions théoriques utiles pour le calcul,
- conditions d'emploi, et possibilités d'application,
- moyens d'exécution,
- réalisations,
- observations sur l'économie du combustible,
- conclusions.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.

L'expérience vulgaire montre que la chaleur peut être produite autrement que par la combustion, par exemple par le frottement

d'un sabot de frein, par la compression de l'air.

L'étude scientifique de ces phénomènes a

(1) Conférence faite le 4 mai 1950 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

révélé l'existence, entre la chaleur dégagée par le frottement et le travail consommé pour sa production, d'une équivalence exprimée par la relation : 860 grandes calories = 1 kilowatt-heure.

La simple compression de l'air permet aussi la production d'une quantité de chaleur équivalente au travail dépensé; mais, associée à la détente qui détermine un abaissement de température, elle offre une possibilité nouvelle, plus économique, pour le chauffage. On peut se rendre compte de la chose en examinant la suite des opérations suivantes faites avec une pompe de bicyclette assez étanche pour permettre l'expérience :

- 1° Compression et échauffement de l'air;
- 2° Refroidissement de l'air, par cession de chaleur à l'extérieur, sous pression constante;
- 3° Détente de l'air jusqu'à la pression initiale : la détente se produisant à partir d'une température inférieure à la température de compression, la température finale

tombera au-dessous de la température avant compression;

4° Réchauffage de l'air jusqu'à la température avant compression par absorption de chaleur de l'extérieur, sous pression constante.

On trouve que dans ce cycle, il y a équivalence entre la différence chaleur cédée moins chaleur absorbée, et la différence travail consommé pour la compression moins travail récupéré dans la détente, c'est-à-dire travail fourni par la machine. En d'autres termes, la chaleur cédée au milieu à chauffer est égale à la somme :

équivalent du travail demandé à la machine, plus chaleur empruntée à l'extérieur, considérée comme gratuite et susceptible d'être absorbée à très basse température si la détente a été suffisamment poussée.

Voici les valeurs approximatives rencontrées dans un tel cycle choisi arbitrairement à titre d'exemple :

	Pression absolue hpz (1)	Température °C
Avant compression	1	0
en fin de compression.	2,75	75
après refroidissement.	2,75	25
après détente	1	— 40
après réchauffage.	1	0

L'appareil utilisant pour la production de chaleur le cycle qui vient d'être décrit (ou un autre comportant des échanges analogues) est la pompe de chaleur, qu'il conviendrait mieux d'appeler machine calorifique, par

analogie, par identité, avec la machine frigorifique. Une seule et même machine est calorifique ou frigorifique suivant la portion du cycle considérée, suivant l'intérêt de l'usager.

DESCRIPTION SOMMAIRE.

La figure 1 illustre l'identité des deux machines; elle donne la coupe d'un « Frigibloc » ou « Thermobloc » de construction Brown Boveri. L'agent est évaporé, comprimé puis liquéfié; l'appareil utilisant la détente de l'agent est supprimé, en raison de l'insuffisance du gain en regard de la complication, et remplacé par un simple détenteur par étranglement. On reconnaît sur la figure l'évaporateur, le turbo-compresseur, le con-

denseur, le détenteur, le moteur et divers organes auxiliaires. L'évaporateur et le condenseur sont construits comme les condenseurs par surface pour turbines à vapeur. Les tubes sont parcourus à l'intérieur par le liquide à refroidir ou à réchauffer et sont entourés par l'agent.

La disposition adoptée pour le groupement des différents organes assure un encombrement très réduit et la répartition des éléments

(1) 1 hectopieze, hpz, est un multiple de l'unité de pression dans le système rendu légal en France en 1919, système MTS : M (mètre), T (tonne masse), S (seconde). 1 hpz vaut env. 1,02 kg : cm².

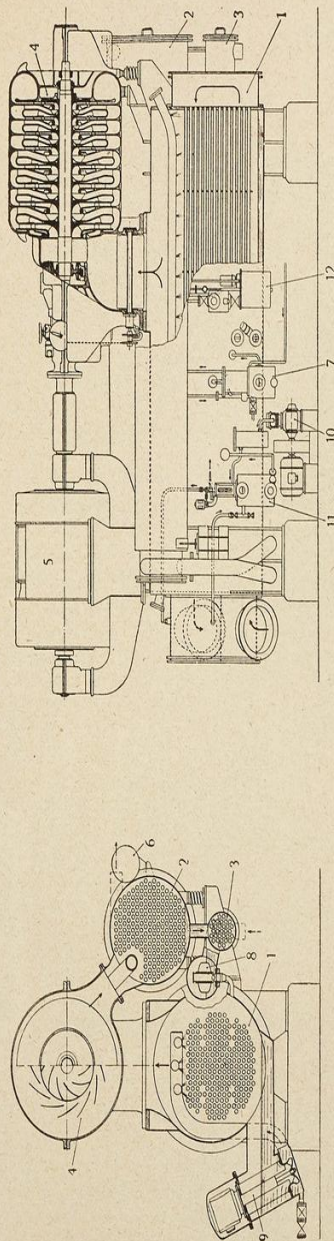


Fig. 1. — Coupe d'un Frigibloc ou d'un Thermobloc

- | | | |
|-----------------------|--|--|
| 1. Évaporateur | 7. Séparateur d'air et d'eau | 10. Pompe à vide |
| 2. Condenseur | 8. Soupape à flotteur détendant l'agent
liquéfié dans le condenseur à la
pression régnant dans l'évaporateur | 11. Dispositif de récupération de l'a-
gent raccordé à la pompe à vide. |
| 3. Sous-refroidisseur | 9. Pompe de brassage arrosant le
faisceau tubulaire de l'évaporateur | 12. Récipient et pompe pour l'huile de
scellement de la boîte étanche. |
| 4. Turbo-compresseur | | |
| 5. Moteur | | |
| 6. Collecteur d'air. | | |

froids dans le bas et des éléments chauds dans le haut du bloc.

Les figures 2a et 2b montrent la disposi-

tion schématique des éléments d'un frigibloc ou d'un thermobloc.

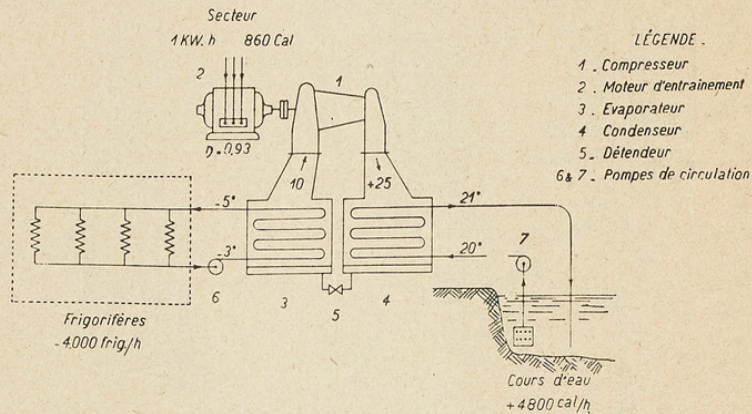


Fig. 2^a Schéma de principe d'une installation frigorifique (Frigibloc)

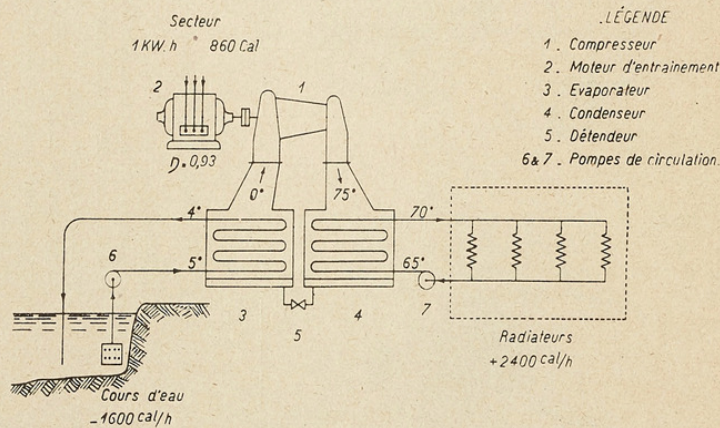


Fig. 2^b Schéma de principe d'une pompe à chaleur (Thermobloc)

NOTIONS THÉORIQUES UTILES POUR LE CALCUL.

Les perspectives ouvertes par l'invention de la pompe de chaleur sont séduisantes, par la possibilité d'apporter au chauffage, dans certaines conditions de fonctionnement, une contribution qui est un multiple élevé de sa propre consommation d'énergie.

On ne saurait toutefois porter un jugement

raisonnable sur la valeur du procédé sans avoir examiné, au moins sommairement, les relations théoriques entre les grandeurs en jeu, le coût des différentes formes d'énergie, le coût des installations.

Il paraît indiqué de donner tout d'abord un aperçu des ordres de grandeurs. Dans

nos climats tempérés, le chauffage peut demander environ 20 grandes calories par heure et par mètre cube de local, soit pour

$$5 \times 4 \times 5 \times 3 \times 20 = 300 \text{ m}^3 \times 20 \text{ cal.} = 6.000 \text{ cal.}$$

ou

$$6.000/860 = \text{env. } 7 \text{ kWh} = 7 \times 3.600 \text{ kilojoules} = 7 \times 3.600 \text{ sthénemètres.}$$

Si on demandait à des hommes pesant chacun 1 sthène (environ 102 kg) d'effectuer ce travail par leur poids en montant 10 fois par heure un escalier de 20 m de haut pour faire ensuite une descente freinée par une machine à frottement, par un moulin à chaleur pourrait-on dire, il faudrait employer $\frac{7 \times 3.600}{20 \times 10} = 126$ hommes.

Une pompe de chaleur apportant au chauffage le triple de sa consommation d'énergie n'exigerait plus que le travail $\frac{126}{3} = 42$ h.

Ce qui précède montre l'énormité de la tâche qu'il faudrait demander à l'homme pour un simple chauffage de confort s'il n'avait pas à sa disposition d'autres sources d'énergie que son travail musculaire, par exemple le charbon dont 1,72 kg suffirait pour le chauffage qui vient d'être envisagé, en admettant un pouvoir calorifique de 7.000 et un rendement de 50 p. 100 pour l'appareil de chauffage $\left(\frac{6.000}{7.000 \times 0,50} = 1,72 \right)$.

(A l'autre bout de l'échelle des travaux domestiques, on trouve que la mouture de 70 gr de café demande environ 1,65 kilojoule dont l'équivalent calorifique est environ 0,4 grande calorie).

Exception faite de l'allusion à l'équivalence chaleur-énergie, les explications précédentes ne font appel qu'à la connaissance vulgaire, à l'intuition. Il paraît utile, pour la compréhension des phénomènes, pour l'appréciation des procédés, pour la clarté des discussions, de présenter ici, sans démonstration, quelques notions de thermodynamique, en particulier celles qui concernent la représentation graphique de l'état, de l'évolution d'un gaz. L'une d'elles, très parlante aux yeux, se fait dans ce qu'on appelle le diagramme entropique. La température absolue, exprimée en degrés Kelvin, température en degrés Celsius augmentée de 273, est portée en ordonnées (fig. 3). Si maintenant on considère l'échange d'une quantité de chaleur, soit Q_1 , qui se fait entre deux enceintes à une température cons-

un ensemble de 5 pièces de 4 sur 5 m de surface et de 3 m de haut :

tante T_1 , on se propose de représenter Q_1 par la surface d'un rectangle de hauteur T_1 dont la base, sur l'axe des abscisses, aura par conséquent une valeur égale à Q_1/T_1 . On a donné à la grandeur Q_1/T_1 le nom d'entropie (du grec *εντροπια*, cycle). On peut, pour notre objet, prendre une origine quelconque pour l'entropie, car seules les variations d'entropie nous intéressent.

On démontre qu'il y a correspondance réciproque, sans ambiguïté, entre l'état d'un gaz et le point figuratif représentant son état dans le diagramme.

On démontre également que l'aire sous-tendue par la courbe représentant l'évolution du gaz donne, sous certaines réserves, la valeur de la chaleur échangée.

L'évolution suivant une parallèle à l'axe des T est dite isentropique; elle correspond, dans une machine parfaite, sans frottement, à la compression ou à la détente sans échange de chaleur.

Le cycle dit de Carnot comprenant deux isentropiques et deux isothermes est particulièrement intéressant par sa simplicité et par sa perfection. Il nous servira pour l'étude théorique sommaire de la pompe de chaleur.

Si le cycle est parcouru dans le sens moteur, il donne, d'après le principe d'équivalence, un travail $Q_2 - Q_1$ pour une quantité de chaleur Q_2 demandée à la source chaude; le rendement du moteur parfait est $\frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$ ou $\frac{T_2 - T_1}{T_2}$ car, en vertu du second principe de la thermodynamique, il existe dans le cycle de Carnot la proportionnalité $Q_2/T_2 = Q_1/T_1$.

Si au contraire le cycle est parcouru dans le sens pompe de chaleur, machine calorifique ou machine frigorifique, il permet de fournir une quantité de chaleur Q_2 pour un travail $Q_2 - Q_1$; le rapport $\frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$ est plus grand que l'unité; on l'appelle coefficient de performance (ou de multiplication, d'amplification, facteur d'efficacité).

La représentation dans le diagramme

entropique permet de se rendre compte clairement de ce qui se passe dans la pompe de chaleur : la machine, fidèle aux lois physiques, ne cède à la source chaude que ce qu'elle a consommé, chaleur empruntée à la source froide, et considérée comme gratuite, énergie fournie au moteur.

Il résulte de ce qui précède que la pompe de chaleur, pour un chauffage à température donnée, apparaîtra d'autant plus intéressante, aura un coefficient de performance d'autant plus élevé que l'écart des températures sera moindre.

Une autre remarque s'impose, la critique de l'expression même de pompe de chaleur qui évoque l'idée, inexacte ici, d'un fluide qui se conserve au cours de son évolution. Il serait plus exact de dire pompe d'entropie, puisque cette grandeur conserve les mêmes valeurs dans les portions chaude et froide du cycle. Je voudrais citer ici le texte emprunté à une étude de M. Darrieus : « ... considérant l'entropie comme une substance qui, tout en pouvant se déplacer entre les diverses parties d'un système isolé, serait, comme la

masse ou l'énergie, douée de la propriété de se conserver, tout au moins, tant que ces déplacements ne font pas intervenir de phénomènes irréversibles » (frottements).

Dans les machines réelles, il y a intervention de frottements ce qui se traduit, pour une même quantité de chaleur fournie à la source chaude, par un moindre emprunt de chaleur à la source froide considérée comme gratuite et par un plus grand travail demandé au moteur, donc par une réduction du coefficient de performance (fig. 3b).

Il existe d'autres causes d'avilissement du coefficient de performance :

1° Existence d'écarts de température, nécessaires aux échanges de chaleur entre agent et extérieur, qui augmentent l'écart total des températures du cycle.

2° Pertes dans les organes mécaniques, électriques.

Dans ce qui précède nous nous sommes référés au cycle de Carnot : dans le cas d'un agent non condensable, on travaillera suivant le cycle de Joule comportant des isobares au lieu des isothermes.

CONDITIONS D'EMPLOI ET POSSIBILITÉS D'APPLICATION.

Le chauffage par pompe de chaleur a pour première condition l'existence d'une source de chaleur de débit suffisant et de captage relativement facile ; car, si l'emprunt de chaleur à la source froide est gratuit au sens thermodynamique, il ne saurait plus être considéré comme tel si l'extraction de chaleur entraîne des frais élevés. On peut emprunter la chaleur à l'air ambiant, à l'eau de surface

ou des nappes souterraines, au sol, à des sources artificielles apparaissant dans des procédés industriels.

La bonne utilisation de la pompe de chaleur exige que l'écart entre les températures extrêmes soit aussi réduit que possible. Des machines parfaites fonctionnant suivant le cycle de Carnot auraient des coefficients de performance suivants :

pour un écart de 300° C entre 27° C et 327° C : 2 (fig. 3a)
pour un écart de 70° C entre 10° C et 80° C : 5,04 (fig. 3b).

Il est donc intéressant, pour faciliter l'emploi de la pompe de chaleur, de faire le chauffage à température aussi basse que possible : c'est le cas du chauffage par rayonnement qui utilise des températures de l'ordre de 45° C.

Il existe un moyen de créer cette condition de faible écart de température en réservant la pompe de chaleur pour la fourniture des calories de base nécessaires, lorsque le froid n'est pas trop intense ; un chauffage

d'appoint sera prévu pour les grands froids.

On remarquera que le maintien de l'écart des températures extrêmes pourrait s'opposer au groupement de puissantes pompes de chaleur le long d'un cours d'eau qu'elles refroidiraient par leur fonctionnement. Les autorités Suisses se sont préoccupées de l'aspect de la question.

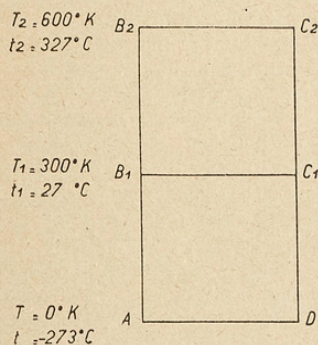
La valeur du rendement de la pompe influe sur l'opportunité de son emploi.

Voici quelques valeurs du rendement global, rapport entre le coefficient de performance théorique et le coefficient de performance

mance réel, valeurs variant avec l'écart de température et avec l'importance de l'installation :

pompes de 200.000 à 1.000.000 cal/h	0,45 — 0,55
pompes de 1.000.000 à 3.000.000 cal/h	0,55 — 0,60
installations plus importantes	0,60 — 0,65.

DIAGRAMMES ENTROPIQUES POUR 1Kg D'AIR.



$$T_2 \times B_2 C_2 = Q_2 = 10 \text{ cal.}$$

$$B_1 C_1 = B_2 C_2 = \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} = \Delta S$$

ΔS : Variation d'entropie

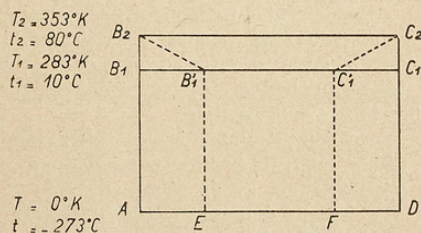
$$B_2 C_2 = \frac{10}{600} = 0,0166$$

$$\text{Rendement du moteur : } \frac{300}{600} = 0,5$$

Coefficient de performance

$$\text{de la pompe de chaleur : } \frac{600}{300} = 2$$

Fig. 3a



$$T_2 \times B_2 C_2 = Q_2 = 10 \text{ cal.}$$

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} = \Delta S$$

$$B_2 C_2 = \frac{10}{353} = 0,02835$$

Machine parfaite :

$$\text{Rendement du moteur : } \frac{70}{353} = 0,1985$$

Coefficient de performance

$$\text{de la pompe de chaleur : } \frac{353}{70} = 5,05$$

--- Machine imparfaite

$$Q'_1 = T_1 \times B'_1 C'_1 < Q_1$$

entraîne diminution

du coefficient de performance

Fig. 3b

Avant de passer à l'application il convient de faire une étude très sérieuse de l'économie qui peut être envisagée de deux points de vue, celui de l'utilisateur, celui du Pays. L'utilisateur pourra se décider d'après le montant des investissements et des frais d'exploitation. Le Pays se doit d'utiliser au mieux les ressources nationales. Autrement dit il y a l'économie-monnaie pour l'individu et l'économie-matière pour la communauté. Dans la réalité, intervient un autre groupe d'intérêts, intérêts commerciaux des producteurs d'énergie électrique, des constructeurs d'appareils : pour eux, l'importance de la consommation détermine la rentabilité de l'entreprise et dicte la politique de prix qui influera sur le développement des applications. Cet aspect du problème devait être mentionné; il ne sera pas étudié ici.

Examinons le cas de chauffage de locaux.

Le prix d'installation d'une pompe de chaleur est supérieur à celui d'un chauffage central du type habituel. Voici des chiffres donnés en Suisse : pour 1.000 cal/h, l'installation d'un chauffage central coûte 40 francs suisses, la pompe de chaleur 300 à 350 francs suisses. Il est donc nécessaire, mais évidemment non suffisant, pour que l'exploitation de la pompe de chaleur soit viable, qu'elle puisse fonctionner pendant un grand nombre d'heures par an.

Une possibilité intéressante se présente ici, une même machine pouvant fonctionner comme pompe de chaleur ou comme machine réfrigérante; l'installation sert au chauffage en hiver et au refroidissement en été; on doit toutefois se dire que dans notre pays une telle installation est en général un luxe que nous ne saurions nous payer. Nous pouvons donner un prix américain pour une installation complète dans une maison de cinq pièces, établie également pour le chauffage en hiver et la réfrigération en été : 2.700 \$ pour matériel fabriqué par les Établissements Drayer Hanson qui estiment d'ailleurs que ce prix pourrait être ramené à 2.100 \$ si la fabrication se faisait en grande série.

Dans nos climats et avec le prix actuel de l'énergie électrique et de l'installation, la pompe de chaleur ne peut pas trouver un

emploi généralisé pour le chauffage de locaux.

Le respect de l'économie nationale exigerait réflexion même dans le cas où le prix de la machine et celui de l'énergie électrique rendraient le procédé abordable à l'utilisateur.

Par exemple, si l'énergie électrique est produite dans des centrales à turbines à condensation avec un rendement global de l'ordre de 25 p. 100, l'emploi de la pompe de chaleur ne donnerait une économie de combustible — en se référant au cas idéal d'un chauffage par combustible doué d'un rendement de 100 p. 100 — que si elle travaillait avec un coefficient de performance au moins égal à 4, chiffre supérieur à ce qui est pratiquement réalisable dans les conditions habituelles; on pourrait atteindre avec les températures suivantes : 10° C pour la source de chaleur, 60° C pour l'eau chaude, dans une installation travaillant avec un rendement global de 60 p. 100 chiffre réalisé dans de bonnes installations de grande puissance (1).

La comparaison entre les deux modes de chauffage, par le combustible, par la pompe de chaleur, serait plus instructive si elle était faite sur la base des chiffres suivants, correspondant à des cas pratiques :

Rendement du chauffage par combustible, 60 p. 100; pour obtenir 1 kWh de chauffage, soit 860 calories, il faut dépenser une quantité de combustible correspondant à 860/0,6 soit : 1.430 calories.

Rendement global de la pompe de chaleur, 60 p. 100; températures, de la source de chaleur, 10° C, de l'eau chaude, 80° C. Rendement de la production et distribution d'électricité (produite par des groupes à vapeur fonctionnant à condensation, transformée, transportée), 20 p. 100. (2) On obtient dans ces conditions, un coefficient de performance de 3; pour la même quantité de chaleur fournie au chauffage que ci-dessus, il ne faut plus fournir à la pompe de chaleur qu'une énergie de 860/3 soit 286 calories correspondant à une dépense de 286/0,2 soit : 1.430 calories dégagées par la combustion dans la centrale : dans les conditions envisagées, l'emploi de la pompe de chaleur n'entraîne aucune économie de combustible.

(1) $273 + 60 = 333$; $60 - 10 = 50$; $333/50 = 6,66$; $6,66 \times 0,6 = 3,996$.

(2) $273 + 80 = 353$; $80 - 10 = 70$; $353/70 = 5$; $5 \times 0,6 = 3$.

Cette conclusion vaut sans contestation dans le cas de production d'énergie électrique exclusivement dans des groupes à condensation. S'il y a origine mixte, hydraulique et thermique, le jugement à porter sur l'économie du procédé exige une grande circonspection; il ne saurait se baser sur une analyse fragmentaire, simpliste; seule, une synthèse englobant les chiffres correspondant à une longue durée d'exploitation permettra de connaître les répercussions causées par l'utilisation de tel ou tel mode de chauffage. Remarquons d'ailleurs que ces répercussions seront en partie commandées par la politique du producteur, du distributeur dont l'intérêt est, lui aussi, un facteur d'importance.

Il semble bien que l'emploi de la pompe de chaleur, du point de vue de l'économie nationale, ne saurait être envisagée, en dehors de conditions exceptionnelles, que dans les pays où l'énergie électrique est d'origine hydraulique.

Parmi les conditions exceptionnelles qui pourraient justifier l'emploi de la pompe de chaleur bien que l'énergie soit d'origine thermique, il convient de citer certains cas de fonctionnement des machines thermiques. Par exemple si on a besoin de grandes quantités de vapeur de chauffage pour des bâtiments ou pour des procédés de fabrication, on peut produire la vapeur à une pression supérieure à celle qui est nécessaire pour le chauffage et installer, en amont du dispositif de chauffage, une turbine à contre-pression dont la puissance pourra être utilisée pour la commande d'une pompe de chaleur; cette disposition a été suggérée par lord Kelvin dès 1852. Bien entendu, s'il en est besoin, on peut installer une turbine de puissance supérieure à celle qui est strictement nécessaire pour l'entraînement de la pompe de chaleur. L'idée de lord Kelvin a été reprise par M. le Professeur Bauer, directeur de la Centrale de chauffage à distance de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich. Avec cette disposition, la consommation de combustible est réduite à 55, 60 p. 100 de celle d'une installation de chauffage à basse pression.

L'association d'un moteur à combustion

interne et d'une pompe de chaleur est également une solution intéressante.

On peut résumer ainsi les applications possibles de la pompe de chaleur :

1° Chauffage de locaux par radiateurs normaux avec les réserves formulées plus haut;

2° Chauffage des locaux par radiateurs prévus pour 45° C, c'est-à-dire pour chauffage par rayonnement du plafond ou du plancher;

3° Chauffage d'eau à 70° C par exemple pour des besoins industriels (coefficient de performance compris entre 2,5 et 7,5 suivant la température de l'eau froide dont on dispose);

4° Piscines (coefficient de performance de 4 à 8 suivant la saison);

5° Chauffage d'air (coefficient de performance 2,5 à 12);

6° Conditionnement, installations exigeant chaleur et froid;

7° Installation d'évaporation avec thermocompresseur (coefficient de performance de 5 à 25).

La pompe de chaleur peut donc trouver dès maintenant un vaste domaine d'utilisation : industries textiles, teintureries et apprêts, papiers, produits chimiques, abattoirs, brasseries, buanderies, tanneries, séchage.

Le procédé de conditionnement fut tout d'abord considéré comme un moyen de bien-être; il trouve maintenant une autre justification dans la réalisation, indépendamment des conditions extérieures, de certains degrés de température ou d'humidité dans des ateliers, par exemple dans les industries textiles, dans les fabriques de produits photographiques, dans les mines.

Le thermocompresseur emprunte la chaleur à une solution que l'on se propose de concentrer; la vapeur extraite de la solution est comprimée par l'appareil et envoyée dans un échangeur noyé dans la solution ce qui permet d'en pousser la concentration. Il trouve son emploi dans les fabrications de produits pharmaceutiques, de colorants, dans le traitement des denrées alimentaires, etc. La valeur élevée du coefficient de performance s'explique par le faible écart des températures.

LES MOYENS D'EXÉCUTION.

Les conditions thermodynamiques rappelées plus haut ne font pas mention de la nature de l'agent utilisé, car un agent quelconque peut passer par les différents états envisagés; mais dans le domaine de la pratique, la nature de l'agent a une importance considérable, en particulier en raison du volume spécifique du gaz et de la vapeur; si le volume est trop grand, on doit installer des appareils de grandes dimensions et très coûteux; s'il est trop petit, le rendement des turbo-compresseurs est insuffisant pour permettre un fonctionnement convenable. On emploie donc différents agents suivant les circonstances.

On a recours à CO_2 , NH_3 , SO_2 qui ont aux basses températures une pression de vapeur relativement élevée, et un faible volume spécifique; ils conviennent donc aux compresseurs à piston. L'emploi de ces agents dans les compresseurs centrifuges ne serait admissible que pour de très grandes puissances.

Dans le cas de pompes de chaleur à compresseurs centrifuges, on emploie différents hydrocarbures, chlorure d'éthyle, bromure d'éthyle, chlorure de méthylène (bichlorure de méthane). Puis on a utilisé d'autres combinaisons d'hydrocarbures avec du chlore et du fluor; ils sont moins toxiques; les combinaisons avec le fluor, les fréons, sont pratiquement inodores. Ils ont un poids moléculaire élevé qui convient bien aux compresseurs centrifuges, car les pressions peuvent être obtenues avec peu d'étages et à une vitesse modérée.

L'air a été aussi utilisé comme agent réfrigérant, par exemple dans le système Lèbre appliqué au Palais des Congrès à Zurich. M. Lèbre a fait sur son système une conférence reproduite dans le Bulletin de Mai 1927 de la Société des Ingénieurs Civils de France.

La vapeur d'eau, pour certains domaines de température, peut servir d'agent calorifique.

RÉALISATIONS.

La presse technique reflète l'intérêt suscité par la pompe de chaleur en lui consacrant de nombreuses études théoriques et descriptions d'installations réalisées.

Voici quelques données concernant les installations réalisées.

L'installation anglaise de Norwich sert au chauffage de bureaux et d'ateliers représentant un volume d'environ 14.000 m³. La puissance absorbée par le moteur varie entre 40 et 80 kW; les calories à basse température sont empruntées à de l'eau à 11° C.

Aux États-Unis les bâtiments d'administration de la Southern California Co à Los Angeles ont une installation de chauffage et de conditionnement d'air fonctionnant avec le chlorure de méthyle et produisant 360.000 cal/h. Le coefficient de performance, voisin de 2 est assez bas en raison de l'écart élevé de température.

L'« Ohio Power Co » possède depuis 1940, 2 installations de conditionnement d'air.

On trouve un coefficient de performance, d'environ 4, dans les installations de chauffage

des nouveaux bâtiments d'administration de la « United Illuminating Co » à New Haven (Conn.). La source froide est une nappe d'eau souterraine dont la température se maintient à une valeur constante d'environ 14° C; la production est de l'ordre de 800 000 cal/h.

On a déjà commencé aux États-Unis la fabrication en série de groupes destinés au chauffage en hiver à la réfrigération en été, pour des puissances de 1.500 à 15.000 cal/h. Des dispositifs ont été construits pour l'extraction de la chaleur du sol. Les renseignements reçus des États-Unis depuis la conférence permettent de conclure à la rareté des installations de pompes de chaleur pour le chauffage d'appartements.

On peut citer parmi les nombreux constructeurs américains les Établissements suivants :

- General Electric Co,
- Westinghouse Electric Corporation,
- Drayer Hanson Incorporated (appareils « Airtopia »).

— Muncie Gear Works of Indiana (appareils « Marvair »).

Comme on pouvait s'y attendre, c'est dans les pays où l'énergie est d'origine hydraulique que l'on a le plus de chance de trouver des installations de pompes de chaleur. La Suisse illustre cette observation.

Escher Wyss a fait une installation destinée au chauffage de ses fabriques et qui est alimentée par une nappe d'eau souterraine. L'installation nouvelle dessert un groupe de bâtiments auparavant chauffés par des dispositifs dispersés et dont le fonctionnement ne permettait pas d'atteindre la meilleure économie possible : appareils à vapeur, à eau de différentes températures, poêles à coke, chaudières électriques. Après la transformation, tous les radiateurs sont alimentés en eau à 90° C; il y a réseaux distincts pour les ateliers et pour les bureaux. Par grands froids, la pompe de chaleur est arrêtée et le chauffage assuré par un transformateur vapeur-eau. L'ensemble des 2 pompes de chaleur alimentant l'installation peut fournir 1.500.000 cal/h.

La piscine de Zurich est chauffée au moyen de 5 pompes à chaleur de fabrication Escher Wyss du type Frigotrop de 70 kW fournissant chacun une puissance calorifique de 300.000 cal/h avec un coefficient de performance d'environ 3,6.

Une installation de refroidissement en été combinée avec le chauffage en hiver a été faite par Escher Wyss pour l'Hôtel de Ville de Zurich.

Une réalisation également due à Escher Wyss mérite une mention particulière, car elle concerne l'installation d'une pompe de chaleur dans un établissement d'horticulture dont la consommation de calories est nettement inférieure à la limite généralement admise pour la rentabilité de la pompe de chaleur. Celle-ci fait exception à la règle : elle doit sa création à une circonstance favorable, l'existence d'une nappe d'eau souterraine à 10-12° pendant toute l'année. Le débit d'eau extrait est de l'ordre de 500 litres par minute. Cette eau après avoir cédé de la chaleur à l'évaporateur d'ammoniaque, se trouve refroidie à environ 6° C. Elle est alors envoyée dans la canalisation de distribution d'eau. La vapeur d'ammoniaque est amenée, par un compresseur à 2 étages, à une pression d'environ 20 hpz et liquéfiée dans

le condenseur. Pour environ 3.400 calories de chauffage il faut fournir 1 kWh au moteur ce qui correspond à un coefficient de $3.400/860 =$ environ 4. Les puissances des moteurs sont de 35 kW pour le compresseur et de 1,5 kW pour la pompe d'extraction d'eau de la nappe souterraine. Il y a interruption de fonctionnement de la pompe de chaleur de 10 h 30 à 12 h; cette période est franchie sans difficulté grâce à l'accumulation de chaleur dans l'eau des canalisations et des chaudières existantes. L'installation fut mise en marche dans l'hiver 45-46; il y eut fonctionnement combiné de la pompe de chaleur et des chaudières à charbon; la consommation d'électricité fut de 65.000 kWh contre 196.000 kWh absorbés l'année précédente par la chaudière électrique.

La Maison Sulzer a transformé des installations frigorifiques existantes de manière à utiliser pour le chauffage des calories qui étaient autrefois perdues; voici 2 exemples de ces transformations.

L'installation de la Viscose Suisse à Widnau donnait de la saumure à — 10° C en produisant par heure 335.000 frigories et 406.000 calories. Ces dernières étaient perdues. En ajoutant un second étage de compression et moyennant une consommation de 102 kW, la production de calories fut poussée à 475.000 calories à l'heure utilisées au chauffage d'eau à 60° C. On obtient ici le remarquable coefficient de performance de $475.000/102 \times 860 = 5,41$. L'agent est le gaz ammoniac. Avec un fonctionnement de 8.000 h/an, un prix de 3,5 centimes suisses le kWh et de 100 francs suisses la tonne de charbon, l'économie annuelle de 617 tonnes de charbon correspond à 33.200 francs suisses et permet l'amortissement de la pompe de chaleur en cinq ans.

L'adjonction d'une pompe de chaleur à l'installation frigorifique de Bell à Bâle permet de porter l'eau de ville de 10 à 75° C en produisant par jour 3,6 millions de calories. La puissance est de 180.000 calories à l'heure; le coefficient de performance est de l'ordre de 4,5.

Il est bien évident que cette solution est particulièrement intéressante pour des industries qui ont besoin, hiver comme été, d'une quantité de chaleur importante.

Nous citerons quelques installations faites par Brown Boveri qui a fourni en 1925 un

compresseur centrifuge pour de l'ammoniaque destiné à une installation d'une puissance frigorifique de 8 millions de cal/h.

L'installation de la fabrique de soie artificielle de Steckborn emprunte la chaleur à l'eau du lac de Constance. Elle comprend 2 Thermoblocs dont un seul est suffisant pour les besoins existant à la mise en service. Chacun d'eux peut donner 1.000.000 à 1.700.000 cal/h (fig. 4). L'agent est le chlorure de méthylène CH_2Cl_2 . La vitesse des

constate une augmentation appréciable de la durée des feutres.

Pour la Teinturerie de Schlieren, Brown Boveri a fourni fin 1945 une pompe de chaleur de 600.000 cal/h pour chauffage de l'eau de 40 à 65° C; le coefficient de performance est de 3,5, l'économie de charbon de 650 tonnes par an.

Brown Boveri a utilisé, pour le chauffage de ses bureaux et de bâtiments à Baden, une pompe de chaleur qui peut fournir,

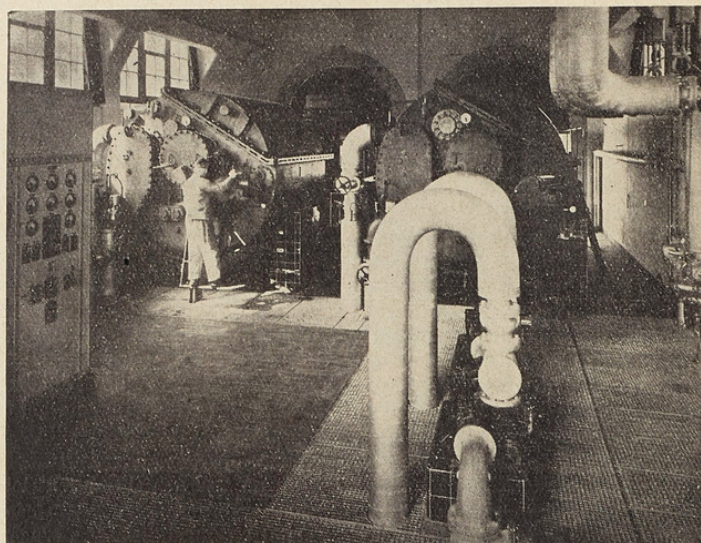


Fig. 4. — Fabrique de Soie Artificielle de Steckborn.
Deux Thermoblocs Brown Boveri de chacun 1.000.000 à 1.700.000 cal/h.

pompes peut être réglée de manière à adapter la puissance de chauffage à la variation saisonnière de la température du lac. Les deux tiers de la puissance de chauffage proviennent du lac. L'économie de charbon atteint 2.800 tonnes par an. La même entreprise a commandé à Brown Boveri une troisième pompe de chaleur dont la puissance est de 400.000 cal/h.

La Papeterie de Landquart utilise pour le séchage une pompe thermique travaillant avec de l'air suivant le système Brown Boveri-Lèbre. La puissance calorifique est de 115.000 cal/h. et le coefficient de performance d'environ 2,8. On réalise une économie de 180 tonnes de charbon par an et on

par l'intermédiaire d'un réseau d'eau chaude, 1.500.000 à 2.200.000 cal/h. dont les trois quarts sont extraits de la Limmat. L'économie de charbon est de 1.400 tonnes par an.

L'École Polytechnique Fédérale de Zurich a réalisé, sur les plans du Professeur Bauer, une importante installation de chauffage pour laquelle Brown Boveri a fourni 2 pompes de chaleur de chacune 1.500.000 à 2.500.000 cal/h. (fig. 5). La source froide est la Limmat dont la température peut descendre jusqu'à 2° C. L'économie de charbon est d'environ 2.600 tonnes par an. L'agent est le fréon F_{11} .

Le réseau de chauffage de l'E. P. F. est très important : il alimentait, en 1943, 17 bâtiments de l'E. P. F., 37 bâtiments de

l'hôpital cantonal, 3 grands immeubles de l'administration, 85 maisons privées. La puissance de chauffe correspondante est de 38 millions de cal/h. La production de chaleur correspond à 40 milliards de calories par an; la chaleur est produite par des chaudières au charbon, par des chaudières Vélox au mazout, par des chaudières électriques; l'adjonction de pompes de chaleur permet d'améliorer l'économie.

Il convient de remarquer que le chauffage à distance présente l'avantage d'une centra-

thermocompresseur il suffit de 94 kW, ce qui correspond à un coefficient de performance de 5,3.

De 1939 à la fin de la guerre, Brown Boveri a livré 8 pompes de chaleur pour installations de chauffage et 25 thermocompresseurs. L'économie correspondante de charbon fut en moyenne de 60.000 tonnes par an. Les installations complètement amorties pendant la guerre sont restées économiques au-delà de cette période anormale.

Le Frigibloc Brown Boveri trouve, dans la

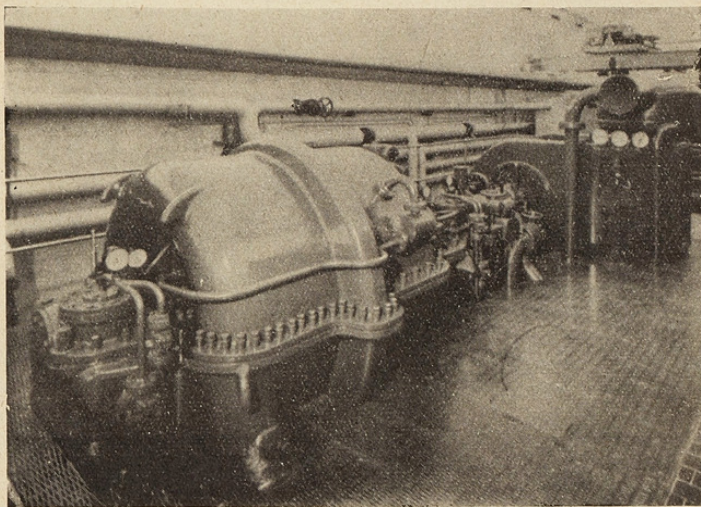


Fig. 5. — École Polytechnique fédérale de Zurich.
Une des thermo-pompes de 1.500.000 à 2.500.000 cal/h.

lisation qui assure de bonnes conditions de combustion ainsi que de bonnes conditions d'achat du combustible et de surveillance du fonctionnement; mais en raison des pertes subies dans les canalisations, le procédé n'est applicable que lorsqu'on a une consommation très dense de chaleur.

Brown Boveri a construit de nombreux thermocompresseurs dont l'intérêt, dû au faible écart des températures, a déjà été signalé plus haut. Citons l'exemple d'un thermocompresseur pour une solution difficile à évaporer : 700 kg d'eau par heure doivent être évaporés sous une pression de 0,06 hpz environ; cette opération exige 428.000 cal/h. soit 500 kW quand on fait du chauffage électrique direct; avec le

climatisation des mines, une application dont l'intérêt augmente avec les profondeurs d'exploitation correspondant à des températures de plus en plus élevées. La climatisation du front de taille améliore à la fois les conditions de travail et le rendement. Dans une installation réalisée à la mine de charbon de Zwartberg, en Belgique, à une profondeur de 1.000 m, la réfrigération s'effectue de la manière suivante. Un réfrigérant d'air, mobile, à l'entrée de la taille, est déplacé au fur et à mesure de l'avancement du front de taille. Le frigibloc est installé dans une salle de machines et relié au réfrigérant par des tuyauteries d'eau froide. La puissance frigorifique du bloc est de 350.000 cal/h; la température de l'eau

froide, à l'entrée du Frigibloc (venant du réfrigérant d'air), est de 13° C et, à la sortie du Frigibloc (allant au réfrigérant d'air), de 5° C. L'eau de refroidissement du Frigibloc arrive de l'extérieur à 22° C et est refoulée à 45° C avec l'eau d'exhaure. Dans le réfri-

vaillent environ 150 mineurs (fig. 6 et 7).

La figure 8 représente un des Frigiblocs de chacun, 320.000 cal/h. installés par la C^{ie} Electro-Mécanique à la Brasserie Richard Frères à Ivry-sur-Seine.

Rappelons enfin que le même constructeur

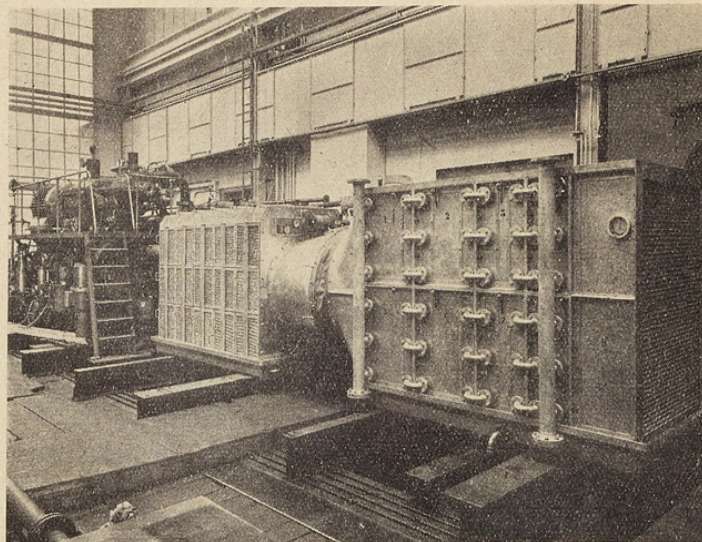


Fig. 6. — Installation de réfrigération composée d'un Frigibloc de 350.000 cal/h, d'un filtre et d'un réfrigérant, construite par Brown Boveri pour le conditionnement de l'air dans une mine des Charbonnages de Zwartberg.

gérant d'air, 42.500 m³/h d'air arrivent à 30° C et 70 p. 100 d'humidité; ils ressortent du réfrigérant à 17° C et 100 p. 100 d'humidité et circulent dans la taille où tra-

a fait un large et très heureux emploi de la pompe de chaleur dans la chaudière Velox qui lui est, pour une part, redevable de son haut rendement.

PROBLÈME GÉNÉRAL DE L'ÉCONOMIE DU COMBUSTIBLE.

L'objet de ce paragraphe est de consigner, pour mettre à profit l'expérience acquise, l'écho de nombreux propos, souvent contradictoires, qui ne sauraient d'ailleurs, sans indiscrétion, être rapportés ici avec toutes les précisions désirables. Cette réserve donnera sans doute un aspect de lieux communs aux observations qui suivent, alors qu'en réalité chacune d'elles a été suggérée par des faits vécus.

Il semble que les difficultés qui rendent particulièrement ardue l'étude des problèmes économiques tiennent à la fois à la nature

des choses et au caractère des personnes.

On entend à maintes reprises des cris d'alarme au sujet du gaspillage qui se manifeste par exemple dans les domaines de la mécanique et de la chimie et on cite à juste titre les défauts des méthodes habituelles de chauffage. Il est bien juste de dire que la production de chaleur à basse température par dégradation d'énergie à potentiel élevé est regrettable, mais on peut ajouter qu'en dehors de la mauvaise utilisation de l'énergie il y a un mal encore plus profond dans l'emploi, pour cette production d'énergie,

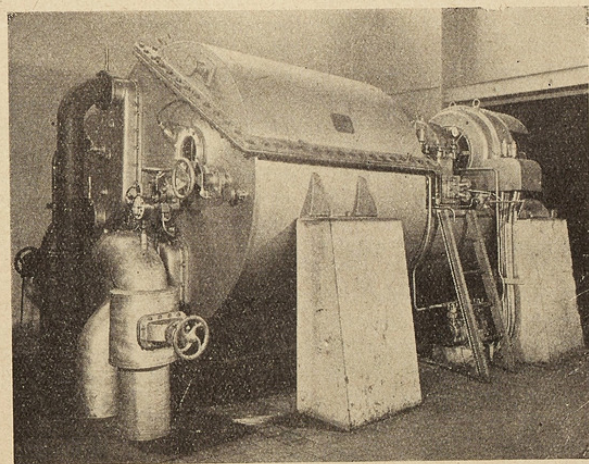
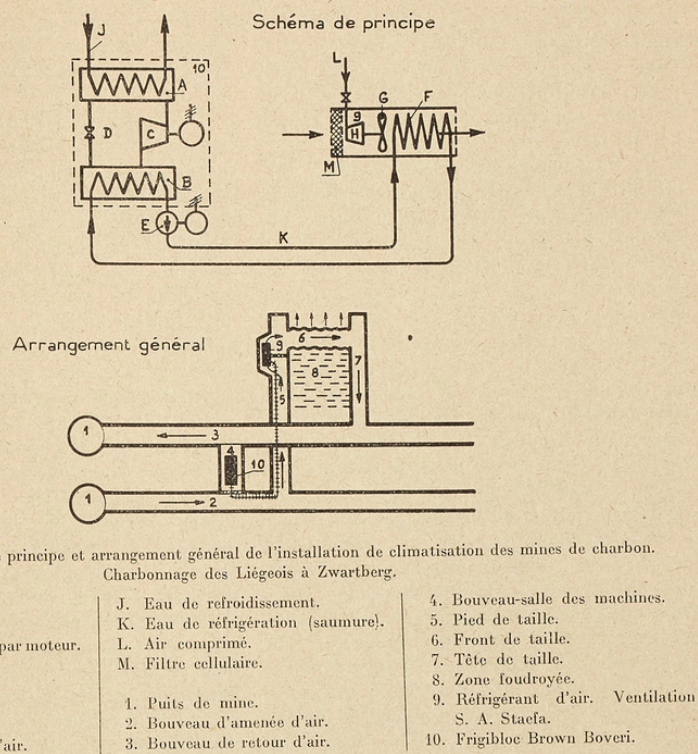


Fig. 8. — Brasserie Richard Frères à Ivry-sur-Seine. Un des Frigiblocs de 320.000 cal/h (Cie Électro-Mécanique).

du charbon qui sera de plus en plus considéré comme matière première; mais nous ne devons pas avoir l'illusion que nous ferons des transformations nécessaires à notre existence sans payer à la nature une rançon parfois élevée.

Une autre illusion mérite mention : la gratuité associée par nombre de personnes à l'utilisation des énergies de la nature, par exemple à l'emploi des ressources hydrauliques pour la production de l'électricité. On oublie en effet que, si la matière ou la chaleur utilisables sont proches de nous, il faut toutefois les capter, puis faire le transport et la distribution, au moyen d'installations qui doivent être amorties : travaux de génie civil dans les barrages, dans les canalisations d'eau, dans les dispositifs d'extraction de la chaleur du sol, etc. Il est vrai que des critiques récentes estiment que les taux d'amortissement sont trop élevés, pour les usines hydro-électriques. On doit bien reconnaître la tendance à sous-estimer la durée de vie des barrages et du matériel électrique; mais la vétusté n'est pas le seul facteur à prendre en considération pour l'amortissement : la désuétude peut intervenir à plus ou moins brève échéance; un délai d'une vingtaine d'années n'a-t-il pas été indiqué pour l'utilisation industrielle de l'énergie atomique?

L'établissement d'un juste prix de revient est certes une tâche difficile et nous devons ajouter que la fixation du prix marchand peut encore subir l'influence de divers facteurs : politique de vente pour l'augmentation de la consommation, politique économique imposée par les circonstances; en Suisse, pendant la guerre, on a ainsi favorisé l'utilisation de la pompe de chaleur en permettant, par un dégrèvement de l'impôt sur les bénéfices de guerre pendant quelques années, un amortissement plus rapide du capital investi.

Une des premières difficultés rencontrées est l'existence de conditions contradictoires; la concentration de la production est par exemple une bonne chose pour l'économie de la production, mais cet avantage s'éva-

nouit lorsque le transport doit se faire à de grandes distances : il y a exagération des frais d'investissement et augmentation inadmissible des pertes.

L'examen des erreurs d'appréciation fait apparaître deux lacunes; tout d'abord le défaut de sens comptable, sous lequel on ne saurait prétendre établir un prix de revient; en second lieu la malfaisance de l'application totalitaire des principes; comme nous l'avons reconnu plus haut, une grande installation présente des avantages sérieux si elle est utilisée dans de bonnes conditions, en particulier pendant un temps suffisant, mais elle n'est pas à sa place quand les conditions de fonctionnement exigent une grande souplesse d'adaptation. On pourrait citer à ce sujet l'exemple du chauffage urbain centralisé opposé au chauffage individuel des habitations. Si les habitations avaient une consommation régulière de calories, le chauffage centralisé ne présenterait que des avantages si toutefois les locaux n'étaient pas trop dispersés. Dans le cas pratique où le chauffage des pièces est réduit au minimum ou même certaines pièces restent sans chauffage pendant tout un hiver, le chauffage individuel reprend la supériorité non seulement pour l'économie de l'usager, en francs, mais encore pour l'économie nationale, en combustible.

Cela montre l'avantage que procure la souplesse d'adaptation et les chiffres qu'on peut recueillir dans une enquête à ce sujet sont probants.

En résumé, l'étude des avantages et des inconvénients de tel ou tel mode de chauffage exige, comme tout problème économique, l'emploi parallèle, très poussé, de l'analyse et de la synthèse. On ne saurait trop se méfier des résultats d'une analyse partielle, séduisante par le rendement élevé d'une opération fragmentaire, alors que seul un bilan comptable, portant sur un ensemble étendu, temps et lieu, permet de connaître avec une bonne approximation le prix qu'une politique commerciale pourra être amenée à modifier pour adaptation aux circonstances.

CONCLUSION.

Une étude objective permet de dire que la pompe de chaleur est un appareil parfaitement au point que l'on sait construire et faire

fonctionner. Elle a dès maintenant un vaste domaine d'applications; elle doit en trouver d'autres de plus en plus nombreuses. Deux

catégories de difficultés se présentent sur la voie de son développement : 1° le prix de la machine et de son installation, le prix de l'énergie; 2° la nécessité pour avoir une économie globale intéressante de se trouver dans des conditions bien déterminées.

Nous pouvons espérer que la technique saura maîtriser les premières difficultés; les secondes devront être évitées par la perspicacité et la prudence des réalisateurs.

L'importance de l'enjeu doit nous inciter à maintenir notre esprit constamment en éveil pour provoquer toutes les améliorations possibles et pour mettre à profit les occasions favorables.

Les conditions du moment, évoluant avec les progrès de la technique, et les raisons de convenance détermineront l'avenir de la machine calorifique. Lord Kelvin en voyait l'emploi généralisé; puissent les vœux de ce prophète de bonheur prendre corps!

Bibliographie.

La presse technique des différents pays abonde en études concernant la pompe de chaleur. On peut citer entre autres, en dehors de nombreuses publications de langue anglaise : *Électricité*.

L'Électricité (Revue Internationale pour la diffusion de l'électricité) n° 7-9, spécial, octobre-décembre 1943, Zurich.

Le *Bulletin de l'Association Suisse des Électriciens* (juin et septembre 1945).

Le *Bulletin Technique de la Suisse Romande* (20 mai et 3 juin 1939).

La Nature du 15 janvier 1947.

Science et Vie de juin 1947.

Les revues et publications de Sulzer (n° 1, 1948).

— — — d'Escher Wyss.

Les revues et publications de *Brown Boveri* (n°s de septembre-octobre 1948 et de janvier-février 1949).

« Sur le rôle des pompes à chaleur » par Bruno Bauer, Professeur à l'École Polytechnique Fédérale de Zurich. *Centre de Perfectionnement technique*, Maison de la Chimie, 28 rue Saint-Dominique, Paris (Fascicule n° 1.771, nov. 1946).

Compte rendu du VII^e Congrès International du Chauffage, de la Ventilation et du Conditionnement, Paris, 17, 18, 19 et 20 septembre 1947. (*Chaleur et Industrie*, 5 rue Michel-Ange, Paris). Voir communication de M. Dusseiller, Ingénieur de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich sur « La pompe à chaleur et les conditions de son utilisation rationnelle et économique. » *Éléments de Thermodynamique* par Charles Fabry (Collection Armand Colin).

COMPTES RENDUS DES SÉANCES PUBLIQUES

SÉANCE PUBLIQUE DU 30 MARS 1950

Allocution de M. Louis PINEAU, président.

Les titres et travaux de M. Champetier sont très connus ici. Qu'il me suffise de rappeler que M. Champetier a reçu le Prix Bardy au titre de 1946, et qu'il a fait, le 20 novembre 1947, la VII^e Conférence Bardy.

Actuellement M. Champetier est Professeur à la Sorbonne et Directeur des Études à l'École Supérieure de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.

Voir page 137 le texte de la Conférence :

Les Silicones

par M. Georges CHAMPETIER,
*Professeur à la Faculté des Sciences,
Directeur des Études à l'École Supérieure de Physique et de Chimie industrielles
de la Ville de Paris.*

Liste des nouveaux membres présentés à la séance du 30 mars 1950.

M. Gaston GOURDEAU, Ingénieur, 26 rue d'Artois, Paris (VIII^e), présenté par M. Louis Pineau.

COMPAGNIE FRANÇAISE DE CHAUFFAGE URBAIN (Société d'Études), 14 rue Lincoln,

Paris (VIII^e), présentée par M. Louis Pineau.

SOCIÉTÉ GÉOPHYSIQUE DE RECHERCHES MINIÈRES, 6 rue de La Rochefoucauld, Paris (IX^e), présentée par MM. Louis Pineau et Raymond Maillet.

Souscription pour publications.

M. G. Hugel.
M. Lefauchaux.
M. Hackspill.
Centre d'information de l'alcool carburant.
Minerais et métaux.
MM. Desmarais Frères.
M. Métral.
M. Beau.
M. Tharlet.
M. Meker.
Éts Sautter Harlé.
M. Lemaignen.

M. Gallienne.
MM. F. Bapterosses et Cie.
M. Ramas.
M. de Fleury.
M. Dautry.
M. Girschig.
M. Radiguez.
M. Goudet.
M. François Gall.
Société alsacienne d'explosifs.
M. Louis Pineau.

SÉANCE PUBLIQUE DU 20 AVRIL 1950

XV^e Conférence Carrion.

Allocution de M. Louis PINEAU, président.

Mesdames, Messieurs, mes chers Collègues,

Si, chaque année, la Conférence Carrion est un sujet de fierté pour notre Société, elle doit être également l'occasion d'affirmer une dette de reconnaissance.

Aussi exprimerai-je tout d'abord nos respectueux remerciements à Madame Carrion qui veut bien honorer de sa présence cette Conférence instituée en l'honneur de son regretté mari.

La Conférence d'aujourd'hui est la quinzième de la série de nos Conférences Carrion sur des sujets de biologie.

Je n'insisterai pas sur la valeur et l'éclat de ces Conférences. Il me suffira de citer les noms des Conférenciers successifs : MM. Cuny, Auguste Lumière, Levaditi, Javillier, Tréfouël, Lecomte du Noüy, Pierre Lépine, Lacassagne, Janot, Garsaux, Binet, Jean Bretey, Mollaret, Martin, et de rappeler que notre éminent Collègue M. Tréfouël, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, a été l'organisateur de la plupart d'entre elles.

La Conférence du Docteur Duché se situe cependant dans un domaine un peu différent de celui des Conférences précédentes. Son sujet, la biologie des Sols dans les régions tropicales, la rattache au Congrès-exposition organisé à l'automne dernier par la Société des Ingénieurs de la France d'Outre-Mer que préside notre Collègue M. Jules Ramas. Comme on sait, notre Société avait tenu à s'associer à cette manifestation avec la belle Conférence de M. Blondel sur l'Afrique du Nord.

Au cours du Congrès, M. le Docteur Duché fit une communication très remarquée, et je ne doute pas que sa Conférence d'aujourd'hui ne soit suivie avec le même intérêt.

Je n'entreprendrai pas de présenter le Docteur Duché, ni d'évoquer les questions complexes de cette science peu connue du

grand public qu'est la biologie des sols ou *pédobiologie*.

Les nombreux titres scientifiques de M. Jacques Duché, Ingénieur E. P. C. I., Docteur en Médecine, Docteur ès-Sciences, Maître de Recherches au C. N. R. S., Chef de laboratoire de la Faculté de Médecine, montrent d'ailleurs qu'il est qualifié pour aborder ces problèmes sous les angles les plus divers.

D'autre part, il a lui-même exposé dans un livre récent ce qu'est la biologie des sols et quelles sont ses diverses tâches : Inventorier les organismes du sol, voir comment ils agissent les uns sur les autres, sur les matières minérales, sur les matières organiques, enfin, s'élevant de l'étude des actions parcellaires à celle de l'action ensemble, étudier l'évolution des sols et chercher à déterminer dans quelle mesure l'homme peut agir sur cette évolution et quelle est l'efficacité de son action.

Je me contenterai de souligner combien un semblable exposé, qui relève en apparence d'un domaine de la science un peu éloigné de nos préoccupations habituelles, est au contraire à sa place dans une Société vouée à l'Industrie Nationale.

En effet, l'avenir de l'économie dans toute une partie de l'Union Française est lié à la question des sols, question qui prend des aspects souvent extrêmement graves.

Notre Société a consacré de nombreuses Conférences à la mise en valeur des territoires d'Outre-Mer, et nous savons qu'ici la science biologique rejoint les problèmes agricoles et industriels qui retiennent notre attention.

La venue du Docteur Duché parmi nous ce soir n'est donc pas seulement une belle affirmation de l'unité de la science; elle nous apportera aussi, j'en suis sûr, une précieuse contribution à l'enquête générale que nous poursuivons sur ces questions essentielles.

Je donne la parole au Docteur Duché,

Biologie des sols dans les Régions tropicales

par M. Jacques DUCHÉ,

*Ingénieur E. P. C. I., Docteur en Médecine, Docteur ès Sciences,
Maître de Recherches au C. N. R. S.,
Chef de Laboratoire de la Faculté de Médecine à l'Hôpital Saint-Louis.*

Résumé de la Conférence.

La Biologie des Sols ou Pédobiologie est la science des interactions des organismes du sol entre eux et avec les matériaux minéraux et organiques qui y sont contenus.

Les organismes du sol appartiennent à tous les embranchements du monde vivant, on ne peut en excepter que les poissons et les oiseaux. Les virus, les bactéries, les champignons, les algues, les racines de phanérogames pour le monde végétal, les protozoaires, les rotifères, les vers, les crustacés, les insectes, les mammifères ont des représentants dans le sol.

L'une des premières tâches du biologiste des sols est d'identifier ces organismes, de les numérer et d'en évaluer le mode de répartition. Cette première tâche est déjà difficile à cause des incertitudes de la systématique surtout en ce qui concerne les microorganismes, virus, bactéries, champignons, protozoaires. La numération est pratiquement impossible pour les organismes qui se bouturent facilement ou qui se reproduisent très vite. Malgré ces incertitudes nous commençons à entrevoir d'une façon assez précise le rôle joué par chaque groupe d'organismes dans les métabolismes des sols.

Les organismes du sol pourraient vivre en simple juxtaposition sans s'influencer les uns les autres. En fait, nous n'observons jamais de juxtaposition, les êtres vivants luttent toujours pour occuper le plus grand espace possible lorsque les circonstances leur sont favorables.

Les organismes peuvent s'entr'aider — c'est la symbiose — ou s'entre-détruire. L'une des formes de cette destruction est le parasitisme. Symbiose et parasitisme sont deux aspects des relations des êtres vivants qu'il est important de connaître eu égard aux conséquences pratiques qui en découlent.

Il y a symbiose entre les bactéries du genre *rhizobium* et les racines des légumineuses. Cette symbiose a pour conséquence la possi-

bilité de développement de ces phanérogames et l'enrichissement des sols en azote.

Il y a encore symbiose entre le mycélium des champignons et les racines de conifères : le développement de ceux-ci est impossible sans la présence de ceux-là.

Il y a bien d'autres exemples de symbioses obligatoires; les travaux des biologistes des sols ont montré que ces associations à bénéfices réciproques étaient un fait constant pour tous les phanérogames cultivés ou sauvages. Une plante est manifestement dans l'impossibilité de réaliser toutes les synthèses des molécules organiques complexes qui entrent dans la composition du protoplasme des cellules de ses différents organes. Il lui faut donc trouver dans le sol des molécules organiques toutes synthétisées ou des enzymes lui permettant de faire elle-même ces synthèses. Or nous constatons, lorsque nous étudions la répartition des bactéries et des champignons dans le sol, que ces microorganismes forment des manchons très denses, étroitement fixés aux racines, alors que leur densité diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne d'elles. Ces microorganismes injectent, dans les poils absorbants, les radicules, les produits résiduels de leurs métabolismes propres, c'est-à-dire enzymes et molécules complexes. Par ailleurs, la plante doit excréter des substances qui jouent le rôle de facteurs de croissance pour certaines espèces de microorganismes expliquant ainsi la forme du manchon, que l'on désigne d'un terme plus savant : la rhizosphère. L'étude des rhizosphères a une importance extrême dans la compréhension du développement des plantes cultivées et leur amélioration.

Les faits de parasitisme sont bien connus. Les virus parasitent les bactéries, la fatigue des luzernières en est un exemple. Ils parasitent les racines de phanérogames. Les bactéries et les champignons sont aussi des parasites redoutables. Il y en a de nombreux

exemples. La culture d'une plante saine dans un sol vierge ne le met pas à l'abri des maladies parasitaires. Un microorganisme saprophyte inoffensif peut très bien devenir virulent.

La virulence d'un microorganisme est l'une de ses propriétés biochimiques; elle peut très bien être modifiée par une modification des conditions de vie, en particulier par les excréments d'un microorganisme voisin. L'exemple classique est celui de la galle de la pomme de terre, déterminée par le *Streptomyces scabies* inhibé par le *Streptomyces praecox*.

Un autre aspect de ces réactions entre microorganismes est leur destruction réciproque. Les protozoaires consomment les bactéries. On en avait déduit une théorie de l'infertilité des terres proportionnelle au nombre des protozoaires. Cette théorie s'est avérée inexacte. A cause de leur puissance de multiplication, les bactéries non détruites se reproduisent activement et les cellules jeunes ont un pouvoir métabolique intensifié qui compense leur déficience numérique.

Les organismes du sol agissent sur sa composition physique et chimique. Les bactéries et les champignons agissent comme des colloïdes du sol au même titre que les complexes argilo-humiques.

Les solutions minérales sont transformées en complexes organiques; exemple: les nitrates, les roches insolubles, tels les phosphates tricalciques, triferriques, sont solubilisées.

Les molécules organiques complexes sont désintégrées et les fragments utilisés par les phanérogames ou les microorganismes eux-mêmes pour des synthèses. Le résultat final est une réduction à l'état de CO_2 et de NH_3 ou N. Le sol ne conserve de la matière organique que s'il y a un apport exogène naturel: feuilles d'arbres, branches, bois mort, ou artificiel: fumiers, engrais organiques.

Pour qu'un sol se conserve, il faut qu'il y ait, au-dessus, de la végétation; pour qu'il soit fertile, il doit contenir des molécules organiques très diverses, il faut donc une intense activité métabolique des microorganismes, c'est-à-dire que ceux-ci soient nombreux, variés et dans des conditions de température et d'humidité favorables.

Envisageons le cas des sols tropicaux.

Dans la forêt vierge, la température et

l'humidité du sol sont telles que les métabolismes des microorganismes y sont très actifs. Ils mettent rapidement à la disposition des plantes les éléments organiques dont elles ont besoin. Mais à cause de cette rapidité d'évolution, les molécules organiques non utilisées évoluent très vite vers la forme finale CO_2 et NH_3 — N. Le sol a donc tendance à disparaître mais, par suite de la végétation luxuriante, une partie de ces matériaux lui revient sous forme de débris végétaux, matériaux enrichis des hydrates de carbone synthétisés par les plantes vertes. Si on diminue cet apport exogène, le métabolisme microbien se poursuivant pendant un certain temps, le sol disparaît, se minéralise, se transforme en latérite. C'est ce qui se produit lorsque la forêt est détruite. Aux phénomènes de désagrégation bactérienne s'ajoute d'ailleurs les phénomènes d'érosion, par le vent, par l'eau.

Lorsqu'on défriche la forêt pour faire des cultures, celles-ci, d'abord luxuriantes, si elles sont adaptées au climat, à la composition chimique et biologique du sol, finissent tôt ou tard par dépérir si un apport organique n'est pas fourni au sol, et c'est généralement le cas. Pour les réussir, il faudrait ne défricher que des parcelles incluses dans la forêt, celle-ci protégeant de l'érosion et fournissant les débris végétaux nécessaires. L'inconvénient est un développement spatial des cultures posant des problèmes de transport. Il serait moins onéreux de développer les moyens de transport que de perdre, pour quelques années de culture, les frais de premier établissement, le défrichage en particulier.

La savane se développe sur un sol où les métabolismes sont moins rapides que dans la forêt. Le défrichement des savanes en vue de cultures est moins désastreux de conséquences. Le défrichement ne devrait pas se faire par le feu: cette pratique fait perdre une matière organique précieuse, le carbone à l'état de C n'est pas métabolisable. La guerre a fait inventer des appareils permettant de fouiller le sol à grande profondeur. Leur utilisation dans les savanes serait rationnelle.

Les déserts peuvent être utilisés, ils ne sont pas dépourvus de microorganismes. Dans des oasis, en plein désert, nous trouvons plus de variétés de microorganismes que dans les sols surcultivés de la Métropole. Il faut

irriguer mais cette irrigation est généralement mal faite. Il faut drainer avant d'irriguer, sinon il se forme des sols salés impropres à la culture. Il y a de nombreux exemples : sols de l'Égypte, sols des déserts californiens. Les Russes sont arrivés à d'excellents résultats au Turkestan.

La plupart des déserts ne sont pas aussi « secs » qu'on le croit. Il y a de l'eau en profondeur, il y a des phénomènes de condensation nocturne et sans doute électriques. La végétation « attire » l'eau. Les aviateurs passant au-dessus d'une forêt sentent la fraîcheur.

Sur les tables calcaires dénudées de la Floride, les américains créent des sols en cassant la croûte calcaire, là où elle n'est pas trop épaisse et en plantant des arbres fruitiers. Les résultats sont bons.

Peut-on régénérer ces vastes espaces des régions tropicales transformés en latérites? Cela est possible, mais c'est une œuvre de longue haleine. Il n'existe pas de roches nues qui ne contiennent à la surface quelques microorganismes, donc de la matière organique. Il faut pouvoir l'augmenter par l'apport de végétaux chlorophylliens, d'algues; il y en a qui se développent dans des conditions de sécheresse très grande, les *Protococcus*, des mousses, des lichens, puis des petites plantes, dans nos régions les saxifragées. Les microsols, amorce des sols, doivent être protégés de l'érosion, c'est-à-dire établis sur des surfaces planes et défendues du vent par des murs. Sur les Causses, en France, il y a sol dans les dépressions et le long des murs; s'il ne se développe pas c'est à cause de la destruction de la végétation par les moutons.

L'accroissement de la population du globe est tel que le déficit alimentaire, qui est déjà considérable, deviendra catastrophique. Les générations futures connaîtront des famines terribles qui limiteront l'extension humaine.

Ces famines sont sources de guerre et de révolution. C'est donc un crime que de détruire des sols, c'est un devoir de les étendre.

Le point de vue agricole n'est pas le seul qui soit à envisager en biologie des sols.

Les microorganismes sont de merveilleux laboratoires produisant des substances de grand intérêt industriel ou médical.

Les microorganismes des forêts tropicales n'ont pas encore été assez étudiés, beaucoup d'entre eux pourraient être utilisés à la fabrication de ces nombreuses substances que l'industrie chimique produit à grand peine : acides organiques divers, acide itaconique qui intervient dans la préparation de hauts polymères dont les applications sont de plus en plus nombreuses. L'installation de ces industries dans les régions chaudes et humides « où tout moisit » permettrait des rendements élevés à peu de frais.

Du point de vue médical, une autre industrie en plein développement est celle des substances antagonistes qui ont renouvelé la pathologie infectieuse.

Les microorganismes du sol, pour se défendre et prospérer, excrètent des toxines ou des substances inhibitrices au développement des microorganismes d'autres espèces. La tyrothricine, la pénicilline, la streptomycine, l'auroémicine, la néomycine, la chloromycétine sont les plus connues. Dans l'intense lutte des bactéries et champignons de la forêt tropicale doivent se trouver des organismes à haut pouvoir antibiotique. C'est un domaine encore inexploré.

L'organisation des études de Biologie des sols est malheureusement peu développée dans la Métropole; à peu près inexistante dans les pays tropicaux dépendant de la France.

C'est cependant une Science passionnante susceptible de maintes applications pratiques.

Conclusion par M. Louis PINEAU.

Je remercie notre Collègue M. Vayssière qui a bien voulu être le promoteur de cette Conférence.

M. Duché nous a initiés de façon particulièrement intéressante à la vie interne — action et réaction — des myriades d'orga-

nismes qui peuplent le sol sur lequel nous vivons, de même qu'à l'évolution qu'ils provoquent dans la consistance même de ce sol.

Le pétrolier que j'ai été ne peut manquer d'évoquer à ce sujet les mystères — qui n'en

sont plus guère aujourd'hui — de l'origine du pétrole dans les fonds marins et lagunaires.

J'ai retenu particulièrement, à propos des régions équatoriales et tropicales, ce qu'a dit le Conférencier sur le danger de l'exploitation intensive, danger qui, d'ailleurs, ne s'applique pas qu'à ces régions.

C'est ainsi que M. André Siegfried rappe-

lait récemment que les grands économistes américains, réagissant contre les imprudences dont de vastes territoires ont subi les fâcheux effets, se tournent vers l'ensemble harmonieux de notre civilisation où, depuis des millénaires, on a su maintenir l'équilibre dans la vie des sols dont dépend si étroitement la vie des hommes.

Liste des nouveaux membres présentés à la séance du 20 avril 1950.

M. Joseph LAISSUS, Ingénieur-Docteur, Docteur de l'Université de Paris, Directeur de l'École Technique Supérieure du Laboratoire, 95 rue du Dessous-des-Berges, Paris (XIII^e), présenté par M. Louis Pineau et M. Pierre Chevenard.

M. Jean BOUCHARD, Ingénieur E. C. I. L., Études techniques industrielles, 54, avenue du Bas-Meudon, Issy-les-Moulineaux (Seine), présenté par M. Louis Pineau.

Souscription pour publications.

M. Durieux.
MM. Marrel Frères.
Forges et atelier de la Foulurie.
M. Minvielle.
Ets Klein et Cie.
M. Wolff.
M. Macary.
M. Fieux.
Raffinerie de Pétrole du Nord.
Sté Electro-Cable.
Librairie Hachette.
Sté des Hauts Fourneaux de la Chiers.
M. Moreau.
Société d'Electro-Chimie.
M. Vignerot.
M. Prud'hon.
Sté générale de constructions mécaniques.
M. A. Pérard.
M. A. Rousseau.
Sté de Prospection électrique.
M. Schlumberger.

M. Venot.
M. Jordan.
M. Faucher.
MM. F. et L. Macary.
M. Arnu.
M. F. Eugène.
Aciéries Aubert et Duval.
M. Berry.
M. le Baron Thenard.
M. Guillemot.
Anciens Établiss. Eiffel.
Sucreries Raffineries de Nassandres.
La Bakélite.
M. Magdelénat.
L'Imprégnation.
M. R. Barat.
Crédit du Nord.
M. F. Maillard.
M. M. Lacoïn.
M. P. Massot.

SÉANCE PUBLIQUE DU 4 MAI 1950

Allocution de M. Louis PINEAU, président.

Mesdames, Messieurs,
mes Chers Collègues,

Je veux tout d'abord remercier en votre nom les deux Comités de notre Société qui ont pris conjointement l'initiative de la Conférence d'aujourd'hui : celui des Constructions et Beaux Arts, que préside M. Albert Caquot, membre de l'Institut, et celui des Arts mécaniques, que préside M. l'Ingénieur Général Dumanois.

Je n'insisterai pas sur l'intérêt du sujet traité, au double point de vue scientifique et économique. Mais, puisque la technique de la pompe de chaleur relève de celle du cycle frigorifique, je ne puis manquer de rappeler qu'une importante manifestation, qui va avoir lieu dans quelques semaines, mettra en relief le rôle joué par notre Société dans le développement de cette dernière technique. Il s'agit d'une Exposition intitulée « Hommage à Charles Tellier », qui réunira les souvenirs de ce grand initiateur.

Invités à y participer, nous y apporterons volontiers notre concours. En effet, des recherches auxquelles nous avons procédé dans nos archives, il ressort qu'à maintes reprises notre Société s'est honorée en apportant à Charles Tellier l'encouragement moral et matériel dont il avait besoin pour poursuivre ses travaux. Plusieurs documents qui en font foi figurent dans notre Bulletin depuis 1859 jusqu'à 1904.

Les numéros les plus intéressants, notamment ceux de 1875 et de 1895, seront exposés sous vitrine accompagnés de la photocopie

des textes, et, le cas échéant, de commentaires.

S'il nous est agréable, en rendant à Tellier un hommage posthume, de penser que nos devanciers de la Société d'encouragement ont su l'honorer et l'aider de son vivant, la séance d'aujourd'hui atteste que nous entendons rester fidèles à cette tradition en nous préoccupant des suites de son œuvre.

La pompe de chaleur ouvre, certes, de séduisantes perspectives. Mais les architectes et les entrepreneurs de chauffage et de conditionnement, aussi bien que les ingénieurs et les industriels, ont le légitime désir de connaître les conclusions que l'on peut tirer d'un examen soigneux de toutes les données du problème, et notamment de ses conditions pratiques.

Nos conférenciers d'aujourd'hui sont hautement qualifiés pour répondre à cette question.

Vous connaissez tous de longue date la compétence et la scrupuleuse objectivité de notre collègue M. Paul Dubertret. Ceux d'entre nous qui l'ont entendu ici, il y a deux ans, parler des turbines à combustion, savent combien ses exposés sont attachants et documentés.

Vous savez aussi que M. Desplanches, éminent spécialiste du conditionnement d'air, a publié de nombreuses études dans la revue « Chauffage — Ventilation — Conditionnement » et qu'il a fait d'intéressantes communications aux Congrès de Chauffage en 1937 et 1947.

* * *

Conférences :

1^o **La pompe de chaleur**, par M. Paul DUBERTRET, *Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur en chef honoraire de la Compagnie Electro-Mécanique.*

(Voir page 149 le texte de cette Conférence.)

2^o **L'emploi de la pompe de chaleur dans les installations de conditionnement d'air**, par M. André DESPLANCHES, *Ingénieur des Arts et Métiers, Président de l'Association des Ingénieurs de Chauffage et de Ventilation de France,*

Résumé de la Conférence de M. DESPLANCHES.

On sait que la pompe de chaleur emploie les calories qui sont produites dans le cycle frigorifique et ce avec un rendement relativement élevé, qui varie de 3 à 5 par rapport au chauffage électrique par résistance.

Somme toute, alors que, dans une installation frigorifique ordinaire, on utilise le froid et on se débarrasse de la chaleur, le principe de la pompe de chaleur consiste au contraire à se débarrasser du froid et à utiliser les calories.

Il vient naturellement à l'esprit que, si une installation a besoin simultanément de froid et de chaud, on a à sa disposition, par l'emploi d'un simple compresseur, ces sources de chaleur et de froid.

Or, le conditionnement d'air est précisément une installation où, pour obtenir un réglage de la température et de l'humidité,

il est absolument nécessaire de disposer de ces deux sources.

Il est possible que des installations visant uniquement le confort humain soient réalisées sans trop de précision en utilisant des procédés de by-pass, et donnent des résultats satisfaisants. Mais ces procédés ne peuvent s'appliquer aux installations industrielles demandant un réglage précis, et parmi celles-ci, aux chambres d'essais climatiques devant reproduire des conditions bien déterminées de température et d'humidité et exigeant simultanément la présence de chaleur et de froid.

Dans ce cas, le cycle par pompe de chaleur permet des installations simples à rendement élevé.

De nombreuses installations de ce genre ont été exécutées et donnent entière satisfaction.

* * *

Liste des nouveaux membres présentés à la séance du 4 mai 1950.

M. Léon HARMANT, Ingénieur, Directeur Général de l'Union de Travaux et d'Entreprises, 5 square Maurice-Barrès, Neuilly-sur-Seine, présenté par M. Louis Pineau.

UNION DE TRAVAUX ET D'ENTREPRISES (Entreprise de Travaux Publics), 9, rue Sextius-Michel, Paris (XV^e), présentée par M. Louis Pineau.

* * *

Souscription générale.

Caisse de Crédit agricole.

M. J. Pascal.

* * *

Souscription pour publications.

M. Castro.
M. Blondeau.
Société Bernard-Moteurs.
M. G. Baume.
M. Thile.

Cie Méridionale des Pétroles.
M. G. Cudey.
M. E. Joumier.
Sté des Tubes de Valenciennes et de Denain,
M. Martelli-Chautard.

SÉANCE PUBLIQUE DU 25 MAI 1950

en présence de **M. Claudius PETIT,**
Ministre de la Reconstruction et de l'Urbanisme.

Allocution de M. Louis PINEAU.

J'ai le regret de faire part du décès de M. Raoul Lequeux, ancien membre du Comité des Arts Economiques, fils de M. Paul Lequeux qui avait déjà été membre de notre Conseil.

Ingénieur des Arts et Manufactures, notre regretté Collègue avait dirigé une maison de construction d'appareils, destinés notamment à la désinfection, à la stérilisation et à la fabrication pharmaceutique, maison dont les travaux ont toujours fait honneur à cette branche de l'Industrie française.

* * *

Ainsi que je l'avais annoncé lors de la dernière séance, la Société a participé à l'Exposition de « L'Hommage à Charles Tellier », par l'envoi de documents, extraits de la collection de ses anciens Bulletins. Ces documents attestent l'aide et les encouragements qu'elle accorda de son vivant au grand initiateur du Froid industriel. La Société a été également représentée aux cérémonies organisées à cette occasion par l'Association française du Froid et les autres groupements spécialisés.

* * *

J'ai le plaisir d'annoncer que notre Collègue, M. André Percire, dont vous connaissez l'attachement à l'œuvre de notre Société, vient de mettre à la disposition de notre Conseil une somme de 25 000 frs pour les besoins de la Commémoration du 150^e anniversaire de la Fondation, inaugurant ainsi la souscription qu'il y aura lieu d'ouvrir à cet effet.

Je suis sûr d'être votre interprète en rendant un reconnaissant hommage à ce geste généreux.

Monsieur le Ministre,

Le fait que vous vouliez bien honorer notre Séance d'aujourd'hui atteste votre souci de voir l'opinion exactement informée sur les problèmes, d'importance vitale, qui relèvent de votre haute Mission.

Nous serons particulièrement heureux si cette tribune libre de l'Industrie française, qu'est, depuis un siècle et demi, la Société d'Encouragement, vous apporte à cet effet un utile concours.

Nous n'oublions pas toutefois que les exigences de vos lourdes tâches vous laissent peu de loisir et c'est avec une gratitude d'autant plus vive que nous vous remercions pour la marque d'intérêt que vous avez bien voulu nous accorder et dont nous ressentons tout le privilège.

Laissez-moi, Monsieur le Ministre, saisir l'occasion que nous offre votre présence pour vous dire que nous connaissons et savons apprécier votre Œuvre à la tête de la Reconstruction française.

Nous admirons déjà en vous l'une des plus nobles figures de la Résistance, en même temps que l'une des plus discrètes.

Depuis que vous avez pris en main votre Ministère, nous avons pu constater le caractère pratique et l'efficacité immédiate de votre haute impulsion.

La Société d'Encouragement se devait, par sa vocation, d'y apporter sa contribution.

**Allocution de M. Claudius PETIT,
Ministre de la Reconstruction et de l'Urbanisme.**

Le Ministre rappelle pourquoi il était particulièrement intéressant de situer à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale un exposé sur le coût de la construction.

Le Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme, s'efforce en effet de réduire l'intervalle entre ces deux termes : le loyer *nécessaire* et le loyer *possible*, à l'heure actuelle

très éloignés l'un de l'autre. Or, pour les rapprocher, il est indispensable de faire l'organisation des activités du Bâtiment, comme a été faite naguère celle de l'Industrie.

Il y a même lieu de penser que le Bâtiment pourrait devenir l'Industrie Nationale par excellence.

Présentation de la Conférence par M. Louis PINEAU.

Mesdames, Messieurs,
mes Chers Collègues,

Parmi les activités industrielles, celles du bâtiment se caractérisent par leurs liens étroits avec le domaine social, puisque leur but principal, le logement, n'est pas seulement, comme on l'a dit, une « machine à habiter » : il est aussi le sanctuaire familial, garant de la vie intérieure et de la dignité pour l'individu et cellule fondamentale de la Nation.

Ce double aspect, technique, d'une part, économique et social de l'autre, nous l'avons déjà envisagé ici. Sans remonter bien haut, tandis que notre Comité des Constructions organisait en 1945 un Cycle de brillantes Conférences sur le problème de l'habitation au point de vue industriel, cycle auquel participèrent MM. Albert Caquot, André Nessi, Marcel Lods, André Marini et Jean Kerisel, notre Comité des Arts Economiques (Questions sociales et travail) rendait hommage, de son côté, à un effort généreux venu s'inscrire dans la législation, en récompensant de la Médaille Bapst M. Kula, initiateur de l'allocation logement.

Aujourd'hui, c'est le cœur même du problème de la Construction qui va être abordé, puisque le sujet traité — le coût de cette construction — se place au point de ren-

contre des données techniques et industrielles

et des nécessités économiques et sociales. Avant de donner la parole à l'éminent Conférencier de ce soir, je ne saurais manquer de remercier très chaleureusement notre Collègue, M. Albert Caquot, Membre de l'Institut, et celui de nos Comités organisateur de cette Conférence pour le choix de ce thème dont l'importance et la brûlante actualité n'échappent à personne.

La qualité même de M. Marcel Gosselin, qui est Chef du Service des Études au Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme, me dispense de souligner combien il est qualifié pour traiter un tel sujet.

Tous les milieux qui approchent la Reconstruction savent d'ailleurs que M. Gosselin, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, qui fut Directeur des Travaux publics de Tunisie, puis Délégué départemental du Ministre dans le département du Calvados avant d'être appelé à la Direction de la Reconstruction, exerce, à l'heure actuelle, des fonctions qui sont parmi les plus lourdes qui puissent être dévolues à un haut fonctionnaire français. Qu'il me soit simplement permis de lui dire combien nous lui sommes reconnaissants d'avoir bien voulu nous faire bénéficier ce soir des précieux enseignements de sa vaste expérience.

Je donne la parole à M. Gosselin.

* * *

Coût actuel de la construction et perspectives d'avenir, par M. Marcel GOSSELIN. *Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Chef du Service des Études au Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme.*

Résumé de la Conférence.

L'abaissement du coût de la construction des habitations est un problème à l'ordre du jour dans tous les pays en raison de son importance économique et sociale.

Le coût de la construction dépend de nombreux facteurs et il importe de le définir d'une façon précise pour permettre des comparaisons valables; le Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme a déterminé notamment les prix par mètre carré de surface hors œuvre pondérée et par mètre carré de surface utile d'un grand nombre de logements construits depuis 1947 jusqu'à 1950, soit au titre de la reconstruction, soit au titre des H. B. M., soit à titre expérimental par l'État. Ces prix, ramenés à une même base (Seine, valeur janvier 1950), varient suivant une gamme assez large; l'appartement de 4 pièces, catégorie 3 A de la loi des loyers, en bonne construction traditionnelle, coûte en moyenne 1 800 000 frs, auxquels il faut ajouter environ 20 p. 100

pour le terrain, les honoraires et autres frais.

Ce prix peut être abaissé notablement par une étude très poussée des matériaux et procédés de construction comme l'ont montré les résultats du concours récemment jugé par le Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme.

Le prix de la construction a déjà baissé nettement depuis 1945 par rapport au niveau général des prix. Cette baisse peut se poursuivre dans l'avenir grâce à une action intéressante à la fois le programme du logement et les normes dimensionnelles de l'habitat, le parti architectural, l'industrialisation du bâtiment, le progrès technique dans le domaine des matériaux et des procédés de construction, l'organisation des chantiers, grâce aussi à la construction collective par les groupements de propriétaires et à l'accroissement de l'activité constructive, véritable clé de l'abaissement du coût des logements.

COMPTES RENDUS DE COMITÉS

COMITÉ D'AGRICULTURE

SÉANCE DU 10 NOVEMBRE 1950

Communication de M. CRAMOIS, sur :

La situation actuelle de la Trésorerie des exploitations agricoles.

M. Cramois signale les difficultés de trésorerie que connaissent actuellement les agriculteurs. Elles sont, à son avis, la conséquence directe de l'ouverture excessive du « ciseau » des prix.

D'une part, en effet, les rentrées d'argent des cultivateurs suivent la ligne, à peine relevée sur l'horizontale, de la branche inférieure du ciseau tandis que les dépenses de main-d'œuvre et de règlement des produits nécessaires à l'exploitation obéissent à la plus forte inclinaison de la branche supérieure.

Les premières conséquences de cette situation ont été la réduction des disponibilités et l'accroissement des besoins de crédit.

Si, de 1920 à 1933, l'épargne paysanne a encore fourni des capitaux appréciables pour l'équipement industriel, au cours de ces toutes dernières années l'inflation n'a pas permis à l'Agriculture de s'équiper au moyen des disponibilités qu'elle se trouvait avoir en 1944.

Le rôle du crédit agricole en matière d'épargne est important car il a toujours cherché des ressources dans l'épargne rurale pour alimenter ses opérations. Le solde des dépôts dans les Caisses de Crédit agricole, qui n'atteignait que 1 639 millions au

31 décembre 1938, est passé à 12 173 millions à la fin de 1944 pour atteindre maintenant 89 milliards.

La progression des opérations de prêts réalisées par les institutions de Crédit agricole mutuel au cours des dernières années souligne, d'autre part, l'ampleur des besoins de crédit de l'Agriculture.

Le solde des prêts en cours dans les Caisses de Crédit agricole mutuel, qui était, fin 1938, de 3 783 millions pour le court terme, de 617 millions pour le moyen terme et de 1 315 millions pour le long terme, est passé successivement, pour ces différentes catégories, à 5 086 millions, 2 871 millions et 1 538 millions en 1945 et à 77 257 millions, 29 539 millions et 11 978 millions au 30 juin 1950. Ce qui, pour l'ensemble des opérations, fait apparaître une augmentation de l'endettement de l'ordre de 115 milliards de 1938 à 1950.

La progression des crédits demandés, qui traduit l'étroitesse des trésoreries paysannes, et la compression des achats d'engrais, de semences et de machines, qui met à son tour en péril la trésorerie des fournisseurs et des constructeurs, sont des indices qui ne peuvent tromper sur la véritable situation de l'Agriculture.

INDEX DES NOMS D'AUTEURS
contenus dans l'Année 1950 de l'Industrie Nationale.

I

INDEX ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS D'ARTICLES,
CONFÉRENCES ET MÉMOIRES PUBLIÉS PENDANT L'ANNÉE 1950

MM.	Pages.
BARBOTIN (R.). — Le contrôle radiographique dans l'Industrie	105
BÉNARD (J.). — Une perspective nouvelle en chimie minérale : les combinaisons à composition variable.	15
BLONDEL (F.). — Le développement économique de l'Afrique du Nord.	1
CHAMPETIER (G.). — Les silicones.	137
DUBERTRET (P.). — La pompe de chaleur	149
GUINIER (A.). — Les méthodes et le rôle de l'analyse radiocristallographique dans les laboratoires industriels	121
HAISSINSKY (M.). — Les indicateurs radioactifs en chimie minérale et leurs applications industrielles.	37
MOREL (F.). — Les indicateurs radioactifs en biologie et leurs applications médicales	51
PRAUT (L.). — Les propriétaires fonciers et le statut du fermage et du métayage.	69
VIAUT (A.). — Les moyens dont dispose la Météorologie française. Ceux qu'il lui faudrait	85

II

INDEX ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS D'OUVRAGES
OU DE CONFÉRENCES AYANT FAIT L'OBJET DE COMPTES RENDUS

MM.		Pages.
BARAT (R.) et ANDROUIN (J.). — Cours de technologie d'atelier. Le forgeage et le travail des métaux en feuilles	Ouvrage	66
DESPLANCHES (A.). — L'emploi de la pompe de chaleur dans les installations de conditionnement d'air.	Conférence	173
DUCHÉ (J.). — Biologie des sols dans les régions tropicales.	—	168
GOSSELIN (M.). — Coût actuel de la construction et perspectives d'avenir	—	176
GRANET (A.). — Décors éphémères	Ouvrage	35
NORDLING (R.). — La Suède, pays de la liberté organisée	Conférence	125
THIBAUD (J.). — Puissance de l'atome.	Ouvrage	36

TABLE DES MATIÈRES

(Année 1950)

1°

Articles, Conférences et Mémoires.

	Pages.
LE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE DE L'AFRIQUE DU NORD, par M. F. Blondel.	1
Une perspective nouvelle en chimie minérale : LES COMBINAISONS A COMPOSITION VARIABLE, par M. J. Bénard.	15
LES INDICATEURS RADIOACTIFS EN CHIMIE MINÉRALE ET LEURS APPLICATIONS INDUSTRIELLES, par M. M. Haïssinsky	37
LES INDICATEURS RADIOACTIFS EN BIOLOGIE ET LEURS APPLICATIONS MÉDICALES, par M. F. Morel . .	51
LES PROPRIÉTAIRES FONCIERS ET LE STATUT DU FERMAGE ET DU MÉTAYAGE, par M. L. Prault. . . .	69
LES MOYENS DONT DISPOSE LA MÉTÉOROLOGIE FRANÇAISE. CEUX QU'IL LUI FAUDRAIT, par M. A. Viaut..	85
LE CONTRÔLE RADIOGRAPHIQUE DANS L'INDUSTRIE, par M. Robert Barbotin	105
LES MÉTHODES ET LE RÔLE DE L'ANALYSE RADIOCRISTALLOGRAPHIQUE DANS LES LABORATOIRES INDUSTRIELS, par M. André Guinier.	121
LES SILICONES, par M. G. Champetier.	137
LA POMPE DE CHALEUR, par M. Paul Dubertret.	149

2°

Comptes Rendus des Séances publiques de la Société d'Encouragement.

Séances du 6 octobre 1949 et du 3 novembre 1949 (<i>Conf. Blondel, Bénard</i>)	25 à 29
Séances du 17 novembre 1949 et du 1 ^{er} décembre 1949 (<i>Conf. Haïssinsky, Morel</i>)	61 à 63
Séances du 15 décembre 1949 et du 19 janvier 1950 (<i>Conf. Prault, Viaut</i>)	101 à 103
Séances du 9 février 1950 au 16 mars 1950 (<i>Conf. Barbotin, Nordling, Guinier, Pomey</i>)	123 à 129
Séances du 30 mars 1950 au 25 mai 1950.	166 à 176

3°

Comptes Rendus des Réunions de Comités.

Section de la France d'Outre-Mer (Séance du 4 janvier 1950). Comm. M. Blondel : <i>La Conférence scientifique des Nations Unies sur la conservation et l'utilisation des ressources naturelles</i> (U. N. S. C. C. U. R.)	29
Section de la France d'Outre-Mer (Séance du 8 mars 1950). Comm. M. Martelli-Chautard : <i>L'Utilisation des bois tropicaux en papeterie</i>	130
Comité d'Agriculture (Séance du 10 novembre 1950). Comm. M. Cramois : <i>La situation actuelle de la Trésorerie des exploitations agricoles</i>	177

4°

Divers

Assemblées Générales du 2 juin 1949 et du 22 décembre 1949	31-64
Bibliographie.	35-66
Nécrologie (M. René Oppenheim).	64
— (M. Georges Hersent)	135
Congrès-Exposition des Ingénieurs pour la France d'Outre-Mer.	67
Vœux émis par la Société :	
1° concernant le développement de la Météorologie nationale.	132
2° concernant la force boulangère des blés.	133
Index.	178

Le Président de la Société, Directeur Gérant : A. CAQUOT.

D. P. n° 10803.

Imprimé en France chez BRODARD ET TAUPIN, Coulommiers-Paris. — 5-1951.

C^{ie} DE FIVES-LILLE

POUR CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES ET ENTREPRISES
Société Anonyme au capital de Un Milliard de Francs
7, Rue Montalivet, PARIS (8^e).

Tél. : ANJ. 22-01 et 32-40.

R. C. Seine 75 707.

•
INSTALLATIONS COMPLÈTES
DE SUCRERIES - RAFFINERIES - DISTILLERIES
•
MATÉRIEL ÉLECTRIQUE DE TOUTES PUISSANCES POUR
CENTRALES THERMIQUES ET HYDRAULIQUES
•
CHAUDIÈRES MULTITUBULAIRES " STIRLING "
•
PONTS ET CHARPENTES MÉTALLIQUES

MANUFACTURE NATIONALE DE CRAYONS
BAIGNOL & FARJON

BAIGNOL & FARJON

CRAYONS
PLUMES
P. PLUMES
P. MINES
GOMMES
PUNAISES

GILBERT & BLANZY-POURE

GB
1836

468

4^{bis} — B.

DUNLOP FORT

EXTRA RENFORCÉ

pour aller

VITE

pour aller

LOIN



P.P.P. 242

Compagnie Générale de GEOPHYSIQUE

Application des procédés tellurique,
électriques, sismiques, gravimétrique
aux recherches pétrolières, minières,
travaux de Génie Civil.

48, B^d de Latour-Maubourg, PARIS (7^e)

Téléphone : INVALIDES 46-24

H.G.D.

HUILES, GOUDRONS & DÉRIVÉS

Service Commercial :
10, rue Alfred-de-Vigny
Tél. Wagram 63-21 à 25

S. A. au Capital de 570.000.000 de francs
Siège Social : 10, rue Alfred-de-Vigny
PARIS (8^e)

Usines à Vendin-le-Vieil (P.-de-C.)
Jouy-aux-Arches (Moselle)
Saint-Fons (Rhône)

MATIÈRES PREMIÈRES pour l'Industrie Organique de Synthèse, l'Industrie des Couleurs et Vernis et les Industries diverses

GOUDRONS et dérivés
BRAIS DE HOUILLE
HUILES de houille 1^{re} types
NAPHTALINE brute et pure
ANTHRACÈNE brut et pur
PHÉNOLS et Crésols purs
MÉTACRÉSOL
PARACRÉSOL
FORMOL
MÉTHYLCYCLOHEXANOL

CYCLOHEXANOL
HEXA-MÉTHYLBENZOTRIMINE
TRIOXYMÉTHYLÈNE
PHTALATES tous types
BENZOLS techniques et purs
LIANTS pour peinture
CARBONILEUM
CRÉSYL
GÉDANTHROL
VERNIS noir et incolore

MATIÈRES PREMIÈRES pour l'Industrie des matières plastiques et MATIÈRES PLASTIQUES

ANHYDRIDE phtalique
FORMOL - PHÉNOL
CRÉSOLS - XYLÉNOLS
PLASTIFIANTS
RÉSINES de coumarone
RÉSINES GÉDÉLITE

RÉSINES Synthétiques
(diverses)
GEDOSOL
(100% phénolique)
GEDOPALS (oléo-solubles)

POUDRES A MOULER

" GÉDÉLITE " thermo durcissable

PRODUITS pour l'Industrie Pharmaceutique et la Parfumerie

CHLORURE DE BENZYLE
CHLORURE DE BENZOYLE
ACIDES BENZOÏQUES
BENZOATE DE SOUDE
BENZONAPHTOL

BENZALDÉHYDE
ALCOOL BENZYLIQUE
BENZOATE DE BENZYLE
PEROXYDE DE BENZOYLE
ACÉTATE DE BENZYLE



La C. I. M. assure au Havre la réception des hydrocarbures à destination de la Région Parisienne et plus particulièrement la desserte des Raffineries de la Basse-Seine.

Bassins accessibles aux plus grands navires pétroliers avec stockage disponible prévu à un minimum de 200.000 m³

Distribution assurée dans la Région Parisienne par un dépôt spécialisé à Gennevilliers (40.000 m³)

COMPAGNIE INDUSTRIELLE MARITIME

Concessionnaire du Port Autonome du Havre

36, rue de Liège

PARIS

EUROPE 44-30

29, rue de Berri
• PARIS (VIII^e) •

Tél. : BALzac 16.50
— (8 lignes) —



CITERNA

TRANSPORTS RAPIDES DE COMBUSTIBLES LIQUIDES
===== PAR BATEAUX-CITERNES AUTOMOTEURS

APPAREILS DE LABORATOIRE
ET MACHINES INDUSTRIELLES

P. CHEVENARD

- pour l'analyse dilatométrique et thermomagnétique des matériaux;
- pour l'enregistrement de la force thermoélectrique et de la résistivité des alliages en fonction de la température;
- pour l'essai mécanique et micromécanique des métaux à froid et à chaud;
Essais de traction, de flexion, de compression, de dureté;
Essais de fluage (Traction-Relaxation);
Essais de torsion continue et de torsion alternée;
Essais de choc. - Étude du frottement interne;
- pour l'étude des réactions chimiques par la méthode de la pesée continue;
- pour la mesure des températures et le réglage thermostatique des fours.



SOCIÉTÉ ANONYME DE
COMMENTRY-FOURCHAMBAULT et DECAZEVILLE
84, Rue de Lille — PARIS (7^e)

CHANTIERS NAVALS DE LA PALLICE

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE FR. 185.000.000

29, RUE GALILÉE, PARIS 16^e Tél. KLE 81-90

RÉPARATIONS DE NAVIRES

DEUX CALES SÈCHES : 107 ET 176 M.

CONSTRUCTIONS NAVALES

MÉCANIQUE - FORGE - FONDERIE

CHAUDRONNERIE GÉNÉRALE

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES CONSTRUCTIONS

BABCOCK & WILCOX

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 259.200.000 FRANCS

SIÈGE SOCIAL : 48, rue La Boétie, 48

PARIS (8^e) Téléphone : ÉLYSÉES 89-50

U S I N E S :

La Courneuve (Seine)

Cherbourg (Manche)

CHAUDIÈRES à VAPEUR - GROSSE CHAUDRONNERIE
RIVÉE ET SOUDÉE - MATÉRIELS POUR
RAFFINERIES DE PÉTROLE ET SUCRERIES

PROGIL

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 800.000.000 DE FRs

10, QUAI DE SERIN - LYON

77, RUE DE MIROMESNIL - PARIS

PRODUITS CHIMIQUES INDUSTRIELS

CHLORE-SOUDE-EXTRAIT DE JAVEL - CHLORURE DE CHAUX-HYDROGÈNE

SOLVANTS CHLORÉS : MONOCHLOROBENZÈNE - ORTHODICHLOROBENZÈNE - DICHLORÉTHANE - TRICHLORÉTHANE

SOLVANTS HYDROGÉNÉS ET DESHYDROGÉNÉS : TÉTRAHYDRONAPHTALÈNE - DÉCAHYDRONAPHTALÈNE - CYCLOHEXANOL - MÉTHYL-CYCLOHEXANOL - DIMÉTHYLCYCLOHEXANOL - CYCLOHEXANONE - MÉTHYLCYCLOHEXANONE

SOLVANT SPÉCIAL : TÉRÉGIL

PHOSPHATES DE SOUDE : MONO, DI ET TRISODIQUE, ANHYDRES ET CRISTALLISÉS - PYROPHOSPHATES DE SOUDE - MÉTAPHOSPHATES ET POLYPHOSPHATES

PRODUITS CHIMIQUES DIVERS : SULFURE DE CARBONE - SILICATES DE SOUDE - MÉTASILICATES - SILICATE DE POTASSE - SELS DE FUSION POUR FROMAGES - LESSIVES POUR LE LAVAGE DU LINGE - SPÉCIALITÉS "PROGICLAIR" POUR LE NETTOYAGE DE LA VERRERIE, DU MATÉRIEL LAITIÉ ET DES MÉTAUX - PARADICHLOROBENZÈNE - TÉTRACHLORONAPHTALÈNE - PLASTIFIANTS "PHENOCLORS" - CIRE CHLORÉES - CIRE ET BRAIS CHLORÉS IGNIFUGES - DIELECTIQUES "PYRALÈNES"

SELS MÉTALLIQUES : OXYDE D'ÉTAIN - BICHLORURE D'ÉTAIN - PROTOCHLORURE D'ÉTAIN - CHLORURE DE ZINC - ACÉTATE DE PLOMB

ACIDES ET SELS ORGANIQUES : ACIDE FORMIQUE - ACIDE OXALIQUE - FORMIATE DE SOUDE - TRIFORMIATE D'ALUMINE

PROTECTION DES BOIS ET DES MATIÈRES ORGANIQUES

CRYPTOGILS ET XYLOPHENES POUR LA LUTTE CONTRE L'ÉCHAUFFURE, LES PIQURES D'INSECTES, LA MÉRULE ET LE BLEUISSEMENT DES RÉSINEUX

PRODUITS AUXILIAIRES POUR TEXTILE

BLANCHISSAGE INDUSTRIEL - PRÉPARATION - TEINTURE - APPRÊT - MOUILLANTS ET DÉTERSIFS - "GILTEX"

EXTRAITS TANNANTS - TANINS SYNTHÉTIQUES

EXTRAITS TANNANTS VÉGÉTAUX : CHATAIGNIER - CHÊNE - QUEBRACHO

TANINS SYNTHÉTIQUES - "ALBATANS" POUR PETITES PEAUX ET GROS CUIRS - HEMATINES - PRODUITS CHIMIQUES SPÉCIAUX, POUR TANNERIE ET MÉGISSERIE - TITANOR - QUINONE - SOLVANTS POUR DÉGRAISSAGE ET PIGMENTATION - "CRYPTOTAN" (ANTISEPTIQUE - FONGICIDE)

CELLULOSE - PAPETERIE

CELLULOSE DE CHATAIGNIER BLANCHIE - PROCÉDÉ POUR BLANCHIMENT DES FIBRES - PAPIERS D'IMPRESSION ET D'ÉCRITURE

PRODUITS AGRICOLES

INSECTICIDES - ANTICRYPTOGAMIQUES - HERBICIDES

NOTICES SUR DEMANDE

TECHNICIENS SPÉCIALISTES et LABORATOIRES à la disposition de toutes Industries.

KODAK

*met au service de l'Industrie
une gamme complète de*

SURFACES SENSIBLES

dont la renommée est mondiale et qui répond à tous ses besoins photographiques : Radio Industrielle, Photomicrographie, Reproduction de Documents, Prise de vue documentaire, Cinéma ultra-rapide et toute étude scientifique.

LES FILTRES KODAK WRATTEN

scientifiquement fabriqués et contrôlés, sont des accessoires nécessaires pour toute photographie appliquée à l'industrie.

LES PUBLICATIONS KODAK

Formulaire Aide - Mémoire Kodak
Films Kodak — Manuel pratique de
Radiographie Industrielle — La Photographie dans les Régions Tropicales, sont indispensables aux techniciens.

KODAK-PATHÉ S.A.F. PARIS

SOCIÉTÉ D'ÉLECTRO-CHIMIE
D'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE
ET DES
ACIÉRIES ÉLECTRIQUES D'UGINE

ACIERS
PRODUITS CHIMIQUES
ALUMINIUM
MAGNÉSIUM
FERRO-ALLIAGES
ÉTAIN

SIÈGE SOCIAL : 10, RUE DU GÉNÉRAL-FOY - PARIS (8^e)

TÉLÉPHONE : LABORDE 12-75 - 12-76 - 18-40

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : TROCHIM-PARIS

SOCIÉTÉ FRANÇAISE de CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

ANCIENS ÉTABLISSEMENTS

CAIL

S. A. Capital 288 Millions

Siège Social

14, rue Cambacérès - **PARIS (8^e)**
Téléphone : ANJOU 50-95 — 69-61
Télégrammes : ANCICAIL-PARIS 123

Direction Générale & Usines

à **DENAIN** (Nord)
Téléphone : N^o 6, 7 et 8
Télégrammes : ANCICAIL-DENAIN

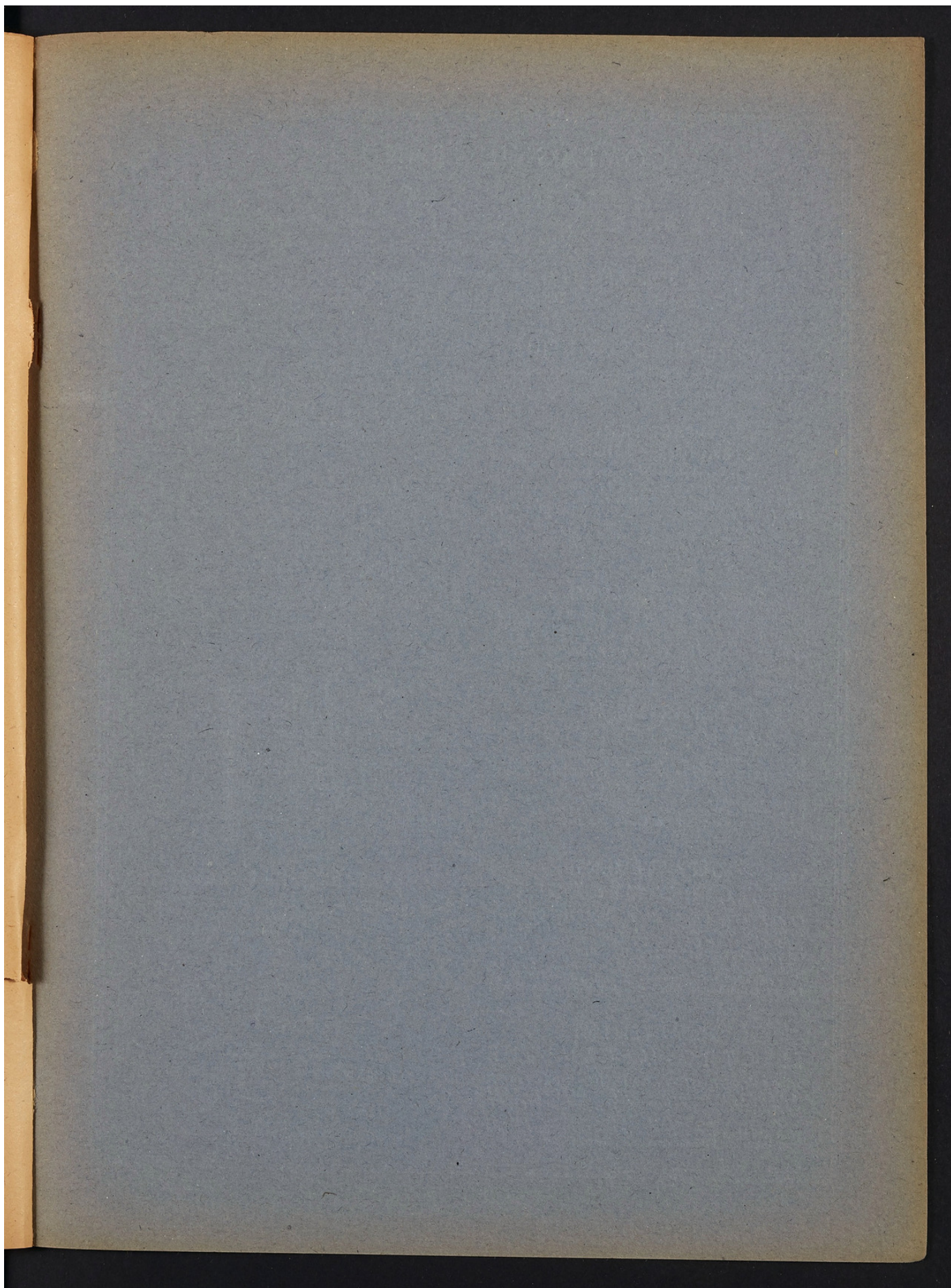
**INSTALLATIONS COMPLÈTES DE SUCRERIES
DE CANNES ET DE BETTERAVES
LOCOMOTIVES - VOITURES MÉTALLIQUES
MATÉRIEL DE CHAUFFERIES**

MOTEURS DIESEL "Licence FRANCO-TOSI"

MATÉRIEL DE CIMENTERIES - MATÉRIEL DE CONCASSAGE
MATÉRIEL MÉTALLURGIQUE - PIÈCES FORGÉES ET MOULÉES

GROSSE CHAUDRONNERIE — MÉCANIQUE GÉNÉRALE

TOLES FINES - TOLES DYNAMOS & TRANSFOS - TOLES GALVANISÉES



COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON

Société Anonyme au Capital de 1.323.900.000 Francs.

SIÈGE SOCIAL : 173, Boulevard Haussmann - PARIS (8^e)

R. C. Seine 60.343 • Téléph. : Élysées 83-70 • Télégr. : Elihu-42-Paris

GROUPE ÉLECTRONIQUE

Services Commerciaux : 4, rue du Fossé-Blanc, Gennevilliers (Seine)
Tél. : GRÉSILLONS 33-05
Télégr. : ELIHURATEL-GENNEVILLIERS

DÉPARTEMENT RADIO ÉMISSION

RADIODIFFUSION (ÉMISSION)
RADIOCOMMUNICATIONS
HAUTE FRÉQUENCE INDUSTRIELLE • TUBES
ÉLECTRONIQUES-TUBES IONIQUES-TÉLÉVISION
Usines : 4, rue du Fossé-Blanc, Gennevilliers (Seine)
45, rue de la Concorde, Asnières (Seine)

DÉPARTEMENT RADAR-HYPERFRÉQUENCE

TUBES HYPERFRÉQUENCES
RADARS CENTIMÉTRIQUES DE PRÉCISION
CABLES HERTZIENS A LARGE BANDE
APPAREILS DE MESURE EN HYPERFRÉQUENCES
Laboratoire et Usine : 41, rue de l'Amiral-Mouches, Paris (13^e)

DÉPARTEMENT RADIO-RÉCEPTION

RÉCEPTEURS DUCRETET - THOMSON
MACHINES PARLANTES - SONORISATION
RÉCEPTEURS DE TÉLÉVISION
Services Commerciaux : 173, Boulevard Haussmann, Paris (8^e)
Tél. : ÉLYSÉES 12-07 et 14-00 • Télégr. : THOMELEC-PARIS
Usine : 37, rue de Vouillé, Paris (13^e)

DÉPARTEMENT ÉLECTRO-MÉNAGER

CHAUFFAGE ET CUISINE DOMESTIQUES ET
PROFESSIONNELS • APPAREILS MÉNAGERS
APPAREILLAGE • TUBES ISOLATEURS
CANALISATIONS ÉLECTRIQUES PRÉFABRIQUÉES
Services Commerciaux : 173, Boulevard Haussmann, Paris (8^e)
Tél. : ÉLYSÉES 12-07 et 14-00 • Télégr. : THOMELEC-PARIS
Usines : Lesquin-les-Lille (Nord) et à Jarville (Meurthe-et-Moselle)

DÉPARTEMENT ÉLECTRO-MÉCANIQUE

MÉCANIQUE MOYENNE DE PRÉCISION
MATÉRIEL ÉLECTRIQUE • MICROFILM
FABRICATION DE MATÉRIEL FRIGORIFIQUE
Services Commerciaux : 173, Boulevard Haussmann, Paris (8^e)
Tél. : ÉLYSÉES 12-07 et 14-00 • Télégr. : THOMELEC-PARIS
Usine : 74, Faubourg de Mouësse, Nevers (Nièvre)

DÉPARTEMENT FILS ET CABLES

FILS ET CABLES ÉLECTRIQUES ISOLÉS
Services Commerciaux : 78, avenue Simon-Bolivar, Paris (19^e)
Tél. : NORD 01-82 et 01-87 • Télégr. : THOMSCABLE-PARIS
Usines à Paris (19^e) et à Bohain (Aisne)

SOCIÉTÉ DES TRÉFILERIES LAMINOIRS ET FONDERIES DE CHAUNY

FILS CABLES ET MÉPLATS
EN CUIVRE ET EN ALUMINIUM
FILS ÉMAILLÉS ET GUIPES POUR BOBINAGES
Siège Social et Services Commerciaux : 47, rue La Bruyère, Paris (9^e)
Tél. : TRINITÉ 07-10 • Télégr. : FINTREFIF-PARIS
R. C. Seine 189-586
Usine à Chauny (Aisne)

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE RADIOLOGIE

APPLICATIONS MÉDICALES ET INDUSTRIELLES
DES RAYONS X
TUBES DE RADIOLOGIE • POMPES A VIDE
APPLICATIONS INDUSTRIELLES DU VIDE
Siège Social et Serv. Comm. : 34, Boul. de Vaugirard, Paris (15^e)
Tél. : SUFFREN 50-04 • Télégr. : RAYONIXAR-PARIS
R. C. Seine 70-761
Usines : 51, r. Lacordaire, Paris (13^e)-53, r. Bokanowski, Asnières (Seine)

SOCIÉTÉ FRIGÉCO

RÉFRIGÉRATEURS ÉLECTRIQUES MÉNAGERS ET
COMMERCIAUX
Siège Social et Services Commerciaux : 38, avenue Kléber, Paris (16^e)
Tél. : KLÉBER 75-70 • Télégr. : GECOFRI-PARIS
R. C. Seine 246-129 B
Usine : 85, rue du Général-Roguet, Clichy (Seine)

LABORATOIRE THOMSONCOLOR

DÉVELOPPEMENT ET TIRAGE DE FILMS
EN COULEURS
Services Commerciaux : 173, Boulevard Haussmann, Paris (8^e)
Tél. : ÉLYSÉES 83-70 • Télégr. : ELIHU-42-PARIS
Laboratoire :
160, Quai de Polangis, Joinville-le-Pont (Seine)