

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

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

	1955, n° 2 (avril-juin)
	1955, n° 3 (juil.-sept.)
	1955, n° 4 (oct.-déc.)
	1956, n° 1 (janv.-mars)
	1956, n° 2 (avril-juin)
	1956, n° 3 (juil.-sept.)
	1956, n° 4 (oct.-déc.)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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	1957, n° 2 (avril-juin)
Collation	1 vol. (p. [33]-60) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	44

Cote	INDNAT (38)
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.38

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Commission d'histoire de la Société d'Encouragement,

Juillet 2025.

Bibliographie

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

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

S. E. I. N.
Bibliothèque

L'INDUSTRIE NATIONALE

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

PUBLIÉS AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

1957

N° 2

L'INDUSTRIE NATIONALE

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

publiés sous la direction de **M. Georges DARRIEUS**, Membre de l'Institut, Président,
avec le concours de la Commission des Publications et du Secrétariat de la Société.

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

N° 2 : AVRIL-JUIN 1957

SOMMAIRE

- LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES EXTENSOMÈTRES A FIL
RÉSISTANT. L'EXTENSOMÉTRIE ÉLECTRIQUE**, par M. Paul RAPIN. . 33
- LES LABORATOIRES DE RECHERCHE FRANÇAIS POUR LE BATIMENT
ET LES TRAVAUX PUBLICS**, par M. R. L'HERMITE. 49

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

Publication trimestrielle

LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES EXTENSOMÈTRES A FIL RÉSISTANT — L'EXTENSOMÉTRIE ÉLECTRIQUE⁽¹⁾

par M. Paul RAPIN,

*Président du Groupement pour l'Avancement des Méthodes d'Analyse des Contraintes.
Lauréat de la Société des Ingénieurs Civils de France.*

Dans sa conférence du 23 juin 1955, M. l'Ingénieur Général de Leiris a dégagé les raisons pour lesquelles les méthodes expérimentales d'études de la Résistance des Matériaux avaient dû être développées et indiqué tout l'intérêt de l'une d'entre elles, l'extensométrie, qui constituera le sujet de l'exposé qui va suivre.

Nous rappellerons d'abord succinctement

les bases de l'extensométrie. Une première partie sera consacrée à l'extensométrie à fil résistant et aux circuits associés qui permettent de tirer profit de ses qualités. Une seconde partie décrira les appareils de mesures mécaniques (dynamomètres, couplemètres, manomètres, etc.) auxquels l'extensomètre à fil résistant a donné naissance.

INTRODUCTION

L'ingénieur qui étudie une construction quelconque (machine, navire ou avion, bâtiment, etc.) a besoin de connaître quantitativement la manière dont la matière employée est utilisée. En effet, l'expérience apprend que les diverses manifestations des matériaux, quand on les soumet à des efforts variés (ruptures, déformations) sont caractérisées par des valeurs déterminées de ce qu'on appelle la contrainte, qui n'est autre que la force qui s'exerce sur une surface infiniment petite; ou en d'autres termes la limite de F/S quand S tend vers zéro, F désignant la force s'exerçant sur un élément de sur-

face S intérieur ou extérieur du solide. Pour des raisons pratiques on évalue cependant les contraintes en kg/mm^2 ou kg/cm^2 .

L'expérience a conduit à distinguer deux genres de contraintes :

- les contraintes normales, perpendiculaires à la surface étudiée,
- les contraintes tangentielles ou de cisaillement situées dans le plan même de cette surface.

La Théorie de l'Élasticité montre que l'on déduit l'état des contraintes en un point d'un corps, dans une direction quelconque, si l'on

(1) Conférence faite le 7 juin 1956 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.
L'industrie nationale. — avril-juin 1957.

connaît trois contraintes privilégiées dites *contraintes principales*. Les plans auxquels elles sont perpendiculaires ne renferment aucune contrainte tangentielle et elles forment les trois axes d'un ellipsoïde, lieu géométrique de l'extrémité du vecteur intéressant le point considéré.

En extensométrie, on ne peut malheureusement pas, dans la généralité des cas, faire de mesure au sein même de la matière constituant les solides étudiés; on doit se contenter d'opérer en surface. S'il n'y a pas de pression hydrostatique ou de contrainte résiduelle normale à la surface trop importante, le problème devient plan. On n'a plus affaire à un ellipsoïde, mais à une ellipse et les contraintes principales sont ramenées à deux.

Le problème de l'extensométrie est alors le suivant : déduire ces contraintes principales des allongements relatifs mesurés suivant leurs directions, à l'aide des formules classiques dérivées de la loi de Hooke et de la définition du coefficient de Poisson.

$$\sigma_p = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_p + \nu \varepsilon_q) \quad (1)$$

$$\sigma_q = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_q + \nu \varepsilon_p) \quad (2)$$

dans lesquelles

σ_p, σ_q représentent les deux contraintes principales

$\varepsilon_p, \varepsilon_q$ les allongements relatifs

ν le coefficient de Poisson

E le module de Young.

Mais dans un problème donné, on ne sait pas *a priori*, comment sont orientées les contraintes principales. Heureusement, on démontre en théorie de l'Elasticité que l'allongement ε_α mesuré dans une direction quelconque faisant un angle α avec ε_p a pour expression

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\varepsilon_p + \varepsilon_q}{2} + \frac{\varepsilon_p - \varepsilon_q}{2} \cos 2\alpha \quad (3)$$

Si donc on fait trois mesures

— l'une suivant une direction quelconque

— les deux autres faisant des angles connus avec la première, la relation (3) fournira un système de 3 équations à trois inconnues, $\varepsilon_p, \varepsilon_q$, et α , facile à résoudre.

Le problème se simplifie quand on peut utiliser les vernis craquelants. Ce sont des mélanges de colophane et de certaines résines telles que la Damar que l'on applique soit par fusion, soit par badigeonnage de la solution dans un solvant approprié. Quand on charge les pièces sur lesquelles on les applique, ces vernis se fendillent pour un allongement relatif de l'ordre de 10^{-3} et donnent des fissures qui sont toujours perpendiculaires à l'une des tensions principales.

Tout revient donc à mesurer l'accroissement de longueur, Δl d'une base de mesure de longueur l , sous l'action des contraintes provoquées par la mise en charge de l'ouvrage ou le fonctionnement de la machine¹.

PREMIÈRE PARTIE

L'EXTENSOMÈTRE A FIL RÉSISTANT ET LES CIRCUITS ASSOCIÉS

On n'a pas attendu l'apparition de l'extensomètre à fil résistant pour faire ces études. S'il est difficile de préciser la date d'apparition du premier extensomètre, on sait néanmoins que l'Ingénieur du Génie Maritime Raclet utilisait des appareils mécaniques conçus et construits par lui à la fin du siècle

dernier et que Mesnager en avait fait construire en 1903 par la maison Richard.

Depuis, de nombreux autres modèles ont vu le jour, notamment ceux d'Huggenberger, Lehr et tout récemment celui de l'Ingénieur Général de Leiris.

Comme il a été dit plus haut, il s'agit de

(1) Quand il n'a pas été possible de faire des relevés avant la mise en charge, on mesure les variations de longueur après perçage de petits trous exécutés autour de la base de mesure.

mesurer la variation de longueur Δl d'une base de longueur l prise sur le solide.

Or si l'on veut connaître la contrainte en un point, il faut évidemment que l soit petit; $\Delta l/l$ étant de l'ordre de 10^{-4} , Δl va être infime. Tous les extensomètres ont donc dû utiliser l'amplification, mécanique, optique ou pneumatique. On a créé des appareils précis, donnant d'excellents résultats au laboratoire mais pratiquement impossibles à utiliser sur des organes de machines en mouvement.

L'extensomètre à fil résistant devait trancher ce problème.

I. PRINCIPE.

Lorsque l'on tire sur un fil métallique, sa résistance R , augmente de ΔR sous l'action de l'accroissement de sa longueur et de la réduction de sa section, et même de la variation de la résistivité de l'alliage qui le constitue.

L'accroissement relatif de résistance est relié à l'allongement relatif $\Delta l/l$ par une relation linéaire simple

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l}. \quad (4)$$

II. RÉALISATION.

Il s'agit de transmettre au fil les allongements de la pièce en essais. Il est extrêmement curieux de constater que cette transmission est assurée très fidèlement par la chaîne : pièce — colle — papier — colle — fil.

En effet l'extensomètre est constitué par un fil de faible diamètre (20 à 25 microns) lové sur une feuille de papier où il est fixé par une colle (fig. 1).

Deux fils de sortie, de dimensions plus importantes permettent les raccords électriques. Le fil et ses points de liaison sont recouverts d'un autre papier et parfois même d'un feutre auquel certains constructeurs attribuent des qualités d'isolant thermique.

Ce « timbre-poste » a les dimensions les plus variées, de quelques millimètres de côté à quelques centimètres.

On le colle sur la partie de la pièce choisie comme base de mesure extensométrique.

Pour maintenir l'isolement de la jauge (c'est un nom souvent donné à ces extensomètres, ainsi que l'anglicisme strain-gage) on la recouvre soit d'un petit capuchon en caoutchouc, soit de cire, soit de résines synthétiques diverses (Araldites entre autres).

Certaines jauges sont fabriquées d'une manière différente. Le fil est enroulé sur un cylindre de papier que l'on aplatit ensuite avant de le coller sur un second papier.

Quand la température des pièces étudiées doit être comprise entre 100 °C et 200 °C environ, le papier ne saurait plus convenir et l'on dispose le fil dans la bakélite, elle-même collée sur la pièce avant les essais au moyen de bakélite que l'on polymérise. Pour les températures supérieures, on constitue le support par des émaux. La pièce et les jauges qu'elle porte sont alors « cuites » au four pour obtenir la vitrification de l'émail.

Alors que les jauges papier et bakélite se trouvent dans le commerce, les jauges à haute température doivent être fabriquées souvent « sur le tas » par l'opérateur lui-même.

Parfois, afin de grouper les mesures d'allongement autour d'un même point, on superpose les diverses jauges en les isolant soigneusement les unes des autres. On obtient ainsi un extensomètre permettant les mesures suivant plusieurs directions. On l'appelle souvent une « rosette ». (fig. 2).

Le choix du fil de la jauge pose de nombreux problèmes :

— sa sensibilité (variation de résistance pour un allongement donné) doit être aussi élevée que possible.

— Sa résistivité doit être assez grande.

— Son coefficient thermique de variation de résistance doit être très faible.

— Son coefficient de dilatation doit être voisin de celui des métaux constituant les pièces étudiées.

— Il doit donner des forces électromotrices thermo-électriques très faibles avec le cuivre.

Les constructeurs ont chacun leur préférence et le résultat est que le facteur de sensibilité est, en général, voisin de 2, la résistance communément de 100 ou 120 ohms bien que l'on rencontre des modèles de 40 ohms au minimum et de 10 000 ohms au maximum.

Nous ne pouvons insister ici davantage sur les problèmes de construction des extensomètres.

III. LES CIRCUITS ASSOCIÉS.

a) Le pont de Wheatstone.

On sait que lorsqu'il s'agit de mesurer une résistance avec précision, les électriciens utilisent le montage appelé pont de Wheatstone (fig. 3). Si les résistances sont disposées comme le montre la figure, alimentées entre A et B par une pile, le galvanomètre placé entre C et D indique un courant nul lorsque la relation

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (5)$$

est respectée.

On pourrait donc faire deux mesures successives, l'une à l'état libre qui donnerait la résistance R_1 de la jauge à l'état non contraint, l'autre qui donnerait la résistance $R_1 + \Delta R_1$ de la même jauge à l'état contraint. Le calcul permet de connaître $\frac{\Delta R_1}{R_1}$.

a) Utilisation pratique du pont de Wheatstone en méthode de zéro.

Malheureusement $\Delta R_1/R_1$ est très petit, de l'ordre de 10^{-4} . On devrait donc, ou faire des mesures de haute précision sur R_1 qu'il faudrait obtenir au millionième, ou essayer d'avoir directement $\Delta R_1/R_1$. C'est cette dernière solution à laquelle se sont arrêtés tous les constructeurs.

En prenant les dérivées logarithmiques de la relation (5) on constate que

$$\frac{dR_1}{R_1} + \frac{dR_3}{R_3} = \frac{dR_2}{R_2} + \frac{dR_4}{R_4} \quad (6)$$

donc qu'il est possible d'équilibrer toute variation relative de R_1 par une variation relative de R_3 ou R_4 , tant que celles-ci sont petites.

Un moyen élégant d'y parvenir consiste à shunter les résistances R_3 ou R_4 par une résistance variable. On démontre qu'à des variations petites de $\Delta R_1/R_1$ correspondent des variations plus grandes de $\Delta R_3/R_3$ ou

$\Delta R_4/R_4$, permettant d'éliminer notamment l'influence des résistances de contact (fig. 4).

Dans la réalisation de l'A. O. I. P. (Procédés Sexta) notamment, on lit directement les valeurs de $\Delta R/R$ nécessaires pour rétablir l'équilibre, les résistances de réglage ayant été étalonnées en conséquence (fig. 5).

b) Utilisation du pont de Wheatstone en lecture directe.

Si l'on constitue le pont de telle sorte que $R_1 = R_2$ et $R_3 = R_4$, (R_2 pourra être une seconde jauge identique à R_1), on démontre que le courant dans le galvanomètre est proportionnel à $\Delta R_1/R_1$. Il suffit donc d'un simple étalonnage pour avoir les $\Delta R_1/R_1$ en fonction des intensités. Avec le matériel A. O. I. P., il suffit de donner un tour de commutateur pour enregistrer sur la bande ou le film associé au galvanomètre du pont les intensités correspondant aux diverses variations relatives de résistance.

Si le galvanomètre possède une résistance élevée (cas de l'oscillographe cathodique) la différence de potentiel à ses bornes est directement proportionnelle aux variations relatives de résistance de la jauge.

b) Les circuits associés au pont de Wheatstone.

Les courants mis en œuvre sont malgré tout d'une intensité des plus faibles. Un pont constitué de deux jauges de 100 ohms dont une active, et de deux résistances d'équilibrage de 2 000 ohms chacune, alimenté sous 6 volts, donnerait dans un galvanomètre de 775 ohms un courant de 5 micro-ampères pour une contrainte de 30 kg/mm² dans de l'acier. C'est plus qu'il n'en faut pour faire dévier un galvanomètre sur toute son échelle.

Et, effectivement, on effectue dans la pratique de nombreuses mesures d'extensométrie en laboratoire et en chantier avec des équipements qui ne comportent qu'un galvanomètre comme appareil de mesures.

Mais l'étude des machines impose des mesures dynamiques pour lesquelles le galvanomètre devient vite insuffisant. D'autre part, on veut de plus en plus relever les contraintes sur les machines en service et, dans le cas des automobiles notamment, le galvanomètre n'est plus d'un emploi commode.

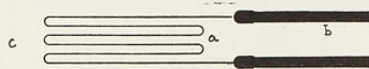


Fig. 1.

Extensomètre à fil résistant (agrandi).

- a) Fil extensomètre (= 20 à 25 microns).
- b) Conducteurs d'alimentation.
- c) Papier sur lequel le fil est collé. La face inférieure de ce papier sera collée sur la pièce.

Fig. 2.

Quelques modèles d'extensomètre dits « rosettes » pour la mesure de la grandeur et de la direction des contraintes principales par mesure de trois allongements relatifs, faisant entre eux des angles connus.

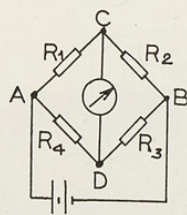
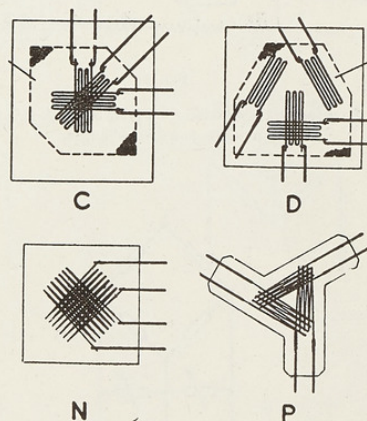


Fig. 3.

Schéma de principe du pont de Wheatstone.

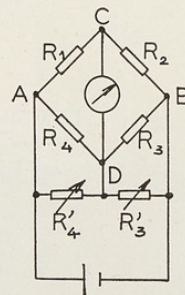


Fig. 4.

Méthode de compensation par shuntage des résistances R et R au moyen de résistances étalonnées en R/R_0 .

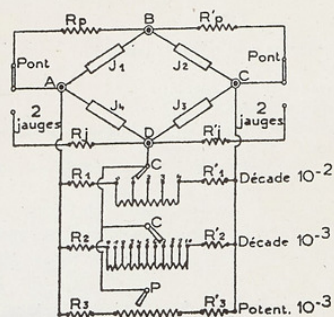


Fig. 5.

Principe de l'utilisation d'un pont SEXTA-A.O.I.P. en montage à 2 ou 4 jauges.

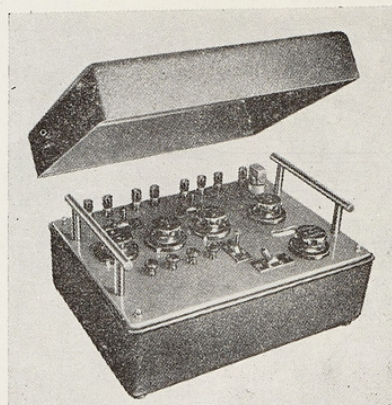


Fig. 5 bis.

Pon. d'extensomètre A.O.I.P.

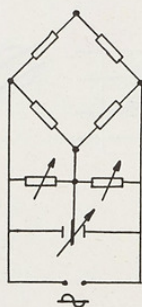


Fig. 6.

Pont pour mesures en courant alternatif.

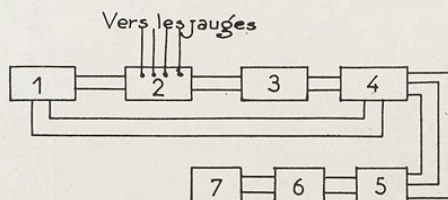


Fig. 7.

Constitution d'un équipement à courants porteurs.

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1. Générateur. | 4. Démodulateur ou pont de phases. |
| 2. Pont de mesures. | 5. Etage de sortie. |
| 3. Amplificateur de tension. | 6. Filtre passe bas. |
| 7. Appareil de mesure ou machine à dépouiller ou « mémoire ». | |

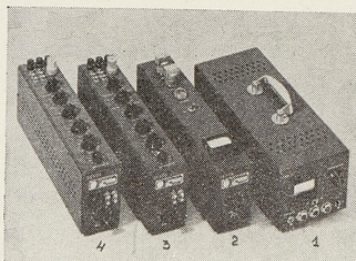


Fig. 8.

Équipement SEXTA pour mesure dynamique.

1. Alimentation; 2. Générateur; 3, 4. Voies de mesures.

Fig. 9.

a) Compensation des allongements dus aux actions thermiques dans une mesure en traction pure.

b) Compensation des allongements dus aux actions thermiques dans une mesure en flexion circulaire.

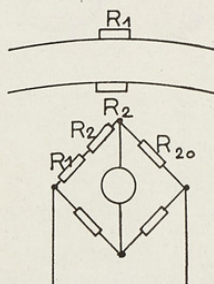
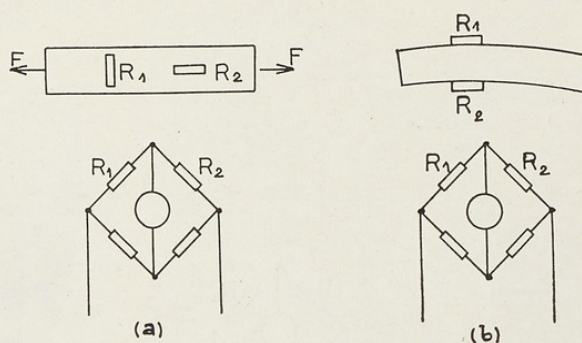


Fig. 10.

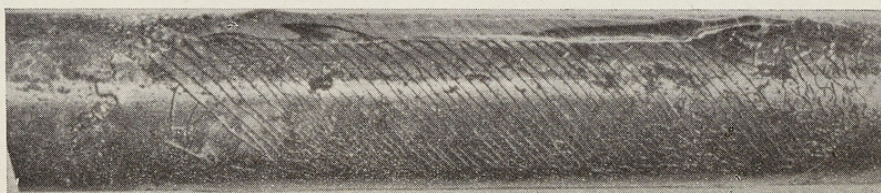
Montage donnant les seules composantes de traction dans un barreau travaillant en flexion-tension combinées. R_{20} = Résistance de compensation des allongements d'origine thermique.

Fig. 11.

Lignes d'allongement sur barreau cylindrique sollicité en torsion.

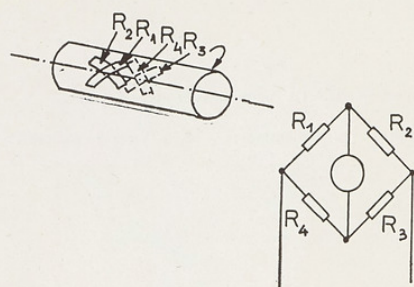


Fig. 12.

Mesure du couple appliqué à un arbre par quatre jauges collées à 45° de l'axe.

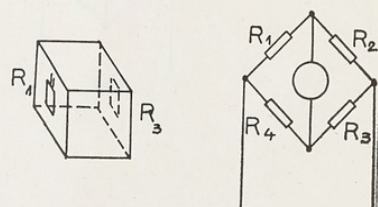


Fig. 13.

Bloc dynamométrique utilisé pour les pesées d'avions.

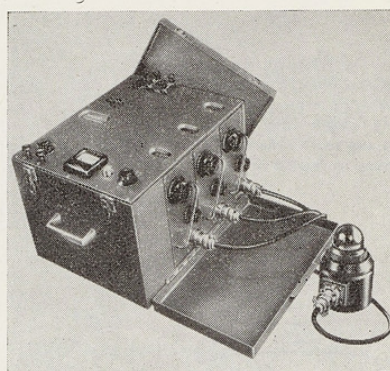


Fig. 13 bis.

Valise pour pesée d'avion (A.O.I.P.).

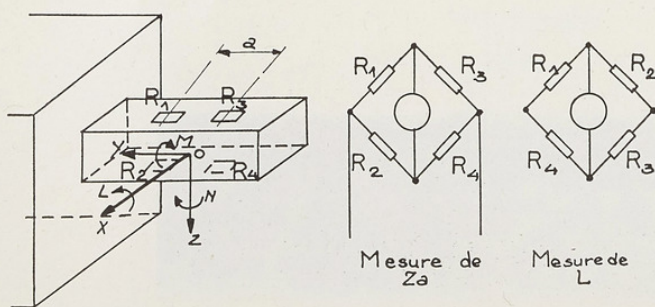


Fig. 14.

Barreau dynamométrique analyseur.

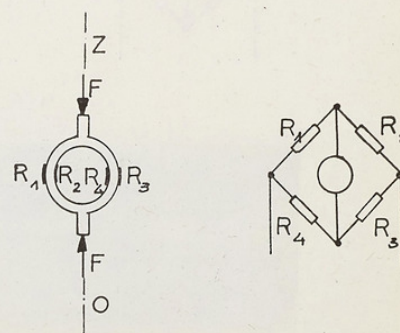


Fig. 15.

Anneau dynamométrique simple.

Dans tous ces cas, on a recours à l'une des solutions suivantes :

- *Utilisation de l'oscillographe cathodique :*
- Les déplacements du spot seront photographiés ou enregistrés par cinéma en fonction du temps.
- Si les variations des contraintes sont périodiques on pourra voir directement leur loi de variation en fonction du temps, sur l'écran de l'oscillographe, en employant un balayage de fréquence appropriée.
- *Enregistrement sur bande magnétique et dépouillement différé en laboratoire.*
- *Transmission par fil ou par radio* (mesures sur engins téléguidés et dépouillement immédiat ou différé en laboratoire).

Toutes ces méthodes mettent en œuvre des appareils électroniques qui, en fin de chaîne, exigent des tensions notables. (Un simple oscillographe cathodique par exemple une centaine de volts). Or, le pont ci-dessus, ne sort sous la contrainte de 30 kg/mm² qu'une différence de potentiel de 5.10⁻⁵ Volts environ aux bornes de l'appareil.

Il faut donc amplifier. L'amplification en courant continu, théoriquement simple et séduisante est pénible à mettre en pratique en raison de l'instabilité des appareils correspondants.

On préfère utiliser la technique des courants porteurs.

a) *Alimentation du pont en courant alternatif. Technique des courants porteurs.*

On démontre, en électrotechnique, que la relation qui définit l'équilibre d'un pont de Wheatstone en courant continu reste valable en courant alternatif à condition de remplacer les résistances de l'équation (5) par les expressions correspondantes des impédances écrites sous forme complexe. Dans ce cas, l'application des règles mathématiques relatives à l'égalité de deux quantités complexes conduit à équilibrer le pont d'abord en courant continu, puis en courant alternatif, ce qui revient à rendre égaux les déphasages dans deux branches adjacentes du pont. A cet effet, on ajoute au montage une faible capacité variable (fig. 6).

En effet, l'impédance d'une jauge aux

L'industrie nationale. — avril-juin 1957.

fréquences habituellement utilisées est surtout constituée par le terme réel correspondant à la résistance. Les termes imaginaires (inductifs ou capacitifs) sont surtout dus aux connexions, blindées pour éviter l'action des parasites et les effets d'induction mutuelle.

Il est donc possible, avec un pont alimenté en courant alternatif, de mesurer directement des variations de $\Delta R_1/R_1$ à l'aide de variations concomitantes de $\Delta R_2/R_2$ ou $\Delta R_4/R_4$.

Mais il est également possible de se servir du courant de sortie du pont ou de la tension aux bornes de sa branche « galvanomètre ». On démontre que dans ce cas le pont se comporte comme un véritable « modulateur » de l'amplitude de sa tension d'alimentation. Cette amplitude suit les variations de $\Delta R_1/R_1$. Cela est très intéressant car nous tombons sur une technique bien connue, celle des courants porteurs que l'on utilise depuis longtemps dans les télécommunications. Le « porteur » est dans ce cas la tension d'alimentation du pont, ou plutôt ce qui en reste autour de l'équilibre. En choisissant sa fréquence assez élevée, 10 000 Hz, par exemple, on pourra appliquer les techniques de l'amplification en courant alternatif, qui conduisent à des appareils simples et peu encombrants.

Nous ne pouvons malheureusement pas entrer dans les détails, faute de place. Nous devons nous contenter de donner grossièrement la constitution d'un équipement à courants porteurs et modulation d'amplitude, et de mentionner que l'on utilise aussi, bien qu'à un moindre degré, la modulation de fréquence et les impulsions.

Un équipement à courants porteurs et modulation d'amplitude comportera donc : (fig. 7)

1° Un générateur de fréquence de l'ordre de 1 000 à 10 000 Hz. En principe on adopte 4 à 10 fois la fréquence maxima du phénomène à étudier.

2° Le pont avec les bornes de raccordement des jauges et les résistances étalonnées et capacités de réglage.

3° Les amplificateurs de tension.

4° Le démodulateur ou « pont de phase ». Cet élément détecte la porteuse, c'est-à-dire fait réapparaître la tension qui modulait cette dernière; il donne la mesure de $\Delta R_1/R_1$, avec

son signe et atténue sensiblement l'effet des déséquilibres éventuels du pont en capacité.

5° L'étage de sortie. Jusqu'à cet étage on a travaillé sur des tensions. On va adapter ces tensions aux appareils de mesure, en les amplifiant encore s'il y a lieu. Dans le cas d'un oscillographe cathodique, on pourra introduire un montage cathodyne pour attaquer

symétriquement les plaques.. Dans le cas d'un enregistreur à basse impédance, on fera de l'amplification de puissance

6° Le filtre passe bas. Finira le travail de séparation des composantes que l'on veut étudier et des composantes parasites obligatoirement introduites par l'adoption de la technique des courants porteurs.

DEUXIÈME PARTIE

LES APPLICATIONS DES EXTENSOMÈTRES A FIL RÉSISTANT AUX APPAREILS DE MESURE DES GRANDEURS MÉCANIQUES

Les considérations qui précèdent ont tenté de montrer que l'extensomètre à fil résistant et les circuits associés permettent de connaître la distribution des contraintes dans une construction ou dans une pièce mécanique, pour autant que leurs caractéristiques se prêtent tant soit peu à leur emploi.

Mais le champ d'application de l'extensomètre est encore beaucoup plus vaste car il permet, par *simple étalonnage*, de mesurer toute grandeur mécanique produisant une déformation par la mesure même de cette déformation.

I. RETOUR SUR LES PROPRIÉTÉS DU PONT DE WHEATSTONE.

Reprenons la relation (6)

$$\frac{dR_1}{R_1} + \frac{dR_3}{R_3} = \frac{dR_2}{R_2} + \frac{dR_4}{R_4}. \quad (6)$$

On voit que les variations relatives de résistance d'indice impair peuvent être compensées par les variations relatives de résistance d'indice pair de même signe.

On démontre également que, si les quatre branches du pont sont égales, le courant de sortie, pour des valeurs suffisamment petites, est sensiblement proportionnel à la somme des variations relatives de résistance des quatre branches, en affectant de signes contraires les variations relatives de résistance d'indice impair et celles d'indice pair. C'est

là une propriété précieuse qui permet de séparer par de simples branchements de jauges les diverses sollicitations composant une sollicitation complexe.

II. EXAMEN DE QUELQUES CAS SIMPLES.

a) Traction pure combinée avec des allongements d'origine thermique.

On connaît le phénomène de dilatation. Si, au cours d'une mise en charge, une pièce venait à s'échauffer, l'allongement relatif mesuré $\Delta l/l$ serait la somme de deux termes, l'un $(\Delta l/l)_c$ dû aux contraintes, l'autre $(\Delta l/l)_T$ dû à l'échauffement.

Si nous plaçons une jauge R_1 dans le sens des allongements produits par les contraintes (fig. 9 a), et une jauge R_2 dans le sens perpendiculaire, et si ces jauges sont identiques, la relation (6) montre que les $(\Delta R/R)_T$ correspondant aux $(\Delta l/l)_T$ se compenseront. En ce qui concerne les $(\Delta R/R)_c$ dûs aux $(\Delta l/l)_c$ provoqués par les contraintes, il y a une erreur due au coefficient de Poisson qui entraîne un allongement sur la jauge de compensation. Mais s'il s'agit d'un dynamomètre de traction, le tarage de l'ensemble tient compte directement de cette correction.

Le même montage est valable en compression, à condition que la pièce soit assez courte pour éliminer tout phénomène de flambage.

b) Flexion pure. (fig. 9 b).

On sait que dans ce cas les fibres situées d'un côté de la fibre neutre sont tendues, tandis que celles situées du côté opposé sont comprimées. Les $\Delta R_1/R_1$ et les $\Delta R_2/R_2$ seront donc de signes contraires. En disposant les jauges R_1 et R_2 comme indiqué, on voit qu'en flexion les $d R_1/R_1$ et les $d R_2/R_2$ s'ajouteront, mais que ceux provoqués par une traction s'annuleront réciproquement.

c) Flexion et traction combinées.

Un premier montage conforme à celui qui vient d'être décrit sera réalisé et donnera les contraintes dues aux seules sollicitations de flexion.

Un second montage dans lequel R_1 et R_2 seront en série donnera une déviation correspondant à

$$\frac{dR_1}{R_1} + \frac{dR_2}{R_2} \text{ pour les sollicitations de traction}$$

$$\text{et } \frac{dR_1}{R_1} - \frac{dR_2}{R_2} = 0 \text{ pour les sollicitations de flexion.}$$

On pourra employer deux jauges de compensation en série dans la branche correspondante du pont. Si l'on veut éviter la correction due au coefficient de Poisson, on les montera sur une partie de la pièce ne travaillant pas ou sur un morceau de métal soumis aux mêmes conditions de température.

d) Torsion pure.

La figure 11 obtenue avec des vernis craquelants montre que, dans le cas d'un cylindre, les lignes d'allongement sont à 45° de l'axe. En collant deux groupes de deux jauges à 45° de l'axe, perpendiculaires entre elles, et aux deux extrémités d'un même diamètre de la pièce, on obtiendra les contraintes dues seulement à la torsion (fig. 12).

En effet, les flexions dans le plan de la figure donnent des allongements de signe contraire de part et d'autre de la fibre neutre qui se compensent dans une même jauge; les flexions dans le plan perpendiculaire à celui de la figure font apparaître des composantes

qui se compensent, comme on l'a expliqué dans le cas de la flexion simple; et les tractions donnent des composantes axiales égales qui se compensent également en raison de la constitution du montage en pont de Wheatstone.

III. QUELQUES APPAREILS DE MESURES.**a) Dynamomètres.****1. Pesée d'avion.**

Lors de l'étude d'un prototype, il est intéressant de faire des plans de chargement types destinés aux usagers et dont le but est d'assurer les vols dans les meilleures conditions de répartition des poids. Pour ce faire, on relève les poids sous chaque roue et sous la roulette de nez.

L'appareil utilisé est des plus simples. C'est un cube d'acier de 25 mm d'arête sur lequel on a placé deux jauges mesurant l'allongement (négatif) à la compression. Un étalonnage préalable permet de graduer l'appareil de mesures en tonnes (fig. 13) (Photo).

2. Dynamomètres analyseurs.**a) Barreau (fig. 14).**

On démontre que, si l'on colle quatre jauges comme il est indiqué sur la figure, le point O étant celui auquel on effectue la réduction des forces appliquées au barreau, on peut obtenir par un premier montage une tension de déséquilibre proportionnelle à la différence des moments de flexion en C et D, c'est-à-dire Z a. Comme la distance a est connue, on mesure facilement Z.

Un second montage donne une tension de déséquilibre du pont proportionnelle à la composante L du moment résultant.

Les composantes X et N exercent une action nulle sur les quatre jauges. Le montage en pont élimine les contraintes dues à la composante Y de la force et à la composante M du moment résultant.

Si l'on colle quatre autres jauges sur les faces perpendiculaires aux précédentes, on mesure aussi X et N.

Le barreau donnera donc X et Z d'une part, L et N d'autre part.

b) *Anneau dynamométrique* (fig. 15).

Tout le monde connaît l'anneau dynamométrique utilisé pour la mesure des efforts de traction et de compression. On sait que, lorsque l'on comprime un tel anneau, par exemple, à l'aide d'une force F, les faces extérieures travaillent en traction et les faces intérieures en compression. Quatre jauges collées à 90° de la ligne d'action OZ de la force F permettront donc sa mesure.

Mais si l'on encastre l'anneau à l'une de ses extrémités, on pourra analyser l'effort appliqué à l'extrémité non encastree, c'est-à-dire déterminer ses composantes suivant un trièdre dont deux axes sont situés dans le plan médian du dit anneau et le troisième est perpendiculaire à ses faces. Pour cela : (fig. 16).

Les jauges déterminant OZ seront placées comme indiquées ci-dessus. Celles mesurant OX seront collées au voisinage de l'encastrement et à l'intérieur et à l'extérieur de l'anneau.

Celles donnant OY seront situées comme celles qui détectent OZ, mais latéralement.

Des montages en pont faciles à déterminer, mais sur lesquels nous ne pouvons insister, permettent d'obtenir des indications directement proportionnelles à chacune de ces composantes, sans interaction des deux autres.

c) *Dynamomètre « potence »* (fig. 17).

D'un faible encombrement et d'une bonne sensibilité, il permet une mesure commode d'une force unique. On le conjugue parfois avec un barreau analyseur pour obtenir la troisième composante de la force que celui-ci ne donne pas.

b) *Manomètre.*

On utilise les déformations d'un tube dans lequel agit la pression à mesurer. On peut mesurer ou les variations de longueur axiale ou les variations de diamètre.

On peut augmenter la sensibilité en disposant à l'intérieur un second tube que la pression tendra à écraser et non à dilater.

c) *Couplemètre*

1. *Mesure directe sur l'arbre.*

En utilisant le montage de 4 jauges (fig. 12) indiqué pour le cas de la torsion pure, on mesure le couple à partir des allongements dus aux contraintes qu'il provoque dans le métal de l'arbre. On peut donc relever ses variations instantanées, sans modifier le système, ce que ne permettent pas les couplemètres classiques.

Le seul problème difficile est d'amener le courant au pont et de l'en sortir. Nous avons constaté avec d'autres expérimentateurs français que des bagues en argent convenablement isolées et connectées aux quatre sommets du pont, en contact avec des balais charbon-argent, à forte teneur en argent, donnent toute satisfaction quand on utilise la technique des courants porteurs. La seule précaution est de prévoir plusieurs balais par bague et de les mettre franchement en parallèle, étant bien entendu que la pression d'appui est constante et correctement choisie. Les figures 18 et 19 montrent l'application à un arbre de transmission de roue de voiture automobile tournant au maximum à 1 200 tr/mn. Nous avons fait tourner le collecteur de ce montage à 10 000 tr/mn pendant une dizaine d'heures sans constater d'anomalie de la tension de sortie.

2. *Utilisations de sections cruciformes.*

Quand on veut mesurer le couple appliqué sur un barreau, l'on peut donner à une certaine longueur de ce barreau une section cruciforme. Sous l'action de la torsion, les bras de la croix travaillent aussi en flexion. Un pont de quatre jauges donnera donc le couple.

3. *Utilisation de lames travaillant en flexion.*

Si le phénomène à étudier le permet, l'action du couple peut servir à appuyer une lame sur deux butées. La lame travaille alors en flexion simple et deux jauges suffisent à mesurer le couple, à moins que l'on ne préfère en utiliser quatre.

Ce montage s'emploie notamment dans l'étude du couple de perçage. La pièce est tenue dans un mandrin pouvant tourner autour de son axe mais qui en est empêché par la ou les lames en butée qui effectuent la mesure (fig. 20).

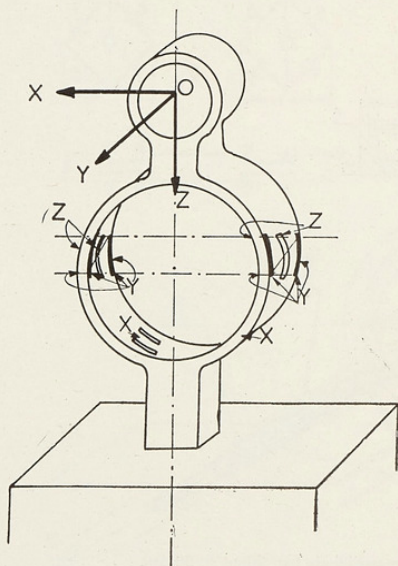


Fig. 16.

Anneau dynamométrique analyseur.

Les lettres correspondant aux composantes des forces montrent l'emplacement des jauges servant à les mesurer. Ces jauges sont collées sur la face interne comme sur la face externe de l'anneau.

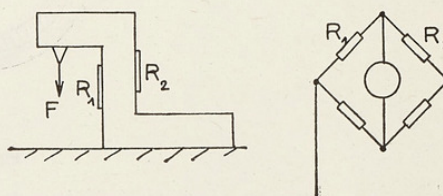


Fig. 17.

Dynamomètre potence.

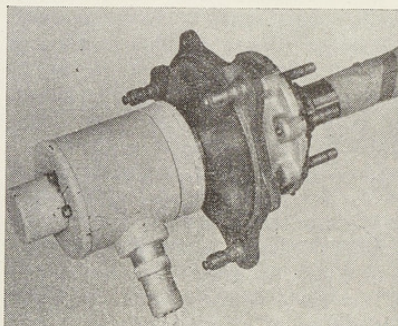


Fig. 18.

Arbre de roue comportant un montage de 4 jauges pour la mesure du couple transmis. Le collecteur à bagues se trouve sous le capotage, les jauges sous les bandages protecteurs (Réalisation PEUGEOT-CERE, La Garenne).

L'industrie nationale. — avril-juin 1957.

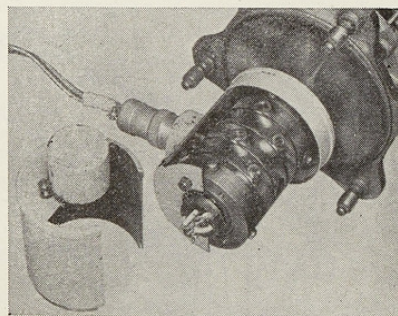


Fig. 19.

Le collecteur à bagues, capot enlevé. On voit les quatre bagues en plexiglas dans lesquelles sont vissés les porte-balais (4 par bague) (Réalisation PEUGEOT-CERE, La Garenne).

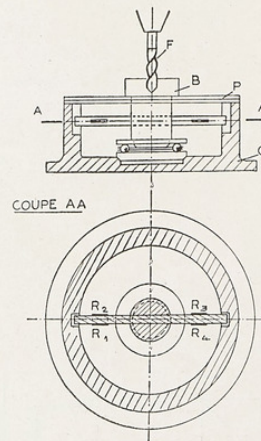


Fig. 20.

Montage permettant la mesure du couple de perçage par jauges travaillant en flexion.

F = Foret.
B = Pièce à percer.
P = Plateau à rainures recevant B.
C = Corps du montage fixé sur la table de la perceuse.

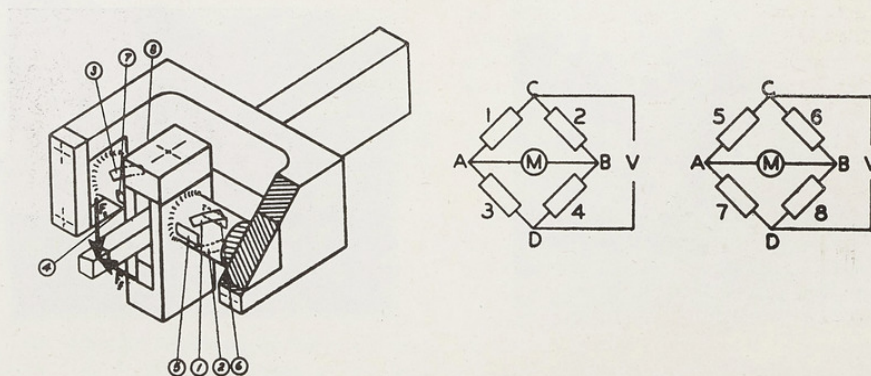


Fig. 21.

Porte-outil pour l'étude des composantes des efforts de coupe au tournage. Les jauges 1, 2, 3, 4 donnent la mesure de la composante verticale par le couple de torsion exercé sur le barreau où les jauges sont collées.
Les jauges 5, 6, 7, 8 mesurent les contraintes développées par le moment de flexion dû à la composante horizontale.

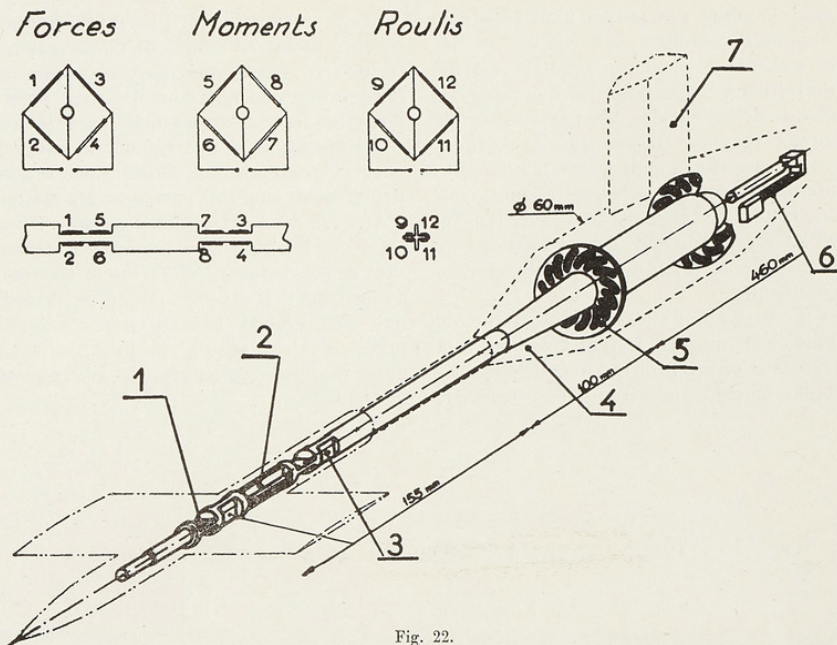


Fig. 22.

Balance dard BD 5 n° 1 de l'ONERA (Extrait de la note technique ONERA n° 31 (1956)).

CONCLUSION

Nous espérons avoir montré que l'extensométrie à fil résistant constitue non seulement un précieux outil pour l'analyse des contraintes dans les constructions, les machines, les ouvrages, etc. mais qu'il est un moyen remarquable de mesure de nombreuses quantités mécaniques.

Une de ses qualités essentielles, outre son poids absolument négligeable et son encombrement pouvant descendre jusqu'à 3 mm, est sa réponse quasi instantanée aux variations d'allongements les plus rapides. Dans l'étude des phénomènes vibratoires de haute fréquence, on est limité seulement par le fait que la longueur de la jauge doit être petite devant la longueur d'onde dans le matériau étudié. On prend généralement un rapport de 1/20, ce qui, pour une jauge de 12 mm, par exemple, correspondrait à des fréquences de

20 000 Hz dans de l'acier
17 400 Hz dans du laiton.

Pour les termes fondamentaux et les premiers partiels et harmoniques des vibrations que l'on rencontre en mécanique industrielle courante c'est largement plus qu'il ne faut.

D'ailleurs, la jauge se comporte fort bien en endurance et des essais de fatigue à 1 000 Hz n'ont permis de découvrir aucune anomalie.

Pour conclure nous citerons deux domaines dans lesquels elle a radicalement transformé les conditions d'essais :

— L'étude de la coupe des métaux.

Pouvant être placés directement sur les outils ou des porte-outils peu encombrants, les extensomètres à fil résistant permettent la mesure directe des efforts et couples mis en jeu. La figure 21 donne par exemple un porte-outil pour l'étude du travail d'un outil de tour.

— Les balances des souffleries.

Avant l'emploi des jauges à fil résistant, les appareils mesurant les couples et les forces s'exerçant sur les maquettes étaient de majestueux ensembles comportant des tringleries délicates, des fils passant sur de nombreux renvois. De nos jours, quelques jauges placées sur le support de la maquette mesurent traînées, poussées, dérapages, couples de roulis, de tangage, de dérive, etc. La figure 22 représente une des réalisations de l'Office National d'Études et de Recherches Aéronautiques.

Les mesures étant effectuées sous forme de tensions électriques se prêtent très bien à la télétransmission par fil ou radio et au dépouillement par machines électroniques à calculer.

Ces deux exemples pris parmi un très grand nombre montrent comment l'association des techniques électriques et mécaniques peut faire progresser nos connaissances dans les domaines les plus divers de la mécanique.

L'Exposition d'Extensométrie, organisée pour la première fois dans le monde par le Groupement pour l'Avancement des Méthodes d'Analyse des Contraintes, a permis de constater que les Industries Françaises, construisant ce genre de matériel, étaient souvent en avance sur l'étranger et jamais en retard, et que nos grands Laboratoires, publics ou privés, avaient acquis une maîtrise certaine dans la mise en œuvre de ces nouvelles méthodes.

CONFÉRENCE SUR L'ACTIVITÉ DES LABORATOIRES DE RECHERCHES DANS L'INDUSTRIE

LES LABORATOIRES DE RECHERCHE FRANÇAIS POUR LE BATIMENT ET LES TRAVAUX PUBLICS ⁽¹⁾

par M. R. L'HERMITE,

*Président-Fondateur de l'Association française de Recherches et d'Essais sur les Matériaux et les Constructions,
Membre du Conseil supérieur de la Recherche Scientifique.*

Mesdames, Messieurs,
Mes chers Collègues,

Les Laboratoires d'essais des matériaux ne datent pas de beaucoup plus d'un siècle. Les premiers Laboratoires français furent ceux de l'École des Ponts et Chaussées (1831) et de la Ville de Paris (1869), puis quelques Laboratoires universitaires. Ils opérèrent au début à l'aide de moyens de fortune et suivant des méthodes improvisées. Ils dépendaient souvent de grandes écoles dont ils formaient, le centre d'application et de travaux pratiques, ou d'administrations pour la réception des fournitures. Mais ils étaient rarement indépendants, ils jouaient le rôle d'auxiliaires vis-à-vis d'un organisme important.

Avec le temps, les laboratoires justifiaient pleinement leur rôle, rendirent des services, accrurent leur clientèle. Ils prirent alors de l'importance dans la vie industrielle et acquirent une indépendance relative en augmentant leurs moyens et leur influence. On put

voir progressivement certains laboratoires se détacher de leur organisme de tutelle et d'autres se constituer sous forme de fondations autonomes publiques ou privées avec leurs ressources propres. D'accessoires, ils sont devenus le principal et l'on a construit des laboratoires pour eux-mêmes. Ils ont commencé par être des centres d'essais et, par la force des choses, ils sont devenus des pôles d'intérêt et d'inspiration.

Mais, partis sur une telle base, il leur est resté jusqu'à ces derniers temps une faiblesse congénitale venant d'une fixation préalable par trop précise de leurs activités. Dans la conception architecturale même, le laboratoire, bâti sous la forme universitaire, était divisé en services, en locaux à attribution déterminée, clos entre des murs difficiles à remuer.

Le laboratoire doit être très malléable. Il doit être construit, non pas pour aujourd'hui, mais pour demain. Mais, puisque l'on ignore ce que sera demain, il faut le prévoir

Conférence faite le 20 décembre 1956 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.
L'industrie nationale. — avril-juin 1957.

modifiable, transformable à volonté. Un autre fait important à considérer est qu'un laboratoire actif double tous les dix ans de personnel. Le laboratoire urbain, le laboratoire « monument » clos entre 4 murs, doit donc forcément éclater ou se diviser en annexes situées un peu partout, ce qui est fort désagréable. La solution paraît être le grand terrain en banlieue sur lequel des pavillons correspondant aux principales disciplines sont répartis avec la possibilité de s'agrandir indépendamment les uns des autres sans être obligés de se dévorer réciproquement.

Construire un laboratoire est facile; l'équiper de machines et d'appareils est encore facile; il suffit de disposer de moyens financiers. Mais trouver du personnel pour faire fonctionner un tel laboratoire est beaucoup plus difficile. On demande aux cadres d'être autre chose que des ingénieurs moyens. On leur demande d'avoir de la méthode, de sérieuses connaissances de base assez universelles, et, surtout, de posséder l'esprit de recherche qui est un goût prononcé pour l'aventure intellectuelle.

De tels hommes, il ne faut pas espérer les trouver immédiatement. Un laboratoire se forme; ses premiers temps sont souvent difficiles, car ils sont faits de tâtonnements. Ensuite, une équipe se dégage, des traditions de travail s'établissent, des spécialisations s'accroissent dans la collaboration; un esprit de la maison est créé.

En France, les laboratoires sont nombreux mais assez différents au point de vue de leur champ d'activité et de leur forme administrative ou commerciale.

On distingue :

Les *Laboratoires d'État et des grandes Administrations* gérés par l'Administration elle-même : Laboratoire d'Essais du Conservatoire N° des Arts et Métiers, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Laboratoires de l'Électricité de France... etc...

Les *Laboratoires d'État* dont la gestion est confiée à une organisation privée : Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics d'Outre-Mer.

Les *Laboratoires universitaires* généralement annexés à une chaire de professeur ou à une grande école technique : École Centrale des Arts et Manufactures, Faculté des Sciences

d'Alger, Institut de Recherches et d'Essais de Poitiers... etc...

Les *Laboratoires municipaux* destinés plus spécialement au contrôle des travaux urbains : Paris, Lyon... etc...

Les *Laboratoires des associations professionnelles* : Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics, Laboratoire du Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie des Liantes Hydrauliques...

Les *Laboratoires des organismes de contrôle* Veritas et Securitas.

Les *Laboratoires des Sociétés industrielles* : Stup, Sainrapt et Brice... etc...

Les *Laboratoires Privés*.

Les *Laboratoires de chantier* créés à l'occasion de la construction d'un grand ouvrage.

Parlons maintenant des principaux Laboratoires français en nous excusant d'en omettre quelques-uns car la liste en serait trop longue.

A PARIS ET DANS LA RÉGION PARISIENNE.

Le *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*, le doyen de nos Laboratoires, dont l'activité est plus spécialement consacrée aux travaux routiers et aux travaux publics.

Le *Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers* qui effectue tous les essais de matériaux, mécaniques, physiques et chimiques, mais qui n'est pas spécialisé à l'industrie de la construction.

Le *Laboratoire d'Essai des Matériaux de la Ville de Paris* qui s'occupe des travaux de la Ville et du contrôle officiel des ciments.

Le *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* qui possède une station expérimentale à Champs-sur-Marne et qui s'occupe plus particulièrement des travaux de second œuvre : revêtements, thermique et chauffage, matériaux nouveaux... etc...

Le *Laboratoire de l'Institut National du Bois* qui s'occupe, aussi bien que du bois brut, des contreplaqués, agglomérés, colles, vernis et des champignons et insectes parasites du bois.

Le *Laboratoire d'Études et de Recherches de l'Industrie des Liantes Hydrauliques* dont la spécialisation est explicitée par le titre même.

Le *Laboratoire de la Société Professionnelle des Produits Français de Terre Cuite*.

Les *Laboratoires d'Hydraulique* de Chatou et de Maisons-Alfort.

Les *Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics et leur terrain d'application de St-Rémy-les-Chevreuse* qui s'occupent de tous les essais et recherches que justifient les Industries de la construction.

Je signalerai encore le projet de construction d'un laboratoire de l'Iraba (Institut de Recherche Appliquée au Béton Armé) ainsi que celui du *Costic* (Centre Scientifique et Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation), tous deux à St-Rémy-les-Chevreuse.

En province, nous comptons principalement :

— les laboratoires de Marseille, *Centre National de la Recherche, Faculté des Sciences, Institut du Béton Armé*.

— le laboratoire de l'*Institut Polytechnique de Grenoble*.

— le laboratoire de l'*École Nationale des Ingénieurs de Strasbourg*;

— celui de l'*Institut Polytechnique de l'Ouest* à Poitiers;

— les différentes agences routières du *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*;

— les *Laboratoires du Bâtiment* de Rouen, Dijon, Rennes, Bordeaux, Orléans, Nice, gérés par les L. B. T. P. de Paris.

Outre-Mer, nous avons :

— à Alger, le *Laboratoire de Physique Industrielle de la Faculté des Sciences*, le *Laboratoire d'Études du Sol et d'Essais de Matériaux*, service algérien du L. B. T. P. de Paris, pour lequel est actuellement en construction un nouvel immeuble. Il existe en outre une agence du *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* de Paris.

— Les *Laboratoires des Travaux Publics* de Dakar, Abidjan, Bamako, Douala, Brazzaville, qui sont gérés par les L. B. T. P. de Paris.

— Au Maroc :

Le *Laboratoire Public d'Essais et d'Études*, organisation privée, géré par les L. B. T. P. de Paris.

L'ensemble de ces Laboratoires occupe, pour la France et les territoires d'Outre-Mer, environ 2 000 personnes dont 500 ingénieurs

diplômés, au maximum. Les essais et recherches sur matériaux et constructions représentent, en France, un total difficile à préciser en dépenses. On peut penser qu'il est compris entre 2 et 3 milliards de francs, 600 à 800 millions pour la recherche proprement dite. Ne sont pas inclus dans ces chiffres les investissements en matériel et immeubles, ni leurs remplacements ou amortissements. Rappelons que le chiffre d'affaires du Bâtiment et des Travaux Publics est de l'ordre de 1 500 milliards de francs.

Je me permettrai, maintenant, de parler d'un laboratoire un peu plus particulièrement : le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics dont je m'occupe.

Il fait partie du groupe des Organismes techniques créés par les Fédérations des Entrepreneurs du Bâtiment et de Travaux Publics de France, avec l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics pour la diffusion et l'enseignement, et avec le Bureau Sécurité (SOCOTEC) pour le contrôle des chantiers.

Les Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics ont été créés en 1933. Leur siège est à Paris — 12, rue Brancion — qui, avec son annexe de St-Rémy-les-Chevreuse, occupe environ 200 personnes dont 60 ingénieurs. La liste des sections peut montrer la diversité des problèmes que pose la recherche à nos industries. La voici :

Mécanique du Sol.

Route.

Physique et Électronique.

Essais sur modèles. Photoélasticité. Extensométrie.

Thermique.

Métaux et Constructions métalliques.

Bétons et Ciments.

Béton armé.

Matériaux de construction.

Chimie.

Physico-chimie et Physique nucléaire.

Produits bitumineux.

Essais sur chantiers. Auscultation.

Peintures et vernis.

Plomberie.

Enfin, les sections administrative, comptable et sociale.

En province, existent 6 laboratoires régionaux, laboratoires d'essais où l'on effectue peu de recherche.

En Afrique du Nord, existent 2 laboratoires à Alger et Casablanca qui dépendent de la rue Brancion et qui emploient chacun une trentaine de personnes. On y effectue des recherches importantes sur les problèmes locaux. Le laboratoire de Casablanca possède une annexe à Meknès.

En Afrique Noire, une importante agence a été organisée à Dakar où l'on effectue des recherches sur le plan local; elle occupe une dizaine de personnes dont trois ingénieurs.

D'autres laboratoires ont été montés à Abidjan, Douala, Brazzaville, Bamako, avec chacun un ou deux ingénieurs et quelques préparateurs.

Comme on peut le voir, cette organisation est très décentralisée et nécessite un système de coordination bien établi. Sur le plan de la recherche, chacun des travaux est suivi par la maison mère de Paris; les recherches importantes sont le plus souvent dirigées sur la rue Brancion, mieux outillée en matériel et en spécialistes. Réciproquement, des spécialistes sont souvent envoyés en mission temporaire sur place pour aider les chercheurs locaux. Le personnel cadre d'Outre-Mer, ingénieurs et Assistants, est formé à Paris pendant au moins une année, sinon deux. Il est envoyé sur place pendant 6 à 8 ans et il rentre rue Brancion où il reprend sa place dans les Services. Il a ainsi acquis une grande expérience des travaux et des chantiers qui lui permet ensuite d'augmenter son efficacité dans la recherche.

Nous nous défendons d'ailleurs, d'une manière générale, de séparer la recherche des essais et des études de chantier. Tout chercheur doit rester en contact avec la pratique et les praticiens.

Je m'excuse de cet intermède personnel qui était destiné à servir d'illustration et je parlerai maintenant de la collaboration entre laboratoires. Celle-ci est faite au sein d'une association, l'A. F. R. E. M., (Association Française de Recherches et d'Essais sur les Matériaux et les Constructions). Elle réunit les Laboratoires de notre Pays, aussi bien privés que publics, et ses buts d'après les Statuts sont :

1° L'information et la coopération relative aux essais et recherches sur les matériaux et les constructions en cours ou en projet.

2° L'étude des méthodes d'essais en vue de leur perfectionnement et de leur utilisation.

3° L'échange temporaire de techniciens dans un but éducatif.

4° La liaison étroite avec les Associations spécialisées dans les domaines techniques et scientifiques voisins.

5° La liaison avec l'Organisation internationale RILEM dont les buts sont les mêmes.

6° L'organisation de réunions, de discussions sur des sujets techniques ou scientifiques limités.

7° La diffusion des informations, travaux et résultats.

L'A. F. R. E. M. est une petite Association par le nombre, mais importante par l'action. Elle réunit environ soixante laboratoires et chercheurs indépendants. Elle a, à son actif, les « Journées d'Extensométrie » de février 1955, un certain nombre de conférences. Elle a établi l'unification des méthodes d'essais de retrait et fissuration des ciments, l'unification des méthodes d'essais béton, la spécification sur les presses de laboratoire, l'unification des méthodes d'essais de mécanique du sol en collaboration avec le Comité Français de Mécanique du Sol, ... etc... et bien des projets sont en cours de réalisation : tamis, étuves, extensomètres, essais d'usure, perméabilité des murs... etc... L'A. F. R. E. M. doit organiser, en mai 1958, un colloque sur l'influence du gel sur les matériaux et les essais de gélimité.

Ses Présidents successifs furent :

R. L'Hermite, Président Fondateur.

L. Stahl, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées.

Son Président actuel est l'Inspecteur Général Frontard.

La R. I. L. E. M. (Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions) est, sur le plan international, ce qu'est l'A. F. R. E. M. sur le plan français. Elle a pris naissance aussitôt la dernière guerre d'une rencontre provoquée dans mon Laboratoire entre une vingtaine de Directeurs de Laboratoires de tous les pays désireux de renouer des liens et d'instaurer une collaboration effective. Elle réunit aujourd'hui plusieurs centaines de Laboratoires de 40 nations. Tous les ans a lieu une assemblée des délégués dans un pays différent, qui décident des sujets de travail et de la répartition de certaines tâches. Elle a, à

son actif : la méthode internationale Rilem-Cembureau d'essai des ciments, la spécification des essais de béton, la spécification des essais d'acier à béton armé... etc...

Elle a obtenu des échanges de travailleurs scientifiques avec bourses d'études. Elle a effectué des enquêtes et publié les résultats. Elle a organisé des colloques et symposiums spécialisés tels que celui consacré à l'Essai non destructif des bétons (Paris), à l'observation et à l'auscultation des ouvrages (Lisbonne), au bétonnage en hiver (Copenhague). En juin 1957, aura lieu à Stockholm un symposium sur la fissuration du béton, en septembre 1957, un colloque à Madrid sur les bétons injectés, en 1959, un colloque à Paris sur le mouvement de l'eau dans les corps poreux, etc...

La R. I. L. E. M. a 10 ans d'existence. Je pense qu'elle a fait les preuves de son utilité.

Sur le plan de la collaboration entre les laboratoires français de spécialités différentes existe une importante Association, l'A. N. R. T. (Association Nationale de la Recherche Technique). Elle groupe les Instituts et les Laboratoires privés tels que ceux des charbonnages, de la métallurgie, de la fonderie de l'Électricité de France, de l'Énergie atomique... etc...

Il s'y réalise une collaboration effective qui a déjà donné de nombreux résultats.

Le Président actuel de l'A. N. R. T est M. Cheradame, Directeur du Cherchar.

Après avoir fait la description de nos moyens, revenons à la recherche proprement dite et voyons « Comment la recherche peut faire prospérer l'industrie de la Construction ». L'organisation de la recherche est un fait récent et les méthodes opérationnelles, qui comportent l'étude de la décision, de l'action, de la gestion et de la diffusion, ne sont pas encore fixées. Nous assistons seulement, pour l'instant, à la prise de conscience des problèmes complexes que pose la conjonction de la recherche et de l'économie.

Ces problèmes sont particulièrement aigus dans le cas des industries du bâtiment et des travaux publics, industries où la répétition est rare.

On ne construit jamais le même barrage, rarement deux fois le même pont ou le même immeuble. C'est tout juste si l'on commence

à fabriquer des maisons en série et encore il s'agit, la plupart du temps, d'ensembles localisés qui ne se répètent pas sous la même forme. Il n'y a que des prototypes à de rares exceptions près.

La recherche et la mise au point de procédés industriels portent surtout sur des facteurs communs, des données fondamentales et des procédés fragmentaires que l'on retrouve partout.

Enfin, puisque nos industries sont extrêmement morcelées, il est difficile d'évaluer la « rentabilité » de la recherche. Lorsque l'on fait la mise au point d'une usine témoin ou d'un procédé nouveau de fabrication, on peut en calculer le bénéfice apporté. Mais lorsqu'il s'agit de vérifier le bénéfice tiré d'un nouveau procédé de construction appliqué par quelques milliers d'entreprises, l'enquête précise et sérieuse s'avère impossible à mener.

Ce serait faire preuve de présomption de tenter une évaluation de la rentabilité de la recherche et l'on ne peut que demander aux entreprises de faire confiance aux instituts de recherche. Pour ceux-ci, la position est délicate à tenir et c'est ce qui en fait la difficulté.

Faute de preuves chiffrées, beaucoup restent sceptiques et n'apportent pas aux chercheurs tout le soutien moral et financier qu'ils se jugent en droit d'attendre, d'autant plus que la recherche est chère, qu'elle n'est pas toujours efficace à cent pour cent et la critique est facile. Un bon ingénieur paraît plus utile à la tête d'un chantier ou d'une entreprise que dans un laboratoire où les résultats de son travail apportent plus à la collectivité qu'aux intérêts particuliers. Moins bien rémunérée, la recherche n'attire pas les ingénieurs et beaucoup d'esprits supérieurs sont perdus pour la recherche et finissent dans l'organisation et la finance.

Je m'excuse de vous avoir dressé un tableau un peu sombre et, si je l'ai fait, c'est que je constate que se dessine une évolution qu'il faut favoriser.

La première opération de la recherche est la décision : que faut-il chercher ? Il ne s'agit pas de laisser la totale initiative au chercheur, mais il faut lui laisser une certaine latitude. A ce point de vue, nous serons amenés à diviser les problèmes de recherches en deux classes : la recherche technologique et la recherche de base.

La recherche technologique est faite des questions que l'industriel se pose tous les jours. Elle peut comprendre des petits et des grands problèmes. Mais, pardonnez-moi cette impertinence, la plupart des praticiens ne savent pas poser les questions. Il faut les en excuser car ils voient l'affaire du point de vue de leurs préoccupations immédiates et du résultat à atteindre le plus tôt possible. Ils n'ont pas idée de la difficulté que peut présenter la solution, des moyens d'investigation et de mesure que va nécessiter sa mise en œuvre.

Poser un problème technologique peut paraître simple, tel par exemple que celui-ci : « Usure comparative des différents types de garniture des robinets de puisage ». Il faut d'abord étudier le couple de fermeture d'un robinet usuel, de lavabo ou d'évier. Toutes les personnes ne ferment pas un robinet avec la même vigueur : la femme nerveuse et la bonne nonchalante. Elle ne le ferment pas de la même façon suivant le moment de la journée où à la veille d'un départ en voyage. Il a donc fallu faire une statistique et des robinets pièges ont été installés à différents endroits, sur des lavabos et des éviers, comprenant des extensomètres électriques camouflés dans les tiges et des dispositifs enregistreurs dissimulés dans une pièce voisine. Il a été surprenant de constater que le couple de fermeture varie de 1 à 20, que les femmes serrent plus que les hommes et que les plus discrets sont, à ce sujet, les ouvriers habitués à manier les manettes de machines outils. Cette statistique ayant été dépouillée, il a fallu construire une série d'appareils opérant sur un couple de fermeture moyen et permettant d'ouvrir automatiquement et de fermer de même un robinet plusieurs dizaines de milliers de fois, cet essai pouvant être fait à volonté sous un courant d'eau froide et un courant d'eau chaude. Il a fallu trouver un procédé permettant de mesurer l'usure progressive et les changements de propriétés de la garniture. Cette étude, qui paraissait simple, a duré plusieurs années et a coûté beaucoup plus cher qu'on aurait pu le supposer étant donnée la simplicité apparente de la question posée. Mais elle a fait faire un progrès à une branche de la plomberie, progrès dont il est d'ailleurs impossible d'évaluer la rentabilité.

Ainsi que l'on peut l'imaginer, le Bâti-

ment et les Travaux Publics touchent à toutes les sciences et toutes les techniques, les moyens d'investigations utilisés participent à toutes les disciplines et les hommes de science auxquels il est fait appel doivent avoir des connaissances étendues pour les mettre à la disposition des études dont l'apparence peut rester élémentaire. Qui aurait pu penser, il y a 20 ans, que la physique atomique rendrait des services aux études qui nous intéressent? La cybernétique, la statistique et les probabilités, l'électronique et même la biologie, entrent en jeu; les théories mathématiques les plus avancées ont leur mot à dire.

C'est donc que le spécialiste, dont la « tranche » de science, bien que considérablement approfondie, ne peut être, malgré tout, universelle (nous ne sommes plus au temps de Newton ni de Pic de la Mirandole), doit faire appel à des gens dont le métier est de dépister les techniques nouvelles. Ceci ne peut se faire qu'en collaboration, une collaboration effective et permanente; je ne parlerai pas d'équipe, il semble que l'on ait abusé du terme et que l'équipe ne puisse s'établir que pour des fins particulières et limitées. Je dirai seulement que les rencontres fréquentes et les critiques réciproques doivent être effectives. Dans mon laboratoire, nous avons constitué des colloques mixtes où hommes de métier et hommes de science ont le loisir de confronter leurs points de vue (nous parlons de commissions, voici un terme dont on a abusé, tant pour le sens que pour l'efficacité). Dans ces colloques, les questions sont posées aux hommes de laboratoire, les résultats sont donnés, expliqués, critiqués et le chercheur est remis dans le bon chemin. Les écarts sont corrigés et la confrontation se fait avec le réel. Le chercheur est un peu comme un jeune chien qui flaire toutes les pistes et se dirige au hasard de son instinct. Le chasseur doit être présent et, bien qu'il ne puisse pas se passer de cet auxiliaire, il doit le rappeler de temps à autre sur le bon chemin.

Nous avons aussi bon nombre de commissions suivant les corps d'état : béton et béton armé, maçonnerie, construction métallique, plomberie, couverture, peinture, sol et fondations, matériel de chantier, chauffage et ventilation, menuiserie, etc... Elles se réunissent 2 à 3 fois l'an.

Mais ces recherches technologiques, d'uti-

lité quasi-immédiate, inspirées par les circonstances et les besoins du moment, ne sont pas exclusives. Il existe un autre ordre de recherches appelées recherches de base ou recherches fondamentales. Il ne s'agit pas de recherche pure et totalement désintéressée. Il ne faut pas condamner d'ailleurs ce genre de travaux dont l'échéance utilitaire est indéfinie en principe, mais je place la recherche de base de manière différente. C'est une série de travaux que l'on poursuit dans le but d'éclairer les techniques d'application, mais destinés à établir les lois fondamentales des phénomènes sans pour cela en chercher une application immédiate et obligatoire. Les recherches de base sont à la recherche technologique ce que la science est à la technique, elles la précèdent. Elles doivent permettre d'interpréter, de trouver les causes sans forcément être guidées par des conséquences économiques ou pratiques. Elles laissent au chercheur une plus grande liberté d'esprit, une largeur de vue plus étendue. La loi de Mariotte portait en puissance la fabrication de l'air liquide. La loi de Hooke incluait la résistance des matériaux dont nous faisons usage aujourd'hui. Les études sur la plasticité des solides, l'influence des contraintes tridimensionnelles sur la rupture, sont des recherches de base. Certaines ont déjà trouvé leur aboutissement pratique; l'étude de la propagation des ébranlements dans le béton a conduit aux essais non destructifs. D'autres, au contraire, n'ont pas encore eu de conséquences utilitaires, telle la mesure des bruits détectés au microphone, qui accompagnent la mise en charge des solides, métaux et conglomerats aussi faible que soit la charge. Mais toute découverte est douée d'un potentiel et ne peut pas être négligée car elle libérera cette puissance à plus ou moins longue échéance le jour où un esprit ingénieux aura trouvé sa justification. Et ceci ne manquera pas d'arriver.

Voici quelques exemples de recherches de base que nous avons en cours dans nos Laboratoires :

— Déformation plastique, fluage et retrait des ciments, mortiers et bétons.

— Dilatation thermique des bétons et corps poreux contenant de l'eau, autour de la température de zéro degré ($\pm 15^\circ$).

— Étude statistique de la dispersion dans la composition des granulats et de son influence sur la variation de résistance des bétons.

— Étude de la propagation des vibrations dans le sol.

— Étude de la déformation plastique des métaux sous triple sollicitation, au-delà de la limite d'élasticité, apparition des glissements.

— Recherches sur le mouvement de l'eau dans les corps poreux : succion, évaporation, osmose et thermo-osmose.

— Recherches sur les surfaces spécifiques des poudres et granulats, etc...

Je disais, il y a instant, que chaque recherche est une aventure. En supposant que l'on en connaisse bien les données, le point de départ, on ne sait pas toujours où l'aventure va conduire les chercheurs. En principe, une recherche fait l'objet d'un plan et ce dernier suppose une théorie, c'est-à-dire une hypothèse sur les faits qui vont être rencontrés, une sorte de philosophie personnelle que l'on se fait de la question. C'est cette théorie qui va être confrontée avec les résultats de l'expérience, puis corrigée ou abandonnée pour une autre. L'expérience de laboratoire est une reproduction idéalisée des faits réels tels qu'ils sont rencontrés dans l'industrie ou dans la nature. Pour une meilleure compréhension, les facteurs sont séparés, ce qui paraît accessoire est élagué. Tout ceci est arbitraire et il n'est pas certain que l'expérience de laboratoire mette en évidence tous les phénomènes qui ont de l'importance aux yeux du praticien. Elle peut même, dans certains cas, et cela s'est vu, passer à côté de la question et se traduire par un échec.

C'est pour cela que le laboratoire doit rester en contact avec le praticien. Celui-ci connaît ses besoins, il connaît mieux que quiconque les aléas du chantier, les écueils et les incidents. Le laboratoire doit prendre son inspiration dans l'œuvre sinon, il perd pied, il s'envole dans les nuages. Dans mon laboratoire, nous avons, dans chaque service, des sections d'essais et des sections de recherches. Non seulement les ingénieurs de ces sections se fréquentent et se mettent au courant de leurs travaux, mais j'effectue de temps à autre des rotations sous forme de stages d'une section dans l'autre. Ainsi, l'ingénieur de recherche trouve l'occasion de prendre con-

tact avec les problèmes de tous les jours, de visiter les chantiers, de rencontrer des entrepreneurs et des architectes qui lui font part de leurs préoccupations. La « pathologie » de la construction, cette description des incidents rencontrés, des maladies passagères ou chroniques des ouvrages, est une grande inspiratrice de la recherche; elle mène à l'étude « clinique », à la recherche des causes et des conséquences et à la découverte de lois fondamentales souvent ignorées.

Arrivons maintenant au temps où la recherche est faite. Les résultats, parfaits ou imparfaits, inattendus ou escomptés, sont là. Bien sûr, on pourrait prolonger une recherche indéfiniment et le chercheur qui s'intéresse à son problème a peine à l'abandonner. Comme l'inventeur qui perfectionne sans cesse son système, il ne trouve jamais le résultat parfait, à son goût. Il faut savoir s'arrêter et c'est souvent au praticien de dire : pour l'instant, j'en connais assez pour nos besoins, passez à autre chose.

Lorsque la recherche est faite, il faut que l'industrie en profite. Nous passons à une phase capitale qui est la diffusion. Publier un mémoire dans une revue scientifique est bien, c'est utile, indispensable, même pour les collègues, chercheurs aussi. Mais combien de mémoires de ce genre sont enfouis pour l'éternité dans des piles de revues que personne ne lira plus. Et les revues scientifiques ne touchent pas la plupart des praticiens. Le mémoire est rébarbatif, il contient des formules, des tableaux, des diagrammes, qui font reculer celui qui n'a pas l'habitude de ces choses. La recherche et tout ce que cela comporte comme effort et comme argent risque d'être perdue.

Il faut mettre les résultats de la recherche à la portée du praticien. Les hommes de science ne savent pas ou feignent de ne pas savoir exprimer leurs idées d'une manière simple, ils n'imaginent pas un monde fait pour d'autres que pour eux seuls. En ceci, ils ont tort. Ce qui se conçoit bien doit s'énoncer clairement et si les mots pour le dire ne viennent pas aisément, c'est que l'on cache l'imprécision de sa pensée derrière l'artifice des expressions compliquées.

Mettre le résultat de la recherche à la portée du praticien, c'est faire œuvre de vulgarisation. Or, il peut et il doit exister plusieurs degrés de vulgarisation. Celle des-

tinée aux ingénieurs n'atteindra pas le manœuvre, le premier est plus exigeant sur les justifications des résultats avancés que le second. Le dernier demande plutôt des indications d'ordre manuel, des recettes et ne va pas très loin pour en chercher les raisons.

Tandis que la diffusion des travaux scientifiques est effectuée normalement, je pense qu'un effort doit être fait pour la vulgarisation pratique. Mais, là encore, il faut faire une distinction car il existe une classe de personnes fort abondante, ceux qui n'ont pas le temps de beaucoup lire, entrepreneurs et cadres de toutes sortes, et qui veulent cependant être tenus au courant. A cet usage, nous avons créé une sorte de « digests » dans lesquels on s'efforce d'extraire la substantifique moelle dans des petits rapports de 2 à 4 pages imprimées que nous avons appelés « Notes techniques ». Elles sont distribuées grâce à un fichier spécial de manière qu'elles arrivent le plus efficacement possible entre les mains des intéressés. Les entrepreneurs nous en demandent souvent de nombreux exemplaires supplémentaires afin de les répartir dans leur personnel.

Voici, au hasard, quelques titres de notes techniques :

- Les méthodes atomiques de mesure.
- Perméabilité à l'air des fenêtres.
- Étude sur les robinets.
- Le fleximètre enregistreur à distance.
- L'appareil détecteur des fuites d'eau.
- Le scléromètre.
- L'auscultation dynamique des bétons.
- L'essai des cordes à nœuds.
- Comment épargner les coups de bélier aux canalisations.
- Attaque des tuyaux par la flore microbienne de l'eau.
- Comment limiter sur chantier les effets du retrait du béton.
- Recherches sur le vieillissement artificiel des peintures.
- Étude sur les planchers chauffants.
- Recherches sur les pierres de taille.
- Étude sur la corrosion des canalisations de vidange.
- La résistance du béton au feu.
- Comment épargner les vibrations aux bâtiments, etc... etc...

Elles ne sont pas rédigées par les ingénieurs eux-mêmes, mais par un spécialiste, journaliste scientifique de profession que nous avons pris à notre service. C'est lui qui vient interviewer le chercheur intéressé, il écrit l'article, le lui soumet, le corrige plusieurs fois s'il le faut et le publie après son accord définitif.

Cette formule a semblé donner de bons résultats jusqu'à présent car un chercheur se soumet beaucoup plus volontiers à l'interrogatoire qu'il ne prendrait le temps de rédiger lui-même un article de vulgarisation. Pour lui, dans le mot vulgarisation, il trouve : « vulgaire », et cela le chiffonne.

Nous pensons encore, pour la main-d'œuvre, mettre au point des formulaires de chantier. Mais l'affaire est difficile, elle n'est pas mûre. J'ai essayé aussi la vulgarisation par l'image. Au texte, aussi simple que possible, sont associées des figures à tendance humoristique. La couleur est largement utilisée pour attirer l'œil et laisser un souvenir visuel. Je veux parler d'un album que j'ai publié il y a quelques années et qui a pour titre « Au pied du mur ». Il semble avoir bien réussi étant donné les milliers d'exemplaires vendus en 3 ans. Je souhaite surtout faire école et j'espère trouver des imitateurs.

Mais la diffusion livresque n'est pas la seule. Le contact direct d'homme à homme est doué d'une puissance de persuasion que l'écriture ne peut remplacer. Je ne veux pas parler des conférences, il y en a déjà trop et la clientèle en est formée, pour la majorité, de gens déjà conquis à l'idée qui va être présentée. Je veux parler d'une autre formule qui est celle du « séminaire ». Le mot est un peu prétentieux, mais en réalité sa signification est simple. Il s'agit de réunir pendant quelques jours, une semaine par exemple, une quinzaine de personnes dans un lieu assez isolé de Paris pour éviter les sorties du soir. Des conférences leur sont faites par des spécialistes choisis suivies de discussions et de séances expérimentales. Les repas sont pris en commun où les discussions se poursuivent. Après dîner, et jusqu'à l'heure du coucher, sur place, ont lieu des colloques où chacun pose des questions à sa guise. Le maître des conférences du jour et ses assesseurs y répondent et animent le débat. Il semble qu'un profit appréciable soit tiré de ces contacts pour les uns et les autres.

Enfin, une formule nouvelle que nous venons de mettre au point est le renseignement téléphonique organisé. Un entrepreneur, un architecte ou un ingénieur, souhaite souvent trouver très vite le renseignement qu'il désire. Il n'ose pas toujours prendre son appareil téléphonique et risquer de perturber les travaux de quelqu'un de connu ou risquer de recevoir une réponse sèche qui fait bien comprendre, quoique poliment, ce qu'elle veut dire. Il ne peut perdre son temps à chercher dans la littérature, courir les bibliothèques, fouiller dans les collections de revues. Le temps est le plus précieux de tous les biens, il ne faut pas le perdre ni le faire perdre aux autres.

Cependant, le renseignement est utile tout de suite et il faut le trouver : résistance d'un produit, avis sur un incident, bibliographie sur un sujet, ... que sais-je? Nous avons organisé un service de renseignements téléphoniques avec un numéro d'appel bien connu. Au bout du fil se trouve un ingénieur spécialisé qui répond immédiatement s'il le peut ou qui, se réservant, s'engage à rappeler dans les 24 heures. Il confie alors l'enquête à l'un de ses adjoints, lequel s'adresse aux spécialistes du laboratoire et la réponse est faite en temps voulu.

Ce système présente, non seulement un intérêt pour le « client », mais renseigne l'institut sur les problèmes d'actualité, les préoccupations du moment. Il donne par là des sujets de recherche et réalise ce contact sur lequel je ne cesse d'insister.

On peut se demander comment la recherche fait prospérer l'industrie du bâtiment et cette question est infiniment complexe.

La recherche a pour effet d'éviter, au moins de raréfier, les incidents et les accidents en enseignant non seulement ce qu'il faut faire, mais encore ce qu'il ne faut pas faire. La pathologie, dont je vous parlais il y a un instant, conduit à la prophylaxie.

La recherche a pour conséquence une meilleure connaissance des matériaux, non seulement par leur contrôle, mais encore pour les données qu'elle fournit aux constructeurs. Une meilleure connaissance détermine une meilleure utilisation. Qui songerait à nier que la connaissance, bien qu'imparfaite encore, du fluage des bétons n'a pas déjà amélioré les techniques de la précontrainte?

La recherche peut conduire à la découverte

de produits, de procédés nouveaux, ceci en collaboration avec les professionnels. La recherche peut amener à des techniques nouvelles, à des sciences et à des technologies qui font évoluer l'art de construire. La mécanique des sols est née dans les laboratoires. Combien d'accidents a-t-elle évités? Combien de travaux n'aurait-on pas osé réaliser sans son aide, combien d'économie a-t-elle fait faire?

La recherche peut améliorer la fabrication des matériaux, améliorer leur qualité en diminuant leur prix. L'étude des granulométries et leur contrôle n'ont-ils pas conduit à des bétons aux hautes performances sans que, pour autant, leur dosage ait varié. Rappelez-vous : il y a seulement 25 ans, on n'osait pas prendre un taux de travail supérieur à 45 kg-cm². Où en sommes-nous aujourd'hui? Au double.

La recherche est devenue indispensable; j'en vois la meilleure preuve dans son succès croissant dans nos industries. J'ai commencé dans mon laboratoire en 1933, avec 10 personnes. Nous sommes aujourd'hui 300. Nous avons essaimé dans toutes les villes de France, en Afrique et ailleurs. Le nombre de laboratoires a cru pendant ce temps, celui des Liants Hydrauliques, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, sont nés, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées s'est multiplié, et je ne cite que les 3 plus importants. Croyez-vous que ceci se serait fait si la recherche était inutile? Croyez-vous que des industriels avisés ou des administrateurs soucieux de leur budget auraient fait de pareils sacrifices s'ils n'étaient pas convaincus de l'utilité de leurs investissements? Nous ne sommes plus au temps où des monarques ou des mécènes désintéressés prenaient leur seule satisfaction dans l'encouragement des arts et des sciences.

Mais je crois pouvoir mieux vous montrer l'utilité de la recherche par quelques exemples dont je vous laisse libres d'apprécier les conséquences, exemples de recherches technologiques qui sont pris dans les dossiers de mon propre laboratoire.

Plomberie.

Étude de la propagation des coups de bélier dans les tuyauteries et recherche du

dispositif « anti-bélier » le plus efficace. Cette recherche a conduit à la mise au point d'un appareil destiné à la mesure de l'effet amortisseur des dispositifs « anti-bélier », à leur sélection et à leur contrôle.

Étude de la corrosion interne des tuyauteries de vidange en fonte et en fer. Recherche d'une peinture de protection.

Menuiserie.

Étude de l'étanchéité à l'air des fenêtres. Mise au point d'un dispositif expérimental pour la mesure de leur perméabilité. Recherches statistiques sur les fabrications. Ceci a conduit à établir une spécification de contrôle et à sélectionner les différents dispositifs de calfeutrement et bourrelets.

Peinture.

Étude du vieillissement naturel des peintures pour extérieur. Ces peintures ont été soumises à différentes atmosphères : Paris, Marseille, Casablanca, Dakar. Les résultats de ces essais ont conduit à l'élaboration d'un procédé de vieillissement artificiel accéléré pour contrôle en laboratoire correspondant aux différents types de climats et à la saison d'application.

Chauffage.

Étude de l'effet sur le béton et sur les revêtements de sol des tuyauteries de chauffage incorporées. On a pu constater qu'en dessous d'une certaine température du fluide chauffant, l'effet était négligeable et les inconvénients minimes. Cependant, le risque de corrosion des tuyauteries, mesuré grâce à un essai accéléré sur tubes ultra-minces, a conduit à fixer certaines spécifications quant à la composition du béton et à éliminer plusieurs types de revêtements et de faux plafonds.

Étude de la température maximum qui peut être donnée à un plancher chauffant sans inconvénient pour le confort des usagers. Cette étude a commencé par une recherche statistique directe par chaufferettes réglables

placées sous les pieds de membres du personnel travaillant au bureau. Dans certains cas, ont été utilisées des chaussures spéciales munies de couples thermo-électriques. Enfin a été créé un pied artificiel spécialement conçu pour mesurer la température de l'épiderme étant donné un apport de calories semblable à celui fourni par la circulation sanguine. Le résultat de la recherche a montré que la température confortable du sol ne devait pas, en surface, dépasser 28°.

Maçonnerie.

Les recherches sur les pierres de taille utilisées en maçonnerie ont permis une meilleure classification de celles-ci au point de vue des applications. Elles ont conduit, en outre, à un procédé de qualification en carrière par des moyens non destructifs (rayure et ultra-sons).

Sol et fondations.

La recherche sur la thermo-osmose dans les sols a permis d'expliquer le phénomène de migration de l'eau sous l'influence des différences de température, lequel provoque dans les pays arides et semi-arides des désordres dans les constructions par gonflement du sol et soulèvement local des fondations. Le phénomène étant expliqué, le remède peut être trouvé dans différents dispositifs de coupure du flux d'humidité ou par la recherche du niveau et de la pression adéquate des fondations.

Béton.

Les recherches sur la vibration du béton frais ont permis d'établir la théorie du phénomène avec toutes ses conséquences d'application. On dispose, en particulier, d'une méthode de détermination du rayon d'action d'un vibreur et de fixation du programme de vibration.

Les recherches sur le retrait ont complété la connaissance des lois relatives à ce phénomène et, en particulier, à trouver des procédés permettant de combattre la fissuration. Un

essai de fissuration accélérée permet de sélectionner les ciments à cet effet.

Les recherches sur le traitement du béton à la chaleur ont permis la mise au point de procédés physico-chimiques d'accélération du durcissement fort utiles dans la fabrication en usine. Ils ont conduit à la réalisation de bétons donnant une résistance à la compression de 1 200 kg/cm² en quelques heures.

Béton armé et béton précontraint.

Les études sur l'adhérence de l'acier au béton ont amené à la fixation des meilleures formes d'ondulation et saillies superficielles susceptibles d'accroître la liaison. Il est possible désormais, sans augmenter le risque de fissuration, de doubler le taux de travail admis il y a 10 ans. En outre, ceci permet l'utilisation d'aciers de nuance plus dure et la prise en compte de taux de travail beaucoup plus élevés (de l'ordre de 40 à 50 kg-mm²). Enfin, les dispositifs d'ancrage se trouvent simplifiés et beaucoup moins onéreux.

Les recherches sur la relaxation des fils de précontrainte par la méthode vibratoire ont conduit à l'établissement d'un procédé simple et économique pour la sélection des nuances d'acier présentant un minimum de perte de tension.

Métaux et construction métallique.

L'étude du percement des trous de rivets par poinçonnage a permis de trouver les procédés déterminant la moindre détérioration du métal. Ils ont, en particulier, conduit à déterminer les cotes relatives du poinçon et de la matrice.

Appareils de chantier.

Les recherches sur le concassage des roches destinées à la fabrication des agrégats et ballasts ont conduit à reconnaître le mécanisme de ce phénomène. L'étude de la forme et du débit pour différentes natures de pierres permet de fixer le choix sur le type de concasseur à utiliser dans chaque cas. Le calcul

de l'ouverture des mâchoires a montré d'abord l'inutilité des dents et saillies superficielles qui ne font que freiner le débit et a permis de tracer un profil optimum utilisé désormais par différents constructeurs.

Les recherches sur les fleurets de percement des roches, entreprises à la suite de l'observation de ruptures par fatigue, ont conduit, en collaboration avec les métallurgistes, à la recherche d'une meilleure nuance d'acier et à la modification du procédé de réalisation du trou central d'injection d'eau. Depuis cette amélioration, les ruptures par fatigue sont devenues beaucoup moins fréquentes.

Vibrations.

L'étude de la propagation des ondes sonores et ultra-sonores dans les solides et les sols a permis de relier la vitesse de propagation à la qualité technique de la matière considérée. Dans le cas du béton, il en est résulté une méthode d'auscultation non destructive pour l'évaluation de la résistance en œuvre. Cette méthode est maintenant employée dans le monde entier.

Dans le cas des roches, il est possible, de cette manière, de rechercher le module de déformation, les singularités, failles et défauts, en particulier à l'avancement ou sur les parois d'une galerie. On peut examiner l'état de fissuration et de décompression produit aux environs du percement. Dans le cas de sols pulvérulents ou argileux, on peut effectuer des recoupements entre son-

dages, évaluer les pendages des couches, déterminer la variation du niveau des nappes, etc...

Physique atomique.

L'utilisation des radioisotopes a conduit à l'étude des lois de migration de l'eau dans les roches, à la reconnaissance des densités « in situ », et à la détermination des teneurs en eau grâce à l'irradiation par rayons gamma et par neutrons. Ces procédés sont maintenant utilisés à l'échelle industrielle et ont trouvé de nombreuses applications : sondages, examen du compactage des sols, contrôle du serrage des bétons, détermination des teneurs en bitume, contrôle du degré d'humidité des mélanges destinés à la fabrication du ciment... etc...

Ces quelques exemples vous permettront peut-être de vous faire une idée de l'efficacité de la recherche dans l'industrie de la construction. Il s'agit ici de recherche publique, je ne peux faire état de la recherche privée, puisque lié par le secret professionnel. Mon opinion est que la recherche est un investissement particulièrement intéressant. En citant M. le Ministre Longchambon, je dirai que, l'ère des conquêtes coloniales étant terminée, notre civilisation occidentale doit dépenser ses énergies à des tâches nouvelles. Ces tâches sont dans la recherche du progrès et du bonheur pour les hommes. Nous avons des cerveaux et des âmes généreuses qui les animent. Et puisque c'est la construction qui, ici, nous préoccupe, utilisons-les au mieux de leurs aspirations et de nos moyens.

LES PUBLICATIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

3, Quai Anatole-France (PARIS VII^e)

I. — OUVRAGES

DUMAS. — Les épreuves sur échantillons (ouvrage relié pelliore rouge)	1 000 F
DUVAL. — English for the Scientist.	450 F
DUVAL. — Power is science	en préparation
DUVAL. — Wer sucht, der findet.	relié 450 F
DUVAL. — Besser spät als nie	450 F
FORTET R. — Éléments de calcul des probabilités	1 200 F
FRECHET. — Formulaire de Mathématiques, chapitre XII	600 F
FABRY. — L'ozone atmosphérique.	1 200 F
FRANÇON M. — Le microscope à contraste de phase et le microscope interférentiel	1 000 F
GRIVET. — La résonance paramagnétique nucléaire (ouvrage relié plein pelliore rouge)	2 000 F
COTTON. — Œuvres Scientifiques (relié pleine toile).	1 400 F
LANGEVIN P. — Les Œuvres Scientifiques	broché 2 000 F cartonné 2 400 F
PERRIN J. — Les Œuvres Scientifiques	broché 1 500 F cartonné 1 800 F
PETIAU. — La théorie des fonctions de BESSEL exposée en vue de ses applications à la Physique Mathématique (ouvrage relié plein pelliore rouge).	2 500 F
SURUGUE. — Techniques générales du laboratoire de physique.	
Tome I	2 400 F
Tome II. — broché	1 800 F
cartonné	2 000 F
Tome III. — broché	2 700 F
cartonné	3 000 F
VOGEL TH. — Les fonctions orthogonales dans les problèmes aux limites de la Physique Mathématique	1 200 F

II. — COLLOQUES INTERNATIONAUX

II. — Hauts polymères	400 F
III. — Spectres moléculaires	750 F
V. — Échanges isotopiques et structure moléculaire.	700 F
VII. — Diffusion de la lumière et effet de Raman.	1 200 F
XII. — Topologie algébrique.	600 F
XIV. — Méthodes de calcul dans les problèmes de mécanique.	900 F
XV. — Analyse harmonique.	600 F
XVII. — Polarisation de la matière	1 800 F
XIX. — Adsorption et cinétique hétérogène	2 400 F
XX. — La combustion du carbone	1 800 F

XXIX. — Cinquantenaire de la découverte du radium.	1 000 F
XXX. — Réarrangements moléculaires et inversion de Walden	2 000 F
XXXV. — Action éolienne et phénomènes d'évaporation et d'hydrologie superficielle dans les zones arides.	2 500 F
XXXVI. — Les méthodes formelles en axiomatique. — Logique mathématique	600 F
XXXVII. — Les machines à calculer modernes et la pensée humaine	2 000 F
XXXVIII. — Particules fondamentales et noyaux	1 800 F
XXXIX. — Électrolyse.	1 800 F
XL. — Économétrie	2 200 F
LII. — Géométrie différentielle.	1 000 F
LIII. — Étude des molécules d'eau dans les solides par les ondes électromagnétiques.	1 800 F
LIV. — Rôle du cortège électronique dans les phénomènes radio-actifs.	1 200 F
LVI. — L'hydroxycarbonylation	1 000 F
LVII. — Aspects généraux de la science des macromolécules (relié plein pelliore rouge)	900 F
LVIII. — Les techniques récentes en microscopie électronique et corpusculaire.	2 000 F
LXII. — Les méthodes dynamiques en économétrie (relié pleine toile	

COLLOQUES NATIONAUX

10. — La chimie des hautes températures.	2 000 F
RENSEIGNEMENTS ET VENTE : SERVICE DES PUBLICATIONS DU C. N. R. S. 13, Quai Anatole-France, PARIS VII ^e , Tél. INV. 45-95 CCP Paris 9061-11.	

PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

Bulletin Signalétique

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE MENSUELLE OÙ SONT SIGNALÉS PAR DE COURTS EXTRAITS CLASSÉS PAR MATIÈRE
LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES TECHNIQUES ET PHILOSOPHIQUES PUBLIÉS DANS LE MONDE ENTIER.

La revue est scindée en trois parties :

PREMIÈRE PARTIE : Mathématiques, astronomie, physique, chimie, sciences de l'ingénieur, sciences de la Terre.	
Abonnement : FRANCE	6 500 F
ÉTRANGER.	7 500 F
DEUXIÈME PARTIE : Sciences biologiques, industries alimentaires, agriculture.	
Abonnement : FRANCE	6 500 F
ÉTRANGER.	7 500 F
TROISIÈME PARTIE : Philosophie (paraît trimestriellement).	
Abonnement : FRANCE	2 700 F
ÉTRANGER.	3 200 F

Des tirés à part sont mis à la disposition des spécialistes.

Le Centre de Documentation du C. N. R. S., 16 rue Pierre-Curie, fournit, en outre, la reproduction photographique, sur microfilm ou sur papier, des articles signalés dans le « Bulletin Signalétique » ou des articles dont la référence bibliographique précise lui est fournie.

RENSEIGNEMENTS ET VENTE : SERVICE DES PUBLICATIONS DU C. N. R. S.
13, Quai Anatole-France, PARIS VII^e, Tél. INV. 45-95 CCP Paris 9061-11.

PRODUITS CHIMIQUES

pour

INDUSTRIE

PHARMACIE

PARFUMERIE

CÉRAMIQUE

AGRICULTURE

MATIÈRES PLASTIQUES

"RHODOID" Acétate de cellulose

"RHODOPAS" Résines vinyliques

"RHODORSIL" Silicones

"RHODESTER" Résines polyesters

**RHÔNE
POULENC**

21, RUE JEAN-OUJON - PARIS - BAL. 22-94 •

ANCIENS ÉTABLISSEMENTS EIFFEL

Constructions métalliques - Ponts et Charpentes

Entreprises Générales

Section Chaudronnerie (LEROUX et GATINOIS)

Chaudières, Réservoirs, Matériel routier
(Épandage, Stockage des Liants)



SIÈGE SOCIAL ET BUREAUX :

23, rue Dumont-d'Urville, PARIS 16°

USINE :

7, rue du Parc, BLANC-MESNIL.

Compagnie Générale de GÉOPHYSIQUE

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

50, rue Fabert, PARIS (7°)

Téléphone : INVALIDES 46-24

MAISON BREGUET

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL 465.600.000 FR.
15, avenue d'Eylau - PARIS 16^e - Tél. : POINCARÉ 22-00 à 22-05

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES

GROUPE ÉLECTROGÈNES COMPLETS
TURBINES A VAPEUR - RÉDUCTEURS ASISMIQUES
MACHINES ÉLECTRIQUES - APPAREILLAGE
POMPES CENTRIFUGES - CONDENSATION
APPAREILS DE LEVAGE - PROJECTEURS

SOCIÉTÉ LE CARBONE-LORRAINE

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 812.400.000 FRANCS.
SIÈGE SOCIAL : 45, RUE DES ACACIAS, PARIS (XVII^e) TÉL. GAL. 59.62

CHARBONS POUR L'ÉLECTROTECHNIQUE
Anodes, frotteurs, contacts, charbons d'arc et de piles, charbons pour microphones,
résistances électriques, etc.

CHARBONS POUR L'INDUSTRIE CHIMIQUE
Échangeurs thermiques en graphite polyblocs, grilles, bacs, tuyauteries
pièces diverses.

COUSSINETS AUTOLUBRIFIANTS « CALCAR »
ET TOUTES PIÈCES MÉCANIQUES EN MÉTAUX FRITTÉS
(bronze, laiton, alliages ferreux)

« CARBORAM » (CARBURES MÉTALLIQUES DURS
POUR L'USINAGE DES MÉTAUX)
outils pour machines-outils, filières et matrices, outils de mines
pièces d'usure diverses.

Société Générale d'Entreprises

Société Anonyme au Capital de 1.808.000.000 de francs

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

Registre du Commerce Seine 54 B 4990

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

CONSTRUCTION ET ÉQUIPEMENT D'USINES HYDROÉLECTRIQUES
ET DE CENTRALES THERMIQUES

USINES, ATELIERS ET BATIMENTS INDUSTRIELS

RÉSEAUX DE TRANSPORT D'ÉNERGIE A HAUTE TENSION

ÉLECTRIFICATION DE CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS - ÉLECTROBUS

RÉSEAUX D'ÉLECTRIFICATION RURALE

CITÉS OUVRIÈRES - ÉDIFICES PUBLICS ET PARTICULIERS

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

ASSAINISSEMENT DES VILLES - ADDUCTIONS D'EAU

AÉROPORTS - OUVRAGES D'ART

ROUTES - CHEMINS DE FER - TRAMWAYS

E N T R E P R I S E S

BOUSSIRON

10, Boulevard des Batignolles, PARIS-17^e.

ALGER - CASABLANCA - TUNIS

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

BÉTON ARMÉ
TRAVAUX PUBLICS
CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES

Compagnie Française de Raffinage

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 8.400.000.000 DE FRF.

R. C. Seine n° 54 B 3492

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

RAFFINERIE DE NORMANDIE

à GONFREVILLE-L'ORCHER (Seine-Maritime)

RAFFINERIE DE PROVENCE

à MARTIGUES (Bouches-du-Rhône)

Société des Aciéries de **POMPEY**

61, rue de Monceau, PARIS (8°) — Tél. : LAB. 97-10 (10 lignes)

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

ACIERS THOMAS, MARTIN et ÉLECTRIQUE

ACIERS FINS AU CARBONE et ACIERS ALLIÉS

ACIERS RÉSISTANT A LA CORROSION (acide et saline)

ACIERS MOULÉS A HAUTE TENEUR EN ÉLÉMENTS NOBLES

ACIERS FORGÉS (brides, pièces de robinetterie, pièces diverses)

ACIERS ÉTIRÉS et COMPRIMÉS

FONTES HÉMATITES — SPIEGEL — FERRO-MANGANÈSE

Tous Aciers de Construction et d'Outillage

APPAREILS DE LABORATOIRE
ET MACHINES INDUSTRIELLES

P. CHEVENARD

- pour l'analyse dilatométrique et thermomagnétique des matériaux;
- 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) et de rupture;
Essais de torsion alternée;
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.

A. D. A. M. E. L.

4-6, Passage Louis-Philippe
PARIS (11^e)

177 Usines
dans le Monde

OXYGÈNE, AIR, AZOTE
COMPRIMÉS ET LIQUIDES.

ARGON, GAZ RARES
EXTRAITS DE L'AIR
ACÉTYLÈNE DISSOUS.

SOUDAGE, OXYCOU-
PAGE, TOUTES TECH-
NIQUES CONNEXES.

MATÉRIEL POUR SOU-
DAGE, TREMPÉ, OXY-
COUPAGE, ETC.

RÉCIPIENTS POUR LE
TRANSPORT ET L'UTI-
LISATION D'OXYGÈNE ET
D'AZOTE LIQUIDES.

INSTALLATIONS POUR
TRAITEMENT DES MÉ-
LANGES GAZEUX PAR
LIQUÉFACTION ET REC-
TIFICATION.

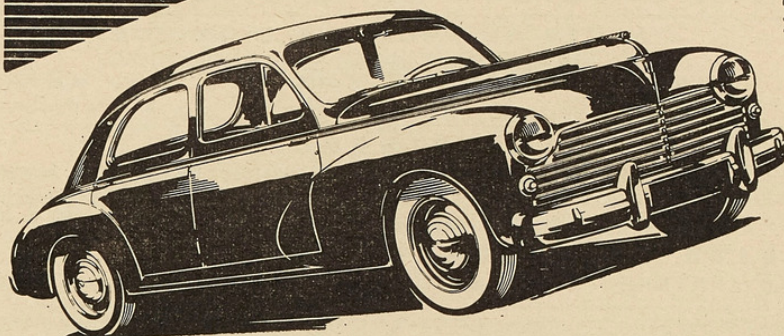
EAU OXYGÉNÉE ET
PERBORATE DE SOUDE.

L'AIR LIQUIDE



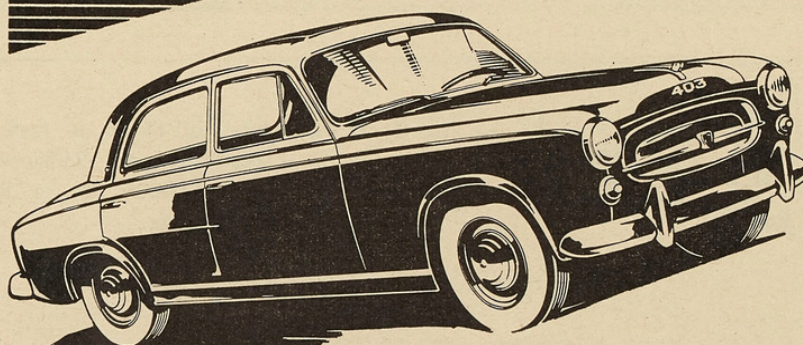
75, quai d'Orsay, PARIS (7^e). INV. 44-30

203



LA PUBLICITÉ FRANÇAISE

403



SÉCURITÉ - ROBUSTESSE
CONFORT-ÉCONOMIE

203 - 403



Peugeot

la qualité qu'on ne discute pas

SOCIÉTÉ CHIMIQUE de la GRANDE PAROISSE

AZOTE ET PRODUITS CHIMIQUES

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 1.399.700.000 FRANCS

SIEGE SOCIAL : 8, rue Cognacq-Jay - PARIS (VII^e) ♦ Tél. : INV. 44-30 à 44-38

R. C. Seine 55 B 12665

Adr. Télégr. : GRANPARG-PARIS

R. P. CA Ouest n° 102

INSTALLATIONS D'USINES :

SYNTHÈSE DE L'AMMONIAQUE (Procédés Georges Claude) ENGRAIS AZOTÉS

SYNTHÈSE DE L'ALCOOL MÉTHYLIQUE

DISTILLATION À BASSE TEMPÉRATURE (des schistes, lignites, etc.)

HYDROGÈNE et GAZ de VILLE par CRACKING et CONVERSION des Hydrocarbures

RECUIT BRILLANT (Licence I. C. I.)

CRISTALLISATION DES SELS (Licence Krystal)

PRODUITS FABRIQUÉS :

AMMONIAC ANHYDRE

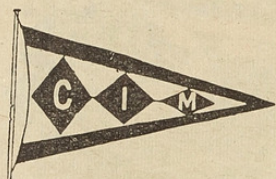
—

ALCALI À TOUS DEGRÉS

—

ENGRAIS AZOTÉS

USINES OU ATELIERS : GRAND-QUEVILLY (Seine-Maritime) - WAZIERS (Nord) - FRAIS-MARAIS (Nord) - PARIS, 25 rue Vicq-d'Azir - AUBERVILLIERS (Seine), 65, rue du Landy



La C. I. M. assure au Havre le trafic des hydrocarbures à destination des Raffineries de la Basse-Seine et des Dépôts de la Région Parisienne.

Au Havre : Bassins accessibles aux plus grands navires pétroliers et capacité de stockage de 350.000 m³

A Gennevilliers : Dépôt spécialisé de 41.200 m³

COMPAGNIE INDUSTRIELLE MARITIME

Concessionnaire du Port Autonome du Havre

36, rue de Liège

PARIS (VIII^e)

EUROPE 44-30

PROGIL

Société Anonyme au Capital de 2.250.000.000 de Francs
79, Rue de MIROMESNIL, PARIS 8^e. Tél. Laborde 91-60

PRODUITS CHIMIQUES INDUSTRIELS

CHLORE — SOUDE — EXTRAIT DE JAVEL
SOLVANTS CHLORÉS, HYDROGÉNÉS ET DÉSHYDROGÉNÉS
SULFURE DE CARBONE
ORTHOPHOSPHATES ET POLYPHOSPHATES DE SOUDE
SILICATES ET MÉTASILICATE DE SOUDE

EXTRAITS TANNANTS ET TANINS SYNTHÉTIQUES PRODUITS CHIMIQUES POUR LA TANNERIE

CELLULOSE — PAPIERS

CRYPTOGILS ET XYLOPHÈNES POUR LA PROTECTION DES BOIS
FLUIDES DE CHAUFFAGE " GILOTHERM "
PARADICHLOROBENZÈNE
PRODUITS POUR LE TRAITEMENT DES EAUX " GILTEX "
EXTRAIT " DREX " POUR BOUES DE FORAGE

*Ingénieurs spécialisés et Laboratoires à la disposition de toutes Industries
Notices sur demande adressée à PROGIL, 79, rue de Miromesnil — PARIS 8^e*

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 : EUROPE 31-00
ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : TROCHIM PARIS

COMPAGNIE INDUSTRIELLE
DES PILES ÉLECTRIQUES

CIPEL

Société Anonyme au Capital de 345.000.000 de Francs.

98 ter, Bld Heloise, ARGENTEUIL (S.-&-O.).

Piles " AD "

à grande capacité
pour SIGNALISATION
TÉLÉPHONES
TÉLÉGRAPHES
etc...

Piles " MAZDA "

ÉCLAIRAGE PORTATIF
AMPOULES
BATTERIES
BOITIERS
RADIO

LES FILTRES DURIEUX



PAPIER A FILTER

En disques, en filtres plissés, en feuilles 52x52

SPÉCIALITÉS :

FILTRES SANS CENDRES

N° 111, 112 et Crêpé N° 113 extra-rapide

Filtres Durcis n° 128 & Durcis sans cendres n° 114

Cartouches pour extracteurs de tous systèmes

PAPIER " CRÊPÉ DURIEUX "

Toutes Dimensions, pour Filtres-Presses. (Envoi d'échantillons sur demande)

Registre du Comm. de la Seine N° 722.521-2-3

Téléphone : ARCHIVES 03-51

MÉDAILLE D'OR de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Juillet 1918)

18, rue Pavée, PARIS (4°)

Demandez le Catalogue donnant toutes les explications sur les emplois de mes différentes sortes



ETABLISSEMENTS
KUHLMANN

SOCIÉTÉ ANONYME au CAPITAL de 6.100.000.000 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

COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON

Société Anonyme au Capital de 4.975.200.000 Francs

SIÈGE SOCIAL : 173, BOULEVARD HAUSSMANN, PARIS-VIII^e

R. C. SEINE 54 B 8973

TÉLÉPHONE : ÉLYSÉES 83-70

TÉLÉGR. BLINU 42 PARIS

GRUPE ÉLECTRONIQUE

TOUTES APPLICATIONS PROFESSIONNELLES
DE L'ÉLECTRONIQUE
RADIODIFFUSION - TÉLÉVISION
RADIOCOMMUNICATIONS
RADARS - PROJETS SPÉCIAUX - TUBES ÉLECTRONIQUES
DIODES - TRANSISTORS - REDRESSEURS DE PUISSANCE



GRUPE CUIVRE ET CABLES

CUIVRE, ALUMINIUM, ALMELEC EN FILS
CABLES, MÉPLATS
FILS ET MÉPLATS ÉMAILLÉS
FILS GUIPÉS POUR BOBINAGE
CABLES SPÉCIAUX INCOMBUSTIBLES
AMIANTE SILICONE ET SILIVER
FILS ET CABLES ÉLECTRIQUES
ISOLÉS AUX CAOUTCHOUCS NATUREL
OU SYNTHÉTIQUES
MATIÈRES PLASTIQUES ET TOILES VERNIES
POUR TOUTES APPLICATIONS

GRUPE PETIT MATÉRIEL

RÉCEPTEURS DE T.S.F. ET DE TÉLÉVISION
ÉLECTROPHONES, DISQUES
DUCRETET-THOMSON
APPAREILS MÉNAGERS
CHAUFFAGE ET CUISINE DOMESTIQUES
MACHINES À LAVER DOMESTIQUES ET PROFESSIONNELLES
RASOIRS ÉLECTRIQUES - APPAREILLAGE
TUBES ISOLATEURS
MÉCANIQUE MOYENNE DE PRÉCISION
MATÉRIEL FRIGORIFIQUE



SOCIÉTÉ FRIGÉCO

RÉFRIGÉRATEURS ÉLECTRIQUES MÉNAGERS
ET COMMERCIAUX
TOUTES LES APPLICATIONS DU FROID

THOMSON  HOUSTON