

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

	1967, n° 4 (oct.-déc.)
	1968, n° 1
	1968, n° 2
	1968, n° 3
	1968, n° 4
	1969, n° 1 (janv.-mars)
	1969, n° 2
	1969, n° 3
	1969, n° 4
	1970, n° 1
	1970, n° 2
	1970, n° 3
	1970, n° 4
	1971, n° 1
	1971, n° 2
	1971, n° 4
	1972, n° 1
	1972, n° 2
	1972, n° 3
	1972, n° 4
	1973, n° 1
	1973, n° 2
	1973, n° 3
	1973, n° 4
	1974, n° 1
	1974, n° 2
	1974, n° 3
	1974, n° 4
	1975, n° 1
	1975, n° 2
	1975, n° 3
	1975, n° 4
	1976, n° 1
	1976, n° 2
	1976, n° 3
	1976, n° 4
	1977, n° 1
	1977, n° 2
	1977, n° 3
	1977, n° 4
	1978, n° 1
	1978, n° 2
	1978, n° 3
	1978, n° 4
	1979, n° 1
	1979, n° 2
	1979, n° 3
	1979, n° 4
	1980, n° 1
	1982, n° spécial

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

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Volume	1956, n° 4 (oct.-déc.)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1956

Collation	1 vol. (p. [57]-89) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	50
Cote	INDNAT (36)
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.36

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

1956

N° 4

S. E. I. N.
Bibliothèque

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° 4 : OCTOBRE-DÉCEMBRE 1956

SOMMAIRE

L'ACTIVITÉ DU SERVICE DES RECHERCHES D'IMPHY, <i>par M. W. WACHÉ</i>	57
★	
COMPTES RENDUS DES SÉANCES PUBLIQUES A LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT :	
Séance du 2 Juin 1956 (Remise de la Grande Médaille annuelle à M. Francis Perrin, et de la Médaille Louis Pineau, à titre posthume, à M. Ernest Mercier).	81
Séance du 8 novembre 1956 (Remise du Grand Prix d'Argenteuil à M. Louis Leprince-Ringuet)	86
★	
INDEX DES NOMS D'AUTEURS	90

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

Publication trimestrielle

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

L'ACTIVITÉ DU SERVICE DES RECHERCHES D'IMPHY (1)

par M. X. WACHÉ

Directeur des Recherches de la Société Métallurgique d'Imphy.

Dans le cycle des Conférences sur l'activité des Laboratoires de l'Industrie, la Société d'Encouragement a bien voulu m'inviter à consacrer quelques mots au Service des Recherches d'Imphy.

Je crois être l'interprète de tous les membres de ce Service en remerciant la Société d'Encouragement de cette marque d'estime à l'égard d'une équipe étroitement associée, depuis longtemps déjà, à l'œuvre métallographique de M. Chevenard. Je remercie également Monsieur Chevenard de ses paroles bienveillantes; il me permettra, j'en suis sûr, de les reporter sur des collaborateurs, qu'il connaît bien : Mlle Gerber, MM. Josso, P.-J. Bouchet, Joumier, et dont j'utiliserai largement les mises au point de techniques expérimentales et les études métallographiques et physicothermiques.

Pour décrire l'activité du Service des Recherches d'Imphy, il m'a paru valable de consacrer mon exposé à des études métallographiques qui ont fait intervenir des procédés d'analyse physico-thermique peu répandus, basés sur le comportement des alliages soumis à des essais de fluage ou de traction à chaud.

Déjà, en 1942, puis en 1951, M. Chevenard

et moi-même avons montré que la *méthode de la relaxation* paraissait précieuse pour étudier la stabilité en service des alliages tenaces à chaud, et que l'*essai de fluage* était propre à révéler et à étudier les réactions physico-chimiques et structurales qui se produisent dans ces alliages, au cours de leur emploi dans les machines thermiques.

Depuis, d'autres méthodes d'essai basées, l'une, sur la *sensibilité à l'entaille* au cours du fluage poussé jusqu'à la rupture; l'autre, sur les *discontinuités d'allongement* observées lors des essais de traction rapide à chaud, ont conduit à des conclusions analogues. Sur le plan de la métallographie, elles représentent l'aboutissement d'études sur le fluage, dont M. Chevenard avait pris l'initiative il y a plus de trente années. Elles témoignent d'une œuvre de longue haleine, poursuivie avec un matériel expérimental, une continuité d'efforts et d'observations, et une moisson de résultats, qu'il serait exceptionnel de pouvoir réunir dans les laboratoires de recherche pure. A ce titre, il a paru opportun de les prendre comme sujet dans un cycle de conférences consacré à l'activité des Laboratoires de l'Industrie.

(1) Conférence faite le 1^{er} mars 1956 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

I. — SENSIBILITÉ A L'ENTAILLE ET RÉSISTANCE AU FLUAGE DES MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES

Certains alliages austénitiques, soumis à des essais de fluage de longue durée sous charge et à température constantes, présentent une sensibilité particulière aux concentrations d'efforts.

Ainsi, des ruptures *internes* se produisent parfois dans la zone de raccordement du fût et des têtes d'éprouvettes de rupture, lorsque le rayon de courbure de ce raccordement est trop faible. A leur stade initial, ces ruptures internes n'apparaissent qu'à la dissection de l'éprouvette, au moment de la préparation de coupes longitudinales pour examen micrographique. Au terme ultime de l'essai, elles se manifestent par des ruptures « au collet », si le dessin de l'éprouvette n'est pas judicieusement établi.

Ce type de cassure est fréquemment associé à de faibles allongements à la rupture, indice d'une *rupture prématurée* tronquant, de manière imprévue, la courbe normale « déformation-temps ».

Les premiers exemples de telles ruptures fragiles ont été enregistrés lors d'essais de fluage sur des austénites carburées, entrepris pour préciser les répercussions des phénomènes d'hypertrempe et de précipitation des carbures sur la résistance aux déformations visqueuses. Ces recherches étaient le prolongement logique des études de P. Chevenard sur l'hétérogénéité des solutions solides, mises en évidence par la méthode thermomagnétique (1934). Dans ces essais de fluage, la température d'essai, inférieure ou égale à 650°, était assez basse pour exclure l'intervention prépondérante d'une oxydation intergranulaire; les charges appliquées étaient relativement faibles, et ne mettaient en jeu que des vitesses de déformation inférieures à 150×10^{-6} /heure.

Ces constatations inattendues devaient forcer l'attention, d'autant plus que ces ruptures, se produisant sans aucun signe prémonitoire, entraînaient presque automatiquement la fracture des tiges de silice des extensomètres enregistreurs.

Il apparut rapidement que ces ruptures fragiles se produisaient spécialement quand l'état initial des austénites essayées était l'état hypertrempé. Dans ces conditions,

la précipitation des carbures se produisait pendant l'essai de fluage lui-même sous la double influence de la température et de la contrainte. L'effet accélérateur de cette dernière avait été étudié par la méthode thermomagnétique, de manière assez complète pour légitimer cette interprétation et attribuer la fragilité à chaud à l'hétérogénéité de la solution solide produite aux premiers stades de la précipitation des carbures, au cours même de l'essai. Cette hétérogénéité à la précipitation, cause du durcissement observé à froid, était également à l'origine d'un accroissement de la rigidité à chaud, mais celui-ci était accompagné de fragilité.

Inversement, sur le plan métallographique, cette fragilité au cours du fluage était l'indice d'un certain état structural, correspondant à un type de précipitation d'éléments durcissants, intermédiaire entre la solution solide hypertrempée et l'agrégat parfaitement recuit. A ce titre, l'existence de cette fragilité était un critère révélateur d'un état physico-chimique instable, propre à caractériser le degré même de cette instabilité, indépendamment des conséquences pratiques qu'on en pouvait tirer pour l'emploi des austénites réfractaires.

Cet enseignement, tiré de l'étude des austénites carburées, était évidemment valable pour les austénites plus complexes, rendues aptes au durcissement par précipitation, à l'aide d'additions telles que l'aluminium, le titane, le glucinium, etc... Ces austénites complexes comprenaient, par exemple, les alliages ATV.R, ATV.S, réalisés avant la dernière guerre, ainsi que certains alliages pour soupapes d'échappement. Il demeurait également valable lorsque l'évolution des méthodes d'essais conduisit, à la fin de la guerre, à doubler les essais de fluage — ne mettant en jeu que des charges relativement faibles — par les essais sous charge et à température constantes poussés jusqu'à la rupture : intentionnellement provoquée cette fois, la rupture pouvait se produire ici encore sans signe prémonitoire, avec un allongement de rupture anormalement faible.

Ces observations, déjà anciennes, furent

confirmées par W. Siegfried qui, en 1945, dans son étude systématique sur l'effet d'entaille, montrait que des éprouvettes entaillées d'austénites pouvaient se rompre beaucoup plus tôt que les éprouvettes lisses, toutes choses égales. Il fut alors décidé d'entreprendre à Imphy une étude comparative sur le comportement d'éprouvettes lisses et d'éprouvettes entaillées, à l'essai de rupture sous charge et à température constantes, avec l'espoir de trouver, dans la *sensibilité à l'entaille*, un critère plus propre à déceler et à caractériser les instabilités que les ruptures prématurées sur éprouvettes lisses observées antérieurement.

Éprouvettes.

La figure 1 reproduit les dessins des éprouvettes entaillées utilisées pour cette étude de la sensibilité à l'entaille. Les éprouvettes lisses ne diffèrent pas des précédentes, à l'entaille près.

Le taux de travail considéré pour un essai est le rapport de la charge totale appliquée à l'éprouvette, à la section initiale :

- section pleine, dans le cas de l'éprouvette lisse;
- section à fond d'entaille, dans le cas de l'éprouvette entaillée.

Les éprouvettes adoptées sont caractérisées par :

- un diamètre de section pleine
 $D = 5 \text{ mm};$
- un diamètre de section à fond d'entaille
 $d = 3,5 \text{ mm};$
- une entaille en V à angle de 60° ;
- un rayon de courbure à fond d'entaille
 $r = 0,25 \text{ mm}.$

On a, en conséquence :

$$\frac{d}{D} = 0,7$$

$$\frac{r}{D} = 0,05.$$

Le facteur de concentration de contrainte élastique K_t ⁽¹⁾ dépend des valeurs des rapports $\frac{d}{D}$ et $\frac{r}{D}$; il est maximum pour la valeur

$\frac{d}{D} = 0,7$ adoptée pour les éprouvettes utilisées.

Le rayon de courbure à fond d'entaille r dépend, avant tout, de la facilité et de la reproductibilité de son exécution. C'est la raison majeure pour laquelle on a adopté la valeur $r = 0,25 \text{ mm}$. A cette valeur correspond un facteur de concentration d'effort K_t voisin de 2,7 à 3.

D'après l'expérience acquise sur les austénites, des précautions, lors de l'usinage des entailles, doivent être prises de manière à éviter tout écrouissage du métal à fond d'entaille. Dans la pratique courante, l'entaille est usinée au tour, avec un outil constitué par une molette à profil constant; mais on peut également usiner l'entaille par rectification.

Le profil de l'entaille est vérifié au microscope, sous grossissement de 40 diamètres, et comparé à une épure type établie sur calque.

Coefficient de sensibilité à l'entaille.

La comparaison des résultats respectivement obtenus sur éprouvettes lisses et sur éprouvettes entaillées peut être faite de différentes manières.

Pour des matériaux non sensibles à l'entaille, les courbes en coordonnées logarithmiques « charge-durée de vie » sont schématiquement disposées comme l'indique la partie supérieure de la figure 2.

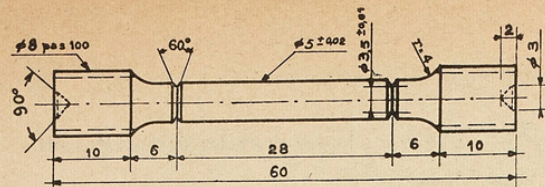
1° Une première définition de la sensibilité à l'entaille pourrait faire intervenir un coefficient défini par le rapport $\frac{P' \text{ entaillée}}{P \text{ lisse}}$ des

charges qui, pour une température donnée, correspondent à une même durée de vie avant rupture t . On conviendra qu'il y a sensibilité à l'entaille lorsque ce rapport sera inférieur à l'unité.

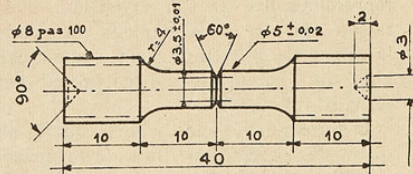
L'avantage de cette définition est qu'elle permet de caractériser la sensibilité à l'entaille pour différentes valeurs de la durée t , et, par suite, de faire ressortir une relation éventuelle entre la durée de vie et la sensibilité à l'entaille.

Cette caractérisation peut être faite pour différentes températures d'essai, et il devient

(1) $K_t = \frac{\text{contrainte axiale max. résultant de l'entaille}}{\text{contrainte axiale moy. de la section à fond d'ent.}}$



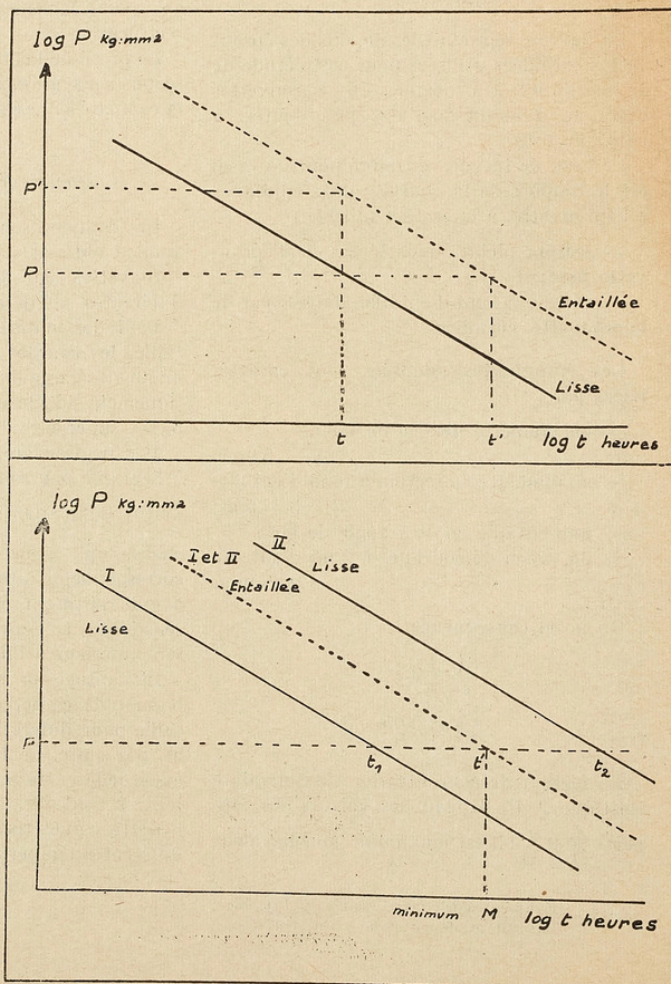
Rayon à fond d'entaille $r = 0,25$



Rayon à fond d'entaille $r = 0,25$

Fig. 1.
Éprouvettes entaillées.

Fig. 2.
Sensibilité
à l'entaille = caractérisation
(schéma).



alors possible de mettre en évidence la double influence de la durée et de la température sur la sensibilité à l'entaille.

Comme on le verra par quelques exemples, la sensibilité à l'entaille, ainsi définie, constitue un critère des évolutions lentes susceptibles de se produire au cours des essais de longue durée. L'intérêt qu'elle présente pour l'étude des instabilités en service n'est pleinement exploité, il est vrai, qu'au prix d'un travail expérimental considérable, lorsqu'elle nécessite des durées d'essais atteignant et dépassant un millier d'heures.

2° Dans une étude statistique portant sur un certain nombre de coulées, il est pratiquement impossible de disposer d'un nombre de résultats assez élevé pour conserver la définition précédente de la sensibilité à l'entaille.

On est alors amené à faire choix d'une charge déterminée, à une température donnée, et à convenir, par exemple, de définir la sensibilité à l'entaille comme le rapport $\frac{t'}{t}$ des durées de vie avant rupture respectivement obtenues sur l'éprouvette entaillée t' et l'éprouvette lisse t . Si ce rapport $\frac{t'}{t}$ est égal ou supérieur à l'unité, le matériau sera considéré, par convention, comme non sensible à l'entaille.

En variante, on peut se fixer, pour la température et la charge considérées, une durée de vie minimum avant la rupture de l'éprouvette entaillée : en deçà de cette durée, le métal sera sensible à l'entaille, et non au-delà. Cette dernière définition est commode pour les essais de recette.

Ces deux dernières définitions ont été concurremment adoptées pour des études statistiques. Cependant, elles ne sont pas équivalentes. Supposons (partie inférieure de la figure 2) que deux coulées I et II aient présenté sur éprouvettes entaillées des caractéristiques communes, et sur éprouvettes lisses des caractéristiques respectivement inférieure et supérieure à celle des éprouvettes entaillées. Avec la dernière définition, les deux coulées répondront, pour la charge et la température considérées, à la condition d'un minimum de durée M imposé, alors qu'en réalité, par rapport aux éprouvettes lisses, la coulée I n'est pas sensible à l'entaille, et II l'est.

Exemples d'études sur la sensibilité à l'entaille.

Les exemples retenus pour cet exposé ont été choisis pour souligner l'intérêt de la sensibilité à l'entaille considéré comme critère de l'état physico-chimique d'un alliage réfractaire et des réactions d'instabilité qu'il peut présenter en service.

I. — Le premier exemple est celui d'une austénite peu carburée, de composition de base Ni = 30, Cr = 17, Co = 20 p. 100, et renfermant comme éléments durcissants du titane et de l'aluminium, utilisée pour la fabrication de disques dont les ailettes, usinées dans la masse, travaillent au voisinage de 700°.

Son traitement thermique normal comprend un traitement de mise en solution à 1 080°, suivi d'un revenu de précipitation. La fabrication industrielle de cet alliage a permis de rassembler un ensemble de résultats expérimentaux dont l'importance se traduira par les chiffres suivants : sur une période de 2 ans et demi, il a été effectué environ 700 essais de recherche sur des témoins de près de 200 disques provenant de 45 coulées différentes; ces essais ont été complétés par 1 300 essais de contrôle, de mise au point et de recette, distincts des précédents.

La sensibilité à l'entaille de l'alliage à l'état traité a été étudiée :

à 750° sous 27 kg/mm²
à 700° sous 36 kg/mm²
à 675° sous 45 kg/mm².

Dans ces conditions d'essai, le type de cassure intergranulaire tend à dominer, que l'éprouvette soit lisse ou entaillée.

Dans ces essais statistiques, la sensibilité à l'entaille a été caractérisée par le rapport $\frac{t'}{t}$ des durées de vie respectives de l'éprouvette entaillée t' et de l'éprouvette lisse t .

L'une des premières constatations a été que la sensibilité à l'entaille augmente quand la température d'essai diminue. Ceci est mis en évidence par la figure 3, qui fait ressortir en même temps l'influence de la proportion d'additions durcissantes de titane et d'aluminium. A 750°, le rapport $\frac{t'}{t}$ demeure supérieur à l'unité, mais diminue régulièrement

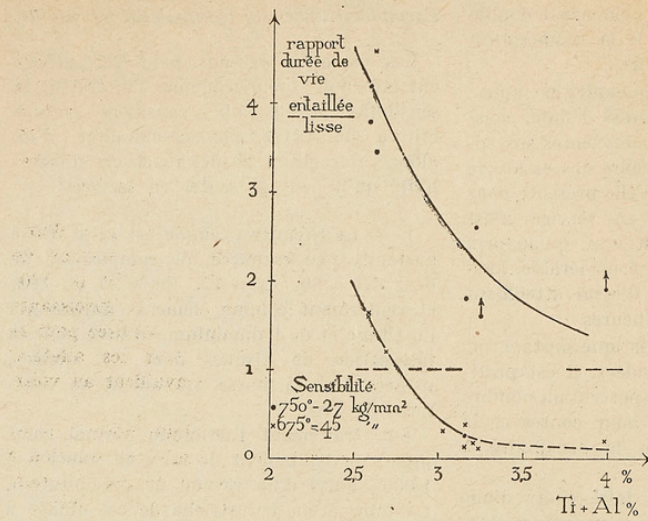


Fig. 3. — Influence de la proportion d'additions Ti + Al sur la sensibilité à l'entaille de l'austénite Ni 30 Cr 17 Co 20.

× essais à 675° — 45 kg/mm²
 • essais à 750° — 27 kg/mm²,

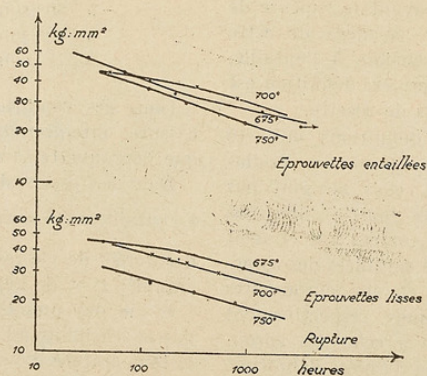


Fig. 4. — Austénite

C	Si	Mn	Ni	Cr	Co	Ti	Al
0.08	0.64	0.52	30.02	18.14	20.39	1.96	0.95

Diagramme logarithmique «durée de vie avant rupture — charge» sur éprouvettes lisses ou entaillées, à 675°, 700° et 750°.
 État initial : TA.1 080° (8 h) + TA.710° (16 h).

à mesure qu'augmente la teneur en titane et aluminium.

A 675°, le rapport $\frac{t'}{t}$ devient inférieur à l'unité dès que la somme Ti + Al dépasse 2,75 p. 100.

Il apparaît ainsi que, la sensibilité à l'entaille croissant avec la proportion d'éléments durcissants, il peut être dangereux de chercher à réaliser la résistance au fluage la plus élevée par une addition aussi massive que possible de ces éléments durcissants. Suivant les applications, il peut y avoir intérêt à consentir une diminution de la résistance au fluage, pour obtenir une moindre sensibilité à l'entaille.

II. — D'après ces résultats, la sensibilité à l'entaille augmente quand la température d'essai diminue.

Cependant, cette conclusion n'est valable que dans certains domaines de durée d'essai, à l'intérieur de l'intervalle de température en cause : 675°-750°. En effet, une étude systématique a été effectuée sur une coulée d'étude. Les résultats, obtenus après hyper-trempe à 1 080° et revenu à 710° (16 heures, refroidissement air), sont rassemblés par la figure 4 reproduisant en coordonnées logarithmiques la variation de la durée de vie avant rupture avec la charge, aux températures de 675°, 700° et 750°. La durée des essais a atteint, et même dépassé, le millier d'heures.

Les résultats des éprouvettes entaillées et des éprouvettes lisses ont été groupés séparément. Il apparaît que, si les courbes des éprouvettes lisses sont disposées suivant l'échelonnement des températures d'essai, il n'en est pas de même pour les courbes des éprouvettes entaillées. Pour ces dernières, la courbe de 675° s'infléchit vers le bas, coupe la courbe de 700° à partir de 90 heures environ, et se rapproche momentanément de la courbe de 750° vers la 200^e heure; elle ne paraît se redresser qu'aux environs de la 1 000^e heure, sans qu'il soit possible, après 3 000 heures, de dire si elle parvient à croiser et surplomber la courbe de 700°.

A partir de ces résultats, on a calculé le coefficient de sensibilité à l'entaille, défini par le rapport $\frac{P'}{P}$ des charges qui produisent en un temps donné la rupture des éprouvettes entaillées (P') et des éprouvettes lisses (P).

La figure 5 reproduit en coordonnées semi-logarithmiques la variation de ce rapport $\frac{P'}{P}$

en fonction du temps, pour chacune des températures d'essai. La partie des courbes tracée en trait interrompu a été établie en tenant compte des valeurs du rapport $\frac{P'}{P}$

déduites d'essais de traction rapide à charge croissante effectués à la manière habituelle sur éprouvettes lisses et entaillées.

A 675°, la sensibilité à l'entaille croît d'abord lentement, puis plus rapidement entre quelques dizaines et 200 heures; au-delà de 200 heures, elle demeure pratiquement constante. Le coefficient $\frac{P'}{P}$ est inférieur à l'unité à partir de la 80^e heure environ.

A 700°, l'évolution de la sensibilité à l'entaille serait, pendant les premières dizaines d'heures, analogue à celle qui est décelée à 675°, mais l'accroissement de la sensibilité à l'entaille serait momentané, et suivi d'un relèvement du rapport $\frac{P'}{P}$ au-delà de 50 heures pour atteindre une valeur de 1.10 à 1.15, approximativement constante à partir de 300 heures environ.

A 750°, pendant les premières heures d'essai, la sensibilité à l'entaille serait constante (ou ne présenterait un accroissement analogue à celui des courbes de 675° et 700° que pendant une durée très courte) mais, à partir de la 50^e heure, le rapport $\frac{P'}{P}$ diminue lentement.

Bien qu'aux températures de 700° et 750°, le rapport $\frac{P'}{P}$ demeure supérieur à l'unité dans

l'intervalle des durées de vie 50-2 000 heures de ces essais, et qu'il n'y ait pratiquement pas de sensibilité à l'entaille, il convient de rechercher si son évolution au cours de la durée n'a pas une signification métallographique. Il est peu probable que l'évolution de la sensibilité à l'entaille dépende essentiellement, pour la température de 750°, d'une déformation progressive par fluage du profil de l'entaille; les allongements de rupture sur éprouvettes lisses sont relativement faibles et diminuent, passant de 7,8 à 5,8 p. 100, lorsque la durée de vie augmente de 100 à 700 heures. Il en est a fortiori de même aux températures de 675° et 700°, l'allonge-

ment de rupture étant plus faible encore. D'autre part, aucun indice, d'après les examens micrographiques, n'autorise à mettre en cause l'oxydation, à ces températures relativement basses pour cet alliage inoxydable.

L'interprétation métallographique qu'on peut donner de cette évolution de la sensibilité à l'entaille est, à notre avis, la suivante :

Après revenu de 16 heures à 710°, suivi de refroidissement à l'air, la précipitation des éléments durcissants n'est pas complète. Pendant l'essai à 675° et à 700°, elle se parachève au cours du temps, sous l'effet accélérateur des contraintes. Les preuves de cette précipitation complémentaire sont, d'une part, les accroissements de limite élastique et de dureté et les diminutions de résistivité observés à la température ambiante après fluage, sur certaines austénites renfermant les mêmes additions durcissantes, et, d'autre part, les durcissements mis en évidence à plusieurs reprises par les explorations micro-sclérométriques des sections à fond d'entaille.

Cette précipitation complémentaire revêt une forme submicroscopique et, par analogie avec ce que l'on sait des solutions solides carburées, elle développe dans la matrice austénitique une hétérogénéité qui, si elle améliore la résistance au fluage, accroît en même temps la fragilité à chaud. Cette évolution, très lente à 675°, est plus rapide à 700° : par le jeu de la diffusion et de la coalescence à 700°, elle est transitoire, et suivie d'un retour plus complet vers l'équilibre stable à cette température : la sensibilité à l'entaille, après avoir augmenté pendant la phase transitoire, diminue ensuite progressivement.

A la température de 750°, supérieure à la température du revenu initial, l'évolution de la sensibilité à l'entaille traduit probablement, non pas la précipitation complémentaire de nickelures de titane et d'aluminium, mais la précipitation lente, aux joints des grains, de constituants secondaires, se comportant comme des carbures, malgré la teneur en carbone relativement faible de l'alliage étudié.

III. — Les observations suivantes peuvent être invoquées en faveur de cette précipitation, qui sera désignée sous le terme de

précipitation secondaire, pour la distinguer de la précipitation principale à base de nickelures de titane et d'aluminium.

L'étude dilatométrique de ces alliages montre qu'au refroidissement à partir de la température de 1 080° choisie pour la mise en solution, la précipitation ne commence qu'au-dessous de 800°, pour les teneurs en titane et aluminium considérées. Pendant le refroidissement à partir de 1 080°, il est donc possible de conserver l'austénite à l'état sursaturé, dans un domaine compris entre 1 080° et une température que nous choisirons de 850°, supérieure au début de la précipitation.

L'expérience prouve que la vitesse du refroidissement entre 1 080° et 850° peut varier dans des limites très étendues sans que cesse la sursaturation de l'austénite en titane et aluminium. Un refroidissement rapide à partir de la température de 850° réalise effectivement une hypertrempe à l'égard du titane et de l'aluminium : l'austénite n'est pas colorée par l'attaque électrolytique à l'hyposulfite, et sa dureté est pratiquement la même que si l'hypertrempe avait été faite dès 1 080°. Enfin, l'aptitude au durcissement par revenu consécutif à 710° est la même, et les duretés déterminées après revenu ont la même valeur, indépendante de la vitesse du refroidissement réalisé entre 1 080° et 850°.

Si les caractéristiques mécaniques usuelles déterminées à la température ambiante après revenu ne permettent pas de déceler une influence de la vitesse du refroidissement entre 1 080° et 850°, il n'en est pas de même si on prend comme critère la durée de vie des éprouvettes entaillées, essayées à 675° sous 45 kg/mm². La figure 6, sur laquelle on a porté en abscisses le logarithme de la vitesse moyenne de refroidissement entre 1 080° et 850°, et en ordonnées la durée de vie, montre que la durée de vie est très fortement diminuée pour les vitesses de refroidissement les plus faibles, à partir de 400°/heure environ.

L'examen micrographique révèle qu'après la trempe à 850°, avant tout revenu, il apparaît aux joints des grains un fin précipité colorable aux réactifs oxydants, et se comportant à leur égard d'une manière qui rappelle les carbures des austénites carburées, ne renfermant pas de titane ni d'aluminium.

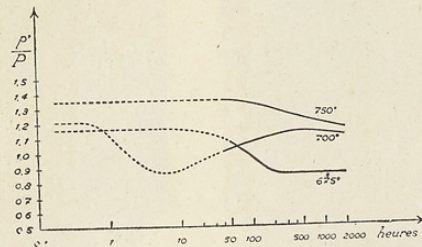


Fig. 5. — Sensibilité à l'entaille, déduite de la figure 4.

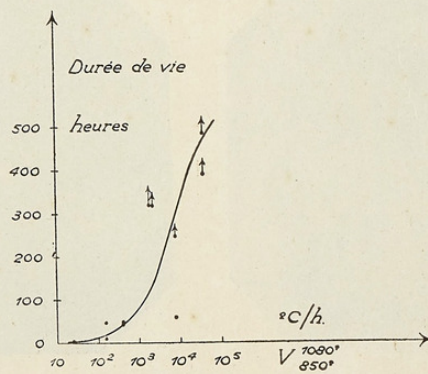
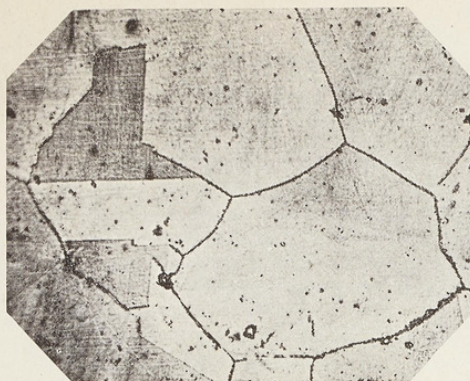


Fig. 6. — Austénite

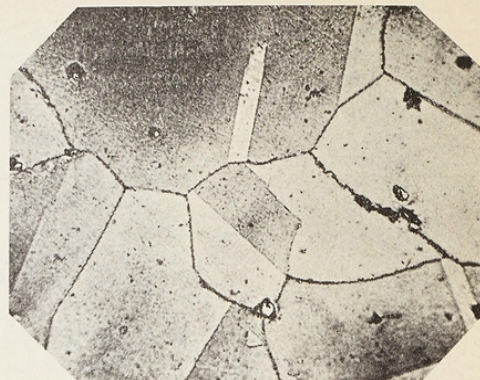
C	Si	Mn	Ni	Cr	Co	Ti	Al
0,09	0,65	0,50	29,40	16,48	20,58	2,00	0,90

Influence de la vitesse du refroidissement entre 1 080° et 850° V_{850}^{1080} ,
sur la durée de vie d'éprouvettes entaillées, essayées à 675° sous 45 kg/mm².

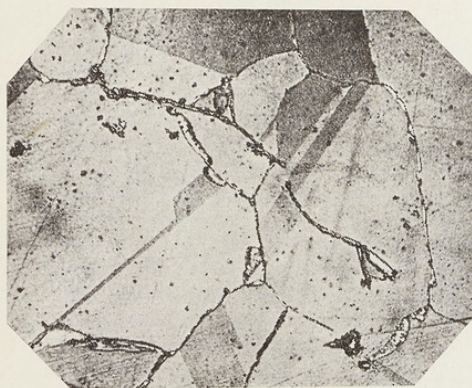
Traitement : maintien 8 heures à 1 080°, refroidissement à 850°, avec trempe à l'air à 850°, puis revenu de 16 heures à 710°.



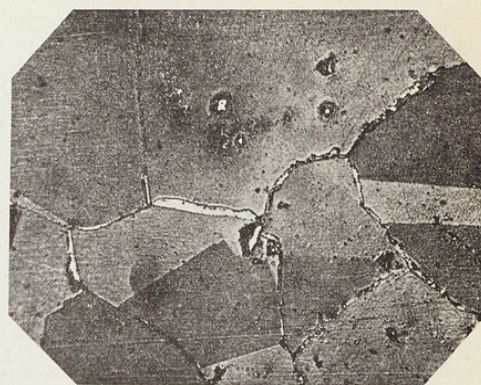
A



B



C



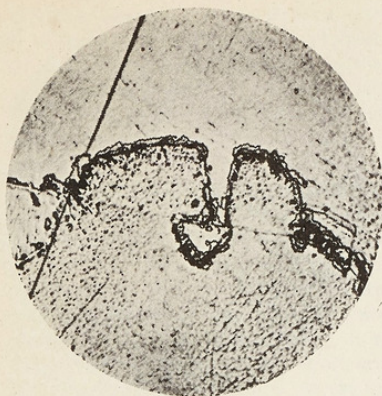
D

Fig. 7. — Influence de la vitesse du refroidissement entre 1 080° et 850° V_{850}^{1080} sur la microstructure (cf. fig. 6).

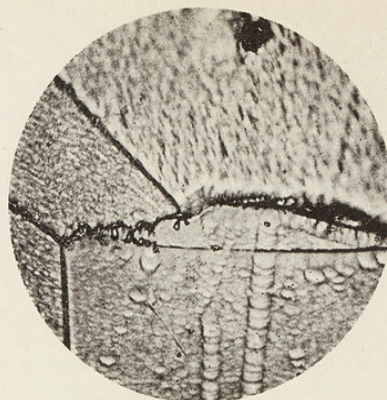
- A : $V_{850}^{1080} > 55.000$ degrés/heure
 B : 30.000 à 50.000 degrés/heure
 C : 400 degrés/heure
 D : 150 degrés/heure.

Attaque électrolytique par l'hyposulfite 10 % G = 500 X.

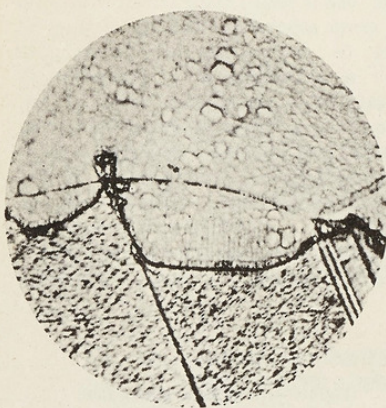
Micrographies réduites du quart.



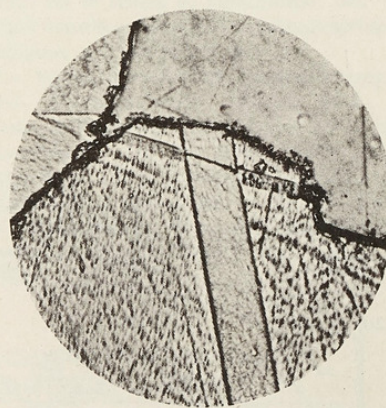
E



F



G



H

Fig. 8. — Austénite du type Ni 80 Cr 20, au titane-aluminium :
festons (light phenomenon) développés par attaque au réactif de Fry.
État TE.1 150° et revenu 700° 16 heures.
G = 1 000 X.
E, F, G, H : aspects différents d'un même échantillon.

Micrographies réduites du quart.

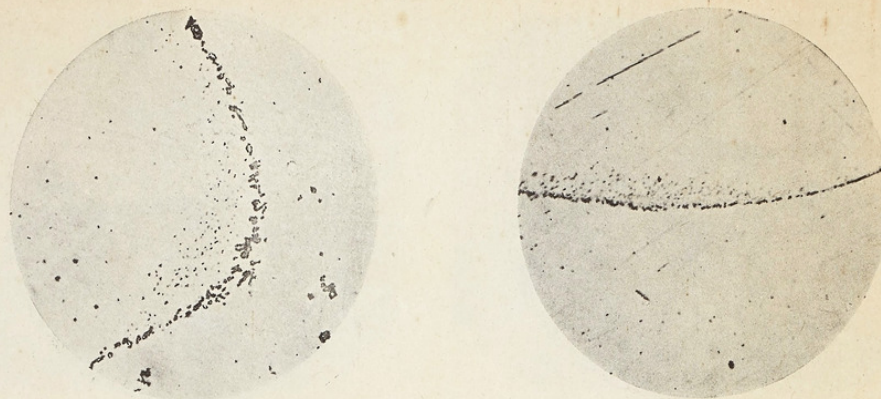


Fig. 9. — Austénite du type Ni 80 Cr 20, au titane-aluminium :
précipitation colorable aux réactifs oxydants, grossière aux joints des grains, et fine à l'intérieur des festons.
G = 1 000 X.

Micrographies réduites du quart.

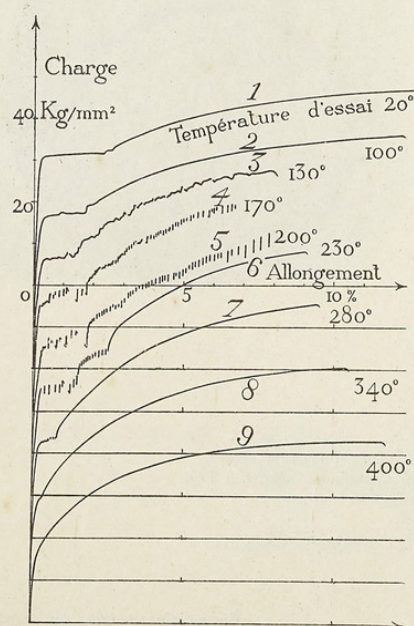


Fig. 10. — Acier doux recuit à 930°,
courbes de traction à chaud.
Éprouvette Ø 0,25 mm, longueur = 25 mm
Vitesse d'allongement : 9 mm/minute.

Cette précipitation est de plus en plus visible à mesure que la vitesse de refroidissement entre 1 080° et 850° diminue; d'autres déterminations démontrent que cette précipitation se produit surtout dans la région inférieure du domaine de température 1 080°-850°.

Cette précipitation secondaire a pour effet de modifier la microstructure, développée par le revenu à 710°, à la limite des grains d'austénite. Parallèlement à la diminution de la vitesse du refroidissement entre 1 080° et 850°, et à la précipitation secondaire croissante aux joints des grains, il se développe au revenu une proportion croissante de plages brillantes, moins attaquables que l'austénite, rappelant le « light-phenomenon » des alliages légers, et que nous désignerons par des « festons », à cause de la forme contournée qu'elles donnent aux joints des grains.

Les micrographies de la figure 7 reproduisent l'évolution de la microstructure après revenu; alors que la vitesse du refroidissement réalisé entre 1 080° et 850° diminue, les plages brillantes observées après revenu augmentent en nombre et en étendue, parallèlement à la sensibilité à l'entaille (fig. 6). Dans certains cas, si les plages brillantes des festons peuvent ne pas apparaître, le phénomène se manifeste par l'allure irrégulière et « festonnée » des joints de grains, qui cessent d'être sensiblement linéaires et deviennent tourmentés.

Certaines observations ont permis d'identifier à l'intérieur des plages brillantes une

très fine précipitation colorable aux réactifs oxydants, alors que les grains d'austénite revenue ne sont pas colorables dans ces conditions. En outre, comme le light-phenomenon, les plages des festons qui se développent au-delà d'un joint de grain présentent une identité d'orientation avec le grain d'austénite situé en deçà du joint, d'après l'étude des figures de corrosion.

La formation des festons n'est pas due aux tensions banales qui se développent dans la solution solide au moment de l'hyper-trempe; elle est en relation, ici, avec les précipitations secondaires. En transposant des alliages austénitiques tenaces à chaud aux alliages légers, on peut se demander si certains cas de « light-phenomenon » cités dans les alliages légers, et parfois controversés, ne résultent pas de phénomènes secondaires, analogues à ceux que nous invoquons, et mettant en cause des impuretés ou des éléments négligés ou insoupçonnés.

IV. — Les austénites du type Ni 80 Cr 20 durcis par le titane et l'aluminium peuvent donner lieu à des observations micrographiques analogues aux précédentes.

La figure 8 reproduit quatre micrographies, obtenues après attaque acide, et montrant l'identité d'orientation du « light-phenomenon » et du grain d'austénite à partir duquel il se développe.

Les micrographies de la figure 9 sont les précipitations colorables aux réactifs oxydants, décelées dans les zones festonnées.

II. — DISCONTINUITÉS D'ALLONGEMENT OBSERVÉES PENDANT L'ESSAI DE TRACTION A CHAUD

Ch. Boulanger a exposé, en 1950, les résultats des études qu'il avait poursuivies au Laboratoire d'Imphy, sur les discontinuités des courbes « effort-allongement » enregistrées à chaud sur le fer et les aciers doux. Ces discontinuités sont la manifestation d'ondes successives de déformations plastiques se propageant à vitesse élevée dans l'éprouvette de traction. Les courbes de la figure 10 empruntée à son travail, sont un exemple de ces discontinuités, dans le cas de l'acier doux, aux températures d'essai comprises entre 130 et 280°.

Ce phénomène, signalé par A. Le Chatelier en 1909 sur les aciers déformés entre 80° et 200°, avait été observé en 1924 par A. Portevin et F. Le Chatelier sur des alliages légers soumis à la traction après hyper-trempe et avant tout revenu. Il s'était alors manifesté comme une révélation d'un état hors d'équilibre : c'est pourquoi, sous le nom de phénomène « Portevin-Le Chatelier », il a été généralement considéré en métallographie comme un critère propre à caractériser le degré de cette instabilité.

Ch. Boulanger a souligné la netteté avec

laquelle se manifestent les discontinuités d'allongement, lorsque la machine de traction utilisée est à faible inertie. Utilisant la micromachine P. Chevenard pour l'essai des fils fins, dont le dynamomètre est un ressort à lame, il a pu montrer les effets respectifs du carbone, de l'azote et de l'oxygène sur l'apparition de ces discontinuités; il a évoqué la mobilité des atomes et leur diffusion dans le réseau pour produire un réarrangement local, ou ordre à courte distance, tendant à stabiliser les positions prises par le réseau au cours de l'essai, et chevillant les futurs glissements possibles. Il a, d'autre part, remarqué que les discontinuités d'allongement se manifestent dans un grand nombre de solutions solides de substitution, autour d'une température voisine de celle où se produisent les transformations ordre $\rightleftharpoons$ désordre entre les éléments de la solution solide, généralement entre 300° et 600°.

Dans ce qui suit, nous nous proposons d'exposer les faits qui conduisent à admettre, pour certaines austénites, cette coexistence des discontinuités d'allongement et des transformations ordre $\rightleftharpoons$ désordre; nous en examinerons ensuite quelques conséquences pratiques sur leur durcissement.

Machines d'essai.

Nos essais ont été réalisés à l'aide de la machine de traction à enregistrement graphique P. Chevenard, après adaptation d'un four à régulateur permettant le maintien isotherme de l'éprouvette, à mieux que un degré près. Comme la micromachine, elle possède un dynamomètre à faible inertie, à anneau, rendant possible l'enregistrement des discontinuités d'allongement.

Utilisée à la température ambiante, cette machine met facilement en évidence les courbes d'allongement par saccades du durallumin hypertrempé, et, avec une moindre netteté, celles des laitons. Elle admet des éprouvettes de traction de 4 mm de diamètre, à têtes filetées, de longueur utile 32 mm, pour lesquelles l'approvisionnement de métal, les traitements et l'usinage sont facilités, relativement aux éprouvettes filiformes. Le diamètre des éprouvettes permet en outre de réduire l'influence éventuelle de l'oxydation superficielle, pour des températures d'essai atteignant 900°. La vitesse d'allongement adoptée est 2 mm/minute, soit 6,2 p. 100

par minute. La mise en température s'effectue en 20 minutes, et la durée du maintien à la température de l'essai, avant la mise en charge est de 10 minutes.

L'allongement de l'éprouvette et la flèche de l'anneau dynamométrique sont enregistrés par l'intermédiaire d'un levier amplificateur à aiguille, dont les trois pointes forment un triangle rectangle. Toute discontinuité d'allongement correspondant à un cépage brusque de l'éprouvette, fait tourner instantanément le levier autour de son hypothénuse, et la plume inscrit un tiret dirigé du haut vers le bas et de la gauche vers la droite.

Diagrammes.

Quelques diagrammes obtenus dans ces conditions, à différentes températures d'essai, sont reproduits par la figure 11.

Ceux du groupe I concernent un alliage Nickel-Chrome 80-20, rendu apte au durcissement structural par une double addition de titane (2,5) et d'aluminium (1,2 p. 100). L'alliage a été essayé après hypertrempe à 1 080° et revenu à 710°, aux températures indiquées au droit des courbes. Les hachures du graphique effort-allongement accusent un domaine d'instabilité étendu de 400° à 675°; des diagrammes, non reproduits par la figure, indiquent des discontinuités à la température relativement basse de 225°.

Les diagrammes du groupe II ont été obtenus sur un Elinvar (C = 0,69, Ni = 34,3; Cr = 10,0; W = 3,3 p. 100), préalablement hypertrempé à 1 200° (1 heure, eau). Les hachures, visibles sur les courbes de 500° et 550°, sont encore perceptibles à 600°; elles se produisent dans un domaine de températures inférieur de 125° à 150° à celui qui, d'après l'analyse thermomagnétique, correspondrait à la précipitation des carbures en dehors de toute intervention mécanique.

Les diagrammes du groupe III, obtenus sur du fer Armco, sont analogues aux courbes des aciers doux, déjà connues.

Discontinuités d'allongement des nickel-chrome 80-20.

Les courbes des groupes I et II pourraient laisser supposer que les hachures sont dues à une précipitation de nickelures d'aluminium

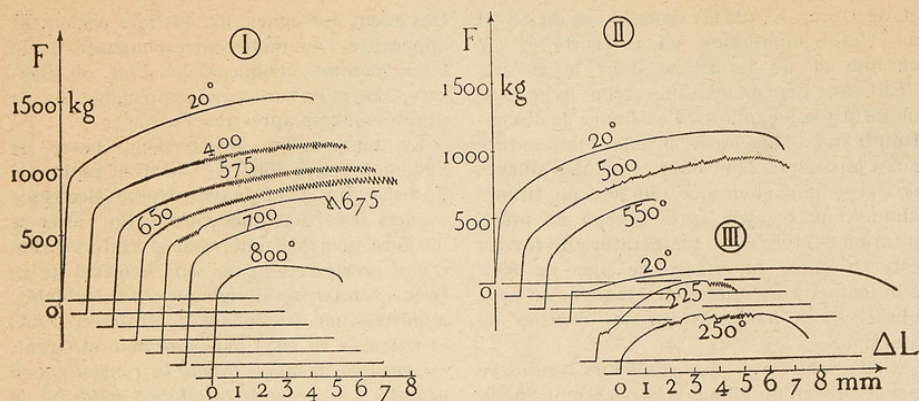


Fig. 11. — Courbes de traction à chaud.
 I austénite du type Ni 80 Cr 20, au titane-aluminium
 II élinvar
 III acier doux.
 Éprouvette Ø 4 mm, longueur utile = 32 mm.
 Vitesse d'allongement : 2 mm/minute.

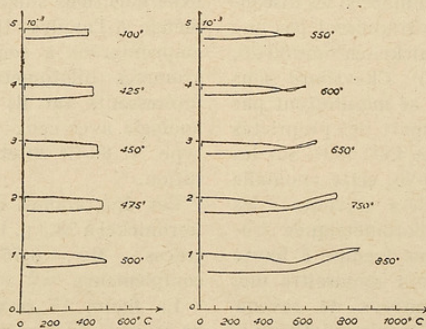


Fig. 12. — Austénite Ni 80 Cr 20 $\left(\begin{array}{ccccc} \text{C} & \text{Si} & \text{Mn} & \text{Ni} & \text{Cr} \\ 0,02 & 0,69 & 0,60 & 77,74 & 20,64 \end{array} \right)$.
 État initial : TE.1 200° (30 minutes).
 Revenus dilatométriques isothermes de 7 heures, aux températures indiquées au droit des courbes.

et de titane $Ni_3(AlTi)$ dans le cas du 80-20 au titane-aluminium, ou de carbures de chrome et de tungstène dans le cas de l'Elinvar. Cependant, une telle hypothèse ne suffit pas à expliquer l'existence de discontinuités d'allongement à une température aussi basse que 225°, dans le cas des alliages du type nickel-chrome 80-20, au titane-aluminium, essayés après revenu de précipitation à 710°; cette température de revenu est, en effet, supérieure de près de 500° à la température minimum à laquelle on peut observer les hachures sur les courbes de traction.

Cette objection est d'ailleurs renforcée par le fait qu'un alliage nickel-chrome 80-20, exempt d'additions durcissantes de titane et d'aluminium, présente également des discontinuités d'allongement. On les a observées, par exemple, aux températures d'essai de 250-400-450 et 500°, sur un alliage industriel peu carburé, répondant à l'analyse suivante :

C	Si	Mn	Ni	Cr	Fe
0,05	0,72	0,51	78,50	19,49	0,35

Dans ce dernier cas, les discontinuités d'allongement ont été observées même après avoir soumis l'alliage à un traitement à 850°, dont l'effet aurait été de précipiter, avant l'essai de traction, les carbures qu'une hypotrempe préalable aurait pu mettre en solution solide.

Si l'hypothèse d'une précipitation ne peut être retenue, il reste à examiner si les discontinuités d'allongement ne traduisent pas une autre transformation des nickel-chrome 80-20, désignée dès 1922 par P. Chevenard sous le nom d'anomalie X, et se manifestant par une irrégularité de la plupart des propriétés physiques au voisinage de 450°-500°. Sur les alliages nickel-chrome 80-20, cette anomalie se manifeste de la manière suivante : les courbes des revenus dilatométriques isothermes, consécutifs à une trempe à haute température (fig. 12), font apparaître une contraction aux températures de revenu inférieures à 550°, avec un maximum d'amplitude pour la température de 450°. La résistance des éprouvettes dilatométriques, déterminée après le revenu isotherme, varie avec la température de revenu comme l'indique la figure 13, passant par un maximum pour la même température de revenu de 450°.

Des essais analogues (fig. 14) font également apparaître l'anomalie correspondante de la force thermoélectrique. Cependant, on n'observe aucune variation appréciable de la dureté Vickers après revenu.

La température relativement basse de l'anomalie, vers 450°; la variation rapide de la résistivité et du pouvoir thermoélectrique au-delà de cette température; enfin, l'absence de durcissement, font exclure l'intervention d'une précipitation, au sens habituel de ce terme. L'interprétation la plus vraisemblable, apportée par Taylor et Hinton en 1952, et partagée en 1954 par Nordheim et Grant, est que cette anomalie traduit la transformation désordre $\rightarrow$ ordre de la solution solide Ni 80 Cr 20.

Discontinuités d'allongement des ferronickels purs.

La coïncidence des domaines de températures où se produisent, d'une part, cette transformation désordre $\rightarrow$ ordre, et, d'autre part, les discontinuités d'allongement observées sur les courbes de traction, se retrouve dans les ferronickels purs.

Ces ferronickels, au voisinage de la composition Ni_3Fe (75,9 p. 100 Ni) présentent une transformation ordre $\rightleftharpoons$ désordre analogue à celle des alliages or-cuivre du type $AuCu_3$. E. Josso a apporté, à Imphy, une importante contribution à cette étude de la transformation ordre $\rightleftharpoons$ désordre des ferronickels, en montrant qu'elle pouvait utiliser des méthodes expérimentales simples, telles que la dilatométrie et l'analyse thermomagnétique. Nous emprunterons à son travail quelques diagrammes dilatométriques particulièrement intéressants car ils présentent une étroite analogie avec ceux des solutions solides du type Ni 80-Cr 20 et en facilitent l'interprétation.

Ces diagrammes ont été obtenus sur un ferronickel à 78,5 p. 100 Ni (C = 0,02 — Si = traces — Mn = 0,76 — Ni = 78,45 = Fe = complément).

La figure 15 rassemble des diagrammes de revenus dilatométriques isothermes, effectués sur éprouvettes distinctes préalablement traitées par trempe à l'huile à 1 000° pour réaliser un état initial quasi-désordonné. La chauffe a été réalisée à l'allure de 200°/heure et la durée de maintien isotherme a été de 7 heures.

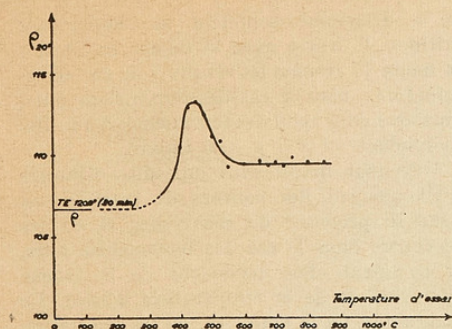


Fig. 13. — Austénite Ni 80 Cr 20 (cf. fig. 12) : variation de la résistivité ρ_{20} avec la température de revenu dilatométrique.

Fig. 14. — Austénite Ni 80 Cr 20 (cf. fig. 12) : État initial : TH.1 175° (30 minutes), sous vide.

Influence d'un revenu de 7 heures à θ (vide — refroidissement huile) sur la force thermoelectrique E entre 0° et 100°, de fil-échantillon $\varnothing$ 0,5 mm opposé au platine.

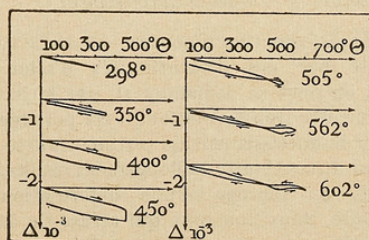
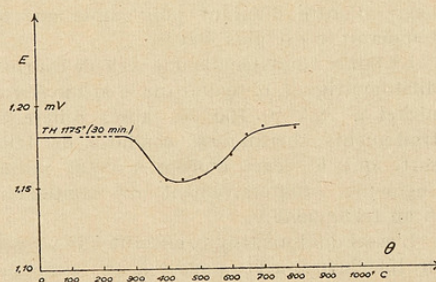


Fig. 15. — Revenus dilatométriques isothermes de 7 heures, aux températures indiquées au droit des courbes, sur un fer-nickel à 78,5 % Ni trempé à 1 000° dans l'huile.

Ces diagrammes sont à rapprocher de ceux de la figure 12.

Au-dessous de 300°, le maintien isotherme ne provoque aucune variation appréciable de longueur, car la vitesse de diffusion est trop faible.

Entre 300° et 350°, on note une contraction dont l'amplitude, d'abord réduite, s'amplifie lorsque la température augmente, et devient accusée vers 400° et 450°. Cette contraction correspond à l'établissement d'une répartition ordonnée des atomes.

Aux températures de revenu plus élevées, il se produit au chauffage une contraction, correspondant à une mise en ordre partielle, à partir de 350°, puis une expansion qui traduit le phénomène inverse, c'est-à-dire la destruction progressive de l'état partiellement ordonné. Les maintiens isothermes ne produisent aucune variation de longueur appréciable, la mobilité des atomes étant assez grande pour que l'alliage atteigne rapidement son état d'équilibre, avec un degré d'ordre d'autant plus faible que la température est plus élevée.

La figure 16 rassemble une série de courbes dilatométriques, obtenues sur le même fer-nickel à 78,5 p. 100 Ni, après différents traitements thermiques, conduits de telle sorte que le degré d'ordre à l'état initial augmente progressivement du traitement A au traitement F.

L'essai dilatométrique, effectué à la vitesse de 150°/heure, a été poussé à une température assez élevée (de l'ordre de 850°) pour retrouver l'état désordonné. Au fur et à mesure qu'augmente le degré d'ordre de l'état initial, on observe une expansion qui correspond à la destruction de l'état ordonné, et dont l'amplitude croissante h_r peut servir à caractériser le degré d'ordre initial.

Si l'essai dilatométrique est effectué sur des éprouvettes obtenues à l'état désordonné par hypertrempe à 1 000°, puis soumises à des revenus de 100 heures à des températures échelonnées θ_r , l'expansion h_r n'est accusée au dilatomètre que si la température de revenu θ_r est inférieure à la température critique T_c de disparition de l'ordre. Si la température de revenu θ_r est supérieure à cette température critique, le revenu amène l'alliage à l'état désordonné, et la courbe dilatométrique ne présente aucune expansion. Par cette méthode, E. Jos-

so a déterminé comment la température critique T_c varie avec la teneur en nickel; la figure 17 résume les résultats de ces déterminations, dans le cas des ferronickels purs, ainsi que dans celui des ferronickels à 4 p. 100 molybdène ou à 5 p. 100 Cuivre.

Revenant maintenant aux discontinuités d'allongement des courbes de traction, on peut se proposer de rechercher si on les rencontre dans le cas des ferronickels purs, et comment elles dépendent de la teneur en nickel et de la température d'essai. Le diagramme de la figure 18, où les teneurs en nickel sont portées en abscisses, et la température en ordonnées, apporte la réponse. On a distingué sur ce diagramme les points expérimentaux suivant que la courbe de traction présentait, ou non, des discontinuités; d'autre part, on a fait figurer la courbe OO' donnant la température critique T_c de disparition de l'ordre dans les ferronickels, d'après Josso. Il ressort du diagramme que les discontinuités d'allongement se produisent dans les alliages voisins de Ni_3Fe , donnant lieu à transformation ordre $\rightleftharpoons$ désordre, et dans un domaine de température limité supérieurement à la température critique de disparition de l'ordre T_c .

Les faits qui viennent d'être évoqués, tant pour les austénites du type Ni 80 Cr 20 que pour les ferronickels, apportent ainsi la preuve que les discontinuités d'allongement peuvent être, dans certains cas, un indice de transformation ordre $\rightleftharpoons$ désordre. Si une nouvelle preuve était nécessaire, on la trouverait, par exemple, dans un travail récent de G. W. Ardlay, sur l'effet de l'ordre sur la résistance mécanique de AuCu_3 , où se trouve reproduite la courbe de traction d'un cristal AuCu_3 , présentant, à la température ambiante des discontinuités d'allongement.

Transformation

désordre $\rightarrow$ ordre et durcissement.

Si la transformation désordre $\rightarrow$ ordre se manifeste par des discontinuités d'allongement, on peut se demander si, par le jeu même de cette transformation, il est possible d'obtenir le durcissement de certaines austénites. Une discontinuité d'allongement résulte, en effet, du blocage d'une déformation élémentaire, dans une zone qui refuse de se laisser déformer davantage, et laisse ses

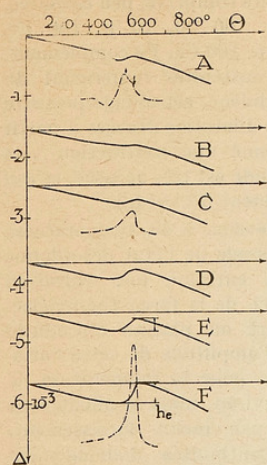


Fig. 16. — Courbes « dilatation-température » d'un ferronickel à 78,5 % Ni après différents traitements thermiques.

- A : Trempe huile à 1 000°
 B : Vitesse de refroidissement 450 degrés/heure
 C : Vitesse de refroidissement 50 degrés/heure
 D : Trempe huile à 1 000°, + revenu 7 heures à 400°
 E : Trempe huile à 1 000° + revenu 7 heures à 450°
 F : Trempe huile à 1 000° + revenu 100 heures à 450°.

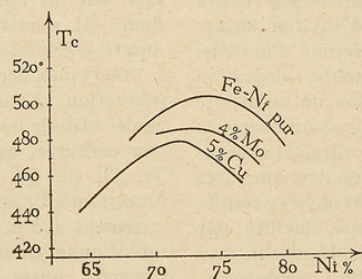


Fig. 17. — Diagrammes d'équilibre de la transformation ordre $\rightleftharpoons$ désordre.

- a : dans les ferronickels purs
 b : dans les ferronickels à 4 % Mo
 c : dans les ferronickels à 5 % Cu
 T_c : température critique de la transformation.

voisines se déformer à leur tour : ceci implique un durcissement dans les régions dont la déformation a été bloquée.

Certains faits permettent de considérer comme valable cette hypothèse de travail, dans certaines conditions.

I. — Les premiers se rapportent à l'austénite Ni 80 Cr 20. A partir de l'état désordonné obtenu par chauffage à une température élevée, et refroidissement rapide, cette austénite — on l'a vu plus haut — passe à l'état ordonné par revenu vers 450°, mais cette transformation ne s'accompagne d'aucun durcissement appréciable à la température ambiante, si on adopte comme critère la dureté Vickers.

Par contre, si le même alliage, pris à l'état désordonné, est soumis à un écrouissage intense puis au revenu, on observe, après revenu, un durcissement complémentaire, qui se superpose au durcissement banal conféré par l'écrouissage. La figure 19 reproduit l'évolution de la dureté de l'alliage Ni 80 Cr 20, amené à l'état désordonné par trempe à 1 100°, puis écroui par laminage à froid de 5 à 0,4 mm, soit une diminution d'épaisseur par laminage de 92 p. 100. Le gain de dureté Vickers obtenu par revenu de 6 heures vers 425° est d'environ 80 kg/mm², par rapport à l'état écroui. Parallèlement, la résistivité augmente, d'environ 12 p. 100; cette augmentation de résistivité est la réplique de celle qui accompagne la transformation désordre → ordre en l'absence de tout écrouissage, et démontre que, très probablement, le durcissement observé résulte du passage à l'état ordonné, facilité par l'écrouissage et déclenché par le revenu vers 400-425°. L'intervention d'un écrouissage intermédiaire paraît nécessaire pour obtenir le durcissement complémentaire.

Dans la pratique industrielle, l'interprétation proposée rend compte d'incidents de fabrication survenus au recuit de couronnes de fil machine en alliage Ni 80 Cr 20 : ces couronnes, dont le laminage avait été terminé au-dessous du rouge sombre, se fissaient lors du traitement d'adoucissement. Vraisemblablement, cette fissuration dépendait, au moins partiellement, de l'état de contrainte qui résultait du durcissement déclenché au début du chauffage de recuit, par établissement de l'ordre sur un fil initialement très écroui.

II. — Un autre cas de durcissement est celui d'une austénite complexe, peu carburée, renfermant 16 p. 100 Ni, 20 p. 100 Cr, 6,5 p. 100 Mo, 40 p. 100 Co, Fe complément. Comme d'autres austénites renfermant du cobalt et du molybdène, cet alliage présente sur les courbes de dilatation tracées à partir de l'état désordonné une contraction vers 450° dont l'amplitude est très accusée, et qui traduit l'établissement de l'ordre.

Sous l'effet de revenus à des températures échelonnées, le passage de l'état désordonné à l'état ordonné entraîne une variation de la résistivité et de la force thermoélectrique par rapport au platine reproduite par la figure 20; l'amplitude de cette variation est maximum pour la température de revenu de 400° environ, mais le phénomène ne se manifeste par aucun durcissement.

Enfin, les discontinuités d'allongement sont visibles sur les courbes de traction à chaud, spécialement à 600-500-400 et parfois 300°.

En un mot, on retrouve sur cette austénite des manifestations comparables à celles des alliages Ni 80 Cr 20. L'analogie est encore plus étroite si on étudie l'influence d'un écrouissage sur le durcissement par revenu. La figure 21 montre l'effet du revenu sur la dureté d'échantillons préalablement adoucis à 1 000° puis écrouis par écrasement à froid (réduction d'épaisseur = 66 p. 100). La coulée utilisée pour ces essais était une coulée peu carburée, exempte d'éléments tels que Ti, Al, Gl, qui auraient pu provoquer un durcissement par précipitation. Enfin, l'adoucissement avant écrouissage avait été réalisé intentionnellement à la température relativement basse de 1 000°, de manière à éviter la mise en solution de carbures complexes et de molybdures, dont la précipitation ultérieure aurait pu se produire au cours du revenu. Tout risque de durcissement par précipitation ainsi évité, il s'est néanmoins produit par revenu un durcissement très important, la dureté Vickers HV.5 passant de la valeur de 510 kg/mm² à l'état écroui, à la valeur de 625 kg/mm², pour la température de revenu de 500°.

Le gain de dureté réalisé grâce à l'intervention de l'écrouissage est supérieur à celui qui a été décrit pour les alliages Ni 80 Cr 20, mais relève très probablement du même mécanisme.

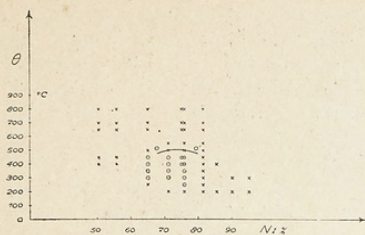


Fig. 18. — Ferronickels purs : domaine des compositions et températures d'essai correspondant aux diagrammes de traction présentant les discontinuités d'allongement = •, ne présentant pas les discontinuités d'allongement = ×. Courbe O O' : transformation ordre $\rightleftharpoons$ désordre.

Fig. 19. — Austénite Ni 80 Cr 20 écrouie : durcissement par revenu de 6 heures à θ .
Analyse :

C	Si	Mn	Ni	Cr	Fe
0,05	0,72	0,51	78,50	19,49	0,35

Dernier adoucissement : TE.1 100° (30 minutes).
Écrouissage final par laminage à froid de 5 à 0,4 mm.

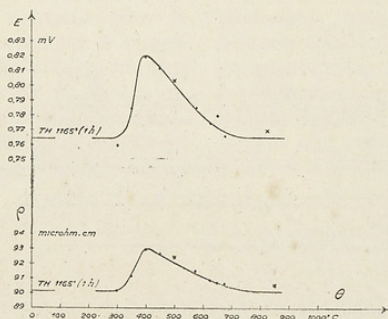
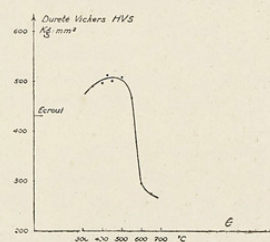


Fig. 20. — Austénite :

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Co	Fe
0,11	0,16	1,16	16,72	19,30	6,50	42,37	complément

Effet d'un revenu à θ , sous vide, sur la résistivité ρ et sur la force électromotrice E entre 0° et 100° rapportée au platine, de rubans d'épaisseur 0,066 mm, initialement traités sous vide par TH.1 165° (1 heure).

Durée du revenu à θ $\left\{ \begin{array}{l} \cdot 3 \text{ heures} \\ \times 11 \text{ heures.} \end{array} \right.$

L'industrie nationale. — octobre-décembre 1956.

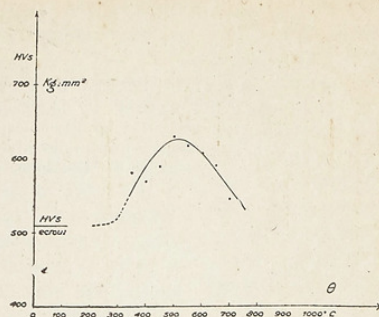


Fig. 21. — Austénite

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Co	Fe
0,04	0,22	1,60	15,92	20,46	7,10	39,83	complément

Effet d'un revenu de 1 heure à θ sur la dureté Vickers HV.5 d'échantillons écrouis (écrasement = 66 %).
Dernier adoucissement : TE.1 000° (1 heure).

Fig. 22. — Austénite de la figure 20.
Effet d'un revenu à θ
sur la résistivité ρ
de rubans écrouis 0,066 mm.

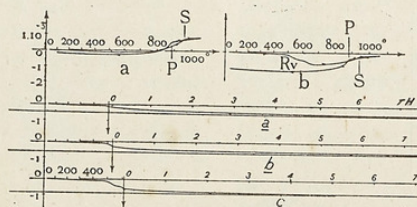
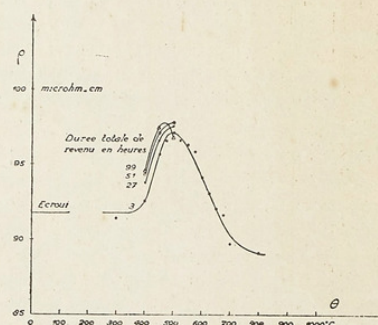


Fig. 23. — Austénite tenace à chaud : Ni 76; Cr 19; Ti 2,3; Al 1,2 %.
En haut, courbes différentielles dilatation-temps.
Chauffe 150 degrés/heure, refroidissement spontané.
État initial : a recuit 1 080°, refroidissement four
b hypertrempe eau 1 080°.
En bas, courbes dilatation-temps enregistrées au cours de revenus isothermes
consécutifs à une hypertrempe à l'eau à 1 080°.
températures de revenu : a : 500°
b : 529°
c : 610°.

En effet, la résistivité passe simultanément par un maximum, pour cette même température de 500° (fig. 22). En même temps, sur bandes fortement écrouies par laminage à froid, le module d'élasticité augmente avec la température de revenu; déterminé dans le sens long, il passe d'environ 18 000 kg/mm², à l'état écroui, à 20 500 kg/mm² après revenu à 500°. Sans doute, de telles bandes sont anisotropes, et il n'est pas exclu que la variation du module sous l'effet du revenu dépende dans une certaine mesure de l'évolution de l'anisotropie. A première vue, il est cependant peu probable qu'un simple revenu à 500° suffise à modifier le module dans une telle proportion. On inclinerait plutôt à penser que cet accroissement du module par revenu est une manifestation complémentaire de l'évolution vers un état ordonné.

Sur le plan industriel, ce mode de durcissement a permis de réaliser après traitement, sur bandes de faible épaisseur, écrouies par laminage, une ténacité de 250 kg/mm², associée à une inaltérabilité complète et à un module élevé, au moins équivalent à celui des feuillards d'acier au carbone. Cet ensemble de propriétés s'est révélé très intéressant pour la fabrication des ressorts travaillant à la température ambiante, et présentant, grâce à leur inaltérabilité, une résistance à la fatigue exceptionnelle.

III. — Bien entendu, ce mode de durcissement peut également convenir pour la réalisation de ressorts travaillant à températures modérées. Ainsi, les alliages du type Ni 80 Cr 20, additionnés de Ti et Al, capables de durcir par précipitation de nicksures de titane et d'aluminium, et présentant les discontinuités d'allongement reproduites

au groupe I de la figure 10, peuvent cumuler la transformation désordre → ordre et la précipitation. La figure 23 permet, d'après les courbes de dilatation d'un tel alliage, de reconnaître les domaines de températures respectifs de ces deux phénomènes. Les courbes a et b situées à la partie supérieure de cette figure ont été tracées respectivement à partir de l'état recuit et à partir de l'état hypereupé à 1 080°.

Dans le premier cas, on n'observe que les anomalies de mise en solution et de précipitation; S et P correspondent respectivement à la fin de la mise en solution de Ni₃(AlTi) au chauffage, et au début de précipitation au refroidissement.

Dans le second cas, on observe en outre une première contraction débutant vers 500°, qui traduit la transformation désordre → ordre; puis, une seconde contraction, au-delà de 600°, qui correspond à la précipitation de Ni₃(AlTi).

Les courbes a, b et c de la moitié inférieure du diagramme sont des courbes de revenus isothermes à 500, 529 et 610°, sur métal hypereupé.

L'écrouissage du métal hypereupé, s'il est suivi de revenu à températures échelonnées, permet de réaliser successivement deux durcissements : vers 450-500°, un durcissement lié à l'établissement d'un certain ordre, puis vers 600°, un durcissement par précipitation. Fréquemment, ces deux durcissements chevauchent et risquent d'être confondus, mais, en réalité, on est obligé de tenir compte de leur différence de nature pour interpréter le durcissement des ressorts travaillant au-dessus de 400°, de manière à adapter le mode de durcissement et de traitement aux conditions prévues pour l'emploi.

CONCLUSIONS

Au terme de cet exposé, il paraît légitime de conclure que les recherches métallogra-

phiques poursuivies sur les austénites réfractaires autorisent à considérer la sensibilité

à l'entaille et les discontinuités d'allongement comme des critères valables de réactions d'instabilité, telles que précipitations et transformation désordre $\rightarrow$ ordre. On est en droit d'espérer que, appliqués à l'étude

des alliages tenaces à chaud, ces critères augmenteront l'efficacité des méthodes d'investigation et aideront à mieux connaître la « vie » des matériaux travaillant aux températures élevées.

COMPTES RENDUS DES SÉANCES PUBLIQUES
A LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

SÉANCE PUBLIQUE DU 2 JUIN 1956

CÉRÉMONIE DE REMISE SOLENNELLE DES PRIX ET MÉDAILLES DÉCERNÉS
PAR LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Rapport de M. le Duc de BROGLIE,

*Membre de l'Institut,
au nom du Comité des Arts Physiques,
sur l'attribution de la Grande Médaille Annuelle,
au titre de l'année 1955,*

à M. Francis PERRIN,

*Membre de l'Institut,
Haut-Commissaire à l'Énergie Atomique.*

Mesdames, Messieurs,
mes chers Collègues,

Francis Perrin, né en 1901, sortait à 21 ans de l'École Normale, classé premier au concours de l'agrégation des Sciences physiques. Son père, Jean Perrin, disait plaisamment que c'était la plus brillante réussite de ses expériences.

Aussi brillamment doué, dès le début, du côté expérimental que du côté théorique, il soutenait, dès l'année suivante, une thèse de doctorat ès Sciences mathématiques sur le « Mouvement Brownien de rotation » presque aussitôt suivie par une autre thèse pour les Sciences physiques sur la fluorescence des solutions. De si éclatants débuts ne se sont pas démentis par la suite. En 1933, il

est secrétaire de la Société de Physique, en même temps qu'il enseigne la Physique théorique à la Faculté des Sciences de Paris.

Dans le domaine de l'optique moléculaire, M. Perrin s'est consacré à l'étude de la fluorescence : on sait que ce phénomène consiste en cela qu'une substance soumise à un rayonnement émet ensuite une lumière qui persiste pendant un temps plus ou moins long avec des caractères particuliers. M. Perrin en a fait une étude profonde et précise et, partant de la conception que la fluorescence est due au fait qu'une particule, molécule ou atome, se trouve portée par le rayonnement exciteuse à un niveau d'énergie supérieur et retombe ensuite spontanément au niveau primitif, il a montré qu'on pouvait traiter ce processus d'une manière analogue à ce qui se fait pour la radioactivité.

Il a montré également que le rendement lumineux est proportionnel à la durée moyenne de l'émission et cette loi permet de distinguer la fluorescence de la phosphorescence dans laquelle les molécules excitées ne reviennent pas spontanément à l'état normal et où doit intervenir une énergie extérieure. Bien des particularités de ce curieux phénomène ont été étudiées et expliquées par M. Perrin, en particulier l'inhibition par un mélange avec des molécules facilement oxydables, ce qui se rattache aux propriétés des antioxygènes découverts par MM. Moureu et Dufraisse.

L'émission d'une lumière n'est pas seulement caractérisée par son intensité; il y a toujours lieu d'envisager aussi sa polarisation; là également M. Perrin, en faisant intervenir les mouvements browniens de rotation, a développé une théorie qui a marqué un très grand progrès dans cette branche de nos connaissances.

Toujours dans le domaine moléculaire, il a encore porté son attention sur l'anisotropie des molécules et son influence sur la diffusion de la lumière et la biréfringence, ainsi que sur la diffusion lumineuse des molécules lorsque leurs dimensions deviennent comparables aux longueurs d'onde, ce qui a pris de l'importance pour l'étude actuelle des hauts polymères.

Nous passons ensuite aux travaux de M. Perrin dans le domaine corpusculaire et atomique, qui devaient le conduire à la phase actuelle de son activité.

Un des phénomènes les plus remarquables de la nouvelle physique consiste dans la création et l'annihilation des paires d'électrons.

On a constaté expérimentalement que, dans le choc d'un photon de grande énergie sur un noyau atomique lourd, il peut arriver qu'une partie de l'énergie lumineuse soit en quelque sorte matérialisée par la création d'une paire d'électrons de signe contraire. Il faut pour cela que l'énergie du photon soit supérieure à un million d'électrons-volts.

Qu'arrive-t-il lorsque c'est un électron qui rencontre le photon?

M. Perrin a envisagé cette question au point de vue théorique, en tenant compte de la conservation de l'énergie et de l'impulsion, et montré qu'il peut aussi y avoir création de paires si l'énergie du photon incident est supérieure à deux millions d'électrons-volts.

M. Perrin a également envisagé la création de paires par le choc d'un électron sur une autre particule, sans intervention de photons, et indiqué les conditions dans lesquelles la chose serait possible; il a aussi étudié le phénomène inverse, c'est-à-dire l'annihilation d'un électron en présence de deux ou plusieurs électrons de signe contraire avec émission de photons et les phénomènes que l'on peut prévoir si le corpuscule incident est un nucléon d'énergie suffisante.

Dans le domaine expérimental M. Perrin a procédé, en collaboration avec M. Pierre Auger, à d'intéressantes applications de la chambre à détente de Wilson, en particulier en lui adjoignant une observation stéréoscopique.

Nous allons parler à présent des recherches de M. F. Perrin dans le cadre des phénomènes nucléaires, en insistant un peu plus parce qu'elles l'ont conduit à jouer le rôle de premier plan qu'il détient actuellement dans ce domaine par son accession à la fonction de Haut commissaire au Commissariat français, si important en ce moment, de l'Energie atomique.

C'est par l'explication théorique de la capture des neutrons lents qu'il a débuté. Peu après la découverte fondamentale de M. et Mme Joliot de la radioactivité artificielle, Fermi avait montré qu'en bombardant un noyau stable, par un neutron que capte ce noyau, l'énergie de fixation étant émise sous forme de rayons gamma, l'on

obtenait ainsi d'une manière très générale de nouveaux radio-éléments. Ils se présentent alors un phénomène curieux et d'une grande importance.

Les sections efficaces qui mesurent les probabilités de capture des neutrons par les noyaux sont en général de l'ordre des diamètres moléculaires, mais, pour les neutrons très lents, certains éléments ont des sections efficaces qui peuvent être jusqu'à dix mille fois plus grandes. Comme la capture des neutrons par les noyaux joue un rôle fondamental dans la fission de l'uranium, on voit de quelle importance est ce phénomène pour le dégagement de l'énergie atomique.

M. Perrin, en s'appuyant sur la mécanique ondulatoire, a pu montrer qu'il s'agit d'une condition de résonance qui se traduit par le fait que la section de capture varie comme l'inverse de la vitesse du neutron.

En 1939, on commençait à entrevoir la possibilité d'une transmutation en chaîne de l'uranium entraînant une libération massive de l'énergie intra-atomique.

En effet, si la fission provoquée par un premier neutron libre à son tour plusieurs autres neutrons, ces derniers pourront être réabsorbés et devenir la source de nouvelles fissions.

Les neutrons provenant ainsi d'une certaine masse d'uranium seront en première approximation émis par tout le volume et s'échappent par la surface. Comme le rapport du volume à la surface est d'autant plus grand que les dimensions du système sont plus grandes, il en résulte, et M. Perrin a été le premier à l'indiquer qu'il intervient des dimensions critiques pour le développement de la réaction explosive.

Il a calculé ces dimensions critiques et montré qu'on peut les réduire beaucoup en entourant la masse d'uranium d'une couche épaisse d'une matière peu absorbante pour les neutrons qui en renverra un certain nombre vers la masse centrale. Un tel réflec-

teur est actuellement utilisé dans la grande majorité des piles atomiques.

L'espace me manque pour parler du cours que M. Perrin a professé au Collège de France: aussi à l'aise dans le domaine des Mathématiques assez abstraites que partout ailleurs, il a développé en particulier la théorie des spineurs.

Depuis 1951, M. Francis Perrin s'est surtout consacré à la direction scientifique et technique du Commissariat à l'Energie atomique dont chacun connaît les vastes et multiples réalisations. Et, c'est là surtout, mon cher ami, à côté des titres si nombreux que vous vous êtes acquis, dans la recherche scientifique proprement dite, et dans la Physique théorique, qu'il faut chercher les principales raisons qui vous qualifient particulièrement pour recevoir la Grande médaille de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, si justement attribuée à votre personne aujourd'hui.

C'est dans les développements de l'énergie atomique que réside pour une grande part l'avenir de l'Industrie Nationale et c'est à votre féconde activité qu'a été confiée la tâche de préparer cet avenir.

La production à grande échelle de l'énergie calorifique et électrique, la propulsion à l'aide de moteurs, fonctionnant avec des combustibles nucléaires, l'utilisation des radioéléments artificiels dans la recherche pure, les applications médicales et industrielles, voici les buts principaux qu'il faut atteindre et pour cela il faut, et il va falloir encore plus, développer les recherches minières, les industries chimiques spécialisées, la construction des réacteurs atomiques et par dessus tout peut-être la formation du personnel scientifique considérable que vont nécessiter ces nouvelles activités.

C'est une tâche immense et délicate; vous avez toutes les qualités pour la mener à bien; nous vous en exprimons d'avance toute notre reconnaissance.

Rapport de M. l'Ingénieur Général DUMANOIS,

*Président du Comité des Arts Mécaniques,
au nom du Comité des Arts Mécaniques,
sur l'attribution, à titre posthume,
de la Médaille Louis Pineau.*

à Ernest MERCIER.

Mesdames, Messieurs,
mes chers Collègues.

Il est deux noms indissolublement liés à la naissance en France de l'Industrie du Pétrole; ce sont ceux de Louis Pineau et d'Ernest Mercier.

La guerre de 1914-1918 avait montré l'importance primordiale du pétrole. Qui ne se souvient des télégrammes angoissants de Clemenceau au Président Wilson pour demander de l'essence?

À la fin de la guerre, les Pouvoirs publics avaient compris et ont créé la Direction des Carburants qu'a dirigée Louis Pineau depuis sa création.

Son ambition était de créer une politique française du pétrole. On lui doit l'hommage d'une réussite dont nous bénéficions aujourd'hui.

Pour promouvoir une telle politique, il fallait accéder aux sources de brut à défaut de sources nationales; mais on n'avait fait encore aucun effort pour les rechercher.

Or, le traité de San-Remo de 1924 reconnaissait des droits à la France dans l'attribution des actions de la Société Allemande *Turkisch Petroleum*. Le Président Poincaré demanda à Ernest Mercier de mettre ces droits en valeur. Pourquoi Ernest Mercier? C'est qu'il avait déjà fait ses preuves comme Ingénieur, organisateur, administrateur et, ajouterai-je, comme combattant magnifique. Né en 1878 à Constantine, reçu en 1887 à l'École Normale des Sciences et à l'École Polytechnique, il opte pour cette dernière et en sort dans le G. M. en 1899. La Marine le détachait en 1906 à l'École Nationale Supérieure d'Électricité. Il était ensuite affecté à l'Arsenal de Toulon, électrifiait le

port dont il avait construit la centrale.

En 1912, il quittait la Marine et devenait sous-directeur de la Société du Triphasé d'Asnières.

C'est dans ce poste que le prend la mobilisation en août 1914 et que commence pour lui une véritable épopée.

Du mont Lovćen au Monténégro, à la brigade Ronarch sur l'Yser, au front de Salonique, au commandement des forces roumaines qui lui ont été confiées par le roi Ferdinand, à la tête desquelles il est grièvement blessé en contre-attaquant les soldats de Mackensen qui vient de franchir le Danube, il a montré des qualités d'Ingénieur, d'organisateur et d'homme d'action qui lui ont valu la croix, puis la rosette de la Légion d'Honneur. Après la guerre, il crée l'Union d'Électricité, centralise, unifie, construit barrages et centrales. Son œuvre a reçu l'éloge qu'elle mérite des Sociétés qui se consacrent aux problèmes de l'électricité. Nous nous bornerons à dire que, s'il n'y avait pas eu Ernest Mercier, l'E. D. F. n'existerait pas.

Si Ernest Mercier avait prévu l'avenir de la production d'énergie électrique, il s'était rendu compte aussi de l'essor que prendrait cette autre source d'énergie qu'est le pétrole.

Dès 1921, il accède à la présidence de l'Omnium International du Pétrole, s'intéresse à la *Steaua Romana*, la plus importante Société de pétrole roumaine, et assure la présidence de la *Steaua Française*.

Ainsi donc, en 1924, le Président Poincaré charge Ernest Mercier d'exploiter pour la France les droits que lui reconnaît le traité de San-Remo. Ernest Mercier n'accepte qu'à la condition formelle que son concours ne sera pas rémunéré : réponse qui caractérise bien le désintéressement de l'homme.

Il mène alors pendant 4 ans une dure bataille avec ses partenaires : l'Anglo-Iranian, l'Anglo-Saxon, la Standard Oil. Ernest Mercier a écrit lui-même que ce fut la lutte la plus dure, la plus acharnée qu'il ait jamais eue à engager. Finalement, en août 1928, victoire *in extremis* et victoire complète : Ernest Mercier atteignait tous ses objectifs et un accord garantissait à la Compagnie Française des Pétroles 23,75 p. 100 de la production de l'Irak Petroleum à égalité avec les trois autres puissants groupements.

Or, pendant qu'Ernest Mercier bataillait durement, Louis Pineau de son côté menait un combat parallèle dans les milieux politiques, et quand en 1928 Ernest Mercier, vainqueur, créait la Compagnie Française des Pétroles, Louis Pineau obtenait le vote des deux lois fondamentales des 16 et 26 mars 1928, l'une relative à la protection des produits nationaux, l'autre au régime d'importation.

La victoire d'Ernest Mercier garantissait

bien à la Compagnie Française une source de pétrole brut; mais il ne suffit pas d'avoir du pétrole brut, il faut le transporter et le raffiner. Ernest Mercier complète son œuvre en créant en 1929 la Compagnie Française de Raffinage avec ses deux puissantes raffineries de Gonfreville et de la Mède, en 1931 la Compagnie Navale des Pétroles qui possède aujourd'hui une flotte de plus de 160 000 tonnes de tankers.

Si Ernest Mercier avait succombé aux risques encourus dans ces multiples entreprises, personne ne lui en eut dénié ni l'initiative, ni la responsabilité.

Votre Société a pensé que le meilleur hommage qu'elle pouvait rendre à la mémoire du grand Ingénieur, de l'organisateur émérite, de l'administrateur désintéressé et profondément humain qu'était Ernest Mercier, était de lui attribuer à titre posthume la Médaille Louis Pineau en associant ainsi deux noms indissolublement liés à la création d'une Industrie Française du Pétrole.

SÉANCE PUBLIQUE DU 8 NOVEMBRE 1956

Rapport de M. Albert PÉRARD,
Membre de l'Institut,
au nom du Comité des Arts Physiques,
sur l'attribution du Grand Prix d'Argenteuil,
au titre de l'année 1955,

à M. Louis LEPRINCE-RINGUET,
Membre de l'Institut.

Mesdames, Messieurs,
mes chers Collègues.

Vous qui connaissez bien la Société d'Encouragement et qui honorez de votre présence la Séance de distribution de ses récompenses, vous savez quelle est la haute valeur des prix et médailles qu'elle remet chaque année aux personnalités les plus marquantes des Arts physiques, chimiques, mécaniques, économiques, de l'Agriculture, des Constructions et Beaux-Arts. Cependant le Prix d'Argenteuil, décerné à part comme vous le voyez aujourd'hui, n'est inférieur à aucun d'eux.

Créé par un legs du Marquis d'Argenteuil en 1838, ce prix a été décerné à partir de 1846. Primitivement attribué tous les 6 ans, il était réservé à l'auteur « de la découverte la plus utile au perfectionnement de l'industrie française ». Ces conditions ont été assouplies. A l'heure actuelle, ce prix peut être délivré à des intervalles quelconques;

et son domaine embrasse tous les travaux susceptibles d'apporter une importante contribution au progrès scientifique ou technique. Pour marquer son prestige, il suffira de citer au hasard quelques-uns de ses lauréats : Chevreul, Berthelot, les frères Lumière, Branly, Pierre et Marie Curie, l'Institut Pasteur en 1928, le Prince Louis de Broglie en 1946, et pour la dernière fois, en 1951, ce n'était autre que la Cie Universelle du Canal Maritime de Suez.

Le lauréat d'aujourd'hui est M. Louis Leprince-Ringuet, Professeur à l'École Polytechnique, Membre de l'Institut.

Né à Alès, en 1901, fils d'un Ingénieur général des Mines, M. Leprince-Ringuet est entré à l'École Polytechnique à l'âge de 19 ans, pour en sortir dans le corps des Postes et Télégraphes. Après avoir suivi les cours de l'École Supérieure d'Électricité en même temps que ceux de l'École Supé-

rieure des P. T. T., il est resté affecté pendant 5 ans au service des Câbles sous-marins. L'expérience qu'il y a acquise dans l'Électrométrie des courants faibles ne lui a pas été inutile pour la suite de sa carrière.

C'est à partir de 1929, que, séduit par l'évolution rapide de la Physique atomique, il n'hésite pas à abandonner son traitement d'Ingénieur de l'État, et à se contenter d'une modeste bourse de la Caisse des Sciences, pour entrer au Laboratoire du Duc Maurice de Broglie, qui l'initie à la recherche. Il travaille pendant quelque temps avec Trillat et Dauvillier, pour se mettre au courant des rayons X. Le premier en France, il construit un amplificateur d'ionisation capable de détecter le passage de particules individuelles rapides, donnant une indication proportionnelle à l'énergie libérée.

A l'aide de cet appareil, il étudie, sous la direction du Duc de Broglie, les transmutations de divers corps, en particulier de l'aluminium par les rayons du polonium. Il apporte aussi une contribution à l'étude des neutrons, très peu de temps après leur découverte; il montre que non seulement le glucinium mais encore le lithium et le bore, sont capables d'émettre des neutrons, et donne une première indication sur l'importance des phénomènes de diffusion des neutrons dans la matière.

Du contact qu'il eut au même laboratoire avec Bruno Rossi naquit, semble-t-il, l'intérêt qui devait diriger sa carrière, particulièrement vers les rayons cosmiques. Ses premiers travaux dans ce domaine, exécutés en collaboration avec Auger et Ehrenfest, portèrent sur la séparation des principales composantes des rayons cosmiques, leurs variations avec la latitude et leur analyse en haute altitude à l'Observatoire du Jungfraujoch.

En 1934, Leprince-Ringuet entreprend la construction de grandes chambres de Wilson commandées par compteurs et utilisées conjointement avec le champ magnétique de l'électro-aimant de l'Académie des Sciences. Au cours de ses recherches avec J. Crussard, S. Gorodezsky, E. Nageotte, R. Richard-Foy, il mesure pour la première fois directement, par courbure des trajectoires dans le champ magnétique, des énergies de rayons cosmiques jusqu'à environ 20 GeV. Un certain nombre de résultats

concerne l'interaction de ces particules avec la matière. L'excès positif des particules pénétrantes est observé; il sera confirmé ultérieurement par de nombreux physiciens.

La grande chambre de Wilson fournit également des indications sur l'énergie des particules et leur pouvoir de pénétration dans le plomb. Leprince-Ringuet et Crussard montrent que certaines particules, qui ne peuvent être considérées comme des protons, ont une perte d'énergie dans la matière très inférieure à celle que l'on observe sur les électrons de gerbe. Ceux-ci avaient été étudiés par Carl Anderson jusque vers 200 MeV; or les particules observées à Bellevue avaient des énergies de 400 MeV et au delà. La différence pouvait provenir, soit d'un changement extrêmement brusque et considérable des propriétés des électrons entre 200 et 400 MeV, phénomène d'ailleurs peu probable, soit de l'existence d'une particule nouvelle. Le méson, dont ils ont alors annoncé la possibilité, devait être formellement identifié peu après.

Dans les années suivantes, des chambres de Wilson de plus en plus vastes ont été construites, permettant des mesures d'une précision toujours croissante de la masse des mésons.

Au cours d'une longue série d'expériences effectuées, non plus à Bellevue, mais dans une usine des Hautes-Alpes, à l'Argentière-la-Bessée, avec une bobine magnétique du professeur Cotton, Louis Leprince Ringuet a pu obtenir des collisions fournissant la valeur de la masse de ces mésons μ ; mais l'une d'elles a donné pour la particule incidente une masse très différente : 990 ± 10 p. 100; c'était un premier résultat conduisant à envisager l'existence d'un méson lourd.

Trois ans plus tard les premières photographies de désintégration en vol des mésons lourds et des hypérons ont commencé à être observées, et c'est en 1949 seulement que le méson τ a été identifié par le groupe de Bristol, grâce à sa désintégration à l'arrêt en trois mésons π dans les émulsions nucléaires.

Après la guerre M. Leprince-Ringuet, avec la collaboration de P. Chanson, a construit un nouveau laboratoire à l'Aiguille du Midi, près de Chamonix. Des recherches y ont été poursuivies (avec J. Becker, P.

Chanson, E. Nageotte, R. Treille, et récemment B. Ghowdhuri et Hans Courant), soit par des compteurs, soit par une grande chambre de Wilson à plaques multiples.

D'autre part, à l'École Polytechnique, L. Leprince-Ringuet a développé un laboratoire de recherches dont l'importance n'a cessé d'augmenter depuis 1945. En même temps, grâce à un groupe d'anciens Polytechniciens, à l'appui de l'Enseignement supérieur, de l'Énergie Atomique et à l'aide de M. Roesch, directeur, un laboratoire de montagne, susceptible de fonctionner de façon continue avec un champ magnétique puissant, a été installé au Pic du Midi de Bigorre; B. P. Gregory, A. Lagarrigue, F. Muller, Ch. Peyrou, auxquels sont venus s'adjoindre un peu plus tard Ch. A. d'Anglau, R. Armenteros, A. Astier, toujours sous la direction de L. Leprince-Ringuet, ont été les principaux artisans d'une installation puissante qui a donné d'excellents résultats dans le domaine des mésons lourds et des hyperons. Cette installation comporte essentiellement deux très grandes chambres de Wilson de 200 litres chacune, situées l'une au-dessus de l'autre et déclenchées par un dispositif complexe de compteurs sélectionnant les phénomènes de très grande énergie. La chambre supérieure baigne dans un champ magnétique, si bien que les trajectoires sont courbées jusqu'à des énergies de plusieurs GeV. Dans la chambre inférieure, les particules ayant traversé la chambre du haut viennent produire des interactions; car elles y rencontrent quinze plaques de cuivre placées en travers de la chambre. Ce dispositif a permis entre autres de découvrir l'existence d'un méson lourd dont la masse est environ 960, du même ordre de grandeur que celle des autres mésons lourds mais dont le mode de décomposition était nouveau: il s'agit de la particule appelée K_{μ} qui se décompose en donnant un méson μ et un neutrino; c'est une décomposition en deux corps, le méson μ étant émis avec une énergie constante. Un certain nombre d'autres études sur les mésons lourds et sur les hyperons ont été faites avec cette installation.

En même temps se développait à Paris, au laboratoire de physique de l'École Polytechnique, une série de recherches utilisant les émulsions photographiques nucléaires,

avec J. Crussard, T. F. Hoang, L. Jauneau, F. Hug-Boussier, G. Kayac, C. Mabboux, D. Morellet, J. Trembley, et récemment J. Hennessy et V. Fouché.

Ce groupe a étudié les rayons cosmiques enregistrés dans des blocs de plus en plus considérables d'émulsions exposés à grande altitude (30 kilomètres au-dessus du niveau de la mer). Une grande partie du travail a consisté dans la mise au point de méthodes solides pour la mesure des masses des particules, soit par l'observation de leur diffusion multiple, de l'ionisation qu'elles produisent, soit par l'observation du parcours restant et de l'une des deux données précédentes lorsque la particule s'arrête dans l'émulsion. Les masses des mésons lourds, les proportions des différents modes de décomposition, l'observation d'hyperfragments, ont pu se faire dans des conditions satisfaisantes, quand on les compare aux résultats obtenus par les autres laboratoires.

L'équipe qui travaille sous la direction de L. Leprince-Ringuet comprend actuellement une cinquantaine de personnes dont plus de vingt physiciens. La réputation obtenue au cours de ces dernières années par le laboratoire de physique de l'École Polytechnique a attiré des physiciens étrangers et une tradition semble s'établir: chaque année deux ou trois physiciens américains viennent passer leur année scolaire entière à travailler auprès des physiciens français, utilisant leurs appareils, faisant partie intégrante de leur groupe.

Depuis cette année, un nouveau groupe se prépare (sous la direction de A. Lagarrigue) à l'utilisation des grands accélérateurs européens (Saclay, le CERN), par la construction de tout un nouvel appareillage de détection, et un autre groupe, dirigé par Heidmann, commence à étudier les problèmes astrophysiques posés par le rayonnement cosmique.

Professeur de Physique à l'École Polytechnique, depuis l'âge de 35 ans, lauréat de la Société de Physique, de l'Université de Paris et de l'Académie des Sciences, L. Leprince-Ringuet a été élu à cette Académie en 1949. Depuis 1951, il est Commissaire à l'Énergie Atomique; et depuis l'année dernière Vice-Président du Comité des Directives Scientifiques du CERN (Centre Européen de Recherches Nucléaires).

La Société d'Encouragement ne peut oublier la très belle Conférence qu'il lui a faite en 1949 sur les Accélérateurs de particules et les présentations si vivantes de deux Conférences de son collaborateur M. Grégory.

En terminant, mon cher ami, je voudrais encore rappeler que tout l'intérêt, puis l'amitié, que je vous porte, date d'une certaine Conférence Polytechnicienne où vous nous aviez présenté, de la façon magistrale qui est la vôtre, quelques points de la physique contemporaine et où j'avais senti en vous cette flamme de l'enthousiasme communicatif du chercheur.

Dévoilerai-je que je vous connais deux

violons d'Ingres, l'un, à l'inverse d'Ingres, c'est la peinture, car j'ai admiré chez vous bien des tableaux que des maîtres pourraient vous envier; l'autre c'est le sport, dans lequel vous seriez encore capable de donner des leçons à vos jeunes élèves physiciens, et j'entends dire qu'il en existe un troisième, véritable violon d'Ingres celui-là, c'est la musique.

Je saluerai enfin Madame Louis Leprince-Ringuet que j'aperçois dans cette salle, et qui, non contente d'assurer le bonheur de votre nombreuse famille, a su encore mettre un beau talent littéraire au service de tous les jeunes foyers.

INDEX POUR 1956 DES AUTEURS DES CONFÉRENCES PUBLIÉES

MM.	Pages
CHERADAME (R.). — L'activité du Centre d'Études et Recherches des Charbonnages de France (CER-CHAR) (Introduction)	21
CHEVENARD (Pierre). — Introduction générale aux Conférences sur l'activité des Laboratoires de recherches dans l'Industrie	17
COGAN (M.). — Les sulfates d'alcools naturels et synthétiques.	1
GAY (Raymond). — Synthèse des alkyls-benzène servant de base pour la fabrication des détergents à l'Usine Standard-Kuhlmann à Marseille.	11
LOISON (Roger). — L'activité du Centre d'Études et Recherches des Charbonnages de France (CER-CHAR) (Exposé)	24
MARTERET (J.). — Le Centre de recherches Nicolas Grillet de la Société Rhône-Poulenc	35
WACHÉ (X.). — L'activité du Centre des recherches d'Imphy	57

TABLE DES MATIÈRES

(Année 1956)

1°

Conférences.

LES SULFATES D'ALCOOLS NATURELS ET SYNTHÉTIQUES, par M. Cogan.	1
SYNTHÈSE DES ALKYL-BENZÈNE SERVANT DE BASE POUR LA FABRICATION DES DÉTERGENTS A L'USINE STANDARD KUHLMANN, à Marseille, par M. Raymond Gay	11
INTRODUCTION GÉNÉRALE AUX CONFÉRENCES SUR L'ACTIVITÉ DES LABORATOIRES DE RECHERCHES DANS L'INDUSTRIE, par M. Pierre Chevenard.	17
L'ACTIVITÉ DU CENTRE D'ÉTUDES ET RECHERCHES DES CHARBONNAGES DE FRANCE (CERCHAR), Introduction par M. R. Cheradame.	21
L'ACTIVITÉ DU CENTRE D'ÉTUDES ET RECHERCHES DES CHARBONNAGES DE FRANCE, Exposé par M. Roger Loison	24
LE CENTRE DE RECHERCHES NICOLAS GRILLET DE LA SOCIÉTÉ RHÔNE-POULENC, par M. J. Marteret.	35
L'ACTIVITÉ DU CENTRE DES RECHERCHES D'IMPHY, par M. W. Waché.	57

2°

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

Séance du 1 ^{er} mars 1956 (<i>Remise du Grand Prix Lamy à la Société Métallurgique d'Imphy</i>)	45
Séance du 2 juin 1956 (<i>Remise de la Grande Médaille annuelle à M. Francis Perrin, et de la Médaille Louis Pineau, à titre posthume, à M. Ernest Mercier</i>)	81
Séance du 8 novembre 1956 (<i>Remise du Grand Prix d'Argenteuil à M. Louis Leprince-Ringuet</i>)	86

3°

Divers.

Nécrologie (M. J. Pernollet)	33
Prix et Médailles attribués pour l'année 1955.	55
Index des Noms d'Auteurs	90

Le Président de la Société, Directeur Gérant : G. DARRIEUS.

D. P. n° 1080.

Imprimé en France par Brodard-Taupin, Imprimeur-Relieur. Coulommiers-Paris. — 3-1957.

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 pellior 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 pellior 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 pellior 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
XLI. — 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-GOUJON - 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<sup>e</sup>**

**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<sup>e</sup>)**

Téléphone : INVALIDES 46-24



# MAISON BREGUET

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

## CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES

GROUPES 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<sup>e</sup>) 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<sup>e</sup>)

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<sup>e</sup>.

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 FR.S.

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<sup>e</sup>)

## L'AIR LIQUIDE

SOCIÉTÉ ANONYME

Téléph. :  
INV. 44-30

75, Quai d'Orsay - PARIS (7<sup>e</sup>)

Télégr. :  
AIRLIQUID-PARIS

Ses DIVISIONS & FILIALES exploitent 175 usines DANS LE MONDE

**OXYGÈNE**  
**AIR-AZOTE**

COMPRIMÉS ET LIQUIDES



**ARGON**

GAZ RARES EXTRAITS DE L'AIR



**ACÉTYLÈNE DISSOUS**

INSTALLATIONS de PRODUCTION  
DES GAZ CI-CONTRE  
ET DE **SÉPARATION** DE TOUS  
MÉLANGES GAZEUX PAR **LIQUÉFACTION**



RÉCIPIENTS POUR LE  
TRANSPORT ET L'UTILISATION  
D'OXYGÈNE ET D'AZOTE LIQUIDES



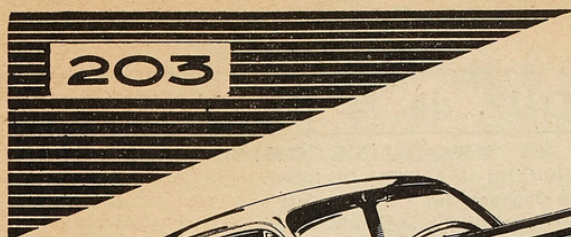
**MATÉRIEL**

POUR

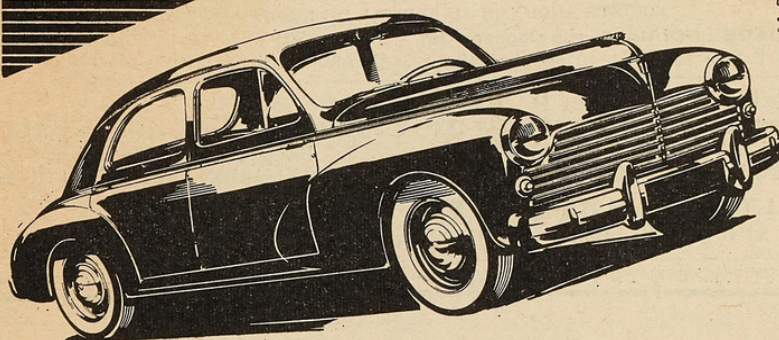
SOUDEGE, TREMPÉ, OXYCOUPAGE, etc...

Consultez son « **SERVICE APPLICATIONS** » pour tous travaux de  
**Soudage, Oxycoupage, Décapage, Décriquage, Trempe superficielle au chalumeau**  
**Emmanchement par contraction, Soudage en atmosphère d'Argon, Découpage à**  
**la poudre, etc..., etc...**

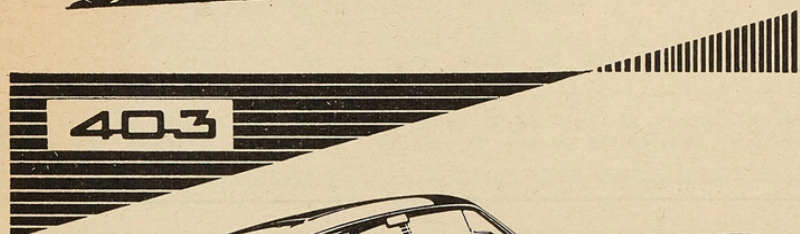




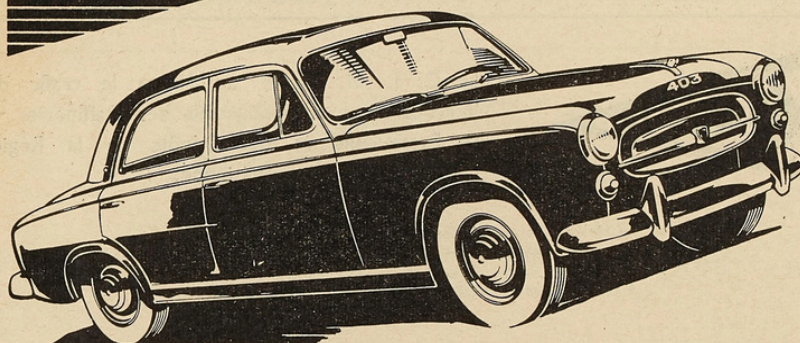
203



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<sup>e</sup>) ♦ 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 A BASSE TEMPÉRATURE (des schistes, lignites, etc.)

HYDROGÈNE et GAZ de VILLE par CRACKING et CONVERSION des Hydrocarbures

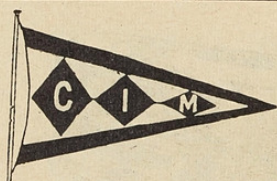
RECUIT BRILLANT (Licence I. G. I.)

CRISTALLISATION DES SELS (Licence Krystal)

### PRODUITS FABRIQUÉS :

AMMONIAC ANHYDRE :—: ALCALI A 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 310.000 m<sup>3</sup>

A Gennevilliers : Dépôt spécialisé de 41.200 m<sup>3</sup>

## COMPAGNIE INDUSTRIELLE MARITIME

Concessionnaire du Port Autonome du Havre

36, rue de Liège

PARIS (VIII<sup>e</sup>)

EUROPE 44-30



# PROGIL

Société Anonyme au Capital de 2.250.000.000 de Francs  
79, Rue de MIROMESNIL, PARIS 8<sup>e</sup>. 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<sup>e</sup>*

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

ACIERS  
PRODUITS CHIMIQUES  
ALUMINIUM  
MAGNÉSIUM  
FERRO-ALLIAGES  
É T A I N

SIÈGE SOCIAL : 10, RUE DU GÉNÉRAL-FOY - PARIS (8<sup>e</sup>)

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.).

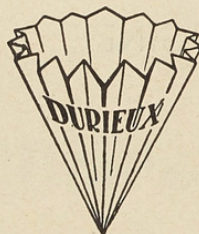
**Piles " AD "**

à grande capacité  
pour SIGNALISATION  
TÉLÉPHONES  
TÉLÉGRAPHES  
etc...

**Piles " MAZDA "**

ÉCLAIRAGE PORTATIF  
AMPOULES  
BATTERIES  
BOITIERS  
RADIO

**LES FILTRES DURIEUX**



**PAPIER A FILTRER**

En disques, en filtres plissés, en feuilles 52x52

**SPÉCIALITÉS :**

**FILTRES SANS CENDRES**

N°s 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<sup>e</sup>)



**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<sup>e</sup>

R. C. SEINE 54 B 8975

TÉLÉPHONE : ÉLYSÉES 83-70

TÉLÉGR. ELHU 42 PARIS

## GROUPE ÉLECTRONIQUE

TOUTES APPLICATIONS PROFESSIONNELLES  
DE L'ÉLECTRONIQUE

RADIODIFFUSION - TÉLÉVISION  
RADIOCOMMUNICATIONS

RADARS - PROJETS SPÉCIAUX - TUBES ÉLECTRONIQUES  
DIODES - TRANSISTORS - REDRESSEURS DE PUISSANCE



## GROUPE 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

## GROUPE PETIT MATÉRIEL

RÉCEPTEURS DE T.S.F. ET DE TÉLÉVISION  
ÉLECTROPHONES, DISQUES

DUCKETET-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