

NOTICE
SUR LES TRAVAUX
DE
PIERRE CHEVENARD

(1888 - 1960)

Membre de la division des applications de la science à l'industrie

déposée en la séance du 12 juin 1961

PAR

M. LÉON VELLUZ

Membre de l'Académie

Pour rendre hommage à Pierre Chevenard, il suffit sans doute de suivre ses travaux dans leur déroulement naturel, depuis les débuts austères jusqu'aux étapes du succès, de retracer son œuvre noble et simple vouée à l'art de l'ingénieur, toute gagnée par les applications de la science.

Mais si l'on cherche aussi, comme je le voudrais, à fixer la part qui lui revient dans les grands événements de la technique, il faut

centrer cette brillante carrière sur les réalisations qui en ont été l'assise, sur les instruments de mesures devenus célèbres qui en ont été à la fois le moyen et le fruit. Leur but fut, tout au long de recherches d'une persévérance exemplaire, d'analyser, de scruter et aussi de prévoir le comportement physique ou chimique de nouveaux alliages industriels, en puisant les données de ce vaste problème dans une connaissance précise de leurs propriétés.

A cette préoccupation féconde pour l'industrie s'attachent dès maintenant les mérites et la personnalité de notre regretté Confrère.

*
* *

Pierre - Antoine - Jean - Sylvestre Chevenard est né le 31 décembre 1888 à Thizy, petite ville du canton de Villefranche dans le département du Rhône.

Éprouvé au plus jeune âge par la mort de son père, il effectue sous la sollicitude maternelle, au Collège de sa ville natale, les études secondaires. L'occasion se trouve pour lui dès les premières classes, nous dira-t-il, d'évoquer la fière image du girondin Roland de la Platière, son concitoyen. Mais on peut être bien assuré que cette figure, embellie par la notoriété publique, ne sut pas trop émouvoir un caractère de bonne trempe, plein de bon sens, ni lui donner quelque goût d'aventure que nous eussions dû regretter. Il confie à ses amis son rêve d'écolier : « quelque paradis qui serait un immense laboratoire, une sorte de merveilleux palais où l'on pourrait indéfiniment faire fonctionner les plus belles machines ».

Après bien des récréations dont on devine ainsi que les expériences turbulentes y prirent place, sa vocation scientifique se manifeste par le désir d'entrer à l'École des Mines de Saint-Étienne. Reçu en 1908, il sort major en 1910, muni de ces solides connaissances qu'il arrive de mieux acquérir loin des grandes cités, dans les collectivités plus restreintes où les influences se font aussi plus vives.

P. Chevenard entre aussitôt à la Société de Commentry-Fourchambault-Decazeville. D'abord aux usines de Decazeville, comme

secrétaire technique, il s'occupera uniquement des fabrications. Ce séjour est de courte durée. En janvier 1911, il entre aux aciéries d'Imphy où l'embryon de laboratoire de contrôle qui va lui être confié est demeuré fort simple. Se trouvant là seul ingénieur, il pourrait ne voir encore dans ce second poste peu convoité qu'une étape provisoire. Mais discernant, au contraire, toute l'importance que la recherche doit prendre dans une usine orientée, comme celle d'Imphy, vers la sidérurgie spéciale, il se met au travail avec l'ambition de trouver les moyens nouveaux qui lui permettront de dominer des fabrications extrêmement délicates.

En fait, sous l'impulsion clairvoyante du directeur général Fayol, la mission du laboratoire d'Imphy apparaît bien, désormais, d'étudier d'une manière discursive les propriétés des alliages spéciaux, puis d'en déduire des conclusions industrielles.

A cette date, le métrologiste Charles-Édouard Guillaume, qui venait de diriger la mise au point d'une gamme de métaux de dilatabilité variable, était à la recherche de solutions diverses intéressant la chronométrie. P. Chevenard parvient très vite, sur ses directives, à produire les alliages attendus. Il met à la disposition de l'industrie horlogère toute une série de préparations remarquables.

En 1914, le collaborateur encore jeune d'Imphy se trouve en mesure d'apporter à la Défense Nationale un concours particulièrement précoce en se donnant avec passion à la mise au point des traitements thermiques qui consacreront peu à peu, dans cette technique, l'enviable réputation de Commentry-Fourchambault.

C'est en 1917 que P. Chevenard établit le premier brevet descriptif de métaux résistant à la chaleur et à la corrosion. Les A. T. G., solutions solides riches en chrome et à teneur en carbone très faible, bénéficient d'une nette supériorité pour la fabrication d'ailettes de turbines à vapeur. Mais leur immunité appelle bientôt un nouveau perfectionnement: l'aptitude au durcissement structural, sans nuire en rien à la résistance chimique. Les nouveaux métaux, dits A. T. V., intéressent les marines alliées et leur rendent un important service.

Depuis lors, on le sait, les recherches dans ce domaine demeurent toujours d'une grande actualité.

Après avoir institué des trempes en deux temps, qui permettent de durcir favorablement, sans déformation, des pièces délicates telles que des blindages, Imphy jouit donc d'une belle notoriété. Son directeur de laboratoire devient aussi l'artisan de collaborations extérieures importantes, tant avec la Société de Pont-à-Mousson pour l'application de la centrifugation aux aciers spéciaux qu'avec la Compagnie Française des Métaux pour l'amélioration des alliages légers.

En marge d'une œuvre qui force déjà l'estime, c'est de surcroît une incessante action de caractère professionnel et social que P. Chevenard poursuit dans le silence. Il devient l'instigateur de cours complémentaires qui facilitent le recrutement des cadres, comme la promotion des meilleurs éléments du personnel ouvrier. Il réalise ce qu'il se plaît à appeler « l'imprégnation scientifique de l'usine », gagnant ainsi l'affection de tous.

En 1935, P. Chevenard est nommé directeur scientifique de la Société à laquelle il appartient depuis vingt-cinq ans. Il s'est déjà imposé en 1919 comme Professeur à l'École de Saint-Étienne, où il a fondé le laboratoire de métallurgie. Il assurera bien d'autres cours dans des Écoles techniques supérieures, particulièrement à l'École de Fonderie et plus tard à l'École des Mines de Paris. A la Société de l'Industrie minérale, dont il est vice-président, et au Cercle d'études des métaux de Saint-Étienne, dont il est président d'honneur, il organise de 1930 à 1935 des conférences ayant toujours en vue de pousser la formation professionnelle. A la Société française de Physique, qu'il préside de 1939 à 1941, il oriente l'attention des physiciens vers les problèmes intéressant l'industrie. Élu peu après président de l'Association technique de Fonderie, il s'efforce, à l'inverse, d'imprimer un caractère scientifique à la tribune de ce groupement.

Il se devait que ce technicien éprouvé eut encore à jouer un rôle personnel dans de grandes manifestations nationales et internationales et que de nombreuses commissions officielles fissent appel à

son concours. Représentant partout les industries métallurgiques, il assure l'indispensable liaison entre l'élaboration de l'acier et son utilisation aux fins les plus diverses.

Commandeur de la Légion d'Honneur, il est appelé en 1946 à faire partie de l'Académie des Sciences, dans la division des Applications de la Science à l'Industrie, dont il est particulièrement représentatif.

*
* *

On distingue clairement deux parties dans la carrière dont les étapes les plus significatives viennent d'être rapportées. Dans l'une, où intervient l'activité du métallurgiste, on assiste à la mise au point d'alliages intéressants doués de propriétés fixées *a priori*. Dans l'autre, celle du métrologiste industriel, on voit naître les méthodes d'observation et d'analyse qui permettront de reproduire à coup sûr l'alliage sur lequel il aura porté son choix. Ces deux activités se complètent: sans l'une, l'autre serait sans objet. Et c'est bien, selon l'appréciation de Ch. Fabry, parce que l'excellent ingénieur s'est doublé ici d'un physicien averti qu'il n'a pas tardé à réussir.

On a donc vu qu'en 1911, date des débuts de P. Chevenard dans l'industrie, les Aciéries d'Imphy orientaient leurs fabrications vers des aciers fins et spéciaux. Elles avaient décidé de consacrer une partie de leur activité à la fabrication d'alliages doués de propriétés physiques exceptionnelles, dont les premiers en date, dus à Ch. Ed. Guillaume, étaient l'*invar*, acier à 36 p. 100 de nickel et les *ferro-nickels* réversibles, alliages d'un beau poli, facilement laminables, dont la dilatation thermique pouvait être nulle ou prendre telle valeur plus spécialement recherchée. De là vient l'intérêt qui se porte, dès cette date, sur l'étude physique de nouvelles compositions et du mécanisme de leurs transformations polymorphiques ou de leurs traitements thermiques. Ainsi s'explique le fait qu'à l'égard d'un programme aussi vaste et devant la modestie de ses moyens matériels l'effort du laboratoire d'Imphy se concentre sur l'invention et la

construction d'appareils de mesures automatiques d'une qualité tout à fait originale.

Les plus caractéristiques enregistrent, à partir de 1916, les principaux coefficients qui caractérisent les propriétés physiques des métaux: dilatation, aimantation, résistivité électrique, pouvoir thermo-électrique, module d'élasticité. Ces appareils peuvent être utilisés entre -190° et 900° . Ils permettent d'établir des réseaux d'isothermes traduisant par exemple l'influence de la température de trempe ou de celle du revenu sur les constantes physiques. Ils ne rendent pas seulement service à l'industrie mais apportent de multiples renseignements d'ordre scientifique en faisant apparaître des singularités jusque-là méconnues.

Dans les publications échelonnées de 1914 à 1927, P. Chevenard montre de la sorte que l'anomalie de dilatation apparaît dans toutes les substances ferromagnétiques. Les ferronickels du groupe de l'invar, la cémentite, le fer α , etc., ont une anomalie négative, tandis que les alliages nickel-cobalt et le nickel pur ont une anomalie positive. Il en résulte que l'hypothèse attribuant l'anomalie de l'invar à un changement de phase n'est plus soutenable. A la vérité, en se basant sur la théorie de Weiss, la variation de volume des substances ferromagnétiques apparaît, à toutes températures, proportionnelle au carré de l'aimantation à saturation, comme Néel a pu le confirmer ensuite à partir de considérations théoriques.

Ch. Ed. Guillaume avait découvert le réputé *invar* en recourant à des méthodes de mesure sans doute fines et sûres, mais trop peu étendues dans l'échelle des températures et surtout n'autorisant pas, du fait de leur durée, des déterminations en série. C'est au moyen d'appareillages à la fois fidèles et au fort pouvoir de résolution que Chevenard développe ses recherches. Et à l'inverse de l'évolution qui, généralement, met en place à l'usine des dispositifs venus de la recherche pure, les nouveaux équipements nés dans l'industrie, conçus pour l'atelier, envahissent bientôt le laboratoire scientifique où ils font merveille en raison de leur précision toujours appropriée au but.

*
* *

Tels sont d'abord, parmi ces instruments précieux et robustes, les dilatomètres et les élasticimètres.

Dans les dilatomètres, dont furent décrites au moins six variantes pendant quinze ans, entre 1917 et 1932, depuis le dilatomètre différentiel jusqu'au microdilatomètre à échelle logarithmique des temps, est mis à profit le fait qu'une substance normale présente une courbe de dilatation régulière, d'allure prévue par les théories modernes de la matière et qui tend vers une parabole aux températures élevées. Tout écart par rapport à cette loi simple traduit un phénomène de transformation. Et comme l'amplitude de la singularité est liée au changement du volume spécifique et non à une variation de température plus ou moins rapide, la sensibilité de la méthode apparaît indépendante de la vitesse.

Le premier dilatomètre construit à Imphy avait été à lecture directe, comportant seulement un amplificateur à miroir. Il avait permis de reconnaître, en particulier, la dilatation régulière et réversible de l'alliage nickel-chrome, à 10 p. 100 de chrome, qui avait été nommé « baros » par Guillaume pour rappeler l'un de ses premiers usages : la fabrication des poids de précision.

En 1916, naît le dilatomètre différentiel, première application à la métrologie d'un trépied optique dont les trois pointes forment un triangle rectangle. Un barreau de 5 cm. d'alliage étudié et un barreau de mêmes dimensions en baros, enfermés dans deux tubes de silice juxtaposés, sont chauffés simultanément. Leurs dilatations sont communiquées au trépied optique et une courbe s'enregistre sur plaque photographique. L'appareil est insensible aux champs magnétiques parasites, aux courants vagabonds. Les courbes sont nettes et régulières.

A partir de 1921, le baros est remplacé par un autre alliage étalon, le pyros, plus rigide à chaud et pourvu d'une dilatation encore plus régulière. Puis, se succèdent : un microdilatomètre admettant des éprouvettes déjà dix fois plus petites, un dilatomètre à sensibilité

réglable, dont on peut ajuster le coefficient d'amplification entre 10 et 150; un dilatomètre triple où, l'étalon demeurant toujours une tige de pyros, on oppose deux barreaux d'un même alliage, l'un traité et l'autre stabilisé par recuit; un dispositif à enregistrement mécanique convenant à des contrôles préliminaires rapides, puis un dispositif à fils, plus simple et utilisé surtout comme appareil d'enseignement, pour montrer les transformations des alliages à l'amphithéâtre et même à l'atelier.

Les travaux de Guillaume sur les ferronickels auxquels il a été déjà fait allusion avaient également montré qu'à toute anomalie de la dilatation correspondait aussi une anomalie thermique de l'élasticité. Ils avaient abouti à l'élinvar, alliage acier-nickel de coefficient thermoélastique nul pour une température variant entre -50 et $+100^{\circ}$. Ici encore, le double souci de rendre l'analyse plus fine et moins laborieuse incite P. Chevenard à construire en 1940 un thermoélasticimètre enregistreur, où le fil d'alliage tendu suivant l'axe d'un four sert de suspension à un équipage qui, par l'action d'un champ tournant sur un aimant, est soumis à un couple sinusoïdal d'amplitude constante. Le miroir fixé de pair à l'équipage est commandé en même temps par un pyromètre à dilatation. Quand la température varie, l'appareil enregistre sur plaque une sorte de sinusoïde dont les sommets sont très rapprochés. Les deux courbes, lieux de ces sommets, convergent ou divergent selon que le module de rigidité, d'après Coulomb, croît ou décroît avec la température. La thermoélasticimétrie a de la sorte pris rang parmi les méthodes d'analyse physicothermiques, en enregistrant les déformations élastiques avec leur cycle d'hystérésis.

Mais il faut citer encore tant d'autres appareils nés à Imphy! Ceci pour étudier tour à tour l'aimantation, la résistivité électrique, le pouvoir thermoélectrique, car la dilatométrie ne pouvait évidemment suffire à éclairer tous les phénomènes de transformations des alliages.

La méthode thermomagnétique se révéla précieuse pour les ferromagnétiques, c'est-à-dire pour la plupart des produits sidérurgiques.

Après bien des tâtonnements, l'appareil enregistreur décrit en 1932 mesure, selon le principe de Faraday-Curie, l'aimantation d'un barreau par l'attraction qu'il éprouve dans un champ non uniforme. Cette force est repérée par l'inclinaison d'une balance et le miroir porté par le fléau dévie, en même temps, par le jeu d'un pyromètre à dilatation. Les courbes obtenues sont capables, notamment, de révéler avec certitude une trace d'un constituant ferromagnétique dans une phase paramagnétique. Un second thermomagnétomètre fut spécialement réalisé en 1936 en vue du contrôle des alliages à coefficient thermomagnétique déterminé.

L'appareil très simple appelé par Chevenard « galvanopyromètre » sert à étudier, toujours en fonction de la température, la résistivité et le pouvoir thermoélectrique de nombreux métaux, tandis que l'habile constructeur songe aussi aux dispositifs d'étude des propriétés mécaniques à froid et à chaud, à l'aide de quelques micromachines qui, par comparaison avec le matériel universellement employé pour les essais à la traction, à la flexion, au cisaillement, à la torsion, au choc, et utilisant jusque-là des éprouvettes de l'ordre du décimètre de longueur, deviennent capables de rompre des barreaux mille fois moins volumineux, permettent l'expertise d'un échantillon rare, rendent possible le sondage d'un lingot ou d'une pièce forgée renfermant des ségrégations, d'une soudure, d'une pièce cémentée ou décarbonée en surface, d'un objet écroui ou trempé localement. En bref, elles conviennent à l'exploration quasi ponctuelle de toute pièce affectée d'hétérogénéité ou d'anisotropie volontaire ou involontaire.

Cette étonnante série se complète, en 1940, d'un micro-mouton de choc, dérivé de l'appareil Charpy, où l'on force un pendule, lancé à 20 mètres par seconde, à rompre par traction une éprouvette en forme de diabolo qui mesure 1,5 mm. à fond de gorge. L'angle de remontée s'enregistre photographiquement.

On note enfin, en 1936, à l'autre extrémité d'une échelle de mesure de l'effort où s'était avéré nécessaire un appareil à enregistrement

graphique d'une force de deux tonnes, l'apparition d'une ultra-micro-machine qui essaye à la traction les fils et rubans métalliques très fins ou les fibres textiles.

Pour être complet, ce bilan d'une ingéniosité exceptionnelle devrait encore faire état des dispositifs d'examen de l'hystérésis mécanique, des appareils pour étudier la déformation visqueuse des métaux à chaud par la méthode dite de la « relaxation » que, l'un des premiers, le laboratoire d'Imphy a utilisée et contribué à répandre dès 1926, en réalisant un viscosimètre à températures croissantes, commode pour comparer rapidement les alliages tenaces à chaud.

L'outillage général des ateliers, plus particulièrement les pyromètres et appareils de réglage automatique de la température, ne furent pas oubliés non plus dans cette suite clairement conçue pour affecter un appareil spécial à chaque problème d'investigation ou de contrôle. Et l'on a pu dire légitimement qu'il n'était presque pas de propriétés physiques des corps solides que l'on ne puisse ainsi mesurer, de quelque manière, le plus souvent en fonction de la température et dans un intervalle de près de mille degrés de l'échelle centigrade. Mais combien de matériaux n'apparaissent pas également justiciables des mêmes mesures? Minéraux et roches, par exemple, se prêtent aux études dilatométriques ainsi que Chevenard le montre en 1943 avec Portevin dans une publication dédiée à M. Alfred Lacroix; réfractaires et céramiques, aussi, d'autant que les méthodes autorisent un échantillonnage toujours très réduit.

D'utilisation mondiale, ces multiples créations portent le nom de son auteur dans tous les pays, jusqu'à le transférer des appareils aux méthodes. Il est ainsi advenu que, par le génie des appareils et la force des choses, la méthode dilatométrique se confonde avec le dilatomètre différentiel, ou encore la méthode thermodéformométrique avec cette thermobalance qui résuma en dernier lieu les qualités maîtresses toujours recherchées par les constructeurs d'instruments: exactitude, fidélité, simplicité, sensibilité, robustesse.

Dans ce dernier exemple de la thermobalance qui mérite une

mention particulière, ce sont les nécessités des fabrications qui avaient aussi conduit Chevenard à étudier l'oxydation superficielle des métaux à haute température. Il s'agissait donc, pour lui, de mesurer aussitôt le gain ou la perte de poids d'un échantillon en fonction du temps et à différentes températures. Quelques métaux donnent une variation pondérale dont la courbe est très voisine d'une parabole, mais d'autres s'en écartent notablement. Dans tous les cas, deux conditions sont nécessaires si l'on veut analyser les transformations successives du derme chimique qui, selon Chaudron, est le siège d'une double diffusion de gaz et de métal: longue durée des expériences, atteignant cent heures, graphiques rigoureux susceptibles de points précis et permettant de tracer les courbes dérivées avec une grande finesse. Telles sont bien les conditions réalisées, en 1943, par la thermobalance à enregistrement photographique. Celle-ci convient à l'étude de toute réaction entraînant une variation de poids: dessiccation d'un précipité, décarbonatation d'un minerai, grillage d'une pyrite. A la vérité, bien au delà de l'oxydation métallique, l'appareil permet aujourd'hui au chimiste de résoudre de nombreux problèmes par la méthode dite de pesée continue.

Autant d'expériences et de recherches qui ne laissent guère de place, dans l'œuvre que nous honorons, à une imagination hantée par les jeux du hasard. Chaque fois, au contraire, elles sont foncièrement méthodiques et viennent dépasser de beaucoup le problème qui était en vue.

Ainsi, profondément engagé dans l'industrie selon la voie cartésienne dont Le Chatelier avait été l'apôtre, Chevenard recueille d'innombrables données quantitatives qui éclairent d'un jour nouveau une masse de problèmes propres à la métallurgie: aptitude des aciers à prendre la trempe, tendance plus ou moins accentuée d'une fonte blanche à subir la graphitisation, transformations polymorphiques, anomalies des produits ferromagnétiques, transformations ordre-désordre, transformations allotropiques diverses, continues ou discontinues. Ses mérites viennent ici du fait qu'ayant entrevu une

voie nouvelle, il lui assigne lui-même sa véritable place dans les domaines les plus étendus de la métallurgie, allant jusqu'à une étude approfondie de la corrosion.

On savait déjà, lorsque ces recherches d'importance générale furent entreprises, que la corrosion « fissurante » s'observait dans des circonstances très variées, plus fréquentes sans doute avec les alliages hétérogènes, mais loin d'être rares avec les métaux purs eux-mêmes et leurs solutions solides homogènes. Les corps agressifs sont ici des gaz, des vapeurs, aussi bien que des solutions salines, des sels liquides. Le fait, pour un alliage, de résister à la fissuration dans certains réactifs ne permet nullement de conclure à son immunité à l'égard d'autres agents.

A la suite d'accidents, parfois tragiques, survenus à des turbines à vapeur dont les ailettes étaient formées d'un ferronickel à 22 p. 100 de nickel, 2 p. 100 de chrome et 0,5 p. 100 de carbone, P. Chevenard vérifie qu'un barreau de cet alliage, tel qu'il sort du laminoir ou de la filière; peut se fissurer en quelques jours tout en demeurant à peine oxydé sur la surface. Or, en se propageant, les fissures font croître la résistance électrique du barreau: la mesure de la résistivité apparente va donc procurer le moyen de chiffrer l'intensité du phénomène et d'en suivre les progrès.

Ainsi furent mis en lumière l'influence considérable des tensions internes produites par un écrouissage uniforme ou localisé et l'effet accélérateur de l'hétérogénéité chimique résultant d'une transformation partielle de l'austénite, déclenchée par l'écrouissage suivi ou non de recuit. Quant au rôle important de la teneur en carbone, il est élucidé par thermomagnétométrie. Tel alliage, bien que totalement réfractaire à la corrosion fissurante dans la vapeur peut, en fait, être sensibilisé à l'égard d'un réactif au soufre. L'analyse thermomagnétique révèle qu'au point où se produit une précipitation de carbure riche en chrome, la solution environnante se trouve appauvrie en chrome et l'alliage est privé en ce point de son facteur passivant. Il se forme alors, en peu de temps, des auréoles très minces

et presque entièrement déchromées, dont la sensibilité chimique devient très grande. D'où l'intérêt, décrit en 1937, d'une teneur en nickel suffisante pour rendre inattaquables ces auréoles, même entièrement déchromées.

Enfin, comme on l'a vu plus haut, la corrosion « sèche » des métaux et des alliages, c'est-à-dire l'attaque superficielle par les gaz et les vapeurs à haute température, est étudiée par Chevenard au moyen de la thermobalance. Ces recherches révèlent l'extrême importance de l'allure de chauffe et de la préparation mécanique ou chimique de la surface sur la marche de l'oxydation sèche.

Les résultats obtenus de la sorte ont déterminé des progrès pratiques considérables. La réussite sensationnelle de nouveaux alliages, en permettant notamment la réalisation des procédés Georges Claude, leur procura une éclatante publicité.

*
* * *

Dès 1912, par le jeu d'un rapport intérieur à la Société de Commeny-Fourchambault et communiqué par Léon Guillet à un ingénieur de son entourage, P. Chevenard avait été conduit à rencontrer Albert Portevin. Une correspondance régulière s'établit bientôt entre les deux jeunes métallurgistes à l'occasion des traitements des aciers. Puis, ils se voient de plus en plus souvent, jusqu'à décider en 1918 de s'unir pour étudier à fond la trempe, les traitements de diverses compositions non ferreuses et, notamment, par la voie dilatométrique, le durcissement structural des alliages légers d'aluminium. Une trentaine de publications atteste cette mise en commun scientifique dont le souvenir fut évoqué avec émotion par celui qui était devenu un très cher et intime ami de P. Chevenard. C'est une pensée d'Osmond, l'un des maîtres de la Métallographie, que rappelle Portevin à la séance du 17 octobre 1960: « Si c'est un privilège de vieillir, surtout quand on conserve la santé, on le paie par le chagrin de voir partir l'un après l'autre les compagnons de sa vie ».

De 1923 à 1929, Chevenard et Portevin analysent de près le phénomène de graphitisation de la cémentite pendant le recuit des fontes. Ayant pu déterminer, à l'aide du dilatomètre différentiel, l'influence des teneurs en carbone et en silicium, de la finesse de la structure initiale, des alternances des cycles thermiques traversant la transformation, les résultats apparaissent importants pour guider le recuit des moulages de fonte et pour la fabrication de la fonte malléable.

Durant la même période et allant jusqu'à faire quelques infidélités aux aciers, Chevenard étudie encore avec Portevin les traitements thermiques de divers alliages non ferreux et, notamment, par la voie dilatométrique, le durcissement structural des alliages légers d'aluminium et des ferronickels complexes. L'opération comprend un chauffage, un refroidissement brusque, puis un revenu de longue durée qui s'accompagne d'un gain appréciable de dureté. Les mesures au dilatomètre permettent ici, dans l'ordre pratique, de définir une température-seuil du durcissement mesurable et une température correspondant au durcissement maximum, au-dessus de laquelle s'amorcent des phénomènes qui, à l'inverse, produisent un adoucissement. Elles font admettre que le durcissement structural, jugé exceptionnel après la découverte de l'alliage « duralumin » par Wilm, puisse en réalité atteindre des compositions tout autres et faciliter la prospection de celles-ci dès que le mécanisme du traitement est élucidé.

En 1935 et 1936, mettant à profit les microméthodes déjà établies par Chevenard pour étudier les propriétés mécaniques et grâce auxquelles il devenait possible d'expertiser des échantillons rares, même des armes de musée, Portevin et Chevenard sont conduits à caractériser l'homogénéité primaire des lingots ou des pièces moulées d'après les fluctuations des propriétés mécaniques, mesurées en des points très rapprochés d'un même grain ou de grains adjacents diversement orientés. On apprécie de la sorte la nocuité des ségrégations, des veines sombres, des inclusions dans les pièces de forge et caractérise l'action en profondeur d'une trempe superficielle, d'un

antifrittage. Une étude particulière des problèmes de soudure conduit à définir un coefficient d'homogénéité mécanique qui fait intervenir les valeurs fournies par l'exploration micromécanique de la pièce.

Toujours ensemble, ils discutent, en 1938, les qualités et les lacunes des méthodes connues pour étudier la diffusion métallique à l'état solide et montrent que, dans le cas particulier des ferronickels réversibles, la méthode thermomagnétique fournit des conclusions très nettes qu'on peut étendre à d'autres préparations sidérurgiques.

Par l'ensemble des résultats ainsi nés d'un partage fructueux, c'est une image fervente de la collaboration scientifique que nous a encore transmise Pierre Chevenard au midi de sa vie, à l'âge d'or de cette métallurgie de précision qui l'avait pris pour pionnier.

*
* *

L'œuvre qui s'est ainsi développée pendant un demi-siècle, dans l'équilibre et l'harmonie, a fait l'objet de près de 200 notes et publications, dont les plus nombreuses ont été présentées à l'Académie. Tant la lecture du compte rendu général de ces travaux fait réellement revivre pour nous le visage de l'ingénieur et du savant que, même sans l'avoir rencontré avant qu'il ne s'éteigne en août 1960, entouré de l'affection des siens, il nous semble pouvoir être parmi ceux qui l'ont connu.

PUBLICATIONS DE PIERRE CHEVENARD

I. — NOTES PRÉSENTÉES A L'ACADÉMIE DES SCIENCES

1914

Dilatation des aciers au nickel dans un grand intervalle de température. — *C. R.*, 159, 175.

Volumes spécifiques des aciers au nickel. — *C. R.*, 159, 53.

1917

Dilatomètre différentiel enregistreur. — *C. R.*, 164, 916.

Anomalie de la cémentite dans les aciers au carbone recuits, trempés et demi-trempés. — *C. R.*, 164, 1005.

Mécanisme de la trempe des aciers au carbone. — *C. R.*, 165, 59.

1918

Détermination des vitesses de refroidissement nécessaires pour réaliser la trempe des aciers au carbone. — *C. R.*, 166, 682.

Anomalie d'élasticité des aciers au carbone corrélative de la transformation réversible de la cémentite. — *C. R.*, 166, 73.

1919

Sur la viscosité des aciers aux températures élevées. — *C. R.*, 169, 712.

1920

Changement thermique des propriétés élastiques des aciers au nickel. — *C. R.*, 170, 1499.

Étude de l'élasticité de torsion des aciers au nickel à haute teneur en chrome. — *C. R.*, 171, 93.

1921

Anomalie de dilatation accompagnant la transformation magnétique de la pyrrhotine et de la magnétite. — *C. R.*, 172, 320.

L'action des additions sur l'anomalie de dilatation des ferronickels. — Application aux alliages fer-nickel-chrome. — *C. R.*, 172, 594.

La dissolution retardée et la précipitation prématurée du carbure de fer dans les aciers et l'influence de l'état initial sur ces phénomènes (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 172, 1490.

Relation entre la dilatation anormale et la variation thermique de l'aimantation des corps ferromagnétiques. — *C. R.*, 172, 1655.

1922

Dilatabilité du chrome et des alliages nickel-chrome dans un intervalle étendu de température. — *C. R.*, 174, 109.

Alliages de nickel conservant leur rigidité, dans un intervalle étendu de température. — *C. R.*, 175, 486.

1923

Étude dilatométrique des alliages d'aluminium avec le magnésium et le silicium (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 176, 296.

1925

Résultats obtenus par l'étude dilatométrique des fontes (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 180, 1492.

Anomalie dilatométrique des solutions solides α de cuivre et d'aluminium. — *C. R.*, 180, 1927.

Anomalie réversible des cupronickels dans le domaine de l'état paramagnétique. — *C. R.*, 181, 28.

Influence de l'écroissage et de la trempe sur les propriétés élastiques de divers métaux et alliages (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 181, 716.

Propriétés élastiques des alliages : Variation en fonction de la composition chimique (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 181, 780.

1926

Complexité des phénomènes de trempe de certains alliages (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 182, 1143.

Anomalie dilatométrique des alliages nickel-chrome paramagnétiques; alliage pour pyrométrie à dilatation. — *C. R.*, 182, 1281.

Allure des isothermes représentant la résistivité et le pouvoir thermoélectrique des ferronickels réversibles, dans l'intervalle $-200 + 1000^{\circ}$. — *C. R.*, 182, 1388.

Influence du carbone et du silicium sur la graphitisation des fontes blanches (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 183, 1283.

1927

Anomalie du frottement interne des ferronickels réversibles. — *C. R.*, 184, 378.

Alliages devant résister aux effets d'un gradient alternatif de températures et, en particulier, alliages pour moules de verrerie (avec MM. P. BAURET et A. PORTEVIN). — *C. R.*, 184, 1655.

Influence d'une addition de chrome sur le frottement interne des ferronickels réversibles. — *C. R.*, 185, 1130.

1928

Causes de la variation de volume accompagnant le durcissement des alliages légers aluminium-cuivre (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 186, 144.

Propriétés électriques des ferronickels additionnés de chrome. — *C. R.*, 186, 431.

1929

Phénomènes de revenu dans les aciers hypere trempés (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 188, 1670.

Limite de solubilité du cuivre dans les ferronickels réversibles. — *C. R.*, 189, 576.

Influence de la finesse de structure lors du recuit des fontes grises (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 189, 759.

Traitement thermique des ferronickels complexes à deux constituants. — *C. R.*, 189, 846.

1930

Influence du revenu sur la dilatation et la dureté des alliages aluminium-silicium trempés (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 191, 252.

Changement de composition du constituant cémentite au cours du revenu des aciers spéciaux (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 191, 408.

Trempe secondaire des aciers hypere trempés et stabilité de l'austénite (avec M. A. PORTEVIN) — *C. R.*, 191, 523.

Explication des phénomènes complexes observés pendant le revenu des aciers hypere trempés (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 191, 608.

Mécanisme du revenu de la martensite (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 191, 1059.

1931

La graphitisation des aciers à basse température (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 193, 169.

1934

Étude thermomagnétique de l'hétérogénéité d'une austénite fer-nickel-carbone-chrome consécutive à la précipitation de carbure, par l'effet du revenu. — *C. R.*, 198, 1144.

Relation entre l'hétérogénéité d'une solution solide et ses propriétés mécaniques et chimiques. — *C. R.*, 199, 861.

1935

Micromachine à enregistrement photographique pour l'essai mécanique des métaux. — *C. R.*, 200, 212.

Étude micromécanique des soudures (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 200, 319.

Effet accélérateur d'une tension mécanique sinusoïdale sur le revenu d'une austénite fer-nickel-chrome-carbone hypertrempée (avec M. X. WACHÉ). — *C. R.*, 201, 261.

Accélération d'une réaction structurale, dans un acier, par l'effet d'une contrainte mécanique (avec M. X. WACHÉ). — *C. R.*, 201, 877.

1936

Très petite machine de traction à enregistrement photographique et son application à l'étude des fibres textiles. — *C. R.*, 203, 841.

1937

Les transformations au refroidissement des aciers (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 204, 772.

Corrosion intercrystalline des ferronickels chromés carburés, écrouis après hypertrempe (avec M. X. WACHÉ). — *C. R.*, 204, 1167.

Nouveaux alliages du type élinvar susceptibles de durcissement structural (avec MM. L. HUGUENIN, X. WACHÉ et A. VILLACHON). — *C. R.*, 204, 1131.

Amplificateur mécanique à grandissement supérieur à 1000. Application à l'enregistrement de la déformation visqueuse des métaux aux températures élevées (avec M. E. JOUMIER). — *C. R.*, 205, 107.

1938

Nouveaux procédés pour l'étude de la diffusion métallique (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 207, 71.

1940

Thermoélasticimètre enregistreur (avec M. E. JOUMIER). — *C. R.*, 211, 548.

Progrès récents des techniques d'analyse micromécanique des métaux (avec MM. X. WACHÉ et E. JOUMIER). — *C. R.*, 211, 631.

1941

Anomalies d'élasticité corrélative de la transformation magnétique du nickel et des solutions solides riches en nickel. — *C. R.*, 212, 535.

Résultats obtenus dans l'étude de la diffusion métallique par la méthode des multilames (avec M. X. WACHÉ). — *C. R.*, 212, 612.

1942

Influence de la vitesse sur la forme des cycles couple-torsion d'un métal étudié à l'état visqueux. Hystérésigraphe de torsion à enregistrement photographique (avec M. CH. CRUSSARD). — *C. R.*, 214, 415.

Influence de la température sur le coefficient de Poisson des alliages sidérurgiques. Anomalie liée à la transformation magnétique des ferronickels réversibles (avec M. CH. CRUSSARD). — *C. R.*, 215, 58.

Avantage de la méthode de la relaxation pour étudier le fluage des métaux aux températures élevées (avec M. X. WACHÉ). — *C. R.*, 215, 437.

1943

Sur quelques causes de dispersion des résultats dans l'étude des phénomènes de fatigue (avec M. X. WACHÉ). — *C. R.*, 216, 264.

Influence des traitements thermiques et mécaniques sur le coefficient de Poisson des métaux et des alliages (avec M. CH. CRUSSARD). — *C. R.*, 216, 685.

Effet accélérateur du carbone sur la vitesse de diffusion entre les alliages austénitiques au fer-nickel (avec M. X. WACHÉ). — *C. R.*, 217, 691.

1944

Observations sur les transformations polymorphiques des agrégats cristallins (avec M. A. PORTEVIN). — *C. R.*, 218, 538.

Détermination du coefficient de diffusion dans le système fer- γ -nickel. — *C. R.*, 218, 619.

Sur les cycles couples-torsion des métaux plastiques (avec MM. CH. CRUSSARD et F. AUBERTIN). — *C. R.*, 219, 85.

Frottement intérieur et plasticité des métaux (avec M. CH. CRUSSARD). — *C. R.*, 219, 175.

Influence de l'écroutissage et de la trempe sur les propriétés électriques des ferronickels réversibles. — *C. R.*, 219, 240.

1945

Sur l'anomalie dilatométrique et l'anomalie thermoélastique de l'invar japonais (avec M. P.-J. BOUCHET). — *C. R.*, 220, 774.

Microsondage élastique d'une pièce anisotrope. Application à un barreau d'invar tréfilé (avec M. CH. CRUSSARD). — *C. R.*, 220, 678.

Influence de l'état de surface sur l'oxydation sèche à haute température d'une austénite au nickel-chrome (avec M. X. WACHÉ). — *C. R.*, 221, 442.

Sur les propriétés élastiques des fibres textiles (avec M. G. CHAMPETIER). — *C. R.*, 222, 954.

1946

Interprétation métallographique de l'instabilité des ferronickels réversibles. — *C. R.*, 223, 1073.

1951

L'essai de fluage envisagé comme procédé d'analyse physicothermique (avec M. X. WACHÉ). — *C. R.*, 232, 2161.

Influence des additions sur le diagramme d'équilibre de la transformation ordre-désordre dans les ferronickels réversibles (avec M. E. Josso). — *C. R.* 233, 539.

2. — AUTRES PUBLICATIONS

1914

Contribution à l'étude des aciers au nickel. — *Rev. Métallurgie*, 11, 841.

1917

Dilatometre différentiel enregistreur. — *Rev. Métallurgie*, 14, 610.

1919

Mécanisme de la trempe des aciers au carbone. — *Rev. Métallurgie*, 16, 17.

Un laboratoire sidérurgique moderne. — *La Nature* n° 2382 du 22 nov. et n° 2383 du 29 nov.

1920

Appareil industriel d'analyse thermique. — *Rev. Métallurgie*, 17, 687.

1921

Remarques et observations concernant les phénomènes de trempe des aciers (avec M. A. PORTEVIN). — *Rev. Métallurgie*, 18, 428.

Les courbes caractéristiques des traitements thermiques des aciers (avec M. A. PORTEVIN). — *Rev. Métallurgie*, 18, 717.

1922

Nouveaux modèle d'analyseur thermique industriel. — *Rev. Métallurgie*, 19, 39.

Étude de la fragilité des ferronickels aux basses températures. — *Rev. Métallurgie*, 19, 209.

Nouvelles applications du pyromètre à dilatation à l'analyse thermique des alliages. — *Rev. Métallurgie*, 19, 546.

1923

Applications des alliages spéciaux à la pyrométrie. (Congrès de Chauffage Industriel, Chaleur et Industrie 4, n° 39, 157).

A Dilatometric Study of the Transformations and Thermal Treatment of light Alloys of Aluminium (avec M. A. PORTEVIN). — *J. Inst. Metals*, 30, 329.

Méthodes de recherches et de contrôle dans la métallurgie de précision. — *Bull. Soc. Ing. Civ.*, 85, 932.

L'Analyse dilatométrique des fontes (avec M. A. PORTEVIN). (Congrès Internat. Fonderie, Septembre).

1924

Dilatometric analysis of alloys, with special reference to cast iron. — *Foundry Trade J.*, 30, n° 411, 3 juillet.

1925

Dispositifs simples pour mettre en évidence les transformations thermiques des aciers et les anomalies des alliages spéciaux. — *Rev. Ind. minérale*, 5, 107.

Analyse dilatométrique des alliages. Notions générales et premières applications aux fontes (avec M. A. PORTEVIN). — *Rev. Métallurgie*, 22, 357.

Propriétés et applications des alliages à hautes teneurs en nickel et en chrome. (*Science et Industrie* n° 149, 110).

Appareils de cours pour mettre en évidence les transformations thermiques des aciers et les anomalies des alliages spéciaux. — *J. Physique, Le Radium*, (6) 6, 264.

1926

Dilatometre différentiel à enregistrement mécanique. — *Rev. Métallurgie*, 23, 92.

Thermal anomalies of certain solid solutions. — *J. Inst. Metals*, 36, 39.

Dilatometres enregistreurs. — *J. Physique, Le Radium*, (6) 7, 240.

Principles and chief applications of dilatometric analysis of materials (avec M. A. PORTEVIN). (Congrès Internat. Fonderie — Detroit (U. S. A.); American Foundrymen's Association — Septembre).

Contribution à l'étude des propriétés élastiques et de la viscosité des métaux et alliages (avec M. A. PORTEVIN). — 5^e Congrès Chim. Ind. — *Chimie et Industrie*, 16, n° spécial 3, II, 434.

1927

Recherches expérimentales sur les alliages de fer, de nickel et de chrome. — *Trav. Mém. Bur. internat. Poids et Mesures*, tome 17; Gauthier Villars éditeurs, Paris.

1928

Les alliages à hautes teneurs en nickel et en chrome. — *Rev. Métallurgie*, 25, 14.

Der Einfluss eines Chromzusatzes auf die elektrischen Eigenschaften der Eisen-Nickel-Legierungen. — *Stahl und Eisen*, 48, 1045.

Analyse dilatométrique de quelques substances non métalliques: minéraux, roches et produits industriels (avec M. A. PORTEVIN). — 8^e Congrès Chim. Ind. — *Chimie et Industrie*, 21, n° 2 bis, 343.

1929

Analyse dilatométrique des matériaux (Dunod éditeurs. — Paris).

A dilatometric study of some univariant two-phase reactions (avec MM. A. PORTEVIN et X. WACHÉ). — *J. Inst. Metals*, 42, 337.

1930

L'analyse dilatométrique des matériaux et ses récents progrès. — *Aciers spéciaux* 3, n° spécial, 445.

Les transformations polymorphiques des alliages et le mécanisme de leur traitement thermique. — *Rev. Ind. Minérale*, 10, 209.

Étude dilatométrique des transformations et des traitements thermiques des alliages légers d'aluminium (avec M. A. PORTEVIN). — *Rev. Métallurgie*, 27, 412.

1931

Contribution à l'étude du revenu des aciers trempés (avec M. A. PORTEVIN). — *Congrès intern. Mines Métallurgie, géol. app. Liège — Revue Métallurgie*, 28, 417, 503, 546.

Fours de laboratoire et régulateurs de température. — *Rev. Métallurgie*, 28, 453.

The Mechanical properties of metals at high temperatures. — *Amer. assoc. mech. Eng. and Amer. Soc. Test. Mat. Symposium on effect of temperature on properties of metals, Preprint* 1931, 155.

1932

Propriétés électriques des alliages de fer et de nickel dans un large intervalle de température. — *Rev. Nickel*, 3, 55.

Durcissement des austénites au nickel et au chrome. — *Rev. Nickel*, 3, 91.

Nouveaux appareils pour l'étude des transformations des alliages. Microdilatomètre isotherme. Thermomagnétomètre enregistreur. — *J. Physique, Le Radium* (7) 3, 264.

Pyromètres industriels à dilatation. — *Rev. Métallurgie*, 29, 442.

L'installation et l'organisation d'un laboratoire sidérurgique moderne. — *Mem. C. R. Trav. Soc. Ing. Civ. France*, 83, 1109.

1933

Extensomètre industriel à enregistrement mécanique. — *Rev. Métallurgie*, 30, 85.

1934

Principes de l'analyse dilatométrique. Leçons à l'École supérieure de Fonderie.

Étude expérimentale de la déformation visqueuse des fils de fer et de nickel. — *Rev. Métallurgie*, 31, 473.

Étude thermomagnétique de l'hétérogénéité des solutions solides. — *14^e Congrès Chim. Ind. Paris* (octobre 1934; *Communic.* 1, 19 pages (1935)).

La corrosion fissurante des ferronickels dans la vapeur et les métaux d'ailette pour turbines. — *Métaux, Aciers spéciaux*, 9, 340.

Alliages de nickel. Alliages de cobalt. Alliages de manganèse. — *Traité de Chimie minérale* publié sous la direction de M. P. PASCAL — Masson et C^{ie} éditeurs, Paris, 12, 575-672.

1935

Micromachine à enregistrement photographique pour l'essai mécanique des métaux. — *Métaux, Aciers spéciaux*, 10, 37.

Les alliages austénitiques tenaces à chaud. — *Revue du nickel*, 6, 4; *Métaux*, 10, 441.

- Étude des propriétés mécaniques des soudures par la micromachine. — *Bull. Soc. Ing. soudeurs*, 6, 1760.
- L'organisation du contrôle scientifique des usines et le rôle du laboratoire. — *Congrès de l'Assoc. Ingén. Luxembourg*; *Rev. Ind. Minérale*, 15, 193.
- Étude approfondie d'un alliage à partir d'une très petite coulée. — *Ann. Acad. Sc. Tech. Varsovie*, 2, 147; *Chimie et Industrie*, 37, 274.
- L'analyse thermomagnétique des produits sidérurgiques et ses récentes applications. — *Métaux*, 10, 194.
- Deux nouvelles applications du pyromètre à dilatation. — *Génie Civil*, 107, 424.
- Micro-mechanical study of welds (avec M. A. PORTEVIN). — *Symposium de la Soudure du fer et de l'acier. J. Iron Steel Inst. May 1935*. — 15^e Congrès Chim. Ind. Bruxelles, 1, 223 (1936).

1936

- Étude expérimentale de l'hétérogénéité chimique des lingots. Application à un alliage fer-nickel-chrome-carbone (avec M. A. PORTEVIN). — *Ann. Acad. Sc. Techn. Varsovie*, 3, 1.
- Étude expérimentale de l'hétérogénéité des métaux et alliages (avec M. A. PORTEVIN). — *Rev. Métallurgie*, 33, 96.
- Nouvelle application métrologique du trépied amplificateur mobile autour d'un point fixe. Machine à enregistrement graphique pour l'essai mécanique des métaux. — *Rev. Métallurgie*, 33, 280.
- Alliages tenaces et inoxydables aux températures élevées. — *Chaleur et Industrie*, 17, 125.
- Hétérogénéité chimique des solutions solides dans les alliages moulés (avec M. X. WACHÉ). — *Bull. Ass. Techn. Fonderie*, 10, 152; *Rev. Ind. Minérale*, 16, 925.
- The scientific organization of works. — *J. Inst. Metals*, 59, n° 746, 34 pages; *Rev. Ind. minérale*, 16; 1157.
- L'hétérogénéité des solutions solides et les phénomènes de corrosion localisée. — *Rev. Nickel*, 7, 135.

1937

- Henry Le Chatelier et l'organisation scientifique des usines. — *Rev. Métallurgie*, 34, 87.
- Emploi des méthodes physicothermiques pour l'étude des alliages légers (avec M. A. PORTEVIN). — *Congrès de l'Association internat. pour l'essai des matériaux*. — Londres 1937, T. A., p. 105.
- Nouvelles recherches sur la corrosion intercrystalline des ferronickels chromés. — *Métaux et corrosion*, (2), 12, p. 23.
- Programme de travail du groupe « Essais et contrôle des matériaux métalliques » de la Société française des Mécaniciens. — *Mécanique*, 21, 84.
- Ac. des Sc. — *Notices et discours*.

- L'œuvre métallurgique de Ch. Ed. Guillaume : l'étude et les applications des ferronickels. (Brochure sur la Vie et l'Œuvre de Charles-Edouard Guillaume).
- Influence des dimensions, de la forme et des conditions de coulée des éprouvettes moulées sur les caractéristiques mécaniques des alliages de fonderie (avec MM. J. BOUCHET et P. BASTIEN). — *Congrès internat. Fonderie*, Paris 1937.
- Nouveaux alliages du type élinvar pour spiraux de chronomètres (avec MM. X. WACHÉ et A. VILLACHON). — *Ann. Chronométrie*, 7, 259.
- Enregistrement graphique des petits changements de longueur au moyen d'un amplificateur mécanique à grandissement supérieur à 1000. Application à l'essai mécanique des métaux aux températures élevées (avec M. E. JOUMIER). — *Journées Internat. Chronométrie et de Métrologie*, 1937, p. 545. — *Rev. d'Optique*, éditeurs.

1938

- Le Durinval, un alliage pour spiraux de chronomètres (avec MM. X. WACHÉ et A. VILLACHON). — *Rev. Aluminium Appl.*, 15, 1223.
- Verbesserung des thermoelastischen Koeffizienten mit geringem Sekundärfehler bei der Herstellung von Kompensationsspiralfedern für Uhren. (Soc. des Fabriques de Spiraux Réunies, La Chaux-de-Fonds, Suisse et Soc. An. de Commentry-Fourchambault et Decazeville, Paris) (P. CHEVENARD inventeur). — D. B. P. 899 507 du 31. 5. 1938 dél. le 19. 12. 1953.
- La métallurgie de précision. — *Technique Moderne* 30, Suppl. du n° 7, 12 pages.
- Application des méthodes d'essais micromécaniques à l'étude des métaux et des fibres textiles. — *Bull. Soc. Ind. Mulhouse*, 104, 265.

1939

- Soupapes d'échappement en alliages austénitiques (avec M. X. WACHÉ). — *Chaleur et Industrie*, 20, 129.
- Application des méthodes physiques à l'étude chimique des métaux. — *Chimie et Industrie*, 41, 28. — 18^e Congrès Chim. Ind., Nancy, 1. — *Conférences*, n° 4, 15 pages.
- Élaboration et utilisation des diagrammes tracés par les appareils enregistreurs. — *Trav. Mém. Soc. franç. Mécaniciens*, Tome 1. — *Mécanique de Précision et Métrologie* — *Science et Industrie* n° 286 bis, suppl. à *Mécanique*, p. 29.
- Mesures des vitesses de déformation visqueuse des métaux aux températures élevées. — *Trav. Mém. Soc. franç. Mécaniciens*, Tome 1. — *Mécanique de Précision et Métrologie* — *Science et Industrie* n° 286 bis, suppl. à *Mécanique*, p. 160.
- Appareils amplificateurs et enregistreurs à levier optique. — *Trav. Mém. Soc. franç. Mécaniciens*, Tome 1. — *Mécanique de Précision et Métrologie* — *Science et Industrie* n° 286 bis, suppl. à *Mécanique*, p. 196.

1940

- Thermoélasticimètre enregistreur (avec E. JOUMIER). — *Génie Civil*, 117, 32; *Métaux et Corrosion*, 15, 93.

1941

Nouveaux appareils pour l'étude thermomécanique et micromécanique des métaux. — *Rev. Métallurgie*, 38, 317. — 39, 33, 65, 123.

1942

Thermoélasticimètre et Hystérésigraphe de torsion. — *J. Physique Le Radium* (8) 3, 105.
Machine TR pour l'essai mécanique des métaux aux températures élevées. — *Rev. Métallurgie*, 39, 321, 353.

1943

Les propriétés mécaniques dites secondaires. Frottement interne. Relaxation visqueuse, Réactivité, Coefficient de Poisson. — *Rev. Métallurgie*, 40, 289.
Nouvelles études dilatométriques des minéraux (avec M. A. PORTEVIN). — *Bull. Soc. franç. Minéralogie*, 66, 131.
Réflexions sur la construction des appareils d'observation et de mesure. Appareils de mesure et de contrôle. — *Métaux, Corrosion, Usure*, 18, 57; *Génie Civil*, 1943, 120, 177.
Causes de la dispersion des résultats dans l'étude des phénomènes de fatigue (avec M. X. WACHÉ). — *Génie Civil*, 1943, 120, 210.

1944

Étude de la corrosion sèche des métaux au moyen d'une thermobalance (avec MM. X. WACHÉ et R. de la TULLAYE). — *Bull. Soc. Chim. France*, (5), 11, 41.
Étude expérimentale de la diffusion métallique par la méthode thermomagnétique appliquée à des agrégats multilames (avec M. X. WACHÉ). *Rev. Métallurgie*, 41, 353, 389.
Essais physiques des matériaux métalliques (Syndicats des constructeurs franç. de machines-outils, Centre synd. de docum. et de formation des techniciens de la machine-outil, Paris 1944, 24 pages).

1945

L'étude scientifique de quelques problèmes métallurgiques. — *Génie Civil*, 1945, 122, 23.
L'influence des états de surface sur l'oxydation des austénites au nickel-chrome et de la méthode de polissage des échantillons sur l'hystérésis mécanique des aciers (avec M. X. WACHÉ). (Comm. techn. états et propriétés de surface des métaux, Journées des états de surface, Paris). — Octobre 1945, p. 237.

1946

Propriétés élastiques des fibres textiles (avec G. CHAMPETIER). — *Bull. Soc. Chim. France*, (5), 13, 464.

1948

Oxydation sélective superficielle d'un alliage et influence de la structure du métal sur la marche de l'oxydation sèche (avec M. X. WACHÉ). — *Rev. Métallurgie*, 45, 121.

1950

Nouveaux dilatomètres à enregistrement physicothermique des matériaux et la mesure de leur dilatabilité, avec équipement pour l'étude de la trempe isotherme. — *Rev. Métallurgie*, 47, 805.

Les méthodes modernes d'analyse thermique. — *Usine Nouvelle*, 1950, 6, (n° 47), 23.

1951

La précision en métallurgie et la métallurgie de précision. — *Génie Civil*, 1951, 128, 144; *Mém. Soc. Ing. Civ. de France*, 104, 1.

1952

Sur quelques phénomènes d'ordre physico-chimique et structural qui affectent la résistance mécanique aux températures élevées des alliages austénitiques tenaces à chaud (avec M. X. WACHÉ). — *Schweiz. Arch. angew. Wiss. u. Technik*, 18, 127.

La recherche dans l'industrie française; réflexions et souvenirs. Conférence à la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale (29 novembre 1951), 1952, 16 pages.

1953

Analyse dilatométrique et thermogravimétrique des houilles. — *Bull. Soc. franç. Minéralogie Crist.*, 76, 165.

1956

Neue Forschungs — und Überwachungsgeräte zur Anwendung für chemische Arbeiten. *Dechema Monographien*, 26, 361.

1957

Allocution lors de l'inauguration du monument élevé à la mémoire de Louis-Paul Cailletet, le dimanche 7 juillet 1957 aux Forges de Chénecières (Côte d'Or). — *Institut*, 11^{quater}.

