

## Chapitre III

### Description de la grande salle de physique.

Pour économiser la main-d'œuvre et simplifier les manipulations, on a rassemblé dans cette salle la plupart des appareils qui servent à étudier ou à enregistrer les propriétés des alliages en fonction de la température.

La grande salle de physique, d'une superficie de 95 m<sup>2</sup>, est largement aérée et éclairée par quatre grandes fenêtres. Le plancher de béton armé, calculé pour une charge de 500 kg/m<sup>2</sup> et supporté en son milieu par une colonne massive, est d'une forme très rigide. Le parquet de chêne ciré est posé sur bitume, support plastique, amortisseur des vibrations et très bon isolant. Les murs enduits de peinture laquée sont d'un entretien très facile.

De lourdes et robustes tables de chêne supportent les appareils ; celles qui avoisinent les parois sont réservées aux instruments les plus délicats et sont scellées aux murs.

À proximité de chaque table se trouve un équipement pour la distribution de l'énergie électrique. Il comporte, groupés sur un panneau de marbre, les interrupteurs, les fusibles et les bornes pour les quatre types de courant utilisés : continu 250 V, alternatif 250 V, continu 24 V et continu 6 V. Les fortes sections des conducteurs, prévues pour 50 A, suppriment non seulement tout danger, mais toute élévation de température gênante pour les appareils voisins.

Ces tableaux sont au nombre de douze. Cinq d'entre eux sont scellés aux murs. Les autres sont portés par des coffrets de chêne disposés sous les tables. Le courant leur parvient par des câbles dissimulés dans des caniveaux d'accès facile.

L'eau est distribuée par deux postes d'angle.

#### 1) Dilatomètres.

L'installation de dilatométrie ne compte pas moins de neuf appareils. Pour justifier ce chiffre, il suffit de rappeler la nécessité de mesurer avec précision la dilatabilité de l'invar et de nombreux autres alliages, et le rôle essentiel de l'analyse dilatométrique, considérée à l'Imphy comme la méthode de base pour caractériser les transformations des alliages.

Or, certaines recherches, telles que l'étude des phénomènes de revenu et des traitements structuraux, d'après la technique des chauffés isothermes, exigent de longs et très nombreux essais.

Outre le prototype du dilatomètre différentiel photographique, dont la fidélité est demeurée parfaite depuis 1916, l'installation comprend deux autres appareils, semblables au premier quant aux dispositions d'ensemble, mais perfectionnés quant aux détails. La photographie de la figure 5 (non reproduite dans l'article du Marteau Pilon n°XXII) montre deux dilatomètres installés sur une table avec leurs accessoires : ampèremètres, sources froides des couples de contrôle thermique, rhéostats à curseurs mus par un mouvement d'horlogerie, qui assurent une chauffe et un refroidissement parfaitement réguliers ; contacteurs-extincteurs, dont le rôle est de jalonner la courbe par des repères isochrones et d'éteindre la lampe de l'enregistreur à une heure fixée d'avance (...)

#### 2) Appareils pour l'essai thermomécanique des métaux.

Deux oscillomètres de torsion ne sont autres que des pendules de Coulomb dont le fil de suspension peut être chauffé ou refroidi. Le premier, destiné aux températures élevées, a été décrit dans ma communication de 1923.

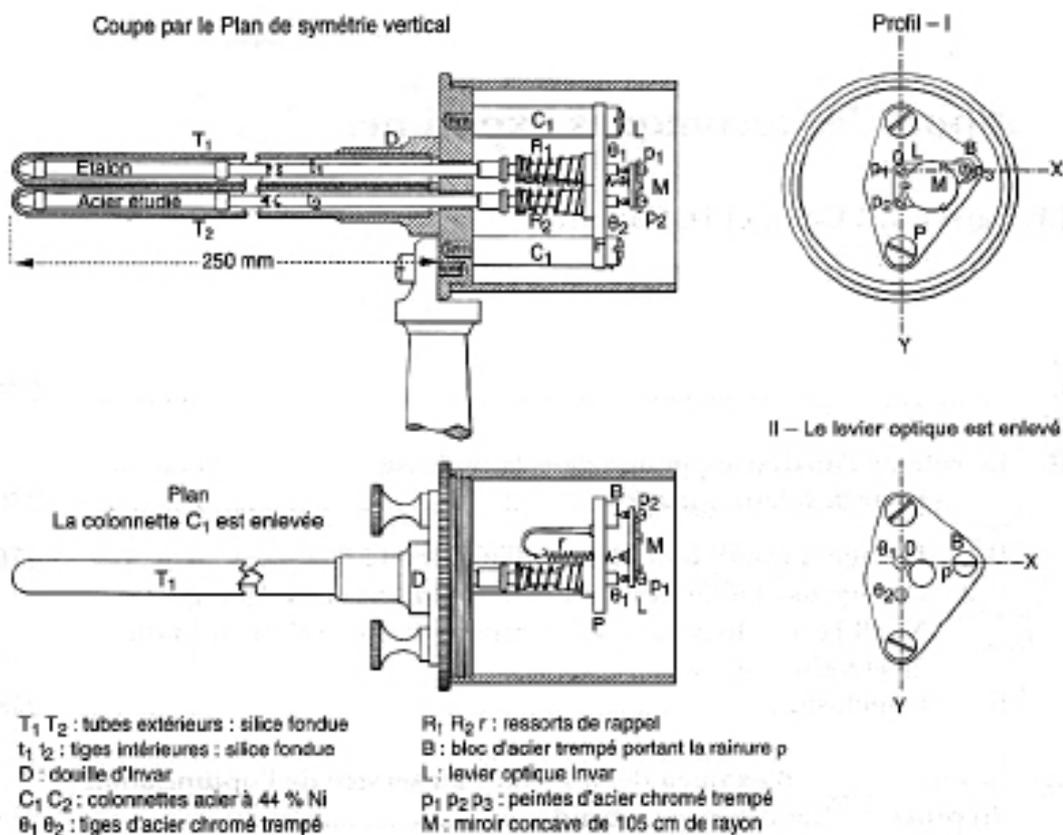
Dans l'autre appareil, construit pour les basses températures, le fil-échantillon est disposé au-dessous du volant, dans l'axe d'une moufle métallique plongée dans un liquide réfrigérant. Le volant est suspendu par un fil extrêmement fin de tungstène qui joue le rôle de pivot parfait, sans frottement ni couple de rappel sensible.

On détermine, à l'aide des oscillomètres, la variation thermique du module de torsion et celle du frottement interne. Cette dernière grandeur est très importante à connaître, surtout aux températures élevées, car elle caractérise l'écart qui existe entre le métal étudié et un solide parfaitement élastique, corps hypothétique dont les solides réels se rapprochent plus ou moins entre certaines limites de charges et de températures.

Une petite machine Amsler, d'une force de 200 kg, est utilisée pour l'essai des fils et des très petites éprouvettes à la température ordinaire.

(...)

# Dilatometre différentiel enregistré



VIII *révisé - fig 1 Dilatomètre différentiel*

*F. Renaud*

## Chapitre IV

### Principes qui ont dirigé l'installation du laboratoire de recherches. Organisation du travail expérimental.

Dès 1911, H. Fayol invitait le laboratoire d'Imphy à entreprendre une étude systématique des aciers et alliages spéciaux et assignait deux buts à ce travail : éclairer la théorie de ces produits, afin d'en faciliter et d'en féconder l'étude pratique ; découvrir leurs propriétés exceptionnelles en vue des applications.

À cette époque, l'attention des métallurgistes était orientée surtout vers la métallographie microscopique et l'analyse thermique. Mais les belles découvertes de M. Guillaume avaient prouvé la fécondité scientifique

et pratique de la métallographie quantitative, basée sur des travaux métrologiques d'une haute rigueur. Le laboratoire d'Imphy s'est engagé dans la voie ainsi brillamment ouverte, en inscrivant à son programme la mesure des propriétés physiques et physicochimiques des alliages, dans un large domaine de températures et de compositions.

#### 1) Construction des appareils.

A chaque mesure est affecté un appareil spécial, le plus souvent construit à Imphy même ; c'est ainsi qu'il existe des dilatomètres distincts pour l'analyse thermique des alliages, pour l'étude des produits réfractaires, pour le contrôle de l'invar et des alliages à dilatation déterminée, etc.

Contrairement aux apparences, cette solution est plus rapide, plus sûre et moins coûteuse que l'utilisation d'un appareil prévu pour de multiples usages, c'est-à-dire médiocrement adapté à chacun d'eux ; les résultats sont surtout plus précis.

Un problème expérimental nettement posé est, en effet, presque toujours facile à résoudre, tellement sont abondantes les ressources actuelles de la métrologie. Pour évaluer une petite longueur, on a le choix entre maints dispositifs : amplificateur à leviers, vis microscopique, levier optique, appareils à franges d'interférence, ultramicromètre électromagnétique. Une variation de température se mesure avec un thermomètre à mercure, un pyromètre optique. On peut donc concevoir plus de trente dilatomètres ; mais pour chaque application particulière, l'un d'eux est certainement meilleur que tous les autres.

Le principe choisi, la construction de l'appareil à l'atelier de précision demande, en général, peu de temps. Le premier exemplaire du dilatomètre différentiel fut établi, en moins d'un mois, par un mécanicien assisté d'un modelleur et d'un apprenti. Avec les ressources actuelles de l'atelier, le délai serait réduit à dix jours à peine. Souvent, on réalise d'abord un modèle simplifié de l'appareil, afin de vérifier la valeur de la conception. Ce « brouillard » construit à peu de frais, est retouché autant qu'il est nécessaire pour corriger tous les défauts.

## **2) Qualités des appareils de laboratoire**

L'analyse des transformations physicochimiques les plus compliquées, la récolte d'une documentation précise exigent des appareils sensibles et fidèles ; la simplicité, la robustesse, la commodité d'emploi sont aussi des qualités indispensables dans un laboratoire industriel.

En choisissant le principe de l'appareil, on cherche à isoler, le mieux possible, le phénomène étudié des phénomènes accessoires, but souvent atteint par l'emploi d'une méthode différentielle.

On s'efforce également d'éliminer l'action des causes perturbatrices, si nombreuses et parfois si intenses dans une grande usine : changements de la température ambiante, dénivellation périodique ou progressive des planchers, fluctuations du champ magnétique terrestre, instabilité de la tension des réseaux électriques, chocs et vibrations, etc. Ainsi, le pyromètre à dilatation, insensible aux trépidations et aux influences magnétiques, remplace souvent le pyromètre thermoélectrique plus délicat ; la méthode de Faraday-Curie, où n'intervient pas le champ terrestre, est préférée à celle du magnétomètre pour

l'étude thermomagnétique des alliages.

L'automatisme est poussé très loin, afin d'économiser la main d'œuvre et de réduire l'action personnelle des manipulateurs. Dans les opérations thermiques, l'allure de la chauffe ou du refroidissement est imposée par des rhéostats à mouvement d'horlogerie et des régulateurs sont utilisés dès qu'il faut maintenir une température constante. Les enregistreurs photographiques ou mécaniques sont largement utilisés au lieu des appareils à lecture directe, etc.

Le même souci d'assurer la fidélité conduit à simplifier les manipulations et à proscrire tout organe de réglage susceptible d'être manœuvré d'une façon intempestive.

En résumé, grâce au choix du principe, à l'étude scrupuleuse des moindres détails, aux soins de la construction, à l'emploi d'alliages spéciaux : invar, élinvar, permax, au réglage initial minutieux et durable, les appareils sont sensibles et fidèles, robustes et simples.

Ainsi, les enregistreurs donnent des courbes vigoureuses qui, malgré leurs dimensions généralement faibles, sont susceptibles de pointés précis ; leur direction en tout point est assez sûre pour permettre la détermination graphique de la dérivée, base du calcul des coefficients thermiques. De telles courbes ont un grand pouvoir de résolution, qualité plus importante qu'un grand pouvoir d'amplification (Bouasse) ; il importe peu, en effet, d'accroître l'échelle d'un diagramme si les singularités caractéristiques du phénomène étudié sont en partie masquées par les sinuosités dues aux chocs ou les anomalies causées par un mauvais réglage, de même qu'il est inutile d'agrandir par un oculaire puissant l'image sans détails donnée par un objectif médiocre.

## **3) Installation des appareils.**

Les appareils sont installés à demeure et maintenus toujours prêts à servir. Ceux dont les trépidations affectent peu la marche sont portés par de robustes tables de chêne, leurs vis calantes posées sur des pastilles de bronze ou de silice fondue, à crapaudines et à rainures, incrustées dans le bois. Pour les plus délicats, on utilise des supports a-vibrateurs à suspension trifilaire, avec amortisseur à palettes et à bain d'huile ; l'emploi de fils d'invar assure à la plateforme du support un calage constant.

Ces antivibrateurs ne sont efficaces qu'au prix d'un réglage précis de l'amortissement : on y parvient en mélangeant des huiles de fluidités différentes. Mais, comme cette fluidité dépend beaucoup de la

température, elle doit être ajustée pour les plus chaudes journées de l'été. En toute autre saison, la température du bain d'huile est relevée au degré voulu au moyen d'un petit réchauffeur électrique.

En instituant le montage, c'est-à-dire en groupant les accessoires de l'appareil principal, on cherche à réaliser un ensemble simple et clair. Des repères ou des butées précisent l'emplacement de chaque objet. Les conducteurs électriques à fort isolement, de couleurs différentes suivant la tension du courant, suivent un trajet apparent jalonné par des supports isolants. Les interrupteurs, à puits de mercure, sont isolés de la table par des cales de silice fondue. Les divers tronçons d'un même circuit électrique sont, autant que possible, soudés et les écrous des bornes sont bloqués par des contre-écrous ; ces précautions épargnent toute rupture du circuit ou toute variation sensible des résistances de contact. Bref, les modifications accidentelles du montage sont peu probables et ne peuvent demeurer inaperçues. Toutes les simplifications possibles ont été réalisées. Les fours à résistance, les rhéostats, les régulateurs de température, les ampèremètres, les supports, etc. sont d'un petit nombre de types normalisés. Comme il a été dit, les couples Le Chatelier et les galvanomètres muraux sont interchangeables : le contrôle des pyromètres l'un par l'autre est facile et les risques de confusion sont évités, car il n'existe qu'une table de tarage.

Un ordre et une propreté impeccables règnent dans tout le laboratoire. Ainsi, les apprentis-opérateurs, dont l'attention est constamment tenue en éveil, prennent des habitudes de minutie et de précision, qui deviendront instinctives dans leurs expériences. Le fini des appareils, la netteté des montages, l'harmonie et même l'élégance des salles de mesures, loin d'être un luxe inutile et coûteux, créent une ambiance favorable de calme laborieux, d'ordre et de méthode, éminemment favorable à la qualité du travail expérimental.

#### **4) Recrutement et formation des manipulateurs. Organisation du travail.**

Le directeur des recherches est secondé par deux ingénieurs, une secrétaire-archiviste, des manipulateurs et des mécaniciens. À leur entrée au laboratoire, les manipulateurs ne possèdent, pour la plupart, qu'une instruction primaire. La sélection est basée sur la valeur morale, l'intelligence, les succès scolaires, l'attrait pour le travail précis ; quelques-uns ont même une véritable vocation expérimentale. Leur formation est un problème d'une importance capitale : Herschell ne disait-il pas que la partie la plus essentielle d'une lunette est l'œil placée derrière l'oculaire ?

En même temps qu'on leur apprend à manipuler, on cherche à combler les lacunes de leur formation générale. On leur donne de véritables leçons de mathématiques, de mécanique, de physique, de chimie ; on leur procure des livres et on guide leurs lectures ; on les encourage à suivre des cours par correspondance. Chacune des nouvelles techniques d'essai est l'occasion d'explications détaillées : but de la mesure, principe de la méthode, mécanisme de l'appareil, causes d'erreur et précautions, conduite des calculs, construction des diagrammes, etc....

Les manipulations sont organisées selon les principes de Taylor : épargner les gestes inutiles, utiliser au mieux le temps du personnel sans le surmener. Les essais ont des horaires imbriqués de telle sorte qu'un même opérateur parvient à en conduire plusieurs de front. Dans la grande salle de physique, deux manipulateurs surveillent la marche de trois et parfois quatre enregistreurs.

(...)

Voilà, brièvement résumées, les mesures qui ont assuré un haut rendement au travail de laboratoire : adaptation des appareils aux conditions particulières de chaque mesure, recherche de l'automatisme, construction et installation soignées, réglage précis, entretien attentif, sélection et formation du personnel, organisation du travail. Leur résultat a été la récolte rapide d'une documentation abondante, précise et parfaitement homogène.

## **Chapitre V**

### **Progrès dans les techniques d'essais.**

#### **1° Dilatométrie**

Depuis notre étude de 1923, la dilatométrie est devenue une véritable méthode d'analyse physicothermique des alliages, qualitative et quantitative. Les transformations, fidèlement traduites par les singularités des courbes de dilatation, sont d'abord saisies pendant qu'elles s'opèrent ; puis les constituants issus de ces réactions sont identifiés et même approximativement dosés d'après leurs caractères dilatométriques : dilatabilité et anomalies spécifiques.

Les avantages de l'analyse dilatométrique sur les autres méthodes ont été bien des fois signalés. Elle s'applique à tous les corps solides, magnétiques ou non, conducteurs ou isolants : métaux et alliages, roches et minéraux, émaux et briques réfractaires, etc. Elle met en œuvre des appareils très sensibles et cependant simples, fidèles et robustes. La sensibilité,

enfin, ne dépend pas des vitesses de chauffe ou de refroidissement, comme celle des méthodes thermiques proprement dites. D'où l'aptitude de la dilatométrie à dégager des lois quantitatives de la trempe, à étudier les transformations très lentes et même isothermes, telles que la décomposition d'un constituant instable, à suivre dans tous leurs détails des réactions étendues sur un large intervalle de température, telles que la transformation, monovariante biphasée des alliages du type duralumin.

La technique a été perfectionnée suivant deux directions : plus grande simplicité, plus grande sensibilité.

(...)

### Conclusions

Ce rapide exposé du programmé général des recherches, de l'installation et de l'organisation des laboratoires, des méthodes d'essai, de quelques résultats et perspectives d'avenir, suffit, semble-t-il, à caractériser l'œuvre scientifique accomplie à Imphy en 22 années.

Il nous reste l'agréable devoir de remercier ceux qui ont permis de la réaliser : la Société de Commentry-Fourchambault et Decazeville, dont tout ce qui vient d'être dit atteste de l'esprit scientifique, la largeur de vues et la libéralité ; la direction de l'usine d'Imphy, qui a su créer l'ambiance la plus favorable à l'exécution rapide et précise des travaux de recherches, nos collaborateurs enfin, dont nous tenons à louer la valeur morale, l'habileté et le dévouement.

Mais nous tenons surtout à dire ce que nous devons aux deux hommes, dont nous nous sommes efforcés de réaliser la pensée, et qui nous ont fait largement bénéficier de leur enseignement, de leur appui, de leurs encouragements et de leurs conseils : H. Fayol, l'éminent fondateur de la doctrine administrative, créateur du service des recherches ; M. Ch.-Ed. Guillaume, créateur, lui aussi, de ce qu'on peut appeler la « métallographie quantitative ».

Le bon grain semé par M. Guillaume dans le terrain préparé par H. Fayol a germé, et nous avons eu l'heureuse fortune d'être les ouvriers de la moisson : qu'il soit permis de leur offrir l'hommage de notre gratitude.

### Texte 3.

#### **SAUVAGEOT, « Rapport de visite de MM. Stroh et Sauvageot au laboratoire des aciéries d'Imphy (16 septembre 1933), » *Laboratoire, Usine du Creusot, le 22 septembre 1933.***

Cette visite a pour but de répondre à l'invitation de M. Chevenard et de nous documenter particulièrement sur le nouvel extensomètre à enregistrement mécanique qui peut nous être utile pour la poursuite de nos essais à chaud.

Les laboratoires d'Imphy comprenant laboratoires de contrôle et laboratoire des recherches ont été très bien décrits par M. Chevenard dans une conférence faite à la Société des Ingénieurs Civils de France et parue dans le Bulletin de septembre octobre 1932 de cette société.

La plupart des appareils enregistreurs utilisés au laboratoire de recherches ont fait en outre l'objet de descriptions détaillées dans la Revue de Métallurgie. Nous nous bornerons donc à donner une vue d'ensemble de ces laboratoires en insistant seulement sur quelques points qui nous ont particulièrement intéressé.

#### **Laboratoire de recherches**

Ce laboratoire, construit en 1929, est un bâtiment à 2 étages d'environ 11m sur 15, situé à l'entrée de l'usine, tout près de la Direction.

Il comprend :

- Une petite salle souterraine, dite salle isotherme, pour les appareils particulièrement délicats.
- Au sous-sol, les batteries d'accumulateurs et groupes convertisseurs, la salle des fours de fusion et de traitement et un magasin de lingots, barres et tôles des alliages destinés aux recherches
- Au rez-de-chaussée, un atelier de précision pour l'usinage des échantillons et surtout pour la construction des nouveaux appareils inventés par M. Chevenard ou de ceux d'un type ancien mis dans le commerce.
- Au premier étage, des bureaux (donc celui de M. Chevenard) et la grande salle de physique.
- Au second étage, une autre salle de physique, une salle de micrographie et une salle d'essais physico-chimiques (essais de corrosion, recherches sur la cémentation, l'action des gaz, etc...)
- Enfin, les combles sont occupés par une salle d'archives.

La surface disponible est donc d'environ 850 m<sup>2</sup>.

La salle de physique du premier étage renferme la plupart des appareils enregistreurs destinés à l'étude méthodique des propriétés des alliages en fonction de la température.

Le fini et la disposition parfaite des appareils montés sur de robustes tables de chêne, l'ordre et la propreté impeccables qui règnent dans cette salle donnent, dès l'abord, une impression des plus favorables.

Plusieurs dilatomètres différentiels photographiques enregistrent la dilatation des alliages soit en fonction de la température, soit en fonction du temps à température constante (méthode des revenus isothermes).

Tous ces dilatomètres sont munis de leurs accessoires : régulateur d'intensité à fil dilatable, rhéostat automatique, contacteur-extincteur jalonnant la courbe par des repères isochrones (toutes les 15 minutes par exemple) et éteignant la lampe de l'enregistreur au bout d'un temps déterminé.

On peut ainsi décrire un cycle de température fixé d'avance et maintenir la température à une valeur déterminée.

Pour la méthode des revenus isothermes, la plaque photographique subit un mouvement de translation uniforme au moyen d'un fil mu par un mouvement d'horlogerie.

Pour suivre la température du four pendant l'essai, un couple thermoélectrique est en outre relié à un galvanomètre mural à 6 directions. Il y a 3 de ces galvanomètres (desservant donc 18 couples), construits spécialement par Imphy, et comprenant un seul fil de suspension en élinvar, de manière à supprimer tout déplacement du zéro.

M. Chevenard étudie actuellement un dilatomètre à très faible force de rappel pour l'étude des substances peu rigides aux températures d'essai (alliages légers, bronzes, etc....) Mais en réduisant la pression des ressorts sur les échantillons, on tombe dans l'inconvénient d'avoir des courbes qui enregistrent les vibrations, et la solution n'est encore pas parfaite.

Un autre dilatomètre a été conçu spécialement pour l'étude des phénomènes de trempe. Le barreau vertical, dont la position est fixe, peut être soit chauffé, soit refroidi brusquement par un four ou une petite cuve placés sur un support tournant et mobile verticalement.

Les changements de longueur du barreau sont

enregistrés photographiquement par l'intermédiaire d'un levier optique.

Cet appareil a servi, pendant la guerre, pour le réglage de la trempe des masques en acier Ni-Cr, légèrement autotremnants qui n'étaient pas assez durs par trempe complète à l'air ou à l'huile et qui donnaient des déformations inadmissibles par trempe à l'eau. Le traitement adopté a consisté en un chauffage à 950°, suivi de refroidissement à l'air pendant un temps déterminé correspondant à une chute de la température à 350°.

Le galvanopyromètre, placé sur une table spéciale, enregistre en fonction de la température, soit la variation de la force électromotrice d'un couple formé par la platine et l'alliage à étudier, soit la variation de la résistance électrique de cet alliage. Comme dans tous les appareils Chevenard, la température est mesurée par la dilatation d'un barreau de pyros.

Cet appareil, étant particulièrement sensible aux vibrations, est muni d'un support antivibrateur à suspension trifilaire avec amortisseur à palettes plongeant dans un bain d'huile ; celui-ci est placé au-dessous de la table et est réglé pour les plus chaudes journées d'été et chauffée pendant l'hiver au moyen d'un petit radiateur électrique.

Lorsque les échantillons ont subi un cycle thermique, enregistré par un des appareils précédents (dilatomètre ou galvanopyromètre), et ayant mis en jeu certaines transformations, les variations des propriétés qui en résultent sont mesurées par d'autres appareils. La dureté est appréciée par un scléromètre POMEY à pointe de diamant (charge de 10 k.) ; l'aimantation rémanente et la force coercitive sont mesurées aux magnétomètres etc....

Une table est réservée pour le traitement préalable des échantillons et une autre pour le montage et le réglage des fours. Ces fours, à enroulement de platine ou de RNC3, sont munis de pyromètres enregistreurs à dilatation et leur température est réglée, soit par un régulateur du même type (barreau de pyros, à l'intérieur d'un tube de silice placé dans le four), soit par le nouveau régulateur à fil de pyros, beaucoup plus sensible. Dans ce dernier perfectionnement, le fil régulateur est tendu très près de la paroi du four, de sorte qu'il réagit immédiatement aux moindres fluctuations du courant de chauffe : la température de l'éprouvette chauffée ne subit que des variations de l'ordre de 0,1 degré. Les courbes obtenues ne montrent aucune oscillation.

Avec ces régulateurs, on peut réaliser aussi une allure de chauffe déterminée en faisant suivre par

l'aiguille de l'appareil le bord d'une bande mince d'argent découpée suivant le cycle à décrire et fixée sur un tambour de chronographe.

La salle de physique contient encore d'autres appareils qui servent à mesurer les propriétés mécaniques à froid ou à chaud des alliages mis sous forme de fils.

Dans le viscosimètre isotherme à températures croissantes, le fil chargé d'un poids est chauffé à vitesse constante et on enregistre son écoulement visqueux en fonction de la température. Deux oscillomètres de torsion servent, l'un pour les hautes, l'autre pour les basses températures. Ils permettent de mesurer la variation thermique du module de torsion, d'après la durée des oscillations et celle du frottement interne.

(...)

Comme impression d'ensemble, les laboratoires d'Imphy sont spécialement et remarquablement outillés pour l'étude scientifique et méthodique des propriétés des alliages qui exige des essais très longs et très précis, ne laissant échapper aucune particularité des diagrammes enregistrés.

On y fait donc des recherches de longue haleine mais beaucoup moins de travaux variés, semble-t-il qu'au laboratoire du Creusot. Les particularités de ces laboratoires : emploi généralisé de l'analyse dilatométrique à l'exclusion de l'analyse thermique, mesure dilatométrique des températures, abondance d'appareils originaux de plus en plus perfectionnés, reflètent les idées et les aptitudes particulières de M. Chevenard, pour qui la conception et la réalisation de nouveaux appareils sont presque un jeu tandis que l'interprétation et l'exposition des résultats d'essais constituent, à son avis, le travail le plus long et le plus difficile.

Signé M. Sauvageot.

#### Texte 4.

**Pierre CHEVENARD, Directeur Scientifique de la Société de Commentry – Fourchambault et Decazeville : « La Métallurgie de Précision », *La Technique Moderne*, Tome XXX, n° 7 (1<sup>er</sup> avril 1938).**

Aux Aciéries d' Imphy, on appelle depuis longtemps « métallurgie de précision » la préparation des alliages pourvus de propriétés exceptionnelles, tels que l'invar et l'élinvar de M. Ch.-Ed. Guillaume. La fusion, la coulée, le forgeage, le travail à froid de ces produits requièrent, en effet, des matières premières

plus pures, des appareils plus délicats, des techniques plus exactes, une surveillance plus attentive que la fabrication des aciers proprement dits. Entendue dans ce sens restreint, cette expression paraît avoir obtenu droit de cité dans le vocabulaire industriel. Peut-être serait-elle moins facilement admise aujourd'hui, depuis que de nouvelles méthodes d'affinage, en assurant la régularité des réactions entre métal et laitier, ont amélioré les techniques de la métallurgie ; cette allusion, on le devine, concerne les procédés de M. René Perrin.

Quoi qu'il en soit, J'appellerai *métallurgie de précision, la préparation des alliages dotés d'un ensemble donné a priori de propriétés physiques, mécaniques ou chimiques, et dont l'élaboration doit être très précise, en raison du nombre des conditions à satisfaire et de l'étroitesse du domaine où chacune des propriétés atteint le degré voulu.*

Comment sont créés de tels alliages ? Il serait vain de méconnaître le rôle du hasard, ce « *grand pourvoyeur des inventions* ». A l'origine de l'invar se trouve la constatation inattendue d'un alliage fer-nickel moins dilatable que les métaux composants. En 1896, un hasard heureux pouvait seul révéler cette « anomalie », car rien ne permettait de mettre en doute la généralité de la loi énoncée par Boerhaave : la chaleur dilate tous les corps. Mais la chance ne sert que ceux qui en sont dignes ; pour faire surgir une découverte d'une trouvaille, il faut un esprit assez subtil et assez averti pour observer le fait imprévu, assez profond pour en trouver les causes, assez ingénieux et assez réalisateur pour en tirer parti. C'est pourquoi, sans doute, remarque M. Guillaume, « *ce sont toujours les mêmes qui ont de la chance* ».

Mais, plus une science se développe, plus une technique industrielle se perfectionne, plus le rôle du hasard tend à diminuer. « *Le temps vient, dit M. Portevin, où, de même que l'architecte ou l'ingénieur établissent le projet d'un ouvrage d'art ou d'une machine ayant un but et des qualités déterminés, le métallographe projettera la construction d'un alliage ayant des propriétés déterminées. Il choisira des atomes dans le tableau périodique des éléments pour en constituer des phases de propriétés particulières, qu'il assemblera ensuite en proportions définies, pour enfin, par des traitements mécaniques et thermiques judicieux, les organiser en édifices de particules ou de grains de forme, grosseur et répartition appropriées* ». L'ère annoncée par mon savant ami appartient encore à l'avenir. La mise au point des alliages de précision demeure un art, et l'imagination et le sens réalisateur n'y ont pas moins de part que la science métallographique. Cette science, toutefois, constitue pour les recherches et les essais pratiques un

guide de plus en plus sûr ; des études systématiques, orientées surtout vers les propriétés exceptionnelles des alliages, ont rassemblé, en vue des applications, des documents de plus en plus nombreux et précis ; la fabrication, guidée par une doctrine scientifiquement établie et soumise à un contrôle rigoureux, comporte de moins en moins d'aléas.

Je vais m'efforcer de montrer les progrès accomplis dans ce domaine ; dans ce but, j'examinerai successivement : la conception des alliages de précision basée sur les données de la métallographie, la récolte de la documentation, la mise au point des fabrications et le contrôle des alliages de précision. Pour terminer, je décrirai, à titre d'exemple, la création de nouveaux alliages du type *élinvar*...