Paul Le Rolland (1887-1957) : de la mécanique physique à la physique des matériaux

Fonteneau Virginie

▶ **To cite this version:**

Fonteneau Virginie. Paul Le Rolland (1887-1957) : de la mécanique physique à la physique des matériaux. Cahiers François Viète, 2010. halshs-03188175

HAL Id: halshs-03188175
https://shs.hal.science/halshs-03188175

Submitted on 1 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Cahiers François Viète, Série II, 2, 2010, 55-78

PAUL LE ROLLAND (1887-1957) : DE LA MÉCANIQUE PHYSIQUE À LA PHYSIQUE DES MATÉRIAUX[1]

Virginie FONTENEAU

Résumé

La carrière du physicien Paul Le Rolland peut se lire à l'image de la confluence, ce lieu précis où se fait la jonction de différents courants, avant qu'ils ne soient indissociables les uns des autres. La première que nous identifions est la rencontre entre ce physicien, formé et enseignant à la faculté des sciences avec une école d'ingénieurs, qui lui offre des collaborations et un espace d'organisation qui changent le cours de ses recherches. La seconde est l'intérêt du champ de la métallurgie scientifique pour ses travaux et pour les instruments de mesure qu'il conçoit. Travaillant de par sa formation dans le cadre d'une approche d'une matière homogène et d'un point de vue macroscopique, il se trouve alors confronté à un domaine où ce cadre est impropre à expliquer les propriétés des différents matériaux de la métallurgie et notamment des alliages. Cette différence de regard change profondément son approche sur la matière. Ces confluences le positionnent en marge des courants dominants en physique, avant la constitution d'un nouveau champ scientifique, la physique des matériaux caractérisée encore aujourd'hui par la pluridisciplinarité, notamment entre physiciens et métallurgistes. Alors la reconnaissance est possible, sa nomination comme professeur à la faculté des sciences de Paris en est le symbole, mais n'intervenant que quelques mois avant sa mort, Le Rolland ne peut marquer ce nouveau champ. Il reste attaché à un courant de la physique, la mécanique physique, et reconnu pour ses apports à la métallurgie.

1. Le temps de la formation : de l'affirmation d'une vocation scientifique à une thèse de physique expérimentale

Paul Le Rolland est né le 20 mars 1887 à Lannion (Côtes du Nord). Son père est deuxième maître de mousqueterie, sa mère, modiste[2]. Brillant

[1] Je voudrais remercier ici Guy Saindrenan pour sa relecture attentive lors de l'élaboration de cette étude.

élève du Lycée Dupuy-de-Lôme de Lorient, il doit poursuivre ses études à Rennes, à la faculté de droit selon le vœu de sa famille. Décidant finalement de suivre ses aspirations, il s'inscrit à la faculté des sciences pour étudier la physique. Il n'informe sa famille de sa décision qu'à la fin de l'année universitaire [3]. Il suit ensuite un parcours classique obtenant l'agrégation de sciences physiques en 1910. Professeur aux lycées de Cherbourg et de Lorient, il continue à assister aux cours de Georges Moreau, professeur de physique générale à la faculté des sciences de Rennes.

À Paris, en 1912, il commence des recherches pour une thèse sur le sujet du pendule, sous la direction de Gabriel Lippmann, académicien et prix Nobel de physique en 1908, et occupe parallèlement un poste de répétiteur à l'École centrale des arts et manufactures.

En 1922, il soutient sa thèse *« La suspension du pendule (Étude par une méthode photographique) »* en présence de Gabriel Kœnigs, professeur à la Sorbonne, membre de l'Académie des sciences, G. Lippmann étant décédé l'année précédente[4].

En raison de ses propriétés qui en font un appareil adapté à la mesure du temps et de l'intensité de la pesanteur, le pendule est alors très étudié. Lors des expériences, de nombreux effets perturbateurs sont observés, qui peuvent être étudiés en comparant deux pendules. Dans sa thèse, P. Le Rolland développe une méthode nouvelle de comparaison de deux pendules, la méthode photographique proposée par G. Lippmann, pour remplacer la méthode des coïncidences[5]. Au terme d'une étude expérimentale, il conclut à la supériorité de la méthode photographique, qu'il propose d'utiliser pour la comparaison des horloges dans les observatoires. Ses travaux de thèse traitent également de l'influence de la suspension sur l'oscillation d'un pendule à couteau, pendule utilisé notamment pour la mesure de la pesanteur. Ceci l'amène à mettre en évidence que certains écarts aux lois connues dépendent de la nature du métal employé comme support. Dans les conclusions de sa thèse, Le Rolland propose d'utiliser cet

---

[2] État civil de Lannion.

[3] Archives personnelles de M. Guihery-Le Rolland.

[4] Paul Le Rolland (1922) « Études de l'oscillation du pendule », *Annales de Physique*, XVII, 1-381.

[5] Pour la comparaison et la détermination des durées d'oscillation de deux pendules, la méthode des coïncidences consiste à compter le nombre d'oscillation d'un des pendules entre deux coïncidences, moments où les deux pendules passent simultanément par leurs positions d'équilibre.

effet perturbateur comme méthode de détermination de la dureté et des propriétés d'écrouissage des métaux.

Au cours de cette période, il écrit quelques notes à l'Académie des sciences à propos des deux conclusions de son étude, l'isochronisme des pendules et l'influence de la suspension[6]. Seules deux notes parues pendant la première guerre mondiale font exception à ces thèmes, l'une à propos d'un appareil d'induction pour la recherche des projectiles et l'autre sur les antiseptiques[7].

Dans ses premières notes à l'Académie des sciences, la possibilité de mesurer la dureté et les propriétés d'écrouissage à l'aide du pendule n'est pas présentée en tant que telle, mais apparaît à la marge de son domaine de recherche. Ainsi, dans une note de 1921 référencée dans la rubrique chronométrie, Paul Le Rolland écrit[8] :

> « L'étude de l'influence de la lame [de suspension du pendule] n'a pas seulement comme intérêt d'amener à une connaissance plus approfondie du mouvement du pendule, elle conduit encore à des résultats importants sur l'élasticité des métaux. […]
>
> La détermination des variations à la loi d'isochronisme apparaît ainsi comme une méthode précise et commode pour l'étude des écarts à la loi élémentaire de l'élasticité, écarts dont la connaissance semble être essentielle pour les calculs de la chronométrie de précision. »

---

[6] Paul Le Rolland (1914) « Sur la détermination du rapport des durées d'oscillations de deux pendules », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 159, 166-169.

Paul Le Rolland (1920) « De l'influence de la déformation du couteau et du plan de suspension sur la durée d'oscillation du pendule », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 170, 455-457.

Paul Le Rolland (1921) « Sur les écarts à la loi d'isochronisme, produits par la lame de suspension du pendule », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 172, 664-666.

Paul Le Rolland (1921) « Sur le mouvement du pendule à suspension élastique », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 172, 800.

[7] Paul Le Rolland, A. Carpentier (1915) « Sur un appareil d'induction pour la recherche des projectiles », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 161, 693-694.

Charles Richet, Henry Cardot, Paul Le Rolland (1917) « Des antiseptiques réguliers et irréguliers », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 164, 669-673.

[8] Paul Le Rolland (1921) « Sur les écarts à la loi d'isochronisme, produits par la lame de suspension du pendule », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 172, 664-666.

Le questionnement sur les propriétés des métaux est ici envisagé pour l'amélioration de la chronométrie de précision.

Après guerre, Le Rolland rejoint la faculté des sciences de Rennes, où il occupe un poste de chef de travaux en 1920, puis un poste de maître de conférences en 1922.

2. Premiers pas en recherche : de l'étude du pendule en physique à l'élaboration d'instruments de mesure pour la métallurgie

2.1. Une école d'ingénieurs, nouveau contexte d'enseignement et de recherche pour Paul Le Rolland

Au cours des premières années à Rennes, le rythme de ses publications diminue pour reprendre un cours plus soutenu à partir de 1926. Le thème central s'est déplacé, la mesure de la dureté par le pendule, objet jusqu'ici subalterne, constitue désormais le cœur des recherches.

Ce nouveau positionnement n'est sans doute pas étranger aux travaux faits sur le sujet par Georges Moreau, qu'il considère comme son maître et qui est toujours professeur et doyen à Rennes. Ceci ne rend cependant pas compte de l'accélération du rythme des publications et la nature des résultats présentés à partir de 1926. En revanche, ceux-ci prennent sens à la lumière du nouveau contexte de recherche et d'enseignement offert alors à Le Rolland.

En 1926, il intervient dans une école d'ingénieurs pour y enseigner la mécanique physique. Cette école, l'Institut Polytechnique de l'Ouest (IPO), a été créée en 1919 par la municipalité de Nantes en concertation avec les industriels pour former des ingénieurs et techniciens spécialisés en mécanique et moteurs thermiques, travaux publics, chimie ou électricité[9]. Après un rattachement en 1922 à l'Université de Rennes, qui laisse à l'école une large autonomie, un accord intervient en 1926 – après des mois de préparation – entre la faculté des sciences de Rennes et la municipalité nantaise. Le 1er janvier 1927, l'école prend le statut d'Institut de faculté des sciences pour une durée de 15 ans, ce qui permet aux enseignants de Rennes d'intervenir à Nantes.

Il est probable que Le Rolland ait été imposé par Rennes – donc par Georges Moreau – plus que sollicité par le directeur de l'école nantaise, Aymé Poirson, qui œuvrait pour une évolution de l'IPO préservant son

[9] Virginie Champeau-Fonteneau (2001) *De l'I.P.O. à l'E.N.S.M. (1919-1969) : les oscillations d'une école d'ingénieurs en quête de son identité entre industrie et recherche sur les matériaux dans la région nantaise.* (Nantes : Thèse)

autonomie. Quoi qu'il en soit, l'accueil réservé à Le Rolland est dénué d'hostilité. Cet enseignement lui ouvre l'accès à des laboratoires bien équipés, mieux équipés que les laboratoires de physique rennais, ainsi que la possibilité de nouer des collaborations avec des ingénieurs et des techniciens de l'école. En effet, A. Poirson, ingénieur de l'École supérieure de constructions mécaniques et d'aéronautique, œuvre pour deux raisons depuis 1922 à l'organisation d'une structure de recherches au sein de l'école permettant de former par la recherche les élèves ingénieurs spécialisés en constructions navales. La première raison est personnelle, A. Poirson a été sensibilisé à l'intérêt de la recherche pour les ingénieurs et l'industrie par un stage qu'il a effectué aux laboratoires de Dion Bouton à Puteaux. La seconde raison est la création du titre d'ingénieur-docteur en 1922, qui reconnaît et organise la formation d'ingénieurs par la recherche. En venant à Nantes, Le Rolland doit prendre en main non seulement l'enseignement de la mécanique physique mais également l'encadrement de la recherche[10].

2.2. L'intérêt des chercheurs en métallurgie pour les méthodes pendulaires de mesure de dureté

2.2.1. La mesure de dureté des matériaux ferreux : une nécessité à l'usine et au laboratoire

Dans la seconde moitié du 19ième siècle, les possibilités de fabrication industrielle du fer, de la fonte et de l'acier ont considérablement élargi la gamme de produits disponibles bouleversant les critères traditionnels reliant un matériau à ses utilisations possibles et à sa qualité. De nouveaux critères permettant de se repérer dans cette gamme doivent être définis. Les cahiers des charges vont jouer ce rôle, en exigeant et en mettant en place des essais tels que l'essai de traction, l'essai au choc ou à la flexion.

Cette diversité de produits disponibles et des propriétés associées est aussi porteuse d'utilisations nouvelles pour les industries naissantes de la fin du 19e siècle et du début du 20e siècle comme l'industrie électrique, l'automobile, et l'aéronautique, et pour les demandes militaires à la recherche d'aciers durs et résilients.

---

[10] Virginie Fonteneau (2009) « Paul Le Rolland (1887-1957), un universitaire dans une école d'ingénieurs : influence et synergie », Ana Cardoso de Matos, Maria Paula Diogo, Irina Gouzévitch, André Grelon (eds) *Jogos de identidade profissional os engenheiros entre a formaçã e a acção* (Lisbonne : Éditions Colibri).

A la fin du 19ième siècle, se constitue un nouveau champ scientifique, la métallurgie physique, les recherches sont internationales et se font en lien avec les questions posées par l'industrie. Henry Le Chatelier, en France, fondateur de la *Revue de Métallurgie* en 1904[11], en est un acteur majeur [12] . Concernant spécifiquement la dureté, H. Le Chatelier écrit l'intérêt et les limites de sa prise en compte pour qualifier les métaux :

> « La dureté est une propriété très intéressante à prendre en considération, non seulement dans le cas du carbone, mais encore pour un grand nombre d'autres corps. Nous avons le sentiment très précis des variations de cette propriété et ces différences d'un corps à l'autre ont une grande influence sur les applications pratiques de ces corps. Et pourtant, malgré le grand intérêt que cela présenterait, nous ne possédons aucun procédé pour la mesure de la dureté. La dureté n'est pas une grandeur mesurable. On peut seulement la repérer par rapport à une échelle conventionnelle arbitrairement choisie. »[13]

L'élaboration d'une méthode de mesure de dureté adaptée au métal correspond ainsi à deux objectifs : d'une part, la nécessité de contrôler la qualité ou de déterminer les caractéristiques des matériaux ou de pièces finies, dans le cadre de la production avec ses contraintes de temps et de manipulation, d'autre part, celle liée à la compréhension de la matière et au développement de nouveaux matériaux comme les aciers spéciaux dans le cadre du laboratoire de recherche. Les exigences s'expriment alors en termes de métrologie : il s'agit d'effectuer des mesures précises et fiables sur lesquelles le chercheur peut s'appuyer.

La *Revue de Métallurgie* publie ainsi régulièrement des articles sur les méthodes de mesure de dureté traitant des deux aspects.

---

[11] Un des objectifs de la *Revue de Métallurgie* est de « diffuser parmi les industriels les connaissances scientifiques qui ont joué un si grand rôle dans les progrès de la métallurgie ». Michel Letté (2005) *Henry Le Chatelier (1850-1936) : ou la science appliquée à l'industrie* (Rennes: PUR).

[12] Nicole Chézeau (2004) *De la forge au laboratoire : naissance de la métallurgie physique (1860-1914)* (Rennes : PUR).

[13] Henry Le Chatelier (1926) *Leçons sur le carbone. La combustion, les lois chimiques.* (Paris : Librairie scientifique J. Hermann).

2.2.2. Nouveauté et intérêt des méthodes pendulaires par rapport aux méthodes par empreinte[14]

2.2.2.1. La dureté Brinell[15]

Cette méthode a été présentée au Congrès de métallurgie de 1900 par Johan August Brinell (1849-1925), ingénieur suédois, pour répondre aux besoins des milieux industriels. La dureté des métaux est mesurée par la pénétration d'une bille sphérique dans des conditions de force et de temps fixés. Le chiffre de dureté Brinell est défini comme le rapport de la force exercée à la surface de l'empreinte.

La procédure, utilisée pendant la première guerre mondiale pour le contrôle des obus, a été rapidement allégée pour gagner du temps. Les temps de contrôle passant à une dizaine de seconde par pièce impliquait en contrepartie, une perte importante de précision, qui fut soulignée par les scientifiques. Des études menées à la fin de la guerre aboutissent à l'élaboration d'une méthode permettant d'abréger le temps de contrôle sans pour autant diminuer la précision des mesures[16]. Celle-ci a été testée dans les laboratoires de Dion à Puteaux et à nouveau vérifiée dans les laboratoires du Conservatoire des Arts et Métiers, sous l'autorité scientifique d'Henry Le Chatelier et Albert Portevin[17].

Malgré cela, les limites d'utilisation restent nombreuses. La première se pose dans le cas des corps les plus durs, notamment les aciers. Les mesures effectuées ne donnent pas de résultats satisfaisants[18]. La méthode présente d'autres inconvénients : une limitation des formes de pièces qui peuvent être contrôlées ; la persistance d'une empreinte dommageable dans le

---

[14] Nous ne traiterons ici que des méthodes utilisées spécifiquement pour les métaux, en excluant de plus le scléroscope, qui mesure la dureté par le rebond d'un poids (bille d'acier par exemple) sur la pièce à tester. En effet, celui-ci est peu précis et ne sert que lorsqu'il est impossible d'employer d'autres méthodes.

[15] Dans la lignée de la méthode Brinell, a été développée la méthode dite Vickers (brevetée par la société Vickers en 1923) pour pallier certains inconvénients. Dans cette méthode que nous ne développerons pas ici, l'élément de test est une pointe pyramidale et non une bille ce qui permet de tester des matériaux plus durs et des pièces plus petites.

[16] René Guillery (1921) « Étude sur l'essai de dureté à la bille (Essai Brinell) », *Revue de Métallurgie.* 2, 101-110.

[17] Albert Portevin est ingénieur à l'École centrale des arts et manufactures et y est professeur.

[18] René Guillery (1931) « Appareil de mesure automatique des empreintes de l'essai Brinell », *Revue de Métallurgie.* 5, 260-264.

cas de contrôle sur des pièces finies ou semi-finies ; la nécessité d'un personnel formé capable de faire les réglages nécessaires, la lecture de la mesure et d'en déduire le chiffre Brinell.

2.2.2.2. La dureté Rockwell

Stanley P. Rockwell, métallurgiste et employé dans une entreprise de fabrication de roulement à billes dépose une demande de brevet en septembre 1919 à l'office des brevets des Etats-Unis pour une machine destinée à tester la dureté[19]. Son objectif est de proposer une machine résistante, rapide, fiable autant pour les matériaux « doux » ou les plus durs, une machine qui accepte des surfaces de test non spécifiquement planes et qui n'endommage pas trop la pièce testée. La mesure de la dureté Rockwell se fait par pénétration d'un cône à extrémité sphérique ou d'une bille plus durs que l'échantillon qui est soumis à deux charges différentes. La première charge de valeur faible permet d'obtenir une surface de référence à partir de laquelle est réalisée la mesure de la pénétration. La lecture de la dureté est directe et peut être réalisée par n'importe quel opérateur. La machine (Rockwell Hardness tester) peut être appliquée à des petites pièces, à des pièces minces, et sur des éléments finis voire rectifiés. Elle est développée par la Wilson Instrument Company à partir de 1921.

Contrairement à la dureté Brinell, la mesure de dureté Rockwell est influencée par l'état superficiel du métal, ce qui est une limite d'utilisation à cette méthode. Rockwell mentionne d'ailleurs dans son brevet que la pression faible exercée en premier permet au cône en diamant de passer soit la partie décarburée soit la partie plus dure de la surface de travail et d'être en contact avec le « vrai métal »[20]. Un article analysant cette méthode pour la *Revue de Métallurgie* stipule qu'il est nécessaire d'avoir une couche homogène égale approximativement à 10 fois la profondeur d'empreinte pour que la mesure soit correcte. Cette sensibilité à l'état superficiel du métal est aussi présentée comme une solution potentielle pour le contrôle

[19] Stanley P Rockwell "Hardness-Testing Machine", Brevet américain demandé le 11 septembre 1919, n°1.516.207.

[20] "cause the testing point to break through the slight scale or decarburization on the surface of the work and to make firm contact with the true metal beneath ", in Stanley P Rockwell "Hardness-Testing Machine", Brevet américain demandé le 11 septembre 1919, n°1.516.207.

de pièces qui ne pouvaient l'être avec la méthode Brinell comme les aciers cémentés[21].

Une seconde limite de la méthode Rockwell concerne l'écrouissage du métal dû à l'outil de test, alors que ce phénomène perturbe peu l'essai Brinell, en raison de la profondeur plus faible et de la surface plus importante de l'empreinte.

2.2.2.3. La nouveauté des méthodes pendulaires

Edward Geisler Herbert, ingénieur et diplômé en physique, a fondé son entreprise de machines-outils et de machines d'essai mécanique en 1895[22]. En 1922, il dépose un brevet en Angleterre pour une machine dont le but est d'obvier les inconvénients présentés par les méthodes basées sur la mesure d'une empreinte et d'une profondeur.

L'appareil breveté (Herbert Pendulum Hardness Tester) est un pendule qui repose par une bille de saphir ou d'acier sur la pièce à tester[23]. Deux mesures différentes sont réalisées. La première est la durée en secondes de 10 oscillations du pendule à partir d'une amplitude déterminée, lors de l'épreuve « du temps ». Lors de l'épreuve « de l'échelle », la mesure est celle de l'amplitude de la première oscillation du pendule ayant été incliné jusqu'au repère zéro d'une échelle arbitrairement définie par étalonnage sur du verre.

E. G. Herbert identifie l'épreuve du temps à l'épreuve de dureté Brinell. Il propose une conversion. Lorsque le temps de 10 oscillations est supérieur à 33,33 secondes, le chiffre de dureté Brinell est égal à ce temps multiplié par un coefficient 10. Pour des temps inférieurs, il est égal au carré du temps multiplié par un coefficient de 0,3.

L'épreuve de l'échelle permet de mesurer « une dureté de travail » composée de la résistance à la pénétration, et de « la facilité avec laquelle la matière éprouvée se laisse travailler »[24].

E. G. Herbert conçoit un pendule dont le centre de gravité peut être réglé très proche du centre de courbure, se confondre avec lui ou être inver-

---

[21] M. Nicollet (1926) « La mesure de dureté au moyen de la machine Rockwell », *Revue de Métallurgie.* 10, 575-580.

[22] Lance Day and Ian McNeil (1998) *Biographical Dictionary of the History of Technology* (Oxford: Routledge).

[23] Edward Geisler Herbert « Perfectionnements aux procédés et appareils pour éprouver la dureté des métaux et autres matières », brevet français demandé le 27 août 1923, n°570.167.

[24] *Ibid*

sé. Ceci lui permet d'augmenter la sensibilité de l'appareil notamment dans le cas des substances très dures. Il s'agit là du point fort de son pendule, puisqu'il permettrait de mesurer la dureté de matériaux jusqu'à 1100 Brinell, là où la méthode Brinell n'est considérée comme applicable que jusqu'à 600 Brinell.

L'intérêt d'utiliser le pendule Herbert a été très vite perçu par la communauté des métallurgistes pour des substances très dures, mais également en raison des différents types de mesure réalisables. Trois articles paraissent sur le sujet dans le numéro d'avril 1925 de la *Revue de Métallurgie*. Des essais ont été réalisés au laboratoire d'enseignement d'essais des matériaux de l'École centrale des arts et manufactures. Les conclusions des études soulignent sa manipulation et son réglage difficiles et s'accordent sur le fait qu'il s'agit plus d'un instrument de laboratoire que d'un appareil destiné à l'atelier. Elles pointent également le fait que « la relation mathématique entre la périodicité du pendule, et la dimension de l'empreinte n'a pas été encore complètement mise en lumière »[25]. Ceci soulève le problème de l'interprétation de ce qui est mesuré, problème qui, pour les auteurs de la *Revue de Métallurgie*, doit être solutionné dans le cadre d'une utilisation au laboratoire.

2.2.3. L'apport de Paul Le Rolland : une étude scientifique sur la méthode pendulaire de mesure de dureté.

P. Le Rolland prend connaissance de l'existence du pendule Herbert par une note de Léon Guillet, directeur de la *Revue de Métallurgie* et directeur de l'École centrale des arts et manufactures, à l'Académie des sciences en avril 1926 à propos de l'étude de la nitruration des aciers ordinaires et spéciaux[26]. Dans cette étude, L. Guillet a besoin de mesurer la dureté obtenue. Il utilise la méthode Brinell mais il soupçonne que les résultats obtenus sont erronés, la dureté des aciers étant au-delà du domaine de validité de la méthode. Il utilise également le scléroscope[27] mais, là aussi, L. Guillet est insatisfait. Il donne quand même ses résultats de mesure, tout en affir-

---

[25] René Mouillac (1925) « Le pendule Herbert pour essais de dureté », *Revue de Métallurgie*. 4, 223-237.

Léon Guillet, Jean Galibourg (1925) « Quelques résultats d'essais au pendule Herbert », *Revue de Métallurgie*. 4, 238-244.

Pierre Nicolau (1925) « Remarques sur l'emploi du pendule Herbert », *Revue de Métallurgie*. 4, 245-250.

[26] La nitruration permet l'obtention d'une couche dure en surface sans avoir à recourir à la trempe.

[27] Voir note n°15

mant que l'utilisation d'un autre appareil, le pendule de dureté Herbert l'a conforté dans son jugement[28].

P. Le Rolland rédige aussitôt une note présentée par G. Koenigs quinze jours plus tard où il revendique l'antériorité de ses travaux sur le pendule et précise qu'un appareil, dont il souligne la stabilité et la précision, a été construit à Nantes. Le Rolland réagit alors comme s'il s'agissait d'une question de propriété intellectuelle :

> « […] dans une étude que j'ai eu l'honneur de communiquer à l'Académie le 23 février 1920, puis dans une Thèse de doctorat soutenue le 10 mai 1922, c'est-à-dire antérieurement à la présentation de l'appareil anglais, j'ai établi, en particulier, les faits suivants […].
>
> Par de nombreux exemples j'ai montré la possibilité d'étudier, par cette méthode, la dureté et les propriétés d'écrouissage des métaux, d'une façon très précise. »[29]

S'il est vrai que les conclusions de sa thèse et que plusieurs notes à l'Académie des sciences présentaient l'utilisation possible d'un pendule pour des mesures semblables à celles présentées par Herbert, il n'avait, jusqu'à cette note, jamais mentionné la réalisation d'un appareil et n'a pas déposé de brevet.

Comment expliquer que P. Le Rolland ne semble pas au courant des articles parus un an auparavant dans la *Revue de Métallurgie* qui se trouve dans la bibliothèque de l'IPO ? Il est plus probable qu'il était au courant des articles mais qu'il attendait de pouvoir présenter une étude scientifique étayée sur le sujet et un appareil dont la mise au point soit achevée. La mention du pendule Herbert par L. Guillet dans une note à l'Académie des sciences l'oblige alors à changer de stratégie.

De fait, en octobre 1926, un article de P. Le Rolland paraît dans la *Revue de Métallurgie*[30]. Auparavant, il a pris soin de déposer un brevet avec Jean Fournery, ingénieur IPO et enseignant à l'école[31].

---

[28] Léon Guillet (1926) « Étude de la nitruration des aciers ordinaires et spéciaux », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 182, 903-907.

[29] Paul Le Rolland (1926) « Sur la mesure de la dureté par le pendule », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 182, 1013-1014.

[30] Paul Le Rolland (1926) « La mesure de la dureté par le pendule », *Revue de Métallurgie*, 10, 567-594.

Le principe de la méthode est le même que le pendule Herbert. La démarche et le contexte qui ont conduit à la construction de l'appareil sont, eux, très différents. Herbert est un ingénieur, fabricant de machines-outils et de machines d'essai mécanique. Sa démarche est de répondre à un besoin industriel et de proposer un appareil commercialisable, dont il s'est assuré la propriété industrielle. Le Rolland s'intéresse au sujet à partir d'une question scientifique qui ne concerne pas les essais mécaniques, et exploite les conséquences inattendues de ses recherches. Sa démarche est d'informer la communauté scientifique et de s'assurer de la priorité scientifique des résultats. La réalisation effective de l'appareil vient de la rencontre à Nantes avec des ingénieurs capables d'assurer le développement technique de ses idées.

Dans l'article qu'il publie dans la *Revue de Métallurgie*, Le Rolland expose sa démarche scientifique, en présentant son point de départ, l'influence de la nature du support sur le pendule.

Une des premières questions posées porte sur la définition de la dureté, dont il souligne le caractère flou : « Propriété de la matière de résister plus ou moins à la pénétration et plus généralement au déplacement permanent de ses molécules superficielles. »

Il mentionne également que les différentes méthodes existantes mesurent en fait une combinaison complexe de différentes notions, dont l'élasticité, la malléabilité, la ténacité, la viscosité. Il précise qu' « il est inutile de chercher à caractériser d'une façon absolue une propriété qu'on ne sait même pas définir », mais n'exclut pas de pouvoir parvenir à atteindre « une quantité ayant un sens absolu ». Le Rolland se donne donc pour objectif de partir d'une propriété complexe à la définition vague mais indispensable à la fois dans le laboratoire scientifique et dans l'industrie pour parvenir à distinguer, déterminer, définir scientifiquement une propriété caractéristique de la matière.

2.2.3.1. La théorie du pendule selon Le Rolland

Il établit expérimentalement la variation de durée des oscillations en fonction de l'amplitude pour un pendule dont il donne les caractéristiques techniques, et qu'il met à osciller sur de l'acier doux puis sur du plomb. Il trace la courbe de la durée des oscillations T en fonction de l'amplitude θ et en déduit qu'il peut poser la relation suivante :

---

[31] Paul Le Rolland, Jean Fournery « Perfectionnements apportés aux procédés et appareils pour la mesure de la dureté d'une matière », brevet français demandé le 5 juillet 1926, n°618.964.

$T = T_0 (1-K/\theta)$

Avec : T_0 durée théorique d'oscillation aux très petites amplitudes en supposant nulle l'influence du support ; K constante dépendant de la nature du métal.

Son interprétation théorique propose deux hypothèses pour les oscillations de faible amplitude. La première est que l'organe de roulement creuse une gorge dans le plan, la seconde qu'il n'y a pas de véritable roulement mais un écrasement mutuel des surfaces entraînant un déplacement brusque du centre instantané de rotation d'une extrémité à l'autre de la surface de contact. Il écarte la première conduisant à une formule incompatible avec les courbes qu'il a obtenues expérimentalement et retient la seconde en accord avec les courbes expérimentales[32]. Il étaie ce choix par une observation au microscope peu grossissant et propose la formule suivante :

$T = T_0 (1-a/\pi l\theta)$

Avec l : distance du centre de gravité du pendule à l'organe de roulement ; a : largeur de surface de contact, qui correspond au déplacement du centre de rotation.

Pour Le Rolland, le rapport $a/l\theta$ définit « l'importance relative du support » sur les oscillations.

2.2.3.2. Développements

Après cette étude, il établit la relation entre la mesure de dureté Brinell et la mesure de dureté par le pendule. Il souligne qu'il s'agit d'une dureté dynamique alors que pour la méthode Brinell, il s'agit de la dureté statique.

Il fixe ensuite les limites de validité des mesures concernant l'amplitude des oscillations. L'ordre de grandeur des variations d'oscillation, ainsi obtenu, est très faible, et ne permet pas l'observation directe. Selon Le Rolland, deux possibilités existent. La première consiste à diminuer la longueur entre le centre de gravité et l'axe de roulement, ce qui permet d'augmenter la variation d'oscillation. Herbert a fait ce choix empirique pour son pendule, choix critiqué par Le Rolland qui affirme que cela rend le pendule instable expliquant ainsi les difficultés rencontrées lors des premières études réalisées sur le pendule Herbert. La deuxième possibilité repose sur l'utilisation de la méthode de coïncidences pour appréhender la variation d'amplitude. Cette solution proposée par Le Rolland légitime par

[32] Dans son interprétation dynamique, Le Rolland sait qu'il fait une approximation en supposant qu'il y a déplacement brusque mais elle est pour lui nécessaire et acceptable.

sa nouveauté le dépôt du brevet avec Jean Fournery. Le principe consiste à utiliser un pendule de comparaison reposant sur un support en acier ou en agate et à compter le nombre d'oscillations du pendule de comparaison entre deux coïncidences. D'après ce principe, plus la dureté de la matière à tester est importante, plus ce nombre, appelé coefficient relatif de dureté, et la précision sont importants.

La méthode Le Rolland se propose donc comme les autres méthodes de classer les matériaux les uns par rapport aux autres, en se fixant une échelle arbitraire et après avoir réalisé un étalonnage sur une matière très dure (du quartz, là où Herbert utilisait du verre). Les avantages présentés sont les mêmes que ceux du pendule Herbert : la possibilité de contrôler un corps de forme quelconque ; l'invisibilité de l'empreinte laissée sur la pièce ; la possibilité de contrôler des tôles minces, des fils métalliques fins, des lames et des rubans métalliques ; l'étude de la dureté des couches minces obtenues par cémentation, nitruration, ou par dépôts électrolytiques. En revanche, le pendule de Le Rolland se veut beaucoup plus précis que le pendule Herbert et dans des conditions d'utilisation scientifiquement étayées.

Dans un article de 1934, alors qu'il est désormais sur d'autres sujets de recherche, P. Le Rolland revient sur le pendule de dureté dans un article écrit pour le *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale* à l'occasion de la médaille d'or que celle-ci lui décerne[33]. Le Rolland ne prétend désormais plus qu'il peut s'agir d'un appareil destiné à un atelier d'usine ou à un laboratoire mais qu'il est « un précieux instrument de recherche pour l'étude scientifique de la dureté »[34]. Le Rolland a donc développé en collaboration avec un ingénieur de l'IPO un appareil commercialisable mais qui s'avère incompatible avec les exigences de l'industrie, exigence de temps et de facilité d'emploi. Son objectif de concevoir une méthode de grande précision est atteint mais elle s'appuie sur une mesure très localisée de la dureté qui présente elle-aussi ses limites d'utilisation.

3. Un nouveau regard sur la matière et les matériaux

[33] Paul Le Rolland a également reçu pour ce travail le prix Montyon de l'Académie des sciences en 1930.

[34] Paul Le Rolland (1934) « Applications nouvelles du pendule aux problèmes industriels, et en particulier au contrôle des matériaux », *Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale*, 5, 317-344.

3.1. Rigidité et module de Young

À partir de 1929, le Ministère de l'Air finance à l'IPO, comme d'autres instituts, des cours de mécanique des fluides, octroie des subventions et des contrats de recherche. Cette reconnaissance permet à l'école nantaise de retenir pendant quelques temps des ingénieurs diplômés sur des projets de recherches, de trouver une solution pour certains entre leur sortie de l'école et leur premier emploi. Les subventions et les contrats permettent également d'étoffer l'équipement des laboratoires. Il existe désormais trois laboratoires, un de mécanique dirigé par Pierre Sorin, ingénieur IPO et enseignant à l'école, un de physique dirigé par Jean Fournery et un de mécanique physique dirigé par Le Rolland. Les traces de l'existence d'une petite équipe de recherche[35] apparaissent alors : publications dans des revues spécialisées[36] ; dépôts de brevet ; présence au salon de l'aéronautique, etc.

En 1934, Le Rolland prend la direction de l'école obtenant l'autonomie qu'il souhaite pour réaliser ses projets pour la recherche et l'enseignement. En 1935, l'IPO devient centre de contrôle officiel pour les essais mécaniques de l'aéronautique, pour les essais optiques des métaux, les essais de résistance, et certains essais chimiques. A partir de 1935, l'IPO reçoit également régulièrement des subventions de la Caisse Nationale de la Recherche Scientifique. Sollicitée par des entreprises pour des contrats, l'école nantaise déploie une activité de recherche régulière et soutenue.

Les thèmes de recherche des membres de l'équipe sont très marqués par la personnalité scientifique de Le Rolland. Les études utilisant les méthodes pendulaires sont très majoritaires.

À partir de 1931, se dégage dans les publications de P. Le Rolland un objet de recherche d'une importance comparable à celui de la mesure de dureté : la mesure de la rigidité des structures.

3.1.1. La mesure de la rigidité grâce aux pendules sympathiques

P. Le Rolland dépose le 31 décembre 1930 en Belgique, un brevet qui concerne un procédé « pour déterminer la rigidité, solidité, voire la

[35] On peut estimer la taille de l'équipe à une dizaine de personnes dans les années 1930, en comptant les contractuels.

[36] Notamment les *Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air*, et le *Bulletin de l'Association Technique Maritime et Aéronautique*.

fatigue, d'un ouvrage ou construction, tel qu'un pylône, une poutre composée quelconque, un pont, une carcasse d'avion, un édifice, etc. »[37]

La rigidité est déterminée par le rapport entre l'intensité de l'effort et la déformation qu'il engendre. L'évaluation de la rigidité d'une pièce ou d'une structure doit permettre de déterminer les conditions d'utilisation de la pièce ou de la structure dans le domaine élastique, défini comme le domaine des déformations non permanentes.

L'intérêt du procédé, selon l'inventeur, est qu'il peut être employé là où les calculs sont en défaut, notamment lorsque les structures sont complexes. Il vient en concurrence avec une autre méthode, la photoélasticité. Celle-ci consiste à remplacer dans la structure la pièce sur laquelle on veut connaître les sollicitations par une pièce sensible dont les tensions observées sont étudiées, et, dont on déduit par comparaison celles qui se produisent dans la pièce que l'on souhaitait étudier.

Plusieurs études sur des sujets proches ont été déjà menées à l'IPO. Deux ingénieurs de la promotion 1929 ont mené des recherches, l'un sur une étude de la flexibilité des poutres par une méthode de résonance, et l'autre sur une étude mathématique suivie d'une étude expérimentale des mouvements lents d'oscillations de longues lames élastiques.

Issu de la même promotion, Emile Ravilly, ingénieur IPO et enseignant à l'école, travaille sur la conception d'une machine de torsion alternée à grande vitesse, ayant pour but de déterminer les limites de fatigue de fils métalliques, et est financé par le Ministère de l'Air pour des recherches sur la photoélasticité[38].

Peu de temps après le dépôt de brevet, P. Le Rolland et P. Sorin publient un article sur le sujet dans la *Revue de Métallurgie*[39]. La méthode repose sur l'utilisation de pendules sympathiques :

> « Lançons l'un des pendules, l'autre étant au repos ; nous voyons ce dernier se mettre en mouvement. Son amplitude

---

[37] Un brevet français est déposé un an plus tard. Paul-Marcel Le Rolland, « Perfectionnements apportés aux procédés et dispositifs pour déterminer la rigidité ou la solidité, voire la fatigue, d'un ouvrage métallique ou autres », brevet français demandé le 30 décembre 1931, n°729.082

[38] Émile Ravilly (1938) « Contribution à l'étude de la rupture des fils métalliques soumis à des torsions alternées », *Publications Scientifiques et Techniques du Ministère de l'Air*, 120.

[39] Paul Le Rolland, Pierre Sorin (1931) « L'étude expérimentale des poutres à assemblages rigides par une méthode de vibrations forcées », *Revue de Métallurgie.* 11, 617-630.

> augmente peu à peu, passe par un maximum, puis décroît jusqu'à zéro pour croître à nouveau et ainsi de suite. En même temps l'amplitude du premier subit des variations inverses : les amplitudes des deux pendules sont en quelque sorte complémentaires et cela se conçoit, puisque l'énergie totale du système doit rester constante.
>
> On observe donc un échange symétrique d'énergie entre les pendules, caractérisant le phénomène des battements. »[40]

Le Rolland et Sorin exploitent ce phénomène bien connu pour étudier les propriétés élastiques du support.

L'étude théorique est faite sur un système simple : il s'agit de déterminer la rigidité d'une tige cylindrique par des pendules à couteaux. Après avoir posé des hypothèses de travail, Le Rolland établit une relation entre la durée des battements et, ce qu'il appelle la rigidité de flexion. Cette relation met en évidence qu'il suffit de mesurer la durée entre deux arrêts de l'un des pendules pour atteindre le coefficient de rigidité.

Il teste ensuite sur un système où la rigidité peut être calculée théoriquement. Ayant confirmé la validité de sa méthode, il l'applique à l'étude de différents systèmes. Différents tests sont réalisés : l'augmentation de la rigidité d'un cadre métallique par addition de traverses horizontales ou de fils posés en diagonale (haubanage) ; la mesure de rigidité des fils et d'un système triangulaire soumis aux efforts alternés ; et enfin, l'étude d'assemblages rigides soumis aux efforts alternés pour tester soudure, rivetage et boulonnage.

La méthode présente l'intérêt de pouvoir contrôler régulièrement les ouvrages. Une variation de la rigidité signifie une fatigue et ceci peut être le signe annonciateur de la rupture d'une pièce ou d'une structure.

Ces études et essais sont faits en liaison avec le secteur de l'aéronautique. La première présentation a lieu au Congrès International de la Sécurité Aérienne en 1931. Elle paraît en 1934 dans les *Publications Scientifiques et Techniques du Ministère de l'Air*, où sont décrits les essais pour contrôler le fuselage d'un avion.

Les essais ont commencé sur un avion Potez à l'IPO puis d'autres sont réalisés au Centre d'Aviation de Tours. Après des mesures sur un Potez 15 désentoilé, d'autres sont faites avant vol sur des Potez 25 A2 de sé-

---

[40] *Ibid.*

rie, construits aux Chantiers de la Loire à Saint-Nazaire et pour un seul avion avant et après vol.

Satisfait des premiers résultats fournis par l'IPO, le Ministère de l'Air commande une étude sur la rupture des lignes de rivets suite à la catastrophe du trimoteur Dewoitine « Emeraude » en 1934. L'avion, conçu pour répondre aux besoins de la compagnie Air-Orient, effectuait pour la première fois le vol Paris-Saigon et revenait avec à son bord, Maurice Noguès, pionnier des lignes d'extrême Orient, ainsi que des hauts responsables d'Air France et le gouverneur d'Indochine lorsque l'accident s'est produit.

3.1.2. La mesure des modules d'élasticité des matériaux grâce aux pendules sympathiques

Deux ans après le dépôt de brevet concernant les constructions à assemblages rigides, Paul Le Rolland dépose un certificat d'addition pour étendre la protection à la détermination pour un matériau du module d'élasticité de Young[41]. Celui-ci est défini dans le cadre de déformations non permanentes, et pour des sollicitations particulières, traction et flexion.

La détermination classique du module de Young[42] se fait par un essai de traction. Une éprouvette cylindrique est soumise, à température constante, à une force de traction croissante. L'allongement de l'éprouvette est mesurée, ce qui permet de tracer une courbe, sur laquelle est portée en abscisse, l'allongement de l'éprouvette rapporté à sa longueur initiale et en ordonnée, le rapport de la force exercée par la section de l'éprouvette. Dans la pratique, et selon les matériaux, deux cas peuvent être distingués. Dans le premier cas, les déformations produites sont bien des déformations élastiques et, si l'on soumet l'échantillon à des variations de l'effort exercé, l'allongement obtenu est toujours le même pour une valeur donnée de l'effort. Dans le second cas, lorsque l'éprouvette est soumise à des efforts alternés, on observe un phénomène d'hystérésis. L'allongement mesuré pour un effort donné n'est plus le même, selon que l'intensité augmente ou diminue. Lorsque l'effort cesse, soit l'éprouvette revient à sa longueur initiale, elle est bien alors dans le domaine élastique, soit l'éprouvette revient à une longueur qui n'est pas sa longueur initiale mais qui se stabilise après

---

[41] Paul Le Rolland, « Perfectionnements apportés aux procédés et dispositifs pour déterminer la rigidité ou la solidité, voire la fatigue, d'un ouvrage métallique ou autre », Certificat n°44319 d'addition au brevet d'invention français n°729 082, demandé le 18/12/1933.

[42] Une seconde méthode pour déterminer le module d'Young consiste à utiliser l'essai de flexion, mais s'avère de mise en œuvre plus difficile.

quelques itérations du cycle d'efforts. Il y a alors déformation élastique et plastique.

Dans l'étude théorique de la mesure de la rigidité d'une pièce ou d'une structure, P. Le Rolland exprime celle-ci, dans le cas d'une tige encastrée à une extrémité et libre à l'autre, en fonction du module de Young, du moment d'inertie transversal de la tige et de sa longueur depuis l'encastrement jusqu'au couteau. Le module de Young du matériau peut donc être obtenu en mesurant la durée des battements comme dans le cas de rigidité.

Le Rolland présente les avantages de cette méthode : une grande précision, la possibilité de mesurer le module de Young « au voisinage immédiat de l'origine », des efforts alternés très petits permettant de s'affranchir du problème posé par l'hystérésis.

Il conçoit un appareil compatible avec les normes mises en place dans le cadre des contrôles de fonte et notamment les tailles d'éprouvette. En effet, si la mesure de dureté de la fonte n'est pas une indication de sa qualité, le module de Young a été reconnu par Charles Frémond, dès 1909 comme en étant une mesure fiable.

Si Le Rolland met au point une méthode simple et un appareillage, appelé élasticimètre pendulaire, qui satisfont les spécialistes de la question, sa préoccupation reste la suivante : « Que mesure-t-on exactement en utilisant telle ou telle méthode ? »

Pour lui, le module de Young est une propriété caractéristique de la matière. Mais notamment lors du travail sur les fontes, plusieurs questions se posent sur le comportement de la matière. En effet, on observe pour la fonte, comme les autres matériaux métalliques, les modifications des propriétés lors de l'écrouissage, de recuit, etc, mais elle est également un matériau composé de zone hétérogène fer/carbone, difficilement assimilable à une matière homogène.

Cette confrontation avec différents matériaux l'amène à repenser sa conception de la matière. Elle prend pour lui un caractère complexe, dont il rend compte à plusieurs occasions en usant de métaphores :

> « …elle a évolué en définitive, comme évolue un organisme vivant. N'a-t-elle pas, en effet, une complexité de structure analogue à un tel organisme avec ses membrures, avec les éléments « cellulaires » microscopiques des matériaux dont

> elle est formée, enfin avec la vie intense et mystérieuse des molécules elles-mêmes, dont sont constitués ces éléments ? »[43]

L'expérience, qui jusqu'à présent devait lui permettre d'accéder aux propriétés spécifiques de la matière qu'il concevait et traitant comme homogène et dans le cadre des milieux continus, doit désormais permettre de vérifier jusqu'à quel point « les solides élastiques, de structure si complexe, ressemblent aux abstractions de la mécanique des milieux continus ou s'écartent d'elles ».[44]

3.2. Sortir la mécanique de l' « asservissement » des mathématiques et faire de la mécanique « réelle » « expérimentale »

Ces nouvelles interrogations surgissent dans les publications de Le Rolland au moment où il devient directeur de l'IPO. Il lui est alors possible de donner à cette école une orientation en adéquation avec ses nouvelles préoccupations de recherche.

Il souhaite pour l'enseignement dégager la mécanique physique « résolument et définitivement des disciplines mathématiques qui l'ont trop souvent dominée et asservie »[45]. De fait, il supprime la préparation du certificat de calcul différentiel et intégral au profit du certificat de chimie générale, il envisage de développer l'enseignement de la chimie, il crée également un cours de mathématiques spéciales pour l'ingénieur et un cours de physique pour l'ingénieur. Ce changement s'inscrit dans un mouvement souhaitant porter la mécanique sur un terrain plus expérimental[46].

Concernant la recherche, la rupture apparaît dans le choix des sujets des nouvelles thèses : l'analyse aux Rayons X des phénomènes de dislocation cristalline qui accompagne la fatigue de torsion ; l'étude de l'anisotropie de dureté des cristaux par la méthode pendulaire. L'achat de matériel témoigne également de ce changement, chambre de prise de vue pour rayons X, etc.

---

[43] Paul Le Rolland et Pierre Sorin (1934) « Étude d'une méthode utilisant le couplage entre deux systèmes oscillants pour la détermination de la résistance mécanique des constructions et la mesure des modules d'élasticité », *Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'air*, 47.

[44] *Ibid.*

[45] *Le Phare de la Loire*, 28/01/1935.

[46] Claudine Fontanon (1998) « Histoire de la mécanique appliquée. Enseignement, recherche et pratiques mécaniciennes en France après 1880 », *Cahiers d'Histoire et de philosophie des sciences*, 46.

Ces deux orientations se retrouvent dans un projet qui n'aboutit pas : créer une École Supérieure de Mécanique à l'instar de l'École Supérieure d'Électricité, où il met en avant sa volonté de faire « de la mécanique réelle, expérimentale, en cherchant à [se] rendre compte si la matière est bien homogène (à l'aide des rayons X par exemple), si elle réagit bien comme nous le croyons aux efforts extérieurs, si les mouvements que nous observons sont bien ceux que nous avons prévus, etc… »[47]

L'année suivant sa prise de fonction à la tête de l'école d'ingénieurs nantaise, il devient titulaire de la chaire de physique générale de la Faculté des sciences de Rennes. Cette même année, il profite d'un voyage à Liège avec ses étudiants, à propos du titre d'ingénieur, pour rencontrer Peter Debye (1884-1966), qui a mis au point une méthode de détermination de la structure cristalline par diffractions des rayons X.

Ce nouveau programme de recherches est interrompu par la seconde guerre mondiale. Paul Le Rolland participe à la Résistance au sein du Front National Universitaire. Après guerre, il appartient au gouvernement de Gaulle, en tant que directeur de l'enseignement technique de 1944-1948, puis il entre à l'Institut Supérieur des Matériaux et des Constructions Mécaniques, créé en 1948. C'est dans cet institut qu'il va développer en tant que directeur de recherche ses derniers travaux en collaboration avec Pierre Sorin qu'il fait venir de Nantes.

3.3. Derniers travaux de recherches dans le cadre de la physique des matériaux

En 1936, Paul Le Rolland, Pierre Sorin et Melle Chailloux, licenciée ès sciences à Nantes, présentent une conférence devant l'Association Technique Maritime et Aéronautique, sur le thème de la mesure du module de flexion à l'aide de l'élasticimètre pendulaire et plus précisément sur une application à l'étude de la variation du module avec la température. À l'issue de la conférence présentée par P. Sorin en l'absence de P. Le Rolland, s'engage une discussion entre le conférencier et Pierre Chevenard, qui se définit lui-même comme « un métallographe qui, depuis vingt-six ans s'occupe des propriétés mécaniques des alliages »[48].

---

[47] Paul Le Rolland (1935) « Les projets d'avenir de l'Institut Polytechnique de l'Ouest », *Loire-Atlantique*, 13, 209.

[48] Paul Le Rolland, Pierre Sorin, Chailloux (1936) « Mesure du module de flexion à l'aide de l'élasticimètre pendulaire, application à l'étude de la variation du module avec la température », *Bulletin de l'ATMA*, 40, 367-381.

Ce dernier revient sur le problème de l'hystérésis observé lors de la mesure du module de Young et que nous avons déjà évoqué. Il le décrit comme étant un cycle qui « embrasse une aire finie, qui mesure précisément l'énergie utilisée à vaincre le *frottement interne* de la substance qui vibre ». P. Chevenard précise qu'il associe à un frottement interne plus élevé que la moyenne une élaboration métallurgique imparfaite d'un alliage, à tel point que le laboratoire d'Imphy dont il est directeur rejette alors la coulée. À cette occasion, l'intérêt des travaux de l'équipe nantaise pour l'industrie métallurgique est encore souligné.

Les derniers travaux de Le Rolland sont tournés vers cette question du frottement interne. Il présente en 1948 le principe d'une méthode utilisant, toujours un pendule, et des vibrations forcées. L'attention est alors portée sur la décroissance des amplitudes de l'oscillateur qui permet de déduire le coefficient de frottement intérieur, défini comme le rapport entre « la fraction d'énergie perdue dans un cycle », lors d'une déformation cyclique et l'énergie potentielle de l'éprouvette[49].

Lors du colloque international de mécanique qui se tient à Poitiers en 1950, Le Rolland fait l'exposé de synthèse sur le sujet[50]. Dans son intervention, il rappelle l'intérêt de la question pour la métallurgie. Il souligne également qu'il est intéressant de rechercher un frottement intérieure faible pour les instruments sonores par exemple, ou au contraire d'avoir un frottement intérieur élevé, avec dissipation de l'énergie vibratoire en chaleur, dans les cas où l'on ne désire pas que les bruits se propagent (problème de l'insonorisation) mais également lors des phénomènes de résonance, où les vibrations peuvent être dangereuses. L'exposé présente les différentes méthodes permettant d'accéder au frottement intérieur et les résultats d'ores et déjà obtenus sur différentes catégories de matériaux.

Le Rolland intègre désormais dans l'exposé de ses travaux les théories atomiques et de constitution de la matière. C'est le cas, en particulier, de la théorie de la dislocation[51], proposée en 1934, pour expliquer la plasticité. Le problème du frottement intérieur ne peut alors être abordé sans une

---

[49] Paul Le Rolland (1948) « Sur une nouvelle méthode de détermination de la dissipation d'énergie par frottement interne dans les corps solides », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 227, 37.

[50] Paul Le Rolland (1950) « Le frottement intérieur (exposé de synthèse) », *Actes du colloque international de Mécanique* (Poitiers : Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air).

[51] Robert W Cahn, "Physics of materials", Laurie M. Brown, Abraham Pais, Sir Brian Pippard (eds), *Twentieth Century Physics*, III, p 1520.

connaissance de la structure des matériaux, et si Le Rolland a commencé son exposé avec un traitement mathématique du problème, c'est sur la sensibilité du frottement intérieur à la structure des matériaux qu'il conclut, faisant de cette question un des points les plus importants de la physique de matériaux.

Quelques mois avant son décès en 1957, Paul Le Rolland est nommé professeur à la Faculté des sciences de Paris. D'un point de vue institutionnel, son champ de recherche marque, bien après son départ de Nantes, les laboratoires de l'IPO devenue École nationale supérieure de mécanique de Nantes en mars 1948 et ceux l'Institut supérieur de matériaux et de constructions mécaniques[52].

Ses recherches portent sur des sujets intéressant plusieurs disciplines et situés à la marge des groupes et des sujets de recherche dominants en physique. L'IPO a été pour cela un lieu propice au développement de ce type de recherche mais pour autant, l'école n'a pas été un lieu de confrontation avec des chercheurs d'autres disciplines, la rencontre tardive avec Chevenard est à ce point de vue signifiante[53]. Ce positionnement se retrouve dans ses publications, absent des journaux disciplinaires marquants en physique, Le Rolland publie dans des revues de chronométrie, de métallurgie, ou dans des revues techniques. Le Rolland échappe ainsi à l'historiographie sauf pour son activité très brève en tant que directeur de l'enseignement technique.

Virginie Fonteneau
Université Paris-sud 11
virginie.fonteneau@u-psud.fr

[52] Une filiation existe avec le laboratoire de mécanique des solides de l'École nationale supérieure de mécanique et d'aérotechnique de Poitiers. Celui-ci a été créé par Raymond Jacquesson, qui a fait sa thèse sous la direction de Le Rolland à la fin des années 30.

[53] Ernst Braun (1992) "Mechanical properties of solids", Hoddeson Lilian, Braun Ernst, Teichmann Jurgen, Weart Spencer, *Out the crystal Maze*, (New-York : Oxford University Press).

BIBLIOGRAPHIE

[1] CHAMPEAU-FONTENEAU Virginie, *De l'I.P.O. à l'E.N.S.M. (1919-1969) : les oscillations d'une école d'ingénieurs en quête de son identité entre industrie et recherche sur les matériaux dans la région nantaise*, Thèse, Université de Nantes, 2001.

[2] CHÉZEAU Nicole, *De la forge au laboratoire : naissance de la métallurgie physique (1860-1914)*, PUR, Rennes, 2004.

[3] FONTANON Claudine, « Histoire de la mécanique appliquée. Enseignement, recherche et pratiques mécaniciennes en France après 1880 », *Cahiers d'Histoire et de philosophie des sciences*, 46, 1998.

[4] HODDESON Lilian, BRAUN Ernst, TEICHMANN Jurgen, WEART Spencer, *Out the crystal Maze*, Oxford University Press, New-York, 1992.

[5] PESTRE Dominique, *Physique et physiciens en France, 1918-1940*, Éditions des archives contemporaines, Paris, 1984.