De l'enseignement technique pour l'industrie à l'industrie pour la recherche ? l'histoire de l'ENS Cachan et du laboratoire de mécanique et technologie

Federico U. Bietti¹

Résumé

Cet article porte sur l'école normale supérieure de Cachan et le LMT et leur histoire. Il traite en particulier de l'ouverture de l'école et de ce laboratoire vers l'industrie. Il montre l'évolution d'un enseignement technique dédié à la formation des formateurs des ouvriers et des contremaîtres vers l'institutionnalisation d'une recherche scientifique orientée vers l'industrie et les pratiques d'ingénieur.

Il est constitué de trois parties. La première aborde le processus qui va de la formation des formateurs des ouvriers et des contremaîtres de l'industrie mécanique aux débats qui aboutissent à la création d'un laboratoire en sciences de l'ingénieur. Ensuite, nous revenons sur la constitution du LMT à travers son histoire et le travail de deux fondateurs : Jean Lemaître et Pierre Ladevèze. Nous expliquons d'abord, dans la deuxième partie, la création du laboratoire autour de Jean Lemaître, initiateur en France d'une spécialité de l'étude des matériaux métalliques : la science de l'endommagement. Puis nous montrons comment le LMT a développé un réseau à la fois de recherche et industriel et comment il s'est construit une place dans la mécanique française sur cette base. La troisième partie aborde le développement du calcul scientifique et la question de l'endommagement des matériaux composites comme spécificité du LMT et de l'équipe organisée autour des travaux de Pierre Ladevèze.

Introduction

A l'origine, l'ENS de Paris Saclay (à l'époque Ecole Normale de l'Enseignement Technique – ENET- ensuite Ecole Normale Supérieure Normale Supérieure de l'Enseignement Technique –ENSET- et après ENS Cachan) a été conçue pour former des enseignants pour le domaine technique de niveau secondaire, d'abord pour un type d'école appelé école pratique du commerce et de l'industrie (EPCI). L'ENS Paris-Saclay forme des « docteurs » qui vont intégrer les industries, par exemple du secteur aéronautique. De l'ouvrier et du contremaître à l'ingénieur et au chercheur, serait la formule qui résume son histoire.

¹ Département de sociologie, Université de Tours

Les industries mécaniques ont « fait » l'école et elles la refont constamment selon les évolutions de leurs modes de production et de conception. A la fin du XIX^e siècle, la formation dans les ateliers se révèle insuffisante car l'industrie mécanique moderne demande des ouvriers et des techniciens en mesure de régler, faire fonctionner et maintenir l'ensemble des machines et outils liés à la nouvelle production industrielle (Pepel, Troger & Lelièvre, 1993). Les systèmes scolaires vont se révéler être les dispositifs les plus propices à former les techniciens et ouvriers de ces nouvelles industries.

Créé en 1975, le LMT Cachan est un laboratoire de mécanique conçu au sein d'une institution d'enseignement technique. Il a une histoire institutionnelle et intellectuelle qui est en grande partie le produit de l'action de ses deux premiers directeurs : Jean Lemaître et Pierre Ladevèze. Au long de l'histoire du laboratoire, ils ont constitué des réseaux de collaboration entre des institutions, des chercheurs, où la dimension sociale est aussi importante que la dimension technique. Un laboratoire présente une configuration particulière d'instruments, de machines, de ressources et d'agents (Latour & Woolgar, 1988 ; Karin Knorr-Cetina, 1981, 1999). La complexité matérielle et intellectuelle du laboratoire va déterminer les modes d'ouverture vers l'industrie.

Le laboratoire n'est pas un élément accessoire de la production scientifique (Vinck, 2007a, 2007b ; Lynch, 1985, 2014) Nous partons de l'idée que la connaissance ne va pas de la nature aux chercheurs, mais dépend de ses conditions contextuelles de production (Henke & Gieryn, 2007). C'est pour cela que nous allons insister sur l'histoire matérielle du laboratoire, c'est-à-dire la constitution des espaces de la production scientifique : le centre d'essais et le centre de calcul. De plus, nous allons décrire l'institution LMT avec une vision globale sur la place du laboratoire dans le paysage de la mécanique en France.

Dominique Pestre étudie le rôle de Louis Néel dans le développement de la physique à Grenoble (1999). Selon une démarche analogue, nous présentons le LMT et sa position dans le paysage des sciences de l'ingénieur en France à travers les figures de Jean Lemaître et de Pierre Ladevèze. Dans son travail sur Louis Néel, Pestre a rendu compte des institutions qu'il a rassemblées dans les années 1950 et 1960 à Grenoble et sur lesquelles il s'appuiera. Le cœur du travail de Pestre a été l'analyse de l'ensemble d'institutions, de personnes et de groupes que Néel a rassemblé autour de lui. Plus précisément, Pestre rend compte de la manière dont Néel a organisé cet ensemble sur lequel s'appuient ses recherches et qui lui confère une légitimité scientifique. La puissance de ces institutions n'est que la sienne, l'une et l'autre évoluent ensemble entre la fin de la seconde guerre quand il crée son Laboratoire d'Electrostatique et de Physique du Métal (LEPM), et les années 1950 quand il commence à assumer des

responsabilités comme membre du Directoire du CNRS (1950). Le prix Nobel de Néel de 1970 attire l'attention, mais l'homme de science est en fait soutenu par un ensemble d'institutions et de groupes. La démarche de Pestre constitue une source d'inspiration pour notre travail du fait que Lemaître et Ladevèze créent un laboratoire en s'appuyant sur des groupes et des institutions dans l'environnement de la banlieue sud de Paris. Dans notre cas, nous allons parler de la constitution d'une institution (LMT) comprise dans une autre (ENSET/ENSC/ENSPS) à travers l'action d'hommes qui tissent et mobilisent des réseaux. La constitution de ce laboratoire est l'action de deux hommes charismatiques qui vont avoir un rôle important pour fixer des équipements afin de bâtir un centre d'essais et un centre de calcul. Le LMT se révèle un laboratoire fondé sur une logique de « patrons » dont l'évolution vers un modèle de « managers » n'est pas très évidente au-delà des tendances globales de gouvernance de la recherche (Louvel, 2011). Nous allons parler des actions et des relations qui s'enchaînent pour donner sens et forme à une institution, le LMT Cachan. Nous allons montrer comment les relations qui se nouent entre les différents agents réalisent l'ordre social dans lequel on rentre en action réciproque. Nous retracerons l'histoire de l'école de Cachan dans l'enseignement technique jusqu'à l'institutionnalisation de la recherche en mécanique avec le laboratoire LMT.

L'article est le résultat d'un travail de recherche documentaire sur l'histoire de l'ENS Cachan et de l'enseignement technique et d'un travail ethnographique au sein du laboratoire. Les sources de l'article ont été des documents publiés sur l'enseignement technique, l'ENS Cachan et des documents tels que les bases de données internes du LMT, des articles, des rapports de thèses et des rapports quadriennaux. Afin de remplir ma mission, j'ai réalisé un travail de terrain en deux étapes dans lesquelles j'ai accumulé des observations et des entretiens semi-structurés. Pendant la première étape du travail de terrain, j'ai séjourné de manière quotidienne dans le laboratoire entre novembre 2014 et mai 2015. La deuxième étape a commencé à partir de mai 2015 quand j'ai arrêté de séjourner en permanence dans le laboratoire et a continué jusqu'à février 2018.

I. De l'enseignement technique à la recherche

L'ENET, la formation des ouvriers

L'ENET a été créée dans un contexte institutionnel de débat autour du travail et de la formation des ouvriers. La modernisation des systèmes de production français demandait la création d'une

école normale afin d'homogénéiser la formation des ouvriers et des techniciens pour les nouvelles industries. La stratégie choisie pour développer une école normale a été le regroupement des quatre sections normales qui existaient depuis la fin du XIXe à Châlon-sur-mar, Paris, Lyon, et La Havre. En 1911, le regroupement a consisté à les réunir au sein du Centre National d'Arts et Métiers au 151 boulevard de l'hôpital dans le 13e arrondissement de Paris (Le Bot, 2013)², sans repenser les cursus de formation. De surcroît, l'ENET « regroupée » ne disposait pas d'une autonomie financière et son directeur André Fontaneau (1912-1932) occupait dans le même temps le poste de sous-directeur de l'enseignement technique au ministère du Commerce et de l'Industrie. Pour André Fonteneau, son manque d'indépendance en termes de locaux et de budget l'empêche de remplir sa mission de façon optimale. Pendant la guerre, l'école déménagera à la rue de Bellechasse (Paris 7e), ensuite à l'École supérieure professionnelle des postes, rue de Grenelle, pour revenir en 1917 au boulevard de l'hôpital en 1917 pour le quitter une nouvelle fois en 1919. Depuis 1919, une réforme centrale pour l'enseignement technique s'est mise en place à partir de la loi Astier-Cuminal et la loi du 20 juin 1920 (Marchand, 2005). Ainsi, le ministère de l'Instruction publique a repris la tutelle de l'enseignement technique, décision personnelle d'Alexandre Millerand (Chapoulie, 2013).

« La loi du 25 juillet 1919 lui a donné sa charte et le définit ainsi : 'L'enseignement technique, industriel et commercial a pour objet, sans préjudice d'un complément d'enseignement général, l'étude théorique et pratique des sciences et des arts et métiers et de métiers en vue de l'industrie et du commerce'. » (Ministère de l'Education Nationale, 1958, p. 3)

La création d'un sous-secrétariat d'Etat sous la direction d'Edmond Labbé a permis de légitimer l'enseignement technique. Ainsi, l'idée d'une école normale supérieure pour l'enseignement technique s'installe dans le débat public. Pendant les années vingt, l'ENET est réorganisée en ce sens. Elle retourne dans les locaux de l'école d'Arts et Métiers en 1922. A partir de 1923, l'Inspecteur général de l'enseignement technique et directeur d'Arts et Métiers, Victor Nardon, sera à la fois directeur de l'ENET.

²Même si l'école représentait une avancée fondamentale, les débats autour de l'enseignement technique n'étaient pas fermés. Entre 1910 et 1912, principalement trois postures éclipsaient le débat autour de l'enseignement technique. D'abord, la première posture suggérait qu'il devait répondre aux intérêts de la République. Ensuite, la deuxième affirmait qu'il devait répondre aux besoins de l'économie nationale. Et la troisième soutenait que « la scolarisation ne peut pas se substituer à l'apprentissage ». De toute façon, l'ENET confirme le principe selon lequel chaque branche du système scolaire français requiert la constitution d'une école normale pour la formation de ses professeurs (Chapoulie, 2013).

En 1925, une proposition de réorganisation de la structure de l'enseignement technique et de ses établissements est présentée à la chambre des députés. Le projet propose d'organiser les établissements selon leur niveau. Ce niveau sera déterminé par une hiérarchie des postes créés selon les besoins des secteurs automobile, métallurgique et l'aéronautique. Les EPCI se trouvent dans le premier niveau. Ensuite, on trouve les ENP (écoles nationales professionnelles) pour la formation des techniciens. Après, en continuité des ENP, les écoles d'arts et métiers représentent le niveau supérieur de l'enseignement technique.

L'ENSET, la formation des formateurs des techniciens supérieurs

L'ENET est devenu l'ENSET en 1932. Cela a constitué une « promotion symbolique » (Ibid.) pour l'école. Cette école normale supérieure de l'enseignement technique vise à devenir la Nouvelle Sorbonne des humanités modernes (Le Bot, 2013). Pour répondre à un projet de cette envergure, il fallait d'abord disposer des locaux propres ainsi que de laboratoires et d'ateliers (Chapoulie, 2013 ; Le Bot, 2013 ; Burey, 2013 ; Bodé, 2013).

L'ENSET a continué sa mission de former des candidats au CAPET pendant les années 1930. En 1941, suite à une réforme impulsée par le secrétaire d'Etat à l'Education nationale et à la jeunesse, elle devient l'Ecole Nationale Préparatoire à l'Enseignement Technique ou ENPET pour redevenir ENSET en 1944. A la fin de la guerre, une nouvelle restructuration du système de l'enseignement technique se met en place. Les EPCI ont changé de statut, ils sont devenus Collèges Techniques. Ces institutions de niveau secondaire forment des travailleurs plus qualifiés que les centres d'apprentissage.

Le projet d'installation de l'ENSET à Cachan dans un terrain de vingt hectares a débuté en 1953, plus précisément le 30 mars en présence du ministre de l'Education Nationale et du secrétaire de l'enseignement technique. Il consistait à créer une « cité » pour l'enseignement technique, qui a ouvert ses portes en 1956 (Le Bot, 2013). L'histoire de l'installation de l'ENSET à Cachan débute avec le refus de l'Ecole Polytechnique d'occuper ce campus. L'ENSET a en doublement profité. En premier, elle a bénéficié d'un ensemble de bâtiments et d'équipements originellement destinés aux polytechniciens. Mais fondamentalement, l'ENSET a bénéficié d'un positionnement géographique dans un réseau plus large. L'ENSET a pu reconduire un certain nombre de relations locales de proximité pour inventer sa place comme acteur de l'enseignement et de la recherche.

La fin des années cinquante, l'organisation et la consolidation de l'Enseignement technique avant pas vers la recherche au sein de l'ENSET

En 1959, la réforme Berthoin a réformé les professorats. Par exemple, le CAPET a vu le jour pour recruter des professeurs des ENP et des CT qui deviendront ensemble des lycées techniques. La réforme technique a créé les collèges d'enseignement technique qui ont remplacé les centres d'apprentissage. L'ENSET sera chargé de la formation des professeurs pour les lycées techniques, tandis que l'ENNA préparera les professeurs pour les centres d'apprentissage. La réforme autorise aussi la préparation de l'agrégation à la quatrième année de formation. C'est un point important car la préparation de l'agrégation deviendra la principale mission de l'école.

Avec la préparation de l'agrégation, l'ENSET est officiellement rentrée dans l'élite de l'enseignement supérieur. L'étape suivante sera de rentrer dans l'univers de la recherche.

« A l'époque de l'ENSET, quand je suis arrivé, il n'y avait pas d'agrégation en mécanique. Je crois que je suis la deuxième ou troisième promotion à passer l'agrégation. Avant pour les gens qui nous ont précédés, cela n'existait pas. Ils terminaient avec le CAPET, le CAPET de mécanique. Mais ça s'arrêtait là. J'ai fait d'abord le CAPET, en deuxième année on passait le CAPET, et après en troisième année on passait l'agrégation.

Avec l'agrégation, j'ai été embauché. J'ai passé l'agrégation en 1971. J'ai fait mon service national en 1972. En 1973, j'ai été embauché ici pour être enseignant. Cela m'a permis de faire mon DEA et j'ai connu Jean [Lemaître] et j'ai fait une thèse de 3ème cycle. C'était le cursus naturel des étudiants de l'ENSET. En quatrième année, on pouvait aussi faire le professorat d'ENSAM, donc, il y avait un diplôme qui était un peu au-dessus du CAPET. Il y avait d'autres qui partaient tout de suite enseigner dans les lycées. L'agrégation a commencé soit 1968, soit 1969. J'ai été troisième promotion. »

(Chercheur, entretien)

Le principal promoteur de l'institutionnalisation de la recherche à travers la création d'un laboratoire à l'ENSET a été René Basquin (Le Bot, 2013.). René Basquin, directeur de l'ENSET de 1957 à 1970, était un ancien élève de la section mécanique, spécialiste de la résistance mécanique des matériaux et Inspecteur Général de l'Enseignement Technique. Pendant les années 1960, la recherche au sein de l'école est développée pour être au service de l'enseignement. Ces dynamiques de production et de reproduction des connaissances ont évolué

vers l'indépendance et l'autonomisation de la recherche vis-à-vis de l'enseignement. En 1965, Basquin avait demandé à l'ENSET un budget pour le développement d'un laboratoire en mécanique qui aurait la mission de « combler certaines lacunes en mécanique des solides, promouvoir la recherche relative au frottement solide et à la tenue des matériaux dans des conditions extrêmes d'emploi ; assurer la liaison entre la recherche fondamentale et l'industrie » (Ibid., p.77). Une somme de 45000 francs est finalement allouée à l'école pour la recherche scientifique (Ibid.). La dotation pour la recherche est augmentée de 100 000 francs pour l'année 1968 à 306 000 en 1975 au moment de la constitution du LMT.

Un nouvel élan pour la demande d'un laboratoire de recherche pour l'ENSET se produit sous la direction de Pierre Thureau (Directeur entre 1970 et 1980). Finalement, en 1975 le LMT verra le jour sous la direction de Jean Lemaître. Il a comme mission l'étude de la mécanique, notamment la mécanique des solides. Après la création du LMT, on verra apparaître d'autres laboratoires au sein de l'ENSET³.

Le LMT inaugure une nouvelle étape dans la relation entre l'école et le monde industriel. L'ENET a été une école pour la formation des professeurs de l'enseignement technique. L'établissement de l'enseignement technique a été la réponse de la part de l'Etat Français pour la formation de la classe ouvrière de la nouvelle industrie mécanique de la fin du XIXème siècle. L'ENSET a témoigné de l'évolution de l'enseignement technique par rapport à l'enseignement général. Historiquement, l'enseignement technique a été un domaine moins valorisé que l'enseignement général. L'ENSET marque la promotion de l'enseignement technique dans l'enseignement supérieur. Consolidée dans le monde de l'enseignement supérieur à travers la préparation de l'agrégation, l'ENSET a poursuivi son chemin vers l'institutionnalisation de la recherche. La recherche a été la dernière étape de l'ENSET. Avec elle, l'ENSET est entrée dans le monde de la production scientifique. Mais la production scientifique s'avère dépendante de l'industrie comme l'enseignement l'était au moment de la

³ Le laboratoire d'électricité, signaux et robotiques a été créé en 1976 (devenu en 2002 le laboratoire SATIE - Systèmes et applications des technologies de l'information et de l'énergie). Le LURPA (Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée) a vu le jour en 1981. Entre 1981 et 1983, le laboratoire LIBRA a été fondé pour la recherche en biologie appliquée. Dans la même période, le LIESSE, un laboratoire de physique, ferme cette première vague de création de laboratoires. Les prochains laboratoires seront créés après le changement de nom de l'école de 1985, comme c'est le cas du laboratoire STEF (Laboratoire de Sciences et techniques éducation formation) et du CMLA (Centre de mathématiques et de leurs Applications). Pendant la présidence de Bernard Decomps (1994-2000), on a vu apparaître successivement le laboratoire de photophysique et photochimie des matériaux (LPPM) en 1995, le Laboratoire spécification et vérification (LSV) en 1997, et le Laboratoire de photonique quantique (LPQM) en 1998 et aussi les laboratoires de sciences sociales. Le premier laboratoire sera le GAPP (groupe d'analyse des politiques publiques) qui deviendra l'ISP (institut des sciences sociales du politique) en 2006. En 1997, l'IDHE (Institut et Dynamiques Historiques de l'Economie) est arrivé à Cachan. Il deviendra IDHES (Institut et Dynamiques Historiques de l'Economie et de la Société) en 2013.

création de l'école. En 1985, l'école a une nouvelle fois changé son nom, elle devient l'Ecole Normale Supérieure de Cachan.

La force du réseau local et le développement de la recherche à Cachan

A l'époque de la création du LMT, l'école de Cachan n'était pas une institution orientée vers la recherche. Les jeunes professeurs issus de l'école de Cachan intégraient les filières techniques pour la formation des techniciens supérieurs des différentes branches de l'industrie. Ce que les Cachanais devaient transmettre à ces futurs travailleurs, c'était des connaissances et du savoir-faire.

Sous l'initiative de la direction de l'école, le passage de l'enseignement technique à la recherche s'est produit d'abord par l'introduction des techniques et d'activités que Lemaître développait déjà à l'ONERA (Office Nationale d'Etudes et Recherches Aérospatiales). L'ONERA est une institution importante pour le LMT car Jean Lemaître y a fait connaissance avec Pierre Ladèze. Ainsi, la recherche à l'ENSET a été développée par des acteurs extérieurs, c'est-à-dire des agents formés par d'autres institutions. Cela met en évidence que le développement de la recherche à l'ENSET est le résultat d'un positionnement de cette école dans un réseau territorial entre l'Université de Paris VI, le Conservatoire des Arts et Métiers, l'ONERA et l'Université d'Orsay Paris-Sud. La création du laboratoire LMT met en évidence (1) la façon dont l'ENSET participe à un réseau institutionnel, technologique et (2) les formes de la recherche permanente d'accords entre les agents constituant un réseau sociotechnique (Dodier, 1995). De ce fait, nous ne pouvons pas penser le développement de la recherche en mécanique à Cachan en tant qu'univers fermé. La notion de réseau nous permet de nous détacher de l'image d'un système « dont on pourrait circonscrire les contours » (Ibid., p.145)

Le LMT se distingue par deux types de positionnements. D'abord, le positionnement proprement scientifique de ces chercheurs-fondateurs par rapport aux travaux des autres chercheurs en sciences de l'ingénieur, notamment André Pineau à l'Ecole des Mines et Dominique François à l'Ecole Centrale. Mais fondamentalement le positionnement dans un réseau géographique dans la banlieue sud de Paris. Robert Salais et Michel Storper ont montré dans leur travail sur les mondes de la production en France que la banlieue sud-ouest de Paris concentre une partie importante des centres de recherche et des industriels du secteur aéronautique.

La place stratégique du campus Cachan dans la banlieue sud avait pour objectif de faciliter la circulation des acteurs au sein d'un réseau construit autour de l'Ecole polytechnique. Ce ne sont

pas seulement les locaux, mais surtout les relations de proximité qui ont permis le développement du LMT.

Comme dans le cas des observations de Louvel (2011), nous identifions dans les années 1970 une logique de création et d'imposition d'un projet scientifique de la part d'un « patron », Jean Lemaître, avec une forte légitimité scientifique et une capacité de négociation pluri-institutionnelle (qui inclut le CNRS –Centre National de la recherche Scientifique-, Paris VI, l'Université d'Orsay, l'ONERA et des entreprises de différents secteurs : aérospatiale mais aussi nucléaire ou automobile). Il a compté sur sa légitimité au sein du réseau local industriel et scientifique de la banlieue sud de Paris. Il a pu imposer un projet de recherche à partir des phénomènes mécaniques en train d'être étudiés aux Etats-Unis (plasticité et endommagement) et autour des sujets d'intérêt pour l'industrie (la résistance des pièces chaudes dans des moteurs d'avion, par exemple). Pierre Ladevèze est l'autre « patron » du LMT qui à son tour a employé cette façon de conduire le projet de recherche du laboratoire. Il a su s'imposer en tant que référence à l'extérieur du laboratoire, avec le monde industriel et les instances de gouvernance de la recherche publique, mais aussi imposer sa vision de la mécanique en interne. L'activité de Lemaître et Ladevèze était soutenu par un ensemble d'institutions ancrées dans un territoire.

II. Le LMT et la mécanique des matériaux de Jean Lemaître

Jean Lemaître : de l'ONERA à Cachan

La carrière de Lemaître commence au milieu des années 1940. Avant de rentrer à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers où il a obtenu un diplôme d'ingénieur, il a été élève de l'enseignement technique.

« Vous savez qu'en France l'enseignement technique est séparé de l'enseignement général et en général on met les étudiants moins bons dans le technique. Moi, je suis passé par l'enseignement technique. Mes études, c'était juste après la guerre, 1947, 1946/47 et l'école dans laquelle m'ont mis mes parents c'était une école technique. Puis, je suis rentré dans une école d'ingénieurs technique qui s'appelle l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers. (...)

Il faut que vous sachiez que l'enseignement technique en France a toujours été considéré comme un peu en-dessous de l'enseignement supérieur. A un tel point que quand on dit « école normale » il s'agit de l'école normale de la rue Ulm à Paris. Tandis que pour l'ENS de Cachan on dit toujours l'école normale DE CACHAN qui est considérée pour

certaines comme un peu en-dessous, ce qui n'est pas vrai du tout. Parce qu'en mathématiques par exemple à l'Ecole de Cachan, le niveau de la recherche en mathématiques à Cachan est de haut niveau, aussi haut que celui de l'école normale dite Grande. » (Jean Lemaître, entretien)

Parmi les écoles d'ingénieurs, l'école des arts et métiers a une orientation très appliquée, notamment pour la production et l'usinage. Après avoir obtenu son diplôme d'ingénieur, Lemaître est parti avec une bourse à Caltech en Californie pour an de 1957 à 1958. A son retour de Californie, Jean Lemaître a dû faire deux années de service militaire qui coïncident avec la guerre d'Algérie de 1958 à 1960. En tant qu'ingénieur, il rejoint une division technique en charge des hélicoptères.

[La guerre d'Algérie a été] « une guerre très difficile, psychologiquement très difficile, parce que, même si je n'étais pas très documenté politiquement, c'était facile de s'apercevoir qu'on ne gagnerait jamais cette guerre : une guerre contre des gens qui veulent la liberté. Donc, c'était un moment difficile ». (Jean Lemaître, entretien)

En 1959, il entre à l'ONERA où il travaillera jusqu'à 1974 dans ce centre de recherche aéronautique comme ingénieur pour le militaire et piloté par des militaires. En tant qu'ingénieur, Lemaître a dirigé à l'ONERA un laboratoire de recherche expérimentale sur les matériaux (1959-1974). En même temps, il enseignait au DEA (Diplôme d'Études Approfondies) de mécanique à l'Université d'Orsay. Cela a été un de ses premiers contacts avec les étudiants et les professeurs de l'ENSET.

A côté de son travail, Jean Lemaître a entamé un travail de thèse (soutenue en 1974) sur le comportement des métaux à haute température. M. Mazet, son directeur de thèse, était à la fois le directeur scientifique de l'ONERA et le directeur du DEA à l'Université d'Orsay où il a enseigné. Mazet dirigeait aussi le laboratoire de mécanique d'Orsay. Quelques années plus tard, quand le professeur Mazet prend sa retraite le LMT bénéficiera des équipements du laboratoire d'Orsay.

En 1974, l'ENSET propose un poste de maître de conférences auquel Lemaître postule. Il a obtenu le poste par l'intermédiaire d'un professeur de mécanique de l'école, M. Sistrunk (membre du jury de thèse de Lemaître). La mission pour le poste était de monter le laboratoire de mécanique pour lequel la direction de l'école se battait depuis les années 1960. Lemaître a pris son poste à la rentrée 1974. Après les vacances de Noël, il a choisi le nom Laboratoire de

Mécanique et Technologie et embauché un technicien, William Douzau. Ensuite, Lemaître a attiré les jeunes enseignants de l'école.

« les enseignants un peu âgés qui étaient là, disaient 'on n'a pas besoin de recherche, on est là pour faire de l'enseignement'. Voyez, l'esprit d'école, je ne sortais pas de cette école-là, je sortais d'Arts et Métiers. Pour eux, j'étais un étranger, donc : suspect. Donc, je n'ai attiré avec moi que les jeunes, les premiers : Jean Pierre Cordebois, Jackie Mazars, les premiers qui étaient intéressés. Ils étaient déjà enseignants. » (Jean Lemaître, entretien)

En mécanique, l'ENSET a été historiquement liée à Paris VI où les enseignants logeaient leur recherche. Ces collaborations ont continué suite à la création du LMT. Un fait marquant sera la promotion de Lemaître au poste de Professeur d'Université à Paris VI. Il a conservé son poste de directeur de laboratoire, et ainsi le LMT est passé sous la double autorité de l'ENSET et de l'UPMC. Quelque temps après, le laboratoire a été associé au CNRS. De nos jours, avec l'intégration de l'Ecole à l'Université de Paris-Saclay, le LMT a aussi changé de tutelle. Institutionnellement, le LMT n'est plus lié à Paris VI.

Par rapport à Paris VI, le LMT présentait une approche plus expérimentale. A Paris VI, la mécanique était purement théorique, c'est-à-dire qu'il s'agissait de mathématiques ou de la mise en équation de phénomènes liés à la production d'objets et systèmes techniques. Opposé à l'approche théorique de Paris VI, Cachan s'est positionné comme un laboratoire de mécanique plutôt appliquée. A Cachan, les recherches s'orientent vers la théorie des phénomènes mécaniques, vers l'étude de la physique des matériaux et vers l'expérimentation pour le développement des lois de comportement des matériaux et des structures. Pour réaliser ces travaux de modélisation, depuis sa création, le LMT fait appel aux résultats expérimentaux produits en interne avec les machines disponibles dans le centre d'essais, mais aussi à des résultats produits par d'autres équipes de recherche participant du même réseau et des données obtenues par les autres sites ou par les partenaires industriels.

Jean Lemaître, un « patron » qui a positionné le LMT dans la mécanique française à travers l'endommagement

Le paysage de la mécanique française des années soixante et soixante-dix est marqué par un nombre d'institutions et d'acteurs, l'ONERA et les écoles d'ingénieur traditionnelles seront au cœur de la recherche, et les entreprises connues comme les champions nationaux vont

concentrer la plupart des ressources en termes de recherche et développement -R&D (Pestre, 1999). Dans la recherche universitaire, trois personnalités vont apparaître dans le domaine des sciences de l'ingénieur. Il s'agit de Jean Lemaître, André Pineau et Dominique François.

André Pineau était à l'Ecole des mines et Dominique François à l'Ecole centrale.

« François est resté aux fissures. Pineau plutôt est resté dans la sidérurgie, la formulation des métaux. Mais ils étaient aussi des concurrents. Pineau, le laboratoire des mines est à côté de la SNECMA. » (Jean Lemaître, entretien)

Pour créer sa place dans le monde de la mécanique, le LMT de Jean Lemaître s'est spécialisé dans l'étude d'un phénomène particulier : l'endommagement. Le premier à y réfléchir a été le chercheur russe Kachanov dans les années 1950 (1958). Historiquement, la mécanique a introduit l'endommagement comme une thématique centrale.

« L'endommagement existait déjà, c'est Kachanov qui l'avait développé, qui l'avait fait connu sur le plan mondial. Jean a repris les travaux de Kachanov et les a un petit peu étendu sur d'autres situations. Initialement, Kachanov avait fait l'endommagement pour décrire le fluage tertiaire [NOTE le fluage est défini comme la continuation de la déformation d'un solide après la fin de la sollicitation]. Le fluage tertiaire faisait une courbe qui s'envolait, donc il fallait trouver un phénomène physique pour expliquer que ça se met à partir très haut, à grimper très haut, pour quoi les matériaux se dégradaient très vite à partir d'un certain stade. . . et donc. . . c'est l'endommagement. Il a mis un paramètre qu'il a appelé endommagement et a fait école après.

(...)

D'abord, l'endommagement qui était réservé au fluage a été élargi à tous les autres types de sollicitations : les sollicitations statiques, la fatigue. Il y a tout un courant pour élargir l'endommagement sur tous ces domaines-là. On a fait l'endommagement pour la thermodynamique aussi. C'est Jean qui a souhaité avoir une approche thermodynamique de l'endommagement » (Chercheur, entretien)

Les mécaniciens définissent l'endommagement comme « le seuil à partir du moment où une pièce se casse et comment elle se casse » (Doctorant, entretien). Dans les mots de Lemaître, l'endommagement a un rapport avec des microphénomènes qui se produisent dans un matériau sollicité mécaniquement. Le LMT se lie avec le monde industriel sur la base de cette science de l'endommagement créée par Kachanov et poursuivie en France par Jean Lemaître.

La mécanique des matériaux et l'origine du LMT

Le LMT est le résultat de l'action de personnalités comme Basquin, Thureau, Sistrunk et Lemaître mais aussi de la vocation à la recherche des élèves de l'école. Jackie Mazars et Jean Pierre Cordebois ont été les deux premiers thésards du LMT. Ils ont travaillé sur le comportement des matériaux. Mazars et Cordebois avaient été étudiants de Jean Lemaître au DEA de mécanique à l'Université d'Orsay. Ainsi, Lemaître les a convoqués pour intégrer le laboratoire en 1974.

Jackie Mazars a travaillé sur le béton. Ses travaux sont à l'origine de ce qu'on connaît comme le secteur Génie Civil du laboratoire. Il a été élève de l'ENSET de 1969 à 1972. Avec l'agrégation, il a été recruté en Génie Civil. Tout au début, le laboratoire n'avait pas l'organisation actuelle. Les trois secteurs (Matériaux, Structures, Génie Civil) se sont organisés autour de quelques chercheurs. Le secteur matériaux a été initié et animé par Lemaître, le secteur structures a été créé par Pierre Ladevèze et le secteur Génie Civil a été fondé par Jackie Mazars.

Jean-Pierre Cordebois⁴ a soutenu la deuxième thèse du LMT. Au moment de la création du laboratoire il était déjà enseignant, formellement « Maître assistant ». Cordebois a passé d'abord le CAPET et ensuite l'agrégation en mécanique. Avec l'agrégation, il devait aller enseigner la mécanique dans le secondaire, mais il a été détaché dans le supérieur à l'ENSET. Après son DEA à Orsay sous la direction de Lemaître, il entreprend une thèse de troisième cycle et une thèse d'Etat. Sa thèse de troisième cycle, financée par l'ONERA grâce à Jean Lemaître, portait sur le refroidissement des ailettes des réacteurs des avions. De ce fait, l'orientation industrielle et l'aéronautique sont présentes depuis les débuts du laboratoire.

La constitution du Centre d'Essais (CdE) du LMT et la normalisation des modes de production scientifique

Le centre d'Essais (CdE) est l'espace dans le laboratoire où les chercheurs testent des matériaux pour obtenir des données expérimentales. La première machine du laboratoire a été apportée par la section mécanique de l'ENSET. Il s'agissait d'une machine de fatigue, c'est-à-dire pour solliciter une pièce sur un espace de temps long et avec un effort constant afin de rendre compte de sa résistance. Pour équiper le laboratoire, Jean Lemaître a dû faire appel au professeur Mazet de l'Université d'Orsay. A l'Université d'Orsay, créée en 1970, il y avait un laboratoire de mécanique dirigé par le professeur Mazet (directeur de thèse de Lemaître). En 1976, Mazet a

⁴ Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers.

pris sa retraite et Lemaître a récupéré les machines du laboratoire d'Orsay. Il a aussi recruté un ingénieur : Charles Galar.

« Comme les physiciens d'Orsay n'aimaient pas la mécanique,(...) le laboratoire d'Orsay avait été équipé par l'Université Paris VI. Comme ce monsieur Mazet prenait sa retraite les physiciens d'Orsay ont dit 'on ne veut plus de mécanique', et les mécaniciens de Paris VI 'le matériel est à nous' et les physiciens ont répondu 'ce n'est pas vrai, vous l'avez peut-être payé, mais c'est à nous'. J'étais encore à Cachan encore en ce moment-là. Et on m'a demandé de déménager le laboratoire en cachette. C'était un weekend, un samedi ou un dimanche qu'on a fait le déménagement. J'ai fait une note au président d'Orsay pour dire 'voilà on m'a demandé de faire ça'. Il fallait que je me couvre. Autrement, j'étais un voleur. Il y avait deux ou trois machines et du petit matériel, donc je l'ai déménagé et c'est comme ça qu'on a commencé à Cachan. C'était 1976. Voyez ce que l'on m'a fait faire. » (Jean Lemaître, entretien)

Les choix des équipements et la capacité à obtenir des postes sont le produit en partie des ambitions de recherche et de la « nature » des phénomènes à analyser. Le CdE est un espace de production de connaissances à travers l'expérimentation où la connaissance réalise son destin d'universalité au-delà des situations contextuelles particulières (Henke & Gieryn, 2007). Le CdE est très important pour la constitution du laboratoire comme institution et dépasse l'individualité ou la vision atomisée de l'essai (Knorr-Cetina, 1992).

Constituer un réseau au-delà de la banlieue sud, vers un positionnement du LMT dans la mécanique française

La place de Jean Lemaître dans des réseaux de mécanique en France a joué un rôle très important pour augmenter la visibilité et la renommée du LMT. Sous l'impulsion du CNRS, de 1980 à 1985, Lemaître a dirigé le Groupement d'Etudes Coordonnées (GrECo) sur le sujet des « Grandes Déformations et Endommagement ». Grâce au phénomène de l'endommagement, le LMT a pu tisser un réseau à partir du groupement dans lequel Jean Lemaître occupait le rôle d'organisateur des actions collectives.

« [Le premier groupe] s'intéressait plutôt au formage de métaux, vous savez, au laminage des tôles, les railles des chemins de fer, les tubes. Cela veut dire la sidérurgie. D'autre côté tout ce qui touché la rupture, l'endommagement. Donc j'avais deux sous-

directeurs dont chacun des deux il y avait des thèmes et il y avait de sous-thèmes, des équipes différentes. Chaque équipe avait des industriels et des universitaires.

On a eu beaucoup de thésards. Même si aujourd'hui il y en a partout, il y en a beaucoup qui sont sortis de Cachan. On a été une usine à fabriquer des thèses. Il y en a quelques-uns qui rentrent dans l'industrie et beaucoup qui vont dans l'enseignement. » (Jean Lemaître, entretien)

Ce GrECo a coordonné l'activité d'entre 30 et 40 laboratoires universitaires et équipes de recherche industrielle. Globalement, le regroupement a réuni 300 chercheurs universitaires et industriels. En même temps que Jean Lemaître a coordonné un des plus grands réseaux de la mécanique française, il a laissé sa place de directeur de laboratoire à l'autre personnalité qui a marqué l'histoire institutionnelle et scientifique du LMT : Pierre Ladevèze. Ainsi, en 1980, Jean Lemaître a animé le milieu de la mécanique au niveau national. Le LMT a émergé dans un contexte industriel-scientifique local et s'est construit une place dans la mécanique en France grâce à sa participation à des organisations majeures.

La place privilégiée de Lemaître dans la capacité à organiser les relations entre les réseaux locaux et le réseau global a mis le LMT dans une position favorable pour absorber des ressources. Si le centre d'essais (et le centre de calcul que nous présenterons plus bas) ont un rôle fédérateur de la recherche et de l'industrie au sein du laboratoire, la participation de Lemaître dans le réseau GrECo a été très importante pour construire la position du LMT par rapport aux autres acteurs de la mécanique en France, d'autres laboratoires/écoles ou des acteurs industriels.

III. Le LMT, du laboratoire au cluster de calcul, les matériaux composites et le travail de Pierre Ladevèze

Pierre Ladevèze, le calcul des structures et les matériaux composites

A l'origine, le cœur du laboratoire a été la mécanique des matériaux, c'est-à-dire le développement des lois et des modèles sur leur comportement et leur résistance. La mécanique des structures et des systèmes a été développée quelques années plus tard avec l'arrivée de Pierre Ladevèze. L'objet de la mécanique des structures est de modéliser et de simuler avec des ordinateurs le comportement des matériaux et des systèmes.

A l'âge de 21 ans, il avait déjà obtenu son diplôme d'ingénieur de l'Ecole d'Arts et Métiers et une maîtrise en mathématique de l'Université de Nantes. Avant de commencer sa carrière dans l'enseignement supérieur, il a travaillé en tant qu'ingénieur dans l'entreprise SEREB (Société pour l'Étude et la Réalisation d'Engins Balistiques). La SEREB a été absorbée en 1970 dans l'entreprise Aérospatiale. Cette entreprise est à l'origine de l'entreprise EADS (European Aeronautic Defense and Space company) qui en 2014 deviendra Airbus Group.

Après deux ans dans l'industrie, à l'âge de 23 ans, Ladevèze a obtenu un poste d'Assistant à l'Université Paris VI où il a réalisé ses thèses de 3ème cycle et d'Etat. Néanmoins, il n'a pas abandonné complètement l'industrie, il a conservé un rôle de consultant dans l'aéronautique et l'aérospatiale.

Sous l'impulsion de Jean Lemaître, en 1978, il a obtenu un poste de Professeur des Universités à l'ENS de Cachan pour travailler dans le laboratoire LMT sur le calcul des structures.

« Au début, donc, à Cachan personne n'avait jamais vu un ordinateur. [. . .] Le calcul a été surtout développé par Pierre Ladevèze. On avait des petits calculateurs et c'est plutôt lui qui a modernisé et a fait acheter des gros calculateurs, parce qu'à l'époque les calculateurs étaient de la taille d'une pièce. Le calcul on va donc dire 1980, un grand calculateur, et ces dernières années des petites unités. » (Jean Lemaître, entretien)

Depuis les années 1980, Pierre Ladevèze a travaillé à l'organisation du champ du calcul numérique dans la mécanique française. Par exemple, en 1982, le LMT a organisé les journées d'études « Mécanique et Informatique » avec l'AUM (Association Universitaire de Mécanique). L'AUM est née en 1973 comme l'association qui a rassemblé des sociétés savantes françaises autour de la mécanique de solides et de la mécanique des fluides. Ainsi, le fait d'organiser au début des années 1980 au sein de l'AUM une des premières journées sur le lien entre mécanique et informatique a joué pour le positionnement du LMT comme acteur central de cette partie de la discipline. Grâce à cette position d'organisateur du champ, le LMT a pu bénéficier de liens privilégiés avec l'industrie autour du calcul de structures.

L'évolution de l'informatique a permis le développement de la mécanique numérique et le Professeur Ladevèze a été un acteur fondamental de cette discipline en France. De la même manière que Jean Lemaître, Pierre Ladevèze a animé un réseau GrECo entre 1986-1991. Il s'agit du groupement « Calcul des Structures et Intelligence Artificielle » (CSIA). La dernière manifestation scientifique organisée par le GrECo CSIA a été la conférence « European Conference on New Advances in Computational Structural Mechanics ». La conférence a eu lieu à Cachan du 2 au 5 avril 1991. Le GrECo CSIA a regroupé 21 équipes de recherche

universitaires et 15 équipes de recherche industrielle. Les problématiques industrielles ont été le point de départ des recherches. A la fin du GrECo CSIA, les acteurs de la mécanique des structures ont constitué l'association française de calcul des structures (AFCS). La création de l'AFCS devient une forme de positionnement stratégique du LMT dans le domaine de la mécanique numérique. De la même façon que le GrECo Grandes Déformations, ce groupement autour des problématiques de la mécanique informatisée va être déterminant pour définir la place du LMT dans les échanges entre les acteurs de la recherche, les acteurs publics et le monde industriel.

Les années 1980 : la construction du centre de calcul (CdC)

Créé par Pierre Ladevèze, le CdC est l'espace dans le laboratoire où les chercheurs se consacrent au calcul des structures et à la mécanique numérique. Le CdC a commencé à se développer au début des années 1980. Le premier responsable du CdC a été un enseignant-chercheur, Michel Poss. Dans la première configuration du CdC, il y avait aussi un chercheur en informatique, Jean-Marc Fouet, qui travaillait en intelligence artificielle. En 1982, Phillip Roux, alors âgé de 24 ans, est arrivé au LMT pour travailler à côté de Michel Poss sur le premier calculateur du LMT, une machine appelée Norsk Data. M Poss et M Fouet voulaient une personne pour s'occuper de la machine et ainsi la direction du laboratoire a embauché M. Roux (ou Frisou pour tous les membres du laboratoire)⁵. Depuis 1985 jusqu'à sa disparition en 2019, il a assuré la tâche de responsable du CdC après avoir obtenu son doctorat en 1989.

« La première machine était une armoire comme un congélateur, un frigo, un gros machin. A côté, tu as des disques. C'était gros comme une machine à laver. Les disques étaient des plateaux. Et ça, tout ça, c'était 75 Mo. C'est ridicule. On avait là du 64 Ko de mémoire, des trucs tout petits, je ne me souviens plus, mais c'était ridicule. »
(Ingénieur, entretien)

Pendant deux ans, les chercheurs ont travaillé avec la Norsk Data. Ils disposaient de terminaux alphanumériques, c'est-à-dire un écran et un clavier qui permettaient d'introduire des caractères alphabétiques et des chiffres. Le CdC disposait aussi d'une machine appelée Tektronix qui permettait de réaliser des dessins des courbes.

⁵ Frisou a été un acteur fondamental pour la cohésion interne du laboratoire. Sa mort a bouleversé la vie du laboratoire.

Equiper le CdC a aussi impliqué de faire face à des problèmes liés au marché, aux fournisseurs français et étrangers et aux restrictions budgétaires.

« Les VAX étaient les petits calculateurs scientifiques américains qui existaient partout dans les labos, même dans les centres de calculs des entreprises. [. . .] C'était des petits calculateurs qui coûtaient beaucoup moins cher que les IBM ou d'autres calculateurs, les Control Data, les Fijitsu, tous ces gros calculateurs. » (Ingénieur, entretien)

Au cours des années 1980, en France, le Mini 6 s'imposait comme le ordinateur national. Néanmoins, il n'était pas le premier choix des chercheurs. Ainsi, une autre variable à prendre en compte est la politique publique de protection de la production française. D'après notre interlocuteur, certains laboratoires ont été contraints d'acheter un type d'équipement de production française. Pierre Ladevèze a su contourner ces contraintes et à la fin des années 1980, le laboratoire a acquis des « stations de travail ». Il s'agissait des postes de travail qui équipaient les bureaux d'ingénieurs. Néanmoins, il s'agissait de machines pour le calcul scientifique reliées à des serveurs ou à de grands ordinateurs.

Ces premières années peuvent être considérées comme des années d'exploration du milieu des équipements à la recherche de la puissance de calcul. Équiper le CdC demandait d'effectuer des choix stratégiques pour le projet de recherche du laboratoire, de le positionner dans le domaine du calcul de structures et d'attirer des partenaires industriels.

Les années 1990 : le développement du Calcul Parallèle pour la mécanique

Au cours des années 1990, Pierre Ladevèze a orienté le laboratoire vers un type de modélisation et de calcul, le « calcul parallèle ». Il s'agit d'une méthodologie de calcul qui intéresse particulièrement l'industrie. Il permet de réduire le temps que les ingénieurs consacrent au calcul et à l'analyse des matériaux et des structures mais requiert des ordinateurs spéciaux : les machines parallèles. Les machines parallèles permettent au chercheur/ingénieur de diviser, pour certains problèmes, son calcul pour avoir une résolution plus rapide en utilisant plusieurs processeurs avec l'hypothèse que chaque point de la structure est « indépendant ».

La première machine parallèle acquise par le laboratoire s'appelait Alliant et date de 1996. Ensuite, le laboratoire a eu une machine appelée Ncube et après une autre appelée Silicon Graphics (projet partagé avec l'Ecole Centrale). Avec ces machines Pierre Ladevèze et son équipe ont commencé à écrire des équations parallélisables pour la mécanique. Autrement dit, ils ont dû écrire les équations pour les décomposer en sous-domaines qui seront ensuite traités indépendamment.

« Pierre Ladeveze et tout ça ont vraiment écrit des équations parallélisables pour la mécanique. Les équations de la mécanique à l'ancienne, ce sont des équations globales et ça ne se prête pas au parallélisme. Donc il faut trouver une manière d'écrire parallèle la mécanique, donc décomposer en sous- domaines qu'on va pouvoir traiter indépendamment et dialoguer de temps en temps, mais traiter indépendamment. »
(Ingénieur)

Cela montre que la technique et la théorie doivent coïncider dans la pratique du calcul. L'écriture, le développement d'un type langage technique fait partie des missions de la recherche. Ainsi, Pierre Ladevèze et son équipe ont développé les équations adaptées à la machine afin de contribuer au développement de « la même bonne langue » qui lie la pratique et la de l'ingénieur recherche (Vérin, 1993, p.272).

Les années 2000 : le développement du cluster de calcul

Au début des années 2000, le LMT commence à travailler avec un cluster de calcul. Ainsi, s'ouvre une étape de stabilité des équipements. En termes de puissance, il s'agit d'un méso-cluster de calcul. Le cluster est une machine de 80 nœuds, à peu près 1000 cœurs (processeurs). Un nœud est le terme qui définit une unité de calcul. Le cluster a reconfiguré certaines pratiques liées au calcul. La complexité des machines, de systèmes et des réseaux a redéfini la fonction des ingénieurs responsables du centre de calcul. Avant l'installation du cluster, ils travaillaient sur les machines mais aussi sur des problématiques liées au calcul scientifique par éléments finis⁶.

Depuis sa création, le centre de calcul a évolué au rythme des innovations en informatique. La première machine avait une mémoire de 75Mbit ; le cluster en a 70Tbit, soit 70.000.000 Mbit. Cela veut dire que la possibilité d'analyser des problèmes de plus en plus complexes a augmenté de forme exponentielle. La puissance des nouvelles machines permet d'affiner les réponses et la précision des calculs et des simulations. La précision des simulations des systèmes techniques dépend en partie des moyens de calcul. Pour cela, la puissance des machines est aussi importante que la qualité des modèles et des codes. Les nouvelles machines ont aussi modifié la place des chercheurs et des techniciens dans le processus de résolution des problèmes.

⁶ La méthode des éléments finis est la méthode de calcul la plus répandue dans le domaine de la mécanique des solides.

« Avant, on faisait du code éléments finis, du calcul numérique. On a abandonné, on ne peut plus. On fait de l'info. Le métier a changé. Le métier qu'on fait n'existait pas quand on a commencé à travailler. Avant on faisait du calcul scientifique, maintenant on fait du system engineering. » (Ingénieur, entretien)

De nos jours, le LMT partage un cluster de calcul fusionné avec l'Ecole Centrale Supélec. Ce cluster de calcul a été inauguré le 23 février 2017. Le cluster Fusion a été installé à l'Institut du Développement et des Ressources en Informatique Scientifique (IDRIS) du CNRS. Ce cluster compte avec 3500 cœurs (le cluster du LMT en a 1000). Il a été financé par le Contrat Plan Etat Région (CPER). Ainsi, dans le cadre de l'Université Paris-Saclay, le LMT a repris les collaborations en termes de calcul après l'expérience de l'achat de la machine parallèle Origin 2000 en partenariat. Nous avons vu que le laboratoire a dû abandonner après l'achat de la machine NexT de la part de l'école.

Les matériaux composites

Au moment de la création du LMT, les chercheurs travaillaient sur les matériaux métalliques et au béton. L'étude des matériaux composites sera introduite par Pierre Ladevèze. La complexité structurelle des matériaux composites et les possibilités de calcul des nouvelles techniques de la mécanique informatisée ont permis le développement des recherches et la généralisation de l'utilisation ses matériaux dans l'industrie aéronautique. L'intérêt du LMT pour les matériaux composites trouve son origine dans l'histoire et le parcours de Pierre Ladevèze.

« J'ai toujours eu des relations privilégiées avec le spatial et donc c'est eux qui m'ont demandé quand je suis arrivé dans ce laboratoire de me lancer dans les composites. Le laboratoire à l'époque s'intéressait beaucoup à l'endommagement, donc l'endommagement plus du côté métallique. Il y avait des gens comme Jean Lemaitre. Puis, il y a eu aussi le côté béton. Donc moi je me suis intéressé à l'endommagement pour les composites. » (Pierre Ladevèze, entretien)

L'aéronautique aura une place centrale dans la vie du laboratoire. Par exemple, ce sera plus tard, en 2006, que la Fondation EADS attribuera à Pierre Ladeveze sa première Chaire sur le sujet des matériaux composites et la mécanique computationnelle avec 1,5 millions d'euros pour 5 ans. La thématique de la chaire était : « Advanced Computational Structural Mechanics ». De ce fait, Pierre Ladevèze a su « produire », à travers la mise à l'épreuve des matériaux

composites, pour un destinataire industriel tout en concevant et en (re)produisant/(re)créant les modes de (re)production scientifiques (et les dispositifs de mesure de la performance scientifique, c'est-à-dire la production de thèses, d'articles, de conférences, d'enseignements, la participation dans des comités ou des sociétés savantes).

Le calcul scientifique passe, en grande partie, par la maîtrise des matériaux composites. Les matériaux composites sont un type particulier de matériau. Ils ont bouleversé l'industrie aéronautique (Carpentier, 2010). Plus encore, ils ont représenté une révolution dans l'industrie aéronautique. Ces matériaux présentent de « bonnes » propriétés mécaniques (pour ce qui est de la résistance) mais ils sont relativement lourds. De ce fait, l'industrie se trouve en permanence à la recherche de matériaux qui tout en présentant des propriétés mécaniques aussi bonnes ou meilleures que celles des alliages, soient aussi plus légers et ainsi soient en mesure de faire diminuer la consommation de carburant des avions (Du Puy de Goyne, et al. 2005). Cette recherche devient une obsession suite à la crise du pétrole de 1973 (Gold, 2011).

Les composites se font avec des plis de fibres. Il s'agit d'un matériau hétérogène composé de résines et de renforts. Les renforts, ce sont souvent les fibres ; la résine est de la colle. Les fibres apportent les propriétés mécaniques du matériau. Il y a différents types de composites, mais ceux qui sont utilisés dans l'aéronautique s'appellent de « haute performance ». Ce type de composite est étudié par Pierre Ladevèze. La centralité de ses recherches sur ce genre de composite peut expliquer l'existence des liens avec l'aéronautique et le spatial qui datent du début des années quatre-vingt-dix et qui n'ont pas cessé de s'approfondir.

Conclusion

Dans cet article nous avons parcouru l'histoire du LMT Cachan, d'abord dans l'histoire de l'ENS de Paris-Saclay dans ses différentes configurations (ENET, ENSET, ENS de Cachan). Nous avons documenté l'histoire de l'ENS Paris Saclay comme acteur de l'enseignement technique qui s'ouvre vers la recherche. Nous avons mis en avant l'importance de la participation de l'Ecole dans le réseau de la recherche et de l'industrie constitué au sud de Paris pour la constitution et le développement du laboratoire. Ensuite, nous avons retracé l'histoire du LMT à travers l'élaboration du discours de ses deux fondateurs et les premiers chercheurs et étudiants attirés pour Jean Lemaître. En fait, nous avons reconstruit une histoire du LMT sur la base d'une mosaïque des récits des acteurs que nous avons interviewés. Nous sommes partis des deux personnalités qui ont donné forme aux échanges avec l'industrie aéronautique et qui ont dessiné la place du LMT dans le paysage de la mécanique et la technologie en France. Avec

eux, avec leurs actions, avec leurs connexions, le laboratoire a émergé autour d'un ensemble de problématiques de recherche liées aux matériaux, au calcul et à l'expérimentation. Nous avons également reconstruit l'histoire matérielle du laboratoire à travers la constitution du Centre de Calcul et du Centre d'Essais comme les espaces dans lesquels se réalise la coopération avec l'industrie. C'est pour cela que nous avons mis l'accent sur l'ensemble de machines, sur la configuration des machines qui ont permis l'émergence de certain nombre de problématiques de recherche et qui ont aussi permis aux chercheurs de tisser des liens avec les différents acteurs de la recherche industriel. Le laboratoire a été dessiné sur la base des configurations matérielles et par les connexions que cet univers d'instruments, machines et ordinateurs rend possibles. La configuration particulière des machines et des calculateurs permet au laboratoire d'aborder un certain nombre de problèmes. Sur les possibilités que son organisation matérielle et son histoire offrent, le laboratoire s'est créé une place très définie pour répondre aux besoins des industriels du secteur aéronautique.

Nous avons présenté le LMT comme une institution au sein de l'ENS Cachan. Les personnalités de Jean Lemaître et Pierre Ladevèze ont rassemblé des acteurs du monde de l'industrie et d'autres acteurs de la recherche, et impulsé de manière décisive une dynamique de recherche dans une école initialement tournée vers l'enseignement secondaire. Avec cet article, nous avons essayé de placer, à côté des études des laboratoires, un type de description institutionnelle marquée par l'environnement matériel et l'action des hommes qui ont orienté la pratique de la recherche et l'ouverture au monde industriel, particulièrement au secteur aéronautique. Ainsi, la modélisation des matériaux composites et le calcul numérique qui font le lien entre le LMT et l'aéronautique reposent sur la configuration particulière de calculateurs, des ressources matérielles d'obtention de données expérimentales en interne et les réseaux de coopération et de socialisation des résultats expérimentaux (universités et industrie). Néanmoins, la configuration matérielle préfigure des transformations dans l'ordre social de production des connaissances. La création d'espaces de production scientifique que constituent le CdE et CdC au sein du laboratoire accompagne alors son développement. Les techniciens, les types des sujets de recherche et de thèses, le profil des partenaires industriels et universitaires ont un lien très fort avec la morphologie des machines et des calculateurs. Le calcul parallèle a obligé à transformer les modes d'écriture. L'introduction du cluster de calcul a transformé le rôle des ingénieurs informatiques et le développement de la mécanique numérique à des fins industrielles poussent à créer des relations entre les chercheurs, les doctorants et les ingénieurs des entreprises. Lors des différentes époques nous avons vu une dépendance entre les moyens de recherche et les types de produits issus du laboratoire.

Bibliographie

Bodé, G. (2013). Former des enseignants pour "le technique" ?, Dans *L'ENS Cachan : Le siècle d'une grande école pour les sciences, les techniques, la société*. (pp.37-53), Rennes : PU Rennes.

Brucy, G. (2013). Le Centre National de l'Enseignement Technique du pôle de référence à "la coquille vide", dans *L'ENS Cachan : Le siècle d'une grande école pour les sciences, les techniques, la société* (pp.85-112), Rennes : PU Rennes

Carpentier, J. (2010). *Cent vingt ans d'innovations en aéronautique*. Paris : Hermann.

Chapoulie, J-M. (2013). L'ENS Cachan, de l'enseignement technique à l'université du XXIème siècle. Dans *L'ENS Cachan : Le siècle d'une grande école pour les sciences, les techniques, la société* (pp.25-36), Rennes : PU Rennes

De Goyne, T., Plays, Y., Lepourry, P., & Besse, J. (2005). *Initiation à l'aéronautique*. 4e édition. Toulouse, France : Cépaduès.

Dodier, N. (1995). *Les hommes et les machines : la conscience collective dans les sociétés technisées*. Paris : Métailié.

Gold, D. (2011). Le Centre de Recherches de Voreppe mobilisé pour l'allègement des avions : le projet aluminium-lithium chez Pechiney dans les années 1980. *Cahiers d'histoire de l'aluminium*, Vol.46–47, no.1, 114–141.

Henke, C.R. & Gieryn, T. (2007). Sites of Scientific Practice : The Enduring Importance of Place. In *The handbook of science and technology studies*. (pp.353-376) Cambridge : MIT Press.

Hild, F. (1998). *Endommagement, rupture et changements d'échelles dans les matériaux hétérogènes* (HDR, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI).

Kachanov L.M., (1958). *Time of the Rupture Process under Creep Conditions*. Izvestiia Akademii Nauk SSR (Otdelenii Technicheskikh Nauk), 8, p. 26 – 31.

Knorr-Cetina, K. (1999). *Epistemic cultures : how the sciences make knowledge*. Cambridge : Harvard University Press.

———. (1992) The Couch, the Cathedral, and the Laboratory : On the Relationship between Experiment and Laboratory in Science. In *Science as practice and culture*. (pp.113-138) Chicago : University of Chicago Press.

———. (1981) The manufacture of knowledge : an essay on the constructivist and contextual nature of science. Oxford : Pergamon Press

Latour, B., & Woolgar, S. (1988). *La vie de laboratoire : la production de faits scientifiques*. Paris, France : la Découverte.

Le Bot, F. (2013). Quelle place pour l'ENET-ENSET-ENPET-ENS Cachan ? (1891/1912-2012/2018). Dans *L'ENS Cachan : Le siècle d'une grande école pour les sciences, les techniques, la société*. (pp. 55-83), Rennes : PU Rennes.

Lembré, S. (2013) De l'efficacité du lobbying à la mise en ordre du technique l'association française pour le développement de l'enseignement technique. Dans *L'ENS Cachan : Le siècle d'une grande école pour les sciences, les techniques, la société*. (pp. 247-261) Rennes : PU Rennes

Louvel, S. (2011). *Des patrons aux managers : Les laboratoires de la recherche publique depuis les années 1970*. Rennes : PU Rennes.

Lynch, M (2014). "From normative to descriptive and back again" In *Science after the practice turn in the philosophy, history, and social studies of science*. (pp.93-113) New York : Routledge.

———. (1985). *Art and Artifact in Laboratory Science : A Study of Shop Work and Shop Talk in a Research Laboratory*. London, Boston : Routledge.

Lynch, M., Livingston, E., & Garfinkel, H. (1983). Temporal order in laboratory work. In *Science observed : perspectives on the social study of science*. (pp.205- 238), London : Sage.

Marchand, P. (2005). L'enseignement technique et professionnel en France 180-1919. *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques*, no.45

Ministère de l'Education Nationale - Direction de l'Enseignement Technique, éd (1958).
Panorama de l'enseignement technique. Paris : Impr. Nationale.

Pelpel, P., Troger, V., & Lelièvre, C. (1993). *Histoire de l'enseignement technique*. Paris : Hachette

Pestre, D. (1999) *Cahiers pour l'histoire du CNRS, 1939-1989*, numéro 8 : Louis Néel, le magnétisme et Grenoble. Paris : CNRS Editions.

Salais, R., & Storper, M. (1993) *Les mondes de production : Enquête sur l'identité économique de la France*. Paris : Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.

Shinn, T. (1980). Division du savoir et spécificité organisationnelle. Les laboratoires de recherche industrielle en France. *Revue française de sociologie* Vol.21, no.1, 3- 35.

Verin, H. (1993). *La Gloire des ingénieurs*. Paris : Editions Albin Michel.

Vinck, D. (2007a). *Sciences et société : sociologie du travail scientifique*. Paris, France : A. Colin.

———. (2007b) Retour sur le laboratoire comme espace de production de connaissances. *Revue d'anthropologie des connaissances*, Vol.12, no.2, 159–165

Loi du 25 juillet 1919 Dite Astier, Codifiée, Organisation de l'enseignement technique industriel et commercial (n.d.). Accessed February 24, 2017.

Loi n°68-978 du 12 novembre 1968 d'orientation de l'enseignement supérieur, 68-978 (1968).