



HAL
open science

**Fayol, Guillaume, Chevenard - la Science, l'Industrie et
l'exploration de l'inconnu : logique et gouvernance d'une
recherche conceptive**

Pascal Le Masson, Benoit Weil

► **To cite this version:**

Pascal Le Masson, Benoit Weil. Fayol, Guillaume, Chevenard - la Science, l'Industrie et l'exploration de l'inconnu : logique et gouvernance d'une recherche conceptive . *Entreprises et Histoire*, 2016, 83, pp.79-107. hal-01389625

HAL Id: hal-01389625

<https://hal.science/hal-01389625v1>

Submitted on 3 Nov 2016

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.

Pascal LE MASSON, Professeur, Centre de Gestion Scientifique – i3 UMR CNRS 9217 ; MINES ParisTech – PSL ResearchUniversity

Benoit WEIL, Professeur, Centre de Gestion Scientifique – i3 UMR CNRS 9217 ; MINES ParisTech – PSL ResearchUniversity

Chapeau : La définition d'une relation étroite entre science et industrie est une contribution majeure du « tournant fayolien ». Dans le cadre du sauvetage puis du développement des usines de Commentry-Fourchambault et Decazeville entre 1890 et 1920, Henri Fayol et les deux grandes figures de son « état-major », Charles-Edouard Guillaume et Pierre Chevenard ont été des pionniers d'une forme de recherche originale que l'on peut interpréter grâce aux théories de la conception contemporaines. Afin d'explorer l'inconnu et ses multiples possibilités, ils ont développé un système de gouvernance dédié à la production de connaissance à caractère hautement génératif. A l'heure de l'innovation intensive et de l'accent porté sur les services « R&D », cette logique de recherche « conceptive » présente un modèle de recherche qui éclaire les débats contemporains. .

Introduction

Encore aujourd'hui, à l'heure de l'open innovation et de la généralisation des directions de l'innovation, la façon dont les laboratoires de recherche d'une entreprise contribuent à l'innovation fait débat. Certes les travaux récents ont fait justice d'une recherche qui ferait à elle seule l'innovation. Mais on ne saurait en déduire que l'entreprise innovante peut se passer de recherche, surtout quand les évolutions scientifiques et techniques sont si dynamiques. Faute de bons modèles de relation entre recherche et gouvernance de l'innovation, les laboratoires se trouvent ainsi écartelés entre un asservissement à des stratégies d'innovation menées par d'autres ou une mission d'innovation qu'ils n'ont pas forcément les moyens de remplir.

L'histoire nous apprend que cette mise sous tension vient de loin. Lors de la création des laboratoires de recherche dans les entreprises, et surtout lors de la création des laboratoires de recherche centraux, au début du XX^{ème} siècle, de très nombreux débats ont lieu pour justifier ces investissements et clarifier des modèles d'organisation et de pilotage. Ainsi en 1920, Clarence J. West dresse une « reading list on scientific and industrial research and the service of the chemist to industry » pour le National Research Council américain¹. Et cette liste, pourtant limitée à la période 1908-1920, ne contient pas moins de 457 entrées. Comme le soulignent les nombreux travaux existants sur ces laboratoires du début du XX^{ème} siècle, coexistent alors de nombreux modèles de recherche pour l'innovation. Quels étaient ces modèles ? Sachant que tous ne vont pas forcément résister à l'épreuve du temps, lesquels se sont imposés et lesquels pourraient encore servir de référence aujourd'hui ? L'objectif de ce papier est de contribuer à éclairer ces questions.

¹West, C. J. (1920). "A reading list on scientific and industrial research and the service of the chemist to industry." Reprint and Circular Series of the National Research Council, 9, (April 1920), pp.

En particulier, parmi les nombreux laboratoires de recherche centraux qui voient alors le jour, celui de Pierre Chevenard, à Imphy, pour la compagnie Commentry-Fourchambault et Decazeville, présente l'intéressante particularité d'avoir été créé à l'instigation d'Henri Fayol. Henri Fayol est considéré comme un des pères des sciences de gestion et son ouvrage *Administration Industrielle et Générale* (AIG) fait encore aujourd'hui partie des ouvrages de référence de la discipline, notamment aux Etats-Unis. On pourrait donc penser que Fayol fait, dans son ouvrage, la théorie d'une pratique où la gestion de la recherche aurait une bonne place. Mais ce n'est pas ce que l'histoire a retenu – et les corpus des spécialistes de gestion de la recherche ou de gestion de l'innovation ignorent aujourd'hui complètement l'ouvrage de Fayol. Pourtant, au tournant du XIX^{ème} siècle, Fayol redresse la compagnie Commentry-Fourchambault et Decazeville, notamment par une politique d'innovation intensive, en lien avec Edouard Guillaume (prix Nobel 1920) et en s'appuyant sur le laboratoire de recherche qu'il a demandé à Pierre Chevenard de créer en 1909. Comme le montre Armand Hatchuel (voir ce numéro), il y a donc un Fayol à redécouvrir, le Fayol dirigeant d'entreprise innovante. Dans cette perspective, le laboratoire de recherche demandé par Fayol et la théorie de la science administrative du même Fayol s'éclairent l'un l'autre et permettent de mettre au jour un modèle original de recherche que nous appellerons recherche conceptive. Ce modèle consiste à piloter la recherche pour l'exploration systématique de l'inconnu, dans une perspective de générativité forte. On peut le contraster avec un modèle de recherche résolutoire, qui modélise l'existant et minimise la générativité. Nous verrons que ce second modèle a eu tendance à s'imposer à partir des années 1950. Mais nous verrons que le modèle de recherche conceptive présente des traits particulièrement intéressants pour les questions industrielles contemporaines.

Dans un premier temps nous dresserons un tableau rapide des différentes formes de « laboratoires de recherche » entre la fin XIX^{ème} et le début du XX^{ème} siècle. A l'aide d'un modèle formel inspiré des théories contemporaines des processus génératifs, nous verrons que si ces formes partagent toutes l'ambition de croiser « la science et l'industrie » elles peuvent différer dans leurs logiques *génératives*. Le modèle nous aide ainsi à élaborer un cadre analytique adapté. Dans un second temps, grâce à ce modèle analytique, nous étudions le modèle de recherche mis en place à Imphy par Henry Fayol, Charles-Edouard Guillaume et Pierre Chevenard et nous le comparons à celui élaboré au même moment par C.E. Kenneth Mees, directeur de la recherche de Kodak et auteur d'un ouvrage de référence sur « l'organisation de la recherche scientifique industrielle »². La comparaison montre l'importance de deux notions clés pour la recherche conceptive : la recherche comme acteur majeur de l'État-Major dans la perspective d'une exploration de l'inconnu ; et les programmes d'action non seulement comme guide de la recherche mais aussi comme résultat de son action. Dans un troisième temps nous nous plaçons en 1950 et voyons comment la nouvelle édition de l'ouvrage de Mees et les discours de Chevenard sur l'organisation de la recherche en France conduisent à un modèle de recherche résolutoire qui, tout en valorisant encore une logique d'innovation *techno-push*, remplace la notion d'exploration de l'inconnu par un calcul de probabilité de découverte et encadre en fait les explorations de la recherche en cantonnant l'exploitation de ses résultats à l'amélioration des produits existants.

1. 1860-1920 : variété des formes de rapport science-industrie – l'enjeu de la générativité

1.1. La science et l'industrie

Avant même de parler des formes, précisons un problème de vocabulaire. A strictement parler, Fayol n'a rien dit sur la R&D, ni sur l'innovation ni sur la technologie, ni sur la recherche

²Mees, C. E. K. (1920). *The Organization of Industrial Scientific Research*, First edition, McGraw-Hill, New York. 198 p.,

industrielle, ni même sur la recherche tout court – la seule occurrence de « recherche » dans *Administration Industrielle et Générale* concerne la recherche du progrès. On ne saurait alors parler de laboratoires de recherche. Ces mots ne sont pas ceux de Fayol ni de ses contemporains. Pour illustrer ce basculement sémantique, nous utilisons Google Ngram – cet outil, certes grossier, donne la fréquence des mots (en %) dans le corpus des ouvrages Google Books d'une année (voir figure ci-dessous).

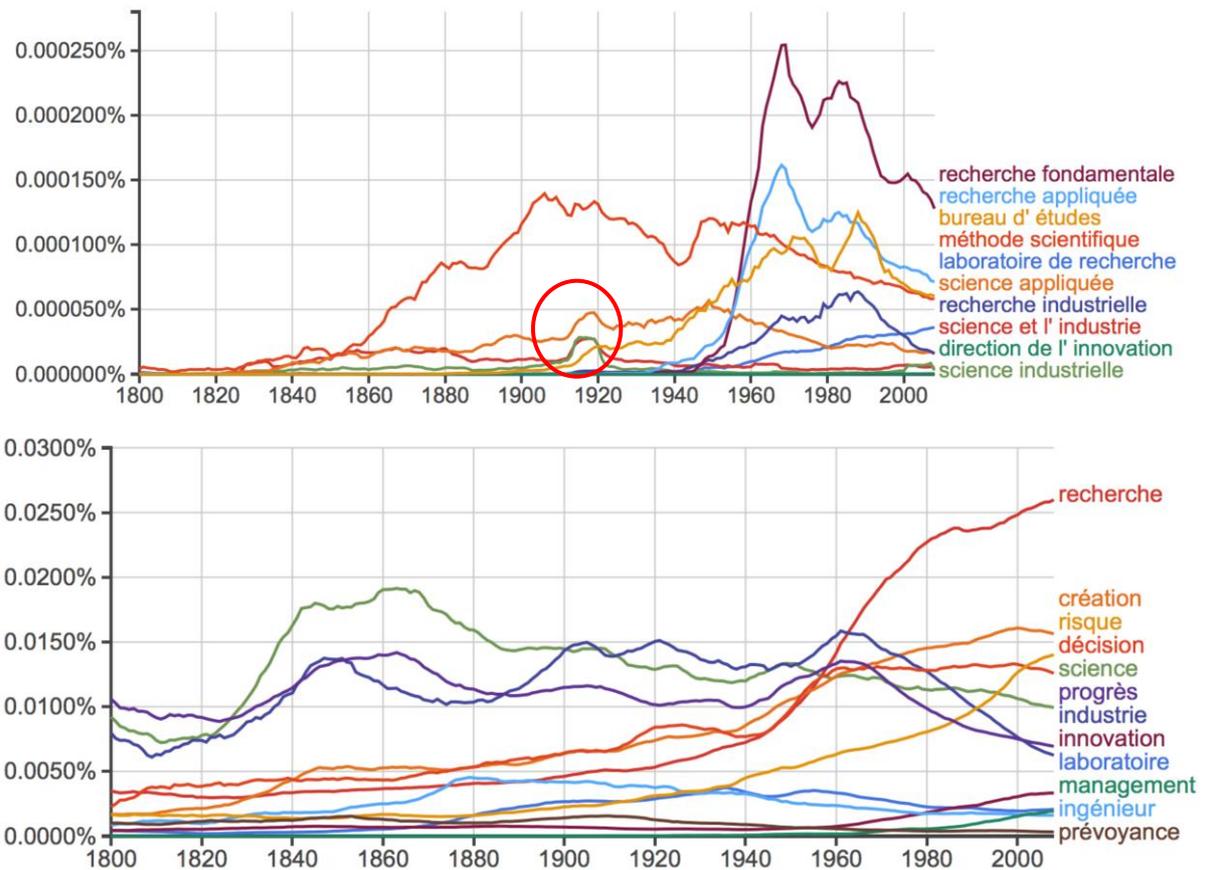


Figure 1 : Evolution de la fréquence relative de quelques termes classiques dans le corpus Google Books au cours du temps (outil Google Ngram) (langue française)

Les mots d'aujourd'hui sont plutôt : innovation, R&D, recherche, décision, *management* ou risque ; les mots de l'époque de Fayol sont plutôt : science, industrie, laboratoire, ingénieur, savant, progrès et prévoyance. La rupture a lieu dans les années 1960. Aussi les phénomènes que nous allons étudier dans ce papier ont été pensés avec les mots de leur temps, le langage de la fin du XIX^{ème} et du début XX^{ème}. Les modèles qui vont s'imposer dans les années 1950 sont pensés avec ces mêmes mots puis seront masqués par un autre langage, largement inspiré de l'économie (R&D, décision, risque, optimisation, réduction d'incertitude), un langage avec lequel ils sont cohérents mais qui, comme on le verra, rend aussi difficile l'explicitation des anciens modèles alternatifs – qui, eux, ne s'inscrivent pas dans ce langage de l'optimisation et de la réduction d'incertitude.

Autre difficulté : les mots anglais et français n'ont pas les mêmes correspondances hier et aujourd'hui. C'est particulièrement vrai pour recherche : la langue anglaise connaît les laboratoires de recherche (*researchlaboratories*) qu'ignore largement le français de la fin du XIX^{ème} siècle. De sorte que le « *researchlab* » est un bon traceur des débats américains ; mais son absence dans le contexte français pourrait expliquer l'ignorance dans laquelle on tient les travaux de Fayol quand on aborde le « *research management* ». Pourtant si Fayol ignore les laboratoires de recherche, il est en revanche très sensible au grand débat de

l'époque : la relation entre science et industrie, qui court tout au long de la fin du XIX^{ème} siècle pour connaître ensuite une apogée particulièrement nette entre les années 1905 et 1920 – précisément lorsque Fayol écrit son ouvrage et crée son laboratoire (voir la « bosse » très nette sur les graphes ci-dessus).

En outre, en langue anglaise se lit très nettement l'émergence du nouveau langage organisationnel et institutionnel : à partir de 1900, « *engineering department* » et « *sales department* » s'imposent dans le vocabulaire ; à partir de 1920 « *researchlab* » et « *industrialresearch* ». « *Marketing department* » se généralise après 1950, « *design studio* » plutôt après 1980. Les tout nouveaux mouvements d' « *open innovation* » et d' « *innovation department* » dans les années 2000.

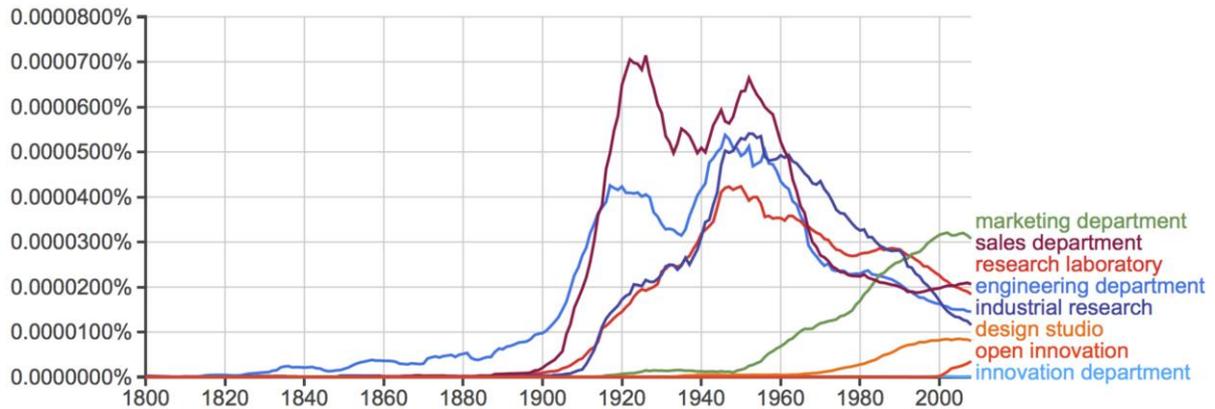


Figure 2 : Evolution de la fréquence relative de quelques termes classiques dans le corpus Google Books au cours du temps (outil Google Ngram) (langue anglaise)

Variété des formes

Fin XIX^{ème} début XX^{ème} les formes industrielles que nous croyons classiques (R&D, marketing) ne sont donc pas en place et le rapprochement entre la science et l'industrie prend une variété de formes. Sans faire ici une étude complète (d'ailleurs complexe car les sources sont très dispersées), on peut rappeler quelques éléments : à partir du milieu du XIX^{ème}, la montée de secteurs « *science-based* » (comme la chimie ou la pharmacie) ou les évolutions de la métallurgie conduisent à créer des laboratoires de contrôle de production ; en parallèle l'amélioration des produits et des *process* est souvent confiée à des consultants extérieurs (Caro pour BASF avant 1877 en Allemagne, Le Châtelier en France dans les années 1880 pour Pavin de Lafarge) ou relève directement du fondateur de l'entreprise (par exemple Eugen Lucius, fondateur de Hoechst). Ces consultants ont parfois eux-mêmes des laboratoires, dans des Ecoles ou des universités (comme Le Châtelier à l'Ecole des Mines et au collège de France) voire un laboratoire privé comme Floris Osmond. A partir des années 1870 (1877 chez BASF, 1878 chez Hoechst, 1876 à la PennsylvaniaRailroad,...) sont créés des laboratoires qui font plus que le simple contrôle de production et consistent plutôt à intégrer à l'entreprise les services remplis par des consultants extérieurs. Un des plus célèbres est le laboratoire de Charles E. Dudley à la PennsylvaniaRailroad (1876), dont les premières analyses vont par exemple provoquer la mise au point de nouvelles normes qualité sur le marché des rails d'acier. Ces laboratoires sont souvent limités à un chercheur et quelques assistants. Mais ils grossissent peu à peu. A la fin des années 1890, les laboratoires de la PennsylvaniaRailroad occupent deux étages du Master Mechanic's building. Les célèbres laboratoires de General Electric et d'AT&T voient le jour un peu plus tard (1900 chez GE ; 1907 chez AT&T) ; dans les deux cas le laboratoire de recherche est une extension du bureau d'étude (chez AT&T, Carty dirige le département d'ingénierie dont relève la nouvelle recherche dirigée par Jewett ; chez GE le laboratoire de recherche est créé sous la direction de Willis Whitney, en appui au département d'ingénierie dirigé par Steinmetz). Dans les années

1900 les succès de ces laboratoires vont éblouir le monde : chez GE tungstène ductile (1900-1910) puis rayon X, radio, émission d'électron par les filaments, plasma (1907-1914) ; chez AT&T : travaux sur les répéteurs pour les lignes téléphoniques transcontinentales (1907-1914), système radio (1910-1917). A cela il faut ajouter la structuration progressive de laboratoires publics et/ou universitaires. Dans le cas particulier de la métallurgie, NicoleChezeau³ montre par exemple que les industriels allemands vont pousser, dans les années 1870, à la création de laboratoires publics, financés en partie par le Reich, notamment la célèbre Physikalisch-TechnischeReichsanstalt.

Dès cette époque une abondante littérature décrit le rapprochement de la science et de l'industrie, ses formes et ses succès. De remarquables tableaux sont ainsi dressés par Little⁴ ou par Mees⁵. Ils donnent à voir une étonnante variété de formes : ingénieurs-conseils avec un laboratoire privé, ou professeurs d'université consultants, laboratoires de recherche en appui aux usines (comme au Creusot vers 1880), laboratoires en appui aux bureaux d'études, laboratoire du créateur de l'entreprise, laboratoires de filières industrielles (comme les laboratoires de la Physikalisch-technischeReichsanstalt), laboratoires collaboratifs (comme le Franklin Institute) laboratoires des universités ou des écoles techniques (comme les laboratoires du MIT), etc. NicoleChézeau décrit par exemple comment chez de Dion-Bouton, jeune *start-up* de l'automobile créée en 1895 (et qui deviendra leader mondial en 1910 !), Léon Guillet, dès 1897, dirige un laboratoire où il mène des recherches scientifiques sur les aciers, passe une thèse de doctorat sur le sujet avec Le Châtelier comme directeur de thèse, tout en travaillant pour l'usine de Dion et pour les créateurs de l'entreprise.

1.2.Des notions communes : méthodes &research, science industrielle, effets sur l'industrie

Cette variété ne doit pas masquer de solides points communs, visibles dans les réflexions de l'époque. En effet le rapprochement entre la science et l'industrie s'accompagne d'un intense travail intellectuel sur les principes d'organisation des laboratoires. Le Châtelier en France, Duisberg en Allemagne, Mees aux Etats-Unis sont à la fois des chercheurs et des organisateurs. Leurs communications sur l'organisation d'un laboratoire de recherche industrielle diffusent largement. En 1920 le *National Research Council*, créé pendant la guerre sous le contrôle de la *National Academy of Science* pour mettre les chercheurs (notamment ceux des laboratoires de recherche industrielle) à la disposition du gouvernement, poursuit ses travaux et ses réflexions sur l'organisation de la recherche industrielle de l'après-guerre. Dans le numéro 9 des *Reprint and CircularSeries*, Clarence J. West, collaborateur de l'entreprise d'Arthur D. Little, dresse une *readinglist* pour l'organisation de la recherche industrielle. Il relève pas moins de 19 pages de références (457 entrées) sur la période 1908-1920. Parmi lesquelles on retrouve des contributions de Whitney (GE), de Steinmetz (GE) de Carty (AT&T), de Eastman, de Mees (Kodak) ou de Le Châtelier. On trouve trois types de sources : des rapports gouvernementaux ou de sociétés savantes (*American Society for TestingMaterials*, qui est l'association créée par Dudley en 1902 et qu'il préside pendant dix ans), des publications généralistes (beaucoup d'articles dans *Science et Nature*), beaucoup de

³Chezeau, N. (2004). De la forge au laboratoire. Naissance de la métallurgie physique (1860-1914), Collection Carnot, Presses Universitaires de Rennes, Rennes. 237 p.,

⁴Little, A. D. (1913). "Industrial Research in America." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 5, (10, oct. 1913), pp. pp. 793-801.

⁵ Mees, C. E. K., and Leermakers, J. A. (1950). *The Organization of Industrial Scientific Research*, 2ème édition (1ère édition : 1920), McGraw-Hill, New York. 383p. Mees, C. E. K. (1920). *The Organization of Industrial Scientific Research*, First edition, McGraw-Hill, New York. 198 p.,

journaux professionnels du monde de l'ingénierie (*Transaction of the American Society of Mechanical Engineers, Engineer, Mechanical Engineering, Industrial Management, Journal of Industrial and Engineering and Chemistry, Fiber and Fabric, Textile world, Journal of Industrial and Engineering Chemistry...*).

De ces textes ressortent de nombreux de points communs :

1- *Importance de la méthode scientifique et notion de « research »*. Pour tous les auteurs, c'est d'abord la **méthode scientifique** qui fait la force du laboratoire et du savant. Cette notion de méthode est omniprésente en français. On pourrait citer Le Châtelier ou Charpy. Un auteur comme Paul Valéry l'exprime avec une grande force dans un texte célèbre publié en 1897 dans « *made in Germany* » : « Dans le succès allemand, je vois avant tout celui d'une méthode : aucun génie, aucune trouvaille inattendue, aucune illumination mais seulement un désir inusable, un désir constant, une raison moyenne mais douée d'une confiance infinie à l'égard de la raison ». « [Dans la science allemande] là aussi règne le principe de segmentation, de classification, de discipline imposé aux objets de connaissance. Là aussi des instruments merveilleux multiplient le rendement ; des laboratoires plus spéciaux les uns que les autres, des bibliographies infinies, des enseignements *de omni rescibili*, des hommes oubliés pour toute leur vie dans la profondeur des questions imperceptibles constituent une science nationale, tout à fait solidaire avec le pays qui les alimente généreusement », « sans passion et sans génie ».

En anglais cette logique de la « méthode » est à l'origine de la notion de *research*. Dennis⁶ décrit le déploiement, aux Etats-Unis, d'un modèle de formation par la recherche (largement inspiré des universités allemandes), visant à faire acquérir aux étudiants des méthodes. L'université John Hopkins, qui se veut le pendant américain de la recherche universitaire allemande, a par exemple développé une formation des étudiants par la pratique au sein des laboratoires appelés « de recherche », avec pour objectif d'inculquer aux étudiants une « discipline ». Au cœur de ce modèle se trouve les *researchschools*, qui deviennent « les unités fonctionnelles des disciplines académiques ». Pour Dennis ce sont ces *researchschools* qui vont servir de modèle pour les premiers *researchlaboratories* dans les entreprises : celui de General Electric, créé en 1902, et celui d'AT&T créé en 1907⁷. Alors que Reich, dont l'ouvrage retrace ce qu'il appelle « la création de la recherche industrielle américaine », considère que les laboratoires s'inspirent des modèles mis en place dans l'industrie chimique allemande, Dennis montre que ni Steinmetz, inspirateur du laboratoire de recherche de GE, ni Jewett, inspirateur du laboratoire de recherche d'AT&T ne font référence à ces laboratoires dans leurs argumentaires auprès des directions (d'ailleurs sceptiques à l'époque). En revanche il apparaît qu'ils ont cherché, dans l'établissement de moyens de recherche fondés sur des laboratoires, une solution aux problèmes techniques de la firme : si, très significativement, Jewett et Steinmetz ne parlent pas de « recherche industrielle » mais de « laboratoires de recherche », c'est qu'ils ont simplement vu dans les « *researchlabs* » des « *researchschools* » un moyen de produire la connaissance nécessaire à l'organisation ; selon Dennis, ils ont pensé à utiliser ce qui n'était qu'une pratique pédagogique pour la production de connaissances dans des voies non nécessairement pédagogiques.

Les dispositifs de « recherche » se multiplient donc à l'époque, comme autant de formes de rationalisation de la production de connaissances.

⁶Dennis, M. A. (1987). "Accounting for Research: New Histories of Corporate Laboratories and the Social History of American Science." *Social Studies of Science*, 17, pp. 479-518.

⁷Reich, L. S. (1985). *The Making of American Industrial Research, Science and Business at GE and Bell, 1876-1926, Study in economic history and policy, the United States in the twentieth century*, R. G. Louis Galambos, Cambridge University Press, Cambridge. 309 p.,

2- Les auteurs soulignent en outre que cette méthode (ou cette *research*) doit s'appliquer à des objets particuliers, formant ainsi ce que Le Châtelier appelle une « science industrielle »⁸. Le Châtelier revient à de nombreuses reprises dans ses interventions sur cette notion. Ainsi dans un texte de 1912⁹, il distingue deux types de science :

- D'une part « la science pure » constituée notamment de la géométrie, la mécanique, la physique, la chimie, etc... Ces sciences envisagent chacune un seul côté des phénomènes naturels.
- D'autre part la science industrielle vient compléter la science pure qui, étudiant les phénomènes élémentaires séparément, doit encore faire l'objet d'une synthèse. « Cette science industrielle est bien véritablement une science ; comme les sciences abstraites, elle cherche à mettre en évidence les relations des effets avec leurs causes. Son seul caractère particulier est de s'appliquer à l'étude des objets pris dans toute leur complexité et placés, par suite, sous la dépendance simultanée d'un grand nombre de causes différentes ».

3- Enfin les auteurs s'accordent à souligner les effets de l'application de la méthode à l'industrie : amélioration des procédés, des matériaux, des produits, etc.

1.3. Une différence fondamentale : le rapport à la générativité – recherche conceptive vs recherche résolutoire

Ces éléments communs indiquent que la recherche est intégrée à l'entreprise (ou encore : la science est intégrée à l'industrie) en tant que « processus contrôlé de production de connaissances »¹⁰. Mais ce trait commun ne suffit pas pour autant à expliquer la variété des formes de recherche et des formes de gouvernance de la recherche : la production de connaissance peut être en lien plus ou moins étroit avec les autres acteurs de l'entreprise, contribuer plus ou moins à l'innovation, être plus ou moins « asservie » à des demandes externes (business unit, usine, dirigeants de l'entreprise, clients,...), ses résultats, surprenants ou non, peuvent être plus ou moins mobilisés par les collectifs où elle est intégrée, etc.

On peut modéliser la façon dont la recherche interagit avec un processus de conception. En mobilisant la théorie C-K de la conception¹¹, une des théories de la conception considérées comme les plus générales et les plus puissantes à l'heure actuelle¹², la recherche considérée comme un processus contrôlé de connaissance apparaît comme un dispositif d'*expansion de connaissances*. La théorie indique que cette production de connaissance peut être plus ou moins générative aussi bien en concept qu'en nouvelles connaissances. Pour simplifier on peut ainsi distinguer deux archétypes :

⁸Letté, M. (1998). «Henry Le Châtelier (1850-1936) et la constitution d'une science industrielle, un modèle pour l'organisation rationnelle des relations entre la science et l'industrie au tournant des XIXème et XXème siècles, 1880-1914,» (thèse), Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Histoire des Sciences et des Techniques, sous la direction de Jean Dhombres, Paris. 752 p. p.

⁹Le Châtelier, H. (1912) «La science pure orientée vers les applications et la science industrielle. La réduction de l'oxide de fer et les gazogène.» Conférence faite le 25 avril 1912, devant l'Association des élèves des écoles spéciales de l'Université de Liège, Ecole des Mines de Paris, 25 avril 1912, 4p.

¹⁰Le Masson, P., Weil, B., and Hatchuel, A. (2006). Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises, Stratégie et management, A. David, Hermès, Paris. 471 p.,

¹¹Hatchuel, A., and Weil, B. (2009). «C-K design theory: an advanced formulation.» *Research in Engineering Design*, 19, (4), pp. 181-192.

¹²Hatchuel, A., Le Masson, P., Reich, Y., and Weil, B. (2011) «A systematic approach of design theories using generativeness and robustness.» *International Conference on Engineering Design, ICED'11, Copenhagen*, Technical University of Denmark, 12.

- une situation où la création de connaissance contribue à transformer un concept en connaissance (donc à « concevoir » un produit ou un service) mais sans modifier la structure des connaissances (pas de changement dans les fondamentaux des métiers, des compétences, des architectures de produits, des business models, etc.). La recherche préserve les structures de connaissances existantes – on dira qu'elle est résolutoire, au sens qu'elle permet la « résolution », *i.e.* la réduction aux principes premiers (Littré), la capacité à identifier les principes de base expliquant les comportements. Ainsi la résolution d'une équation est la détermination de ses racines, la résolution d'un triangle est la détermination des angles ou des côtés inconnus, etc.. Bien sûr cela correspond à une logique de « résolution de problème » mais, plus généralement, la recherche résolutoire pourra aussi chercher les « principes premiers », généraux, sur les phénomènes existants. Le point critique est que cette recherche minimise la générativité, la ré-organisation des savoirs. Elle s'assure plutôt d'une bonne modélisation (simple, fine, prédictive,...) de l'existant. Elle cherche la confirmation des règles générales dans les phénomènes particuliers.
- une situation où la création de connaissance contribue à des expansions conceptuelles fortes (produits ou services en rupture, nouveaux usages, nouvelles technologies, etc.) et à des restructurations des connaissances profondes (obsolescence, recomposition, nouvelles interdépendances, nouvelles disciplines, nouvelles relations phénoménologiques...). On dira que la recherche est conceptive. Elle cherche les nouvelles lois, les anomalies, les surprises, les propositions théoriques permettant de profondes réorganisations, des correspondances inattendues.,...

A noter que cette distinction ne correspond pas aux distinctions classiques déjà évoquées et d'ailleurs révoquées par les auteurs de l'époque : science pure *vs* science industrielle, science appliquée *vs* science fondamentale... Dans tous ces cas chaque alternative peut être résolutoire ou conceptive, selon son degré de générativité.

Qu'elle soit résolutoire ou conceptive, la recherche demeure une production contrôlée de connaissances – mais selon les ambitions de générativité, la logique de production de connaissance diffère (favoriser la stabilité *vs* favoriser les propagations) et la place de la recherche dans la gouvernance de l'entreprise n'est pas la même (recherche pilotée par les objectifs généraux de l'entreprise *vs* recherche contribuant à l'évolution des objectifs de l'entreprise). C'est ce que nous allons maintenant étudier, notamment en montrant comment Fayol, Guillaume et Chevenard, tout en s'inscrivant dans le grand mouvement de (ré-)articulation de la science et de l'industrie, inventent en fait une forme originale de couplage qui favorise la générativité. Ils inventent une forme de recherche conceptive qui participe du « tournant fayolien ».

2. 1900-1940 : institutionnalisation et doctrines – l'invention de deux formes distinctes : recherche résolutoire, recherche conceptuelle

Nous allons d'abord montrer comment l'orientation vers la générativité du couplage « science-industrie » de Fayol Guillaume et Chevenard se traduit par des processus et une organisation particulière du laboratoire de Pierre Chevenard à Imphy et se traduit aussi par la place du laboratoire (et de la science) dans la gouvernance générale de l'entreprise dirigée par Henri Fayol. Puis nous montrerons que le modèle de recherche conceptive qui apparaît n'est en fait pas partagé par les autres modèles de l'époque.

2.1.Fayol, Guillaume et Chevenard – la science et l'industrie à Imphy

A première vue l'histoire de la collaboration entre Fayol, Guillaume et Chevenard ne semble pas se distinguer des autres formes de rapprochement science-industrie.

Comme le rapporte Charles-Edouard Guillaume lui-même¹³ et comme il est aussi confirmé par les rapports de Werth et Dumas, respectivement directeur de l'usine et chef du service métallurgie (voir aussi l'article de Duffaut dans ce numéro¹⁴ et l'article précédent sur Imphy¹⁵), en 1895 un nouvel alliage au nickel, résultat de la collaboration entre les ateliers de construction de Puteaux (section technique de l'artillerie) et l'usine d'Imphy de la société Commentry-Fourchambault et Decazeville est envoyé pour mesure à Benoit du Bureau International des Poids et Mesure, supérieur de Guillaume. Les résultats intriguent ce dernier : certains des alliages obtenus présentent des coefficients de dilatabilité plus faibles que les composants du mélange, ce qui constitue une anomalie. « Soupçonnant la portée scientifique de cette exception à la règle des mélanges, Charles-Edouard Guillaume étudiait d'autres ferronickels »¹⁶. Comme le dit Charles-Edouard Guillaume : « Maintenant c'était fini pour le rôle du hasard ; une étude s'imposait ; elle était pleine de promesses ; mais pour que ces promesses devinssent des réalités, il fallait encore un gros effort métallurgique et métrologique »¹⁷. Guillaume demande de nouveaux échantillons au directeur de l'entreprise, Henri Fayol. Se développe alors une collaboration entre l'entreprise et le savant, qui va conduire à des alliages aux remarquables propriétés (et notamment l'Invar, alliage au Nickel quasiment indilatable) et, plus généralement, à la mise au point de procédés de fabrication et de mesure ouvrant la voie à ce qui sera appelé la « métallurgie de précision ». Comme le dit Chevenard, « une conséquence [des travaux avec Charles-Edouard Guillaume] fut d'orienter Imphy vers la métallurgie de précision, de familiariser le personnel avec les techniques minutieuses, de créer dans l'usine une ambiance scientifique »¹⁸. Aussi quand Léon Guillet, responsable du laboratoire de recherche de de Dion et Bouton, mène ses travaux sur les aciers spéciaux, il s'adresse à Imphy.

Ces collaborations sont d'abord supportées, côté entreprise, par des capacités d'essais en production. Les essais sont menés sous la direction de Dumas, chef de service métallurgie. Puis en Janvier 1911 par un jeune ingénieur, Pierre Chevenard, sorti de l'Ecole des Mines de Saint Etienne en 1909, qui vient de travailler pendant deux ans comme secrétaire technique aux fabrications de Decazeville et devient responsable du laboratoire de contrôle de l'usine d'Imphy. Un an plus tard, en 1912, Henri Fayol demande la création d'un « service spécial pour l'étude et la préparation des alliages de précision », confié à Pierre Chevenard. Le service prend en charge les essais demandés par Charles-Edouard Guillaume mais aussi, progressivement, d'autres demandes extérieures (notamment la Défense Nationale, la marine, la Société Pont-à-Mousson, la Compagnie Française des Métaux, de Dion-Bouton, etc.)¹⁹.

¹³Guillaume, C.-E. (1920). "Invar and Elinvar, Nobel Lecture." Stockholm.

¹⁴Duffaut, F. (2016). "Chevenard ou la recherche au coeur de l'entreprise moderne." *Entreprises et Histoire*, pp.

¹⁵Duffaut, F. (2006). "Imphy: innover pour vivre." *La Nièvre, le royaume des forges*, F. Dreyer, ed., Musées de la Nièvrepp., Etudes et documents,

¹⁶Chevenard, P. (1923). "Méthodes de recherche et de contrôle dans la métallurgie de précision." *Mémoires et comptes rendus des travaux de la société des ingénieurs civils de France*, pp. 43.

¹⁷Guillaume, C.-E. (1925). "Discours de M. Charles-Edouard Guillaume, prononcé le 7 juin 1925 salle Hoche, Paris." Paris.

¹⁸Chevenard, P. (1923), op. cit.

¹⁹Velluz, L. (1961). "Notice sur les travaux de Pierre Chevenard (1880-1960)." *Académie des Sciences*, (Séance du 12 juin 1961).

On voit là un rapprochement entre science et industrie. Dans le cas de Guillaume et Imphy, on doit aussi rappeler que Guillaume va obtenir le prix Nobel, ce qui signale une science de haut niveau. Certes les cas de prix Nobel décernés à des chercheurs ayant travaillé dans ou avec des laboratoires industriels ne sont pas rares – Langmuir chez ATT a le prix Nobel en chimie en 1932 par exemple- Mais c’est Guillaume lui-même qui fera de l’obtention de ce prix une analyse intéressante : dans ses discours à l’occasion de la remise du prix, il souligne que, dans le rapport science-industrie, on a certes tendance à voir les apports de la science à l’industrie mais qu’il faut aussi considérer les apports de l’industrie à la science – il remercie d’ailleurs Fayol et salue les travaux de Chevenard (cité quatre fois)²⁰. Guillaume nous indique ainsi que le rapport science-industrie à Imphy n’est pas un transfert mais plutôt une forme de co-invention, de co-génération. Analysons cela.

2.1.1. Le laboratoire dans la gouvernance de l’entreprise : une place à l’état-major, pour élaborer les « programmes d’action »

On l’a vu, dans *AIG*, Fayol ne parle pas de laboratoire de recherche. Mais il parle très clairement de laboratoire et de recherche. La recherche, on l’a vu, est la recherche du perfectionnement, du progrès au sens le plus large. Quant au laboratoire sa place est peut-être la plus surprenante à l’aune des pratiques actuelles. On trouve sept occurrences du terme dans *AIG*. Les deux premières sont celles que l’on pouvait attendre : les « laboratoires et essais » apparaissent dans l’organigramme de l’usine, comme un des éléments de la fabrication, en parallèle aux hauts fourneaux, aux aciéries, aux laminoirs et à la tournerie à cylindre ; et ils apparaissent aussi dans l’organigramme de la houillère, comme un des moyens de la « préparation mécanique » (à côté de triage, lavage, agglomération, et carbonisation). Les autres occurrences sont plus étonnantes : le terme apparaît quand Fayol décrit ce qu’il appelle l’État-Major de la grande entreprise. De quoi s’agit-il ? « L’État-Major est un groupe d’hommes disposant de la force, de la compétence et du temps qui peuvent manquer au directeur général. C’est une aide, un renfort, une sorte d’extension de la personnalité du chef. Il n’est pas hiérarchisé et ne reçoit des ordres que du directeur général. Ce groupe d’agents s’appelle l’État-Major dans l’armée ; je lui ai conservé ce nom à défaut d’un autre qui m’ait paru préférable. Cet organisme est destiné à venir en aide au chef dans l’accomplissement de sa mission personnelle. [...] Aussi voit-on des États-Majors dans la plupart des grandes entreprises, sous les apparences les plus variées : secrétaires, spécialistes-conseils (ingénieurs, juristes, financiers, comptables), comités consultatifs, bureaux d’études, laboratoires, etc. » (Fayol, *Administration Industrielle et Générale*, p. 89-90)²¹. Voilà une place assez inattendue : le laboratoire est en charge de conseiller le dirigeant. Et nul doute que du temps de Fayol, Guillaume a joué à plein ce rôle de membre de l’Etat-Major en charge des programmes d’action pour explorer l’inconnu. Et pour cela, lorsque le laboratoire de Chevenard a été mis en place, Guillaume a travaillé étroitement avec lui, comme en témoigne les très nombreuses références croisées (Guillaume se référant aux travaux en commun avec Chevenard et Chevenard aux travaux avec Guillaume).

En tant que membre de l’État-Major, à quoi le laboratoire doit-il contribuer ? Fayol explique : « Si le chef est en mesure de remplir lui-même toutes les obligations de sa charge, il n’a pas besoin d’État-Major ; mais si ses forces ou ses connaissances sont insuffisantes, ou si le temps lui manque, il est obligé de se faire aider, et ce sont les personnes qui lui viennent en aide qui constituent son État-Major. Or, il est bien peu de grands chefs qui puissent suffire à la fois 1° à leurs obligations journalières de correspondance, de réceptions, de conférences et de démarches diverses ; 2° au commandement et au contrôle ; 3° aux études de toutes sortes

²⁰Guillaume, C.-E. (1920). “Invar and Elinvar, Nobel Lecture.” Stockholm.

²¹Fayol, H. (1916). “Administration Industrielle et Générale.” Bulletin de la Société de l’Industrie Minérale, 10, pp. 5-164.

qu'exige la préparation des programmes d'avenir et l'harmonisation des programmes en cours ; 4° à la recherche des perfectionnements qu'il faut sans cesse introduire dans tous les domaines. » (p. 89)²² Et il insiste encore : « Les deux premiers groupes de travaux de l'État-Major s'effectuent généralement d'une façon satisfaisante ; mais la préparation de l'avenir et la recherche des perfectionnements, deux facteurs importants du succès, sont souvent déplorablement négligés. Il n'est pas encore bien entré dans les habitudes de considérer l'État-Major comme un organe de pensée , d'étude, d'observation, dont la principale fonction consiste à préparer l'avenir et à rechercher les perfectionnements possibles, sous l'impulsion du chef. » (p. 101-102)²³.

Pour Fayol, le laboratoire devrait donc contribuer à l'élaboration des « programmes d'action » de l'entreprise et à la « recherche de perfectionnements possibles ». On ne saurait trop insister sur l'importance de ces deux notions (cf. Hatchuel et *alii* dans ce numéro) : la logique de « perfectionnement » correspond à une logique générale de progrès – on dirait peut-être aujourd'hui d'innovation et de développement soutenable de l'entreprise ; quant au programme d'action, il est au cœur de l'action de gouverner « La préparation du programme d'action est l'une des opérations les plus importantes et les plus difficiles, de toute entreprise » (p.58)²⁴ « c'est à la fois le résultat visé, la ligne de conduite à suivre , les étapes à franchir, les moyens à employer ; c'est une sorte de tableau d'avenir où les événements prochains sont figurés avec une certaine netteté, selon l'idée qu'on s'en est faite, et où les événements lointains apparaissent de plus en plus vagues ; c'est la marche de l'entreprise prévue et préparée pour un certain temps. » (p. 57)²⁵. « Une [...] qualité du programme est d'avoir toute la précision compatible avec l'*inconnu* qui pèse sur les destinées de l'entreprise. » (p. 60)²⁶.

Ces principes de gouvernance de la recherche sont en pleine cohérence avec les enjeux de générativité :

1- le laboratoire est en charge de la recherche de progrès – toute découverte est donc bienvenue.

2- le laboratoire ne se contente pas de suivre les programmes d'action : il doit aussi contribuer à les élaborer ! C'est un point critique : la recherche n'est pas (ou pas seulement) en charge de contribuer à la réalisation de stratégies définies en dehors d'elle – elle contribue à la rédaction de la stratégie. Fayol insiste : « les agents de l'État-Major ne participent pas à l'exécution des services subordonnés. » Certes dans le cas d'un dispositif aussi sophistiqué qu'un laboratoire de recherche, la règle devait souffrir quelques exceptions. Mais il ne demeure pas moins que cela signifie que, dans son rôle de membre de l'État-Major le laboratoire élabore les programmes d'action et ne se contente pas de les suivre.

3- Contribuer à la rédaction des programmes d'action est évidemment pleinement cohérent lorsque le laboratoire est en mesure d'explorer l'inconnu, de révéler des phénomènes, de valoriser de nouveaux types de performance, de concevoir des procédés et des instruments en rupture. **C'est la générativité même de l'activité qui justifie cette place** et, inversement, une telle place pousse le laboratoire à des explorations toujours plus génératives.

Fayol propose ainsi une gouvernance du laboratoire cohérente avec la générativité de la science – il semble aussi l'avoir mise en pratique, comme en témoigne la *Notice*²⁷, dans

²² Fayol, AIG, op. cit

²³ Fayol, AIG, op. cit

²⁴ Fayol, AIG, op. cit

²⁵ Fayol, AIG, op. cit

²⁶ Fayol, AIG, op. cit

²⁷Fayol, H. (1918). Notice sur les travaux scientifiques et techniques de H. Fayol, Gauthier-Villars, Paris. p.,

laquelle Fayol montre à quel point les “découvertes” sont au cœur du développement de l’entreprise : « [sous la direction de Fayol, directeur général] l’usine d’Imphy se relève peu à peu et devient le foyer de découvertes qui la placent au premier rang des producteurs d’aciers spéciaux pour organes de machines soumis à de grands efforts (automobile, aviation, outils, etc.) »²⁸ - les deux premiers secteurs clients étant, il faut le rappeler, des industries nouvelles à l’époque.

2.1.2. Une logique de production de connaissance spécifique : instruments et process

A cette gouvernance adaptée à une science générative correspond aussi une logique de production de la connaissance scientifique elle aussi orientée vers la générativité, sans jamais sacrifier la méthode scientifique.

Chevenard s’est exprimé à plusieurs reprises sur l’organisation de son laboratoire, à intervalles réguliers, notamment en 1923 et 1933²⁹. Il se plaît à rappeler la mission du laboratoire : « Dès 1911, H. Fayol invitait le laboratoire d’Imphy à entreprendre une étude systématique des aciers et alliages spéciaux et assignait deux buts à ce travail : éclairer la théorie de ces produits, afin d’en faciliter et féconder l’étude pratique ; découvrir leurs propriétés exceptionnelles en vue des applications » (Chevenard, 1933, p.18)³⁰. Il en déduit en fait quatre types de contributions, qu’il regroupe en deux catégories principales (entre 1923 et 1933, la distinction entre les deux familles s’est d’ailleurs clarifiée) :

1- « **Les recherches** » - Chevenard emploie le terme pour désigner l’ensemble des études se rattachant au programme donné par Fayol. Ces travaux sont orientés par les indications de Fayol et vont nourrir les programmes d’action futurs de l’entreprise.. « Les recherches récoltent les données précises sur les propriétés mécaniques, physiques, chimiques des alliages, précisent les lois de leur formation, de leurs changements d’état polymorphiques et de leurs traitements... En un mot, rassemblent une documentation qui sera la base des fabrications nouvelles »³¹.

2- **Les travaux de mise au point à l’atelier des procédés nouveaux, le contrôle de la fabrication et de la qualité des produits marchands et les travaux d’expertise.** « Dès qu’une application nouvelle est entrevue, à la lumière des résultats de recherches (au pluriel, sic), il importe d’en vérifier au plus tôt la valeur pratique et de l’exploiter » (Chevenard, 1933, p. 4)³². En 1923, la même activité est décrite dans des termes moins techno-push et plus market pull : « quand l’industrie réclame un alliage présentant un ensemble donné de qualité, on se base, pour le réaliser, sur les résultats de ces recherches » (Chevenard, 1923, p. 4)³³.

Arrêtons-nous un instant : remarquons ici à quel point les « recherches » sont clairement en lien avec la direction générale (Chevenard insiste d’ailleurs : « A la Société Commentry-Fourchambault et Decazeville, le Services des recherches est un organisme central qui relève de la direction générale » (Chevenard, 1933, p. 18)³⁴) et jouent leur rôle d’éclairage et de préparation du « programme d’action ». Voyons aussi à quel point cette activité est distincte du développement de produits innovants, fussent-ils de rupture, que ce soit en *techno push* ou

²⁸ Fayol, notice, op. cit.

²⁹ Chevenard, P. (1933). “L’installation et l’organisation d’un laboratoire sidérurgique moderne.” Mémoires de la société des ingénieurs civils de France, Septembre-octobre 1932, pp.

Chevenard, P. (1923). “Méthodes de recherche et de contrôle dans la métallurgie de précision.” Mémoires et comptes rendus des travaux de la société des ingénieurs civils de France, Juillet-septembre 1923, pp.

³⁰ Op. cit.

³¹ Chevenard 1933, op. cit.

³² Op. cit

³³ Chevenard, 1923, op. cit.

³⁴ Op. cit.

market pull. **L'activité d'exploration n'est pas pilotée par la recherche de nouveaux produits et procédés !** Elle est orientée par l'exploration très « générique » de nouvelles propriétés, de nouveaux procédés de transformations, et de nouvelles lois reliant procédés et propriétés. La stratégie de Chevenard n'est pas pilotée par les produits – trop singuliers, trop spécifiques- mais par l'exploration de propriétés génériques à de nombreuses applications et de nombreuses technologies. Chevenard cherche une forte généricité et pour cela il cherche les voies d'exploration les plus génériques. On a là une forme de « générativité générique » pourrait-on dire.

Cette ambition se traduit dans la logique d'action du laboratoire. Bien sûr Chevenard insiste sur le fait que l'organisation du travail expérimental suit les « principes de Taylor » (Chevenard, 1933, p. 22)³⁵. Il insiste sur les quatre points suivants, selon une évidente analogie avec l'organisation d'un système productif :

- Un appareil par tâche : « à chaque mesure [correspond] un appareil spécial, le plus souvent construit à Imphy même », pour des raisons d'économie. Construire soi-même apparaît « plus rapide, plus sûr et moins coûteux »³⁶.
- Des appareils de qualité : Chevenard exige « des appareils sensibles et fidèles », caractérisé par « leur simplicité, leur robustesse, leur commodité d'emploi ». C'est donc la productivité de l'appareil qui fait sa qualité. « L'automatisme est poussé très loin afin d'économiser la main d'œuvre et de réduire l'action personnelle des manipulateurs » pour « assurer la fidélité »³⁷.
- L'installation des appareils : les appareils sont toujours prêts à servir. Ils sont dans « un ensemble simple et clair, [...] un ordre et une propreté impeccables »³⁸.
- Le recrutement et la formation des manipulateurs.
- L'ordonnancement du travail : « Les manipulations sont organisées selon les principes de Taylor : épargner les gestes inutiles, utiliser au mieux le temps du personnel sans le surmener. Les essais ont des horaires imbriqués de telle sorte qu'un même opérateur parvient à en conduire plusieurs de front »³⁹.

Mais cette description du travail expérimental risque de masquer la profonde originalité de l'approche de Chevenard (approche apprise de Guillaume). Pour en comprendre l'originalité, il faut rappeler les approches habituelles des métallurgistes à l'époque de Chevenard : « à cette époque l'attention des métallurgistes était orientée surtout vers la métallographie microscopique et l'analyse thermique »⁴⁰. Cela conduisait en fait à réaliser des cartographies reliant la composition des alliages (et notamment les phases cristallines qu'ils contiennent) à leur propriétés mécaniques. Mais depuis Guillaume, et dans la perspective donnée par Fayol, il s'agit plutôt de découvrir des classes de propriétés nouvelles et des façons originales de les atteindre.

Voyons quelles en sont les propriétés. Chevenard dresse une liste impressionnante des propriétés que son laboratoire a réussi à étudier : « dilatabilité négligeable » de l'invar, soudabilité au verre de la platinite, dilatabilité anormale pour affranchir les chronomètres de l'erreur secondaire, élinvar à coefficient thermoélastique nul, alliages à haute résistivité et faible coefficient thermiques (pour rhéostats et appareils de chauffage étalonnés), thermorésistivité rapidement croissante pour régulateurs d'intensité, couples thermo-

³⁵ Op. cit.

³⁶ Op. cit.

³⁷ Op. cit.

³⁸ Op. cit.

³⁹ Op. cit.

⁴⁰ Op. cit.

électriques industriels, aimants stables, alliages à haute perméabilité initiale et faible hystérésis (pour les alternateurs radio), alliages anti-corrosion, alliages rigides aux températures élevés, alliages non fragiles aux très basses températures, etc. L'exploration de la nature même des propriétés est donc un espace inconnu. Comment l'explorer avec un maximum de générativité ? Pas nécessairement en créant les alliages un par un – mais bien d'abord en mettant au point de appareils de mesure de performance. Et c'est en ce domaine que Chevenard excelle : il met au point les appareils les plus variés pour réussir à mesurer toutes ces propriétés – dont la mesure exige des niveaux de précision inégalés avant Chevenard et des trésors d'ingéniosité notamment en développant des mesures indirectes. C'est une des propriétés étonnantes du laboratoire de Chevenard : il s'agit d'un laboratoire de conception d'instruments. Un grand nombre de ses publications portent sur « toute une série d'instruments, presque tous construits au laboratoire même pour explorer les propriétés physiques ou chimiques des alliages spéciaux »⁴¹.

Comment atteindre ces propriétés ? Là encore on pourrait penser qu'il s'agit de mettre au point des alliages singuliers. Mais l'activité de Chevenard se veut plus générique et plus générative. Cela tient à la difficulté de la « métallurgie de précision » : pour obtenir une certaine propriété, la composition de l'alliage, les procédés auxquels il est soumis doivent être si précisément contrôlés qu'aucune cartographie exhaustive n'est possible. Non seulement cela supposerait un bien trop grand nombre de points mais surtout les lois entre les points ne sont pas linéaires – entre deux points pourtant très proches, au comportement neutre, peut exister un point au comportement spectaculaire. Aussi la question n'est pas tant la cartographie que la **capacité à transformer les alliages**. Ce sont les « déplacements » qui comptent. Par exemple : Chevenard rappelle qu'un problème des alliages de précision est que les anomalies n'existent que sur des domaines très étroits et que son travail, avec Guillaume, a consisté à identifier le fait que le chrome joue le rôle de « diluant » de certaines anomalies. Grâce à cette loi, sur plusieurs alliages difficile à doser, l'ajout de chrome permet d'étendre le domaine sur lequel les propriétés recherchées sont obtenues. C'est cette logique de « dilution d'anomalie » par le chrome qui a permis la réalisation de l'Elinvar ainsi que de nombreux autres alliages. Chevenard écrit : connaître « le rôle physico-chimique des additions [permet] de prévoir au moins qualitativement le rôle des additifs, de calculer les quantités d'additions différentes exerçant une même action, etc. les grandes lignes du phénomène ayant été tracées d'avance, il suffira de préciser quelques points expérimentaux, dans le domaine intéressant tel ou tel problème particulier. Par conséquent, la connaissance d'une loi physicochimique est non seulement plus scientifique qu'un catalogue de résultats établi sans préoccupations théoriques et toujours incomplet ; mais elle est plus utile pour les prévisions et constitue un meilleur outil industriel » (Chevenard, 1923, p. 31)⁴².

L'activité scientifique de Chevenard est donc orientée selon deux grands axes : la capacité à identifier (et mesurer) des types de propriétés nouveaux ; la capacité à provoquer des « déplacements » dans l'espace des propriétés. On aurait pu croire que l'activité de recherche consisterait à cartographier des alliages existants dans un référentiel des propriétés connues. Mais ce serait implicitement partir de deux postulats non-génératifs : la liste des propriétés possibles est connue ; la liste des alliages possible également. Chevenard s'applique en fait à traiter exactement la question complémentaire : n'y a-t-il pas des propriétés qui ne seraient pas encore identifiées ? Et ne peut-on pas créer de nouveaux alliages de façon plus ou moins déterministe dans ces nouveaux référentiels ?

On voit ainsi comment la logique d'exploration de Chevenard est profondément générative. On constate que cette logique générative est au cœur même de la « métallurgie de

⁴¹ Velluz, op. cit.

⁴² Op. cit

précision » : l'enjeu de la précision n'est pas de « préciser » le comportement connu d'alliages connus ; la précision permet en fait de distinguer ce qui n'était pas distinguable, **d'ajouter ainsi des dimensions aux alliages**, et d'inventer à la fois des alliages nouveaux et des propriétés nouvelles. Elle fonctionne dans une logique fractale⁴³ : la capacité à explorer à de nouvelles échelles ajoute des propriétés aux objets.

En outre, comme les « recherches », le développement, le contrôle et l'expertise sont pratiqués par un même laboratoire, les instruments et les lois développés par Chevenard vont tenir compte de (et être disponibles pour) l'ensemble de la chaîne de conception, de production et de contrôle, ce qui facilitera d'autant la conception de nouveaux alliages.

2.1.3. Générer un écosystème

L'orientation générative de la recherche, que ce soit dans sa logique ou sa gouvernance, se traduit aussi, dans la façon dont la recherche « déborde » du strict cadre de l'entreprise. Chevenard enseigne – en 1919 il est Professeur à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne où il fonde le laboratoire de métallurgie⁴⁴ – il enseignera aussi à l'Ecole des Mines de Paris. Il s'implique dans la formation professionnelle en donnant de nombreuses conférences, notamment à la Société de l'Industrie Minérale (dont il est vice-président) et au Cercle d'Etude des Métaux de Saint –Etienne dont il est président d'honneur. Selon Velluz « A la Société française de Physique , qu'il préside de 1939 à 1941, il oriente l'attention des physiciens vers les problèmes intéressants l'industrie. Élu peu après président de l'Association technique de Fonderie, il s'efforce à l'inverse d'imprimer un caractère scientifique à la tribune de ce groupement »⁴⁵.

Nicole Chezeau décrit même sa contribution à la création de ce qui deviendra l'IRSID⁴⁶ et que l'on peut sans doute analyser comme un « collège de l'inconnu »⁴⁷, *i.e.* un dispositif collectif d'exploration de l'inconnu. Dès 1920, Chevenard lance de nombreuses collaborations industrielles avec des clients ou de potentiels clients. C'est notamment le cas avec de Dion-Bouton où Léon Guillet, qui dirige le laboratoire, embauche Albert Portevin en 1905. Chevenard et Portevin vont régulièrement travailler ensemble – y-compris sur des métaux non ferreux, ce qui ne va pas de soi pour un chercheur d'une entreprise sidérurgique ! Dans les années 1920, plusieurs scientifiques dont Portevin et Chevenard, regrettent l'absence d'une société telle que l'*Iron and Steel Institute* (ICI) ou le *Verein Deutscher Eisenhüttenleute* (VDEh). Mais selon Chezeau, plusieurs industriels s'inquiètent de « voir leurs ingénieurs dévoiler leurs secrets de fabrication » (p. 8). C'est le Cercle d'Etudes des Métaux, dont Chevenard est président d'honneur, qui sera l'espace d'échange. Avec la création du CNRS en 1936,

⁴³ Hatchuel, A., Le Masson, P., and El Qaoumi, K. (2015) “Generic fractality and Design theory : a research program ” Design Theory Workshop, Paris.

Nottale, L. (2011). *Scale Relativity And Fractal Space-Time: A New Approach to Unifying Relativity and Quantum Mechanics*, Imperial College Press, London. p.,

⁴⁴ Op. cit.

⁴⁵ Op. cit.

⁴⁶ Chezeau, N. (2007). “Albert, Marcel, Germain, René Portevin (1880-1962).” *Itinéraires de chimistes 1857-2007 - 150 ans de chimie en France avec les présidents de la SFC*, L. Lestel, ed., Société Française de Chimie, EDP Sciencespp.

⁴⁷ Le Masson, P., and Weil, B. (2014). “Réinventer l'entreprise : la gestion collégiale des inconnus communs non appropriables.” *L'entreprise, point aveugle du savoir*, B. Segrestin, B. Roger, et S. Vernac, eds., Sciences humaines, Parispp. 238-253

Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A., and Cogez, P. (2012). “Why aren't they locked in waiting games? Unlocking rules and the ecology of concepts in the semiconductor industry. ” *Technology Analysis & Strategic Management*, 24, (6), pp. 617-630.

Chevenard et Portevin vont ainsi participer aux comités spécialisés dans la recherche scientifique appliquée qui conduiront ensuite à la création d'une « commission pour la recherche scientifique appliquée » financée par le Comité des Forges, préfigurant le futur IRSID.

Présent dans de nombreux réseaux, on voit Chevenard faire en sorte que les découvertes de la recherche diffusent dans tous les milieux : jeunes ingénieurs, professionnels en activités, depuis les techniciens d'usine jusqu'aux chercheurs les plus pointus, dans l'ensemble de la filière (clients fournisseurs, concurrents).

2.2. Un modèle différent des modèles contemporains – la comparaison entre Mees et Imphy

Fayol, Guillaume et Chevenard élaborent donc une forme de laboratoire et de « recherches » qui mettent la générativité au cœur de la production de savoir. Développant une stratégie de recherche qui dévoile un comportement inattendu ou seulement pressenti et qui ouvre la voie à de nouvelles propriétés, le laboratoire ouvre régulièrement la voie à de nouvelles fonctions pour toute une famille de produits et d'usages nouveaux. La logique de production de connaissance, la gouvernance et les systèmes relationnels de ce laboratoire sont cohérents avec cette logique de générativité – ils l'organisent et la soutiennent. Fayol, Guillaume et Chevenard inventent une recherche conceptive qui fait partie du tournant fayolien.

Pour en souligner l'originalité, voyons comment d'autres auteurs, eux mêmes responsables de laboratoires de recherche, s'expriment à la même époque sur les questions de gouvernance du laboratoire et sur la logique de production de savoir. Nous allons nous référer ici au travail de Mees, directeur de la recherche de Kodak. Mees écrit notamment en 1916 dans *Science* puis en 1920 un ouvrage complet sur la recherche industrielle⁴⁸. Nous avons choisi cet auteur car il va constituer une référence mondiale pour l'organisation d'un laboratoire de recherche et est très exactement contemporain de Fayol et Chevenard.

Sur de nombreux points les similitudes sont étonnantes. Mees donne un tableau très complet pour l'organisation d'un laboratoire de recherche. Son objectif : il ne s'agit pas d'améliorer les *process* ou de diminuer les coûts des produits mais de faire les « *fundamentaldevelopments in the wholesubject in which the manufacturingfirmisinterested* » ; il faut faire « *the fundamentaltheory of the subject* » ; son horizon temporel : au minimum dix ans. Le laboratoire doit s'installer, commencer par résoudre de petits problèmes pour progressivement affecter l'industrie dans son ensemble (toujours Mees, 1920, p. 766)⁴⁹. En effet le point critique est la formation et l'organisation du travail : il faut recourir toujours aux mêmes spécialistes, utilisant des appareils spéciaux sur de longues périodes et avec des méthodes spéciales. Il faut en outre procéder à des recherches à grande échelle, si possible à l'échelle industrielle. Le personnel : comme on ne peut pas espérer disposer de génies, il faut des « *well-trained, average men, having a taste for research and a cerainability for investigation* ». L'organisation : « *how can we obtain the greatest yield from a given number of men in a given time ?* ». Pour cela il faut des machines de qualité, toujours en fonctionnement, augmenter la spécialisation des travailleurs et augmenter la coopération entre travailleurs de champs différents. On pourrait certes espérer que cela « *increase the likelihood of the correct choice of a promising investigation but, unfortunately, very little can be done in this direction* » (Mees, 1920, p. 768)⁵⁰. Quel directeur pour un tel laboratoire : si possible un industriel scientifique. Sinon un scientifique qu'on formera à la culture industrielle. Les

⁴⁸ Mees, C. E. K. (1920). *The Organization of Industrial Scientific Research*, First edition, McGraw-Hill, New York. 198 p., Mees, C. E. K. (1916). "The Organization of Industrial Scientific Research." *Science*, 43, (1118), pp. pp. 763-773.

⁴⁹ Op. Cit.

⁵⁰ Op. Cit.

outputs : « *the best utilization of the results obtained in an industrial research laboratory is only second in importance to the organization required to obtain them* ». Tous les résultats doivent être publiés, notamment pour maintenir l'intérêt des scientifiques du laboratoire pour la science pure et pour ne pas laisser inachevés les programmes de recherche. Cette logique de productivité scientifique organisée à la façon d'une usine se retrouve dans la plupart des travaux.

On retrouve donc bien les éléments classiques du rapprochement science-industrie (la méthode, l'organisation du travail,...). Mais sur plusieurs points, des divergences se révèlent. Reprenons les deux principaux thèmes qui montraient que la recherche de Fayol, Guillaume et Chevenard était orientée par la générativité (la gouvernance et la logique de production de savoir) et voyons comment Mees les aborde :

2.2.1. La place du laboratoire dans la gouvernance - absence de programmes d'action

Pour Fayol le laboratoire était une composante de l'État-Major et contribuait au programme d'action, en lien avec l'inconnu auquel l'entreprise devait faire face. Chez Mees, la position est étonnamment ambiguë et mérite une exégèse un peu affinée. En 1920, Mees, pour expliquer la place de la recherche, propose un modèle général de toute organisation : l'organisation *staff and line* (fonctionnel vs opérationnel). Le laboratoire de recherche est parmi les fonctionnels, comme la comptabilité, l'*engineering*, la maintenance et il peut être « attaché » à l'opérationnel à tout niveau : au côté du *manufacturing*, dans les ateliers, mais aussi, dans les industries où la recherche a une influence sur « *the policy of industry* » (à traduire comme : la conduite de l'activité industrielle), en lien direct avec les *executives* qui contrôlent cette « *policy* ». En ce sens le laboratoire peut être à l'État-Major (qui s'appelle d'ailleurs *the Headquarter Staff*, comme le rappelle Mees, 1920, p. 58)⁵¹. Mees donne l'exemple suivant « *Consider, for instance, the board of directors of a dye manufacturing company. Suppose that the board wished to introduce a new dye belonging to a different group from those manufactured at the time. This would involve not only questions of the supply of raw material, but the question of the by-products obtained in the proposed manufacture, and the displacement of other dyes and incidentally of other by-products. If such a decision is to be made with the best possible judgment, it is obvious that the chemists must have a controlling voice in the matter, so that the board of directors of a dye manufacturing company should contain a considerable representation from the scientific staff. As a matter of fact, in the German dye companies the directors are generally expert chemists of international reputation for their purely scientific work* ». Donc un directeur à culture scientifique doit siéger au *board*.

Mais pour Mees ceci n'est qu'un cas extrême – et encore ce n'est qu'un directeur à culture scientifique et pas le laboratoire lui-même. En fait Mees conclut : « *the research department should be responsible to the officer of the company who is in charge of the development of new products* »⁵². Apparaît là la différence majeure : ce n'est pas tant la participation à l'État-Major que la logique de « programme d'action » qui distingue Mees de Fayol. Il n'y a pas trace de programme d'action chez Mees. Quelle est la logique de la recherche ? L'exemple des colorants n'est pas anodin : « *Suppose that the board wished to introduce a new dye* »⁵³ - il y a donc déjà un projet de nouveau produit. La recherche instruit cette demande. Mais elle n'est pas en charge de participer à l'élaboration du programme d'action pour l'entreprise face à l'inconnu. Le terme d'inconnu est d'ailleurs absent de l'ouvrage de

⁵¹ Op. Cit.

⁵² Op. Cit.

⁵³ Op. cit.

Mees, qui lui préfère celui de « *development* » et d' « *improvement* ». La recherche est une assurance contre le risque de débordement par des petites entreprises innovantes. Elle n'est pas en charge de l'exploration systématique.

Ce trait est confirmé par l'étude des écrits des dirigeants à propos de la recherche. Ainsi le directeur d'ATT, dont les laboratoires sont déjà à cette époque des références mondiales, considère⁵⁴ curieusement que ce n'est pas la recherche d'ATT qui est en charge du progrès industriel et du progrès de la civilisation mais ce sont les petites entreprises qui devraient donc, à ce titre, bénéficier des efforts de recherche. Mémetendance chez Mees qui, considérant le rôle de la recherche dans les PME, est conduit à une remarque désabusée sur l'innovation dans les grandes entreprises (Mees, 1920, p. 73) : « *the growth of a small business will depend upon its supply of ideas for new products and new methods to a far greater extent than will that of the big manufacturing concern making staple (sic) products. Small business can therefore make far more use of a research laboratory* ». « *any large business must necessarily be cautious and conservative* » (p. 72).

Ces considérations reflètent aussi le fait que le contexte industriel évolue et qu'après l'innovation intensive et la création de secteurs industriels entiers (automobile, électricité, chimie, pharmacie,...) qui avaient marqué le tournant XIX^{ème}-XX^{ème} siècle, à partir des années 1910-1920, les entreprises entrent peu à peu dans des formes de consolidation et de protection des industries installées. Rappelons qu'ATT déposera dans ces années de nombreux brevets sur des « téléphones – radio »... pour empêcher qu'un éventuel « téléphone mobile » ne vienne rendre obsolète le réseau téléphonique que l'entreprise vient d'installer⁵⁵. Finalement quelle est pour Mees la justification de l'investissement de l'entreprise dans la recherche ? C'est une assurance pour l'entreprise contre la perte de contrôle de son industrie « *a final insurance against eventual loss of the control of its industry by any concern* » (Mees, p. 764 et Mees, 1920, p. 7). Willis R. Whitney, directeur de la recherche de General Electric, ne dit pas autre chose⁵⁶ : le laboratoire donne « *the assurance that they are keeping ahead and are at least prepared for the new, if they can not always invent it themselves* ». Il développe : la valeur de la recherche est finalement « *the difference between the value of the useful discovery when purchased from competitors in the business and when made by one's own company* »⁵⁷. Et finalement pour Whitney gérer la recherche consiste à garder un œil sur les « *spots vulnerable to research* » (p. 680), ces questions sur lesquelles tout le monde travaille et sur lesquelles il serait dangereux que la firme ne travaille pas. On n'est plus dans la générativité, on se rapproche de la réduction d'incertitude.

2.2.2. La logique de recherche – une générativité limitée

Pour Chevenard, « les recherches » désignaient cette activité d'exploration de l'inconnu, distincte de tout développement de produit et conduisant à de nouvelles mesures et à de nouvelles lois des phénomènes, lois génériques pour la conception d'alliages. Mees identifie quant à lui trois fonctions principales : 1) fournir l'information scientifique et technique pour les employés, les clients et le grand public – l'équivalent de « l'expertise » de Chevenard ; 2) la spécification et les standards pour les matériaux, les analyses et les tests pour les usines et les clients – l'équivalent du « contrôle qualité » de Chevenard ; 3) le développement de nouveaux produits – comme Chevenard également. Autrement dit on ne trouve pas l'équivalent des « recherches » de Chevenard. Le laboratoire de Mees est bien plus en appui

⁵⁴Vail, T. N. (1919). "Relations of science to industry." Bulletin of the National Research Council, 1, (1), pp. 12-14.

⁵⁵ Reich, 1985, op. cit.

⁵⁶Whitney, W. R. (1911). "Research as a Financial Asset." Science, 33, (853), pp. 673-681.

⁵⁷ Op. cit.

des développements de produits nouveaux qu'en charge d'un programme d'exploration. Dans ce type de laboratoire (et Mees prend l'exemple de son propre laboratoire chez Eastman Kodak Company) l'organisation repose sur des relations bien identifiées entre les applications (*i.e.* photographie amateur, *portraiture cinematography, applied and scientific photography, color photography, photo engraving*) et les disciplines scientifiques (optique géométrique, optique physique, chimie colloïdale, chimie physique, chimie organique...). Les chercheurs relèvent des disciplines et approfondissent, grâce aux instruments de leur discipline, des questions (nombreuses) qui sont en lien avec un petit nombre de thèmes généraux liés aux applications (optique appliquée, théorie de la photographie, photographie couleur, photographie générale, problèmes de film, produits chimiques)⁵⁸.

Alors que Chevenard faisait porter les activités sur les processus génératifs (régénération des types de « fonction » et mise au point d'un langage générique pour concevoir de nouveaux alliages), Mees organise la production de connaissance de façon à contrôler la générativité – celle-ci est bornée par les disciplines, par les questions précises posées à la recherche, par le rapport à l'instrumentation. Mees en vient à distinguer entre la recherche « divergente » et la recherche « convergente ». Les laboratoires « divergents » traitent de sujets multiples et ne partagent pas d'intérêt commun (p. 25) – ce sont les laboratoires « *devoted to pure science, such as those of universities* ». Les laboratoires convergents ont tous un sujet commun. Ce sont les laboratoires de recherche dans l'industrie – son propre laboratoire chez Eastman Kodak Company. Dans ce type de laboratoire « *there is always a temptation to stray from the field covered by the laboratory. The men working in such a laboratory will [...] have original ideas of considerable value which they will naturally wish to test experimentally but which have no direct relation to the general work of the laboratory. As a rule, it is necessary to resist this tendency* ». ⁵⁹ On voit là une tendance à limiter la générativité.

On peut ainsi dresser le tableau de synthèse comparant l'organisation du laboratoire de recherche d'Imphy et les modèles d'organisation plus classiques tels que celui de Mees.

	Fayol-Guillaume-Chevenard (recherche conceptive)	Mees (Recherche résolutoire)
Gouvernance	État-Major Programme d'action pour explorer l'inconnu	Staff (cf staff and line) Assurance contre le risque de perte de contrôle de l'industrie
Logique d'action	« métallurgie de précision » orientée vers l'inconnu (distinct des produits) : Nouvelles propriétés Nouveaux moyens d'action (lois)	Theory of the subject, rôle de la Méthode Lien étroit avec le développement de produits

Tableau 1: différences entre la recherche conceptive de Fayol, Guillaume et Chevenard et le modèle de recherche de Mees.

Il apparaît finalement que le laboratoire décrit par Mees n'est pas incompatible avec une forme de recherche conceptive – mais les traits les plus déterminants d'une telle recherche sont ignorés. Ainsi dans le modèle de Mees, la générativité n'est pas à strictement parler empêchée mais elle n'est pas organisée.

L'absence d'organisation associée à la générativité se voit chez d'autres auteurs. Ainsi pour Le Châtelier, la découverte n'est pas recherchée – elle est simplement la

⁵⁸ A noter que les thèmes généraux, qui ne sont pas discutés par Mees mais apparaissent comme centraux dans le schéma d'organisation (voir Mees 1920 p. 126) peuvent toutefois être assimilée à un espace inconnu à explorer, similaire au programme donné par Fayol à Chevenard.

⁵⁹

conséquence(aléatoire et involontaire) de l'application de la méthode. Les connaissances amassées permettent un progrès continu ; et ces connaissances amassées permettent aussi les innovations majeures : Le Châtelier déclare que « l'on trouve souvent ce que l'on ne cherche pas »⁶⁰.

Il est d'ailleurs étonnant de constater que Perrin, opposé fondamentalement à Le Châtelier sur la question de l'organisation de la recherche scientifique⁶¹, ardent défenseur d'une science « pure » libérée de tout souci d'application, recourt au même type de raisonnements à peu près à la même époque⁶² : « par surcroît et en conséquence imprévue de ce progrès de la connaissance pure, la richesse et la puissance des hommes vont s'accroître miraculeusement » car « un accroissement de savoir permet presque toujours quelque utilisation, quelque "invention" qui se trouvait jusqu'alors imprévisible, et la Recherche scientifique, sans avoir d'autre but que la "découverte" désintéressée de l'inconnu, entraîne de façon nécessaire l'accroissement incessant de notre emprise sur la nature ». (p. 127)⁶³.

Perrin comme Le Châtelier partagent le sentiment que la recherche explore l'inconnu. Mais ils partagent aussi l'idée que cette exploration ne peut être pilotée que par l'application rigoureuse de la méthode scientifique – celle prescrite par les disciplines scientifiques et les savants. A l'inverse, rappelons la déclaration de Guillaume racontant les débuts de ses travaux sur l'invar que nous citions plus haut : « Maintenant c'était fini pour le rôle du hasard ; une étude s'imposait »⁶⁴. Fayol, Guillaume et Chevenard vont intégrer l'effet génératif des explorations de l'inconnu et considérer que pour orienter la recherche vers ces effets génératifs et en tirer le meilleur parti, il faut une gouvernance adaptée (État-Major et programme d'action) et il faut que la méthode porte plus spécifiquement sur certaines dimensions génératives (nouveaux instruments de mesure de nouvelles propriétés et nouvelles lois de transformation des alliages).

3. A partir de 1950 : disparition de la recherche conceptive ?

Dans l'après-guerre, le contexte a encore changé. Reconstruction et planification sont à l'ordre du jour. C'est aussi dans cet après-guerre que les termes vont se figer – R&D, recherche, innovation, nouveaux produits,... Quelle doctrine s'élabore à cette époque ? Nous avons la chance de retrouver les mêmes protagonistes trente ans plus tard et il est donc d'autant plus aisé de repérer les inflexions du discours. En 1951, Chevenard, président de la Société des Ingénieurs Civils de France, organise un cycle de conférences sur la recherche auquel vont participer de très nombreux directeurs de recherche (Ivan Psychès pour Saint-Gobain, Henri Malcor, pour l'IRSID, G. Dupouy, directeur du CNRS, G. Chaudron, professeur de chimie de la faculté des sciences de Paris, R. Braconnier, directeur de l'INRA,...)⁶⁵. En 1950 C.E. Kenneth Mees publie une nouvelle édition de son livre de 1920,

⁶⁰Le Châtelier, H. (1918). "Du rôle de la science dans l'industrie." *La technique moderne*, X, (Sept 1918), pp. 3-14.

⁶¹Eidelman, J. (1986). "Science industrielle contre science pure : la professionnalisation de la recherche dans les années 30." *Les ingénieurs de la crise, titre et profession entre les deux guerres*, A. Grelon, ed., Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Parispp.

⁶²Perrin, J. (1948). "La nouvelle espérance." *La science et l'espérance*, J. Perrin, ed., Presses Universitaires de France, Parispp. pp. 121-133Extrait d'une Brochure "la Recherche Scientifique" (Actualités Scientifiques, Hermann, Paris, 1933) et d'une conférence à l'Union Rationaliste (1935).

⁶³ Perrin, 1948, op. cit.

⁶⁴ Guillaume, 1925, op. cit.

⁶⁵ Psychès, I. (1951). "La recherche industrielle privée." *Mémoires de la société des ingénieurs civils*, 104 - année 1951, pp. 327-342.

considérablement révisée et augmentée (notamment de résultats de campagnes d'entretiens avec des directeurs de recherche de l'époque) avec l'aide de son assistant Leermakers⁶⁶. On peut étudier comment se posent, environ trente ans plus tard, les questions de gouvernance de la recherche (laboratoire à l'état-major et impliqué dans l'élaboration des programmes d'action) et la logique de production de savoir (générativité par les nouvelles mesures et les lois de transformations des alliages).

3.1. Une générativité limitée, une recherche résolutoire

Première différence entre 1920 et 1950 : la question de l'Etat-Major a disparu. Dans le texte de 1920, Mees laissait ouverte la possibilité d'un rattachement qui ressemblait à celui préconisé par Fayol. En 1950, la recherche est maintenant un service fonctionnel comme beaucoup d'autres. L'enjeu identifié est maintenant celui de ses modes de coordination avec les autres services (relation de la recherche et du développement avec le *manufacturing* (p. 156), collaboration avec le service commercial (p. 158)) et la question de l'influence du management sur le programme de recherche (p. 162). Mais la recherche n'est plus du tout considérée comme pouvant faire partie de ce « *management* ».

Sans place à l'État-Major et sans capacité de participer à l'élaboration des programmes d'action, la gouvernance du laboratoire de recherche ne peut plus intégrer les logiques génératives associées à la recherche.

La générativité n'étant plus gérée, il en résulte une généralisation de la perspective « probabiliste » sur la performance de la recherche. La recherche est un « *gamble* » dit Mees en 1950 (mais pas en 1920), après Perrin ou Le Châtelier auparavant. On a souvent tendance à croire que c'est le fait que les résultats de la recherche soient aléatoires qui empêchent sa gouvernance. L'histoire nous conduit à inverser le raisonnement : **c'est l'absence d'une gouvernance de la générativité qui produit le sentiment d'un aléa incontrôlable**. Quand la générativité est gouvernée, pour Fayol, Guillaume et Chevenard, la découverte n'est plus le fruit du hasard.

Seconde différence : la logique de production de savoir. Dans la version de 1920, Mees détaillait sa façon d'articuler les produits et services de l'entreprise avec les grandes disciplines du laboratoire de recherche. Il montrait que le croisement entre les applications industrielles multiples et les disciplines multiples provoquait bien sûr une multiplication et un éparpillement des sujets mais il indiquait aussi qu'il était possible d'élaborer des thèmes

Perrin, R. (1951). "La recherche appliquée : problème vital. Première étude de mesures propres à en accroître l'intensité et l'efficacité." Mémoires de la société des ingénieurs civils, 104 - année 1951, pp. 343-353.

Malcor, H. (1951). "Fonctions des organismes professionnels de recherches et en particulier de l'institut de recherches de la sidérurgie (IRSID)." Mémoires de la société des ingénieurs civils, 104 - année 1951, pp. 308-326.

Dupouy, G. (1951). "La liaison entre la recherche scientifique et l'industrie." Mémoires de la société des ingénieurs civils, 104 - année 1951, pp. p. 354-367.

Chevenard, P. (1951). "La recherche scientifique dans l'industrie française, réflexions et souvenirs." Mémoires de la société des ingénieurs civils, 104 - année 1951, pp. 413-428.

Chevenard, P. (1951). "introduction au cycle de conférences sur la recherche." Mémoires de la société des ingénieurs civils, 104 - année 1951, pp. I-III.

Chaudron, G. (1951). "La recherche dans les laboratoires de l'université, ses possibilités de développement et ses relations avec l'industrie." Mémoires de la société des ingénieurs civils, 104 - année 1951, pp. 297-307.

Braconnier, R., and Lierman, M. (1951). "La recherche agronomique en France: origines historiques, état actuel, développement, applications pratiques." Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils, 104, pp. 368-389.

⁶⁶Mees, C. E. K., and Leermakers, J. A. (1950). *The Organization of Industrial Scientific Research*, 2ème édition (1ère édition : 1920), McGraw-Hill, New York. 383 p. p.,

communs qui permettait que plusieurs sujets de recherche se croisent dans des « conférences » hebdomadaires et se coordonnent ainsi. Trente ans plus tard, cette logique de coordination, qui consistait finalement à désigner des inconnus communs, a disparu. Ne demeurent plus que les applications et les disciplines – et la menace d'éparpillement s'accroît. Sauf à introduire un pilotage fort par les nouveaux produits – au risque de sacrifier toute activité exploratoire.

Ces pratiques de recherche renforcent les limites à la générativité – la générativité est finalement encadrée d'une part par les disciplines (et leurs instruments et les investissements associés) et d'autre part par les produits.

Ainsi apparaît un modèle de recherche qui cherche à confiner le plus possible la générativité de la science, à la faire tenir dans les disciplines en place. C'est pourquoi on l'appelle recherche résolutoire.

3.2. Des contradictions en héritage

Cette recherche résolutoire, sans doute plus adaptée à un monde où les « inconnus » sont moins présents qu'à l'époque de Fayol, porte aussi avec elle quelques limites qui continuent encore aujourd'hui de rendre difficile la gestion de la recherche.

1- une autonomie insoutenable. En l'absence d'une gouvernance capable d'intégrer la générativité propre à la recherche, les programmes qui ne sont pas pilotés par une demande externe – et notamment les programmes dits « de recherche(s) », par opposition au développement de produits nouveaux – posent des difficultés d'organisation. Les habiletés rhétoriques se multiplient pour essayer d'expliquer qu'une partie de la recherche doit être laissée libre tout en devant rester « rentable », « justifiable » aux yeux de l'entreprise. Or ces « recherches » qu'on a vu clairement identifiées chez Chevenard, se justifiaient alors essentiellement par leurs effets génératifs, donc leurs contributions à la stratégie, à l'élaboration de programmes d'action permettant de faire face à l'inconnu (nouvelles technologies, nouveaux business, nouveaux partenaires, nouveaux écosystèmes, nouveaux usages,...). Oublier ces contributions, c'est rendre difficilement justifiable une recherche exploratoire autonome. Cette tension propre à une recherche résolutoire qui peine à intégrer les logiques génératives conduit aux débats récurrents que l'on connaît depuis des décennies sur l'autonomie de la recherche industrielle – elle conduit aussi aux mouvements de balancier entre recherche « market pull » et recherche « techno push » comme on les voit dans les ouvrages sur la recherche de « générations » successives⁶⁷. Cette tension ne sera pas non plus sans conséquences sur les Ressources Humaines : elle désoriente les chercheurs passionnés ou les fait fuir.

2-les quiproquos de la R&D. Conséquence directe de la difficulté sur la recherche exploratoire : la notion de R&D s'impose dans la confusion. D'une part il devient de plus en plus critique de distinguer une activité de production de connaissance tournée vers les nouveaux produits – ce sera le « développement ». Et on va constater que ce développement peut aussi relever du bureau d'études. D'autre part il reste une activité de production de connaissances qui n'est pas liée à des produits, ce sont « les recherches » qu'avaient indiquées Chevenard. Et ces activités deviennent difficiles à positionner si on oublie leur rapport à l'État-Major. Sont-elles « en amont », ce qui conduirait alors à dessiner un modèle linéaire dont il a été montré qu'il était largement fantasmé par ceux-là même qui le critiquaient ? Sont-elles plutôt en « support », à élaborer les modèles et à régénérer les métiers du développement, comme le suggère le fameux « *chain-linked model* » de Kline et

⁶⁷Miller, W. L., and Morris, L. (1999). *Fourth Generation R&D, Managing Knowledge, Technology, and Innovation*, John Wiley & Sons, Inc, New-York. p., Roussel, P. A., Saad, K. N., and Erickson, T. J. (1991). *Third Generation R&D, managing the link to corporate strategy*, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts. p.,

Rosenberg⁶⁸, en fait largement inspiré des modèles de conception systématique que Kline, ingénieur mécanicien, connaît bien ?

3- des programmes de recherche en miette. On l'a vu avec Mees, l'effort d'articulation entre une recherche disciplinaire et les business de l'entreprise conduit mathématiquement à un grand nombre de projets (un projet par problème et par instrument de mesure pour le traiter). Chevenard, voire Mees, avaient en fait déployé des programmes « transverses » qui réunifiaient l'éclatement des disciplines et des applications autour de thématiques fortes (cf. Chevenard : étude de nouveaux types de propriétés ou de nouvelles lois phénoménologiques ; cf. Les thèmes des « conférences » de Mees). On pourrait dire que Chevenard et Mees avaient su, dans les années 1920, désigner des inconnus et structurer leurs explorations autour de ces inconnus. Mais en 1950, ces « inconnus » à explorer ont disparu ou se sont sclérosés. La recherche n'a plus pour rôle de déplacer les disciplines et de renouveler les applications mais plutôt d'utiliser des disciplines stables pour optimiser la performance des produits. Cela conduit à un éparpillement du portefeuille qui devient vite très difficile à gérer – conduisant ultérieurement à de nombreux outils de visualisation et de gestion de portefeuilles.

4- une instrumentation gestionnaire productiviste. Faute d'intégrer la générativité de la recherche, l'instrumentation gestionnaire mobilise des critères associés à l'efficacité quantitative de la production de connaissances – publications, nombre de brevets, nombre d'analyses et de « clients » satisfaits, taux de transferts de la connaissance de recherche sur les nouveaux produits, etc. Il est d'ailleurs étonnant de constater que c'est seulement à partir des années 1960 que ces indicateurs quantitatifs s'imposent – les évaluations antérieures portant plutôt sur les succès en termes de conquêtes industrielles ou scientifiques (« tungstène ductile » de Coolidge, Invar de Guillaume, « plasma » de Langmuir, etc.). Non pas que les critères n'existaient pas : dans les années 1960, des spécialistes de Recherche Opérationnelle, dans un numéro spécial d'*Operation Research* sur les applications de la Recherche Opérationnelle, exhument un papier de Charles S. Peirce sur la valorisation de la recherche, initialement publié en 1879. Le papier propose une évaluation que ne désavouerait pas un expert en théorie de la décision dans l'incertain : Peirce propose, dès 1879, d'évaluer la recherche en fonction de sa contribution à la réduction d'incertitude. Des experts historiens de la science économique ont déjà souligné le caractère extrêmement novateur du modèle en 1879⁶⁹. Mais il faut ajouter que ce modèle est resté totalement ignoré dans tous les débats sur la valeur de la recherche dans la période que nous venons d'étudier (dont nous avons pourtant indiqué qu'ils reposaient sur un effort important de synthèse de la littérature existante et de mise à jour de références bibliographiques), et cela malgré les efforts de Peirce qui, en 1902, a postulé à un *grant* en mobilisant son modèle. Il existe sans doute bien des raisons pour expliquer cet oubli de l'histoire – mais on ne peut pas complètement exclure que cet oubli tenait aussi au fait que le modèle de Peirce était en fait inadapté à une recherche fortement générative – comme l'était celle de son temps – et qu'il a fallu attendre une recherche résolutoire faiblement générative pour que le modèle attire l'attention.

3.3. Réinventer la recherche conceptive ?

On peut bien sûr se demander comment la recherche conceptive à la Fayol a pu être oubliée. Une hypothèse est que la gestion de la recherche, en tant que domaine des sciences de gestion, apparaît en fait nettement après les débats du tournant fayolien. En effet, en parallèle aux

⁶⁸Kline, S. J., and Rosenberg, N. (1986). "An Overview of Innovation." *The Positive Sum Strategy, Harnessing Technology for Economic Growth*, R. Landau et N. Rosenberg, eds., National Academy Press, Washingtonpp. pp. 275-305

⁶⁹Wible, J. R. (1994). "Charles Sanders Peirce's economy of research." *Journal of Economic Methodology*, 1, (1), pp. 135-160.

intenses réflexions des années 1910-1920, que se passe-t-il dans le domaine du management ? On peut d'abord constater que peu de travaux en management vont reprendre ceux des auteurs spécialistes d'organisation de la recherche industrielle. Si Mees est beaucoup lu (cf. la réutilisation de son ouvrage après la seconde guerre mondiale, deuxième grande vague d'organisation de laboratoires de recherche, notamment en Europe), il n'est pas cité par les grands auteurs de management.

Sur quoi le management écrit-il dans cette période ? Pour le savoir, consultons le premier numéro d'HBR publié en octobre 1922. Un premier numéro très épais (140 pages), qui traite d'un grand nombre de sujets. On y trouve une introduction sur « *essential groundwork for a broadexecutivetheory* », qui souligne l'importance du *decision-making* et propose à la fois de s'inspirer des travaux des économistes et de développer des bases scientifiques solides sur le sujet. Les autres sujets sont, dans l'ordre : taxation des gains du capital, gestion bancaire et business cycles, l'avenir du commerce à l'export, les réserves des banques dans un système de réserve fédérale, le plan de consolidation des chemin de fer, les effets du *hedging* sur le contrôle des moulins à farine, usage et limites des tests psychologiques, les relations entre formation technique et formation business, la signification de la rotation des stocks dans le commerce et la distribution. On trouve donc déjà les grands chapitres du management contemporain (marketing, RH, fisc, gestion de production). Mais on trouve peu d'articles sur la gestion de la recherche : c'est seulement en 1931 un premier travail porte sur les coûts de la recherche et ses effets chez GE. Les articles se multiplient surtout dans l'après-guerre notamment à partir des premières études de Johnson et Jones sur l'efficacité de la R&D (Jones étant du cabinet Booz Allen Hamilton)⁷⁰, qui marque le début des études récurrentes du cabinet sur ce sujet. Les sciences de gestion vont donc avoir tendance à « voir » la gestion de la recherche à partir de l'après-guerre, occultant d'autant plus les modèles et les pratiques du début du siècle que, comme nous allons le voir, les termes du débat change dans les années 1950.

Quand la gestion de la recherche se structure – modestement et progressivement- elle va donc adopter le langage, les modèles, les phénomènes empiriques des années 1950. Elle s'inscrit dans un paradigme optimisateur et décisionnel adapté à l'étude de la recherche résolutoire. Mais ce faisant, elle se prive des perspectives ouvertes par le passé sur une logique et une gouvernance de la recherche centrée sur la générativité. A l'heure de l'innovation intensive, de la conception innovante portée par des technologies diffusantes, d'une générativité forte aussi bien dans les sciences que dans les techniques, de structures de types RID orientée vers la générativité⁷¹, le modèle de recherche conceptive développé par Fayol, Guillaume et Chevenard redevient d'actualité et mérite d'être re-découvert. Déjà certaines entreprises structurent leurs travaux sur ce nouveau modèle⁷², déjà des écosystèmes innovants fédèrent leurs efforts pour plus de générativité⁷³. Le tournant fayolien inventé il y a un siècle pourrait

⁷⁰Johnson, S. C., and Jones, C. (1957). "How to Organize for New Products." Harvard Business Review, 35, (3), pp. 49-52.

⁷¹ Le Masson, P., Weil, B., and Hatchuel, A. (2010). Strategic Management of Innovation and Design, Cambridge University Press, Cambridge. p.,

Le Masson, P., Weil, B., and Hatchuel, A. (2014). Théorie, méthodes et organisations de la conception, Sciences de la Conception, M. Nakhla, Presses des Mines, Paris. 464 p.,

⁷²Felk, Y. (2011). "Evaluation et pilotage des activités de recherche pour la rupture dans la R&D centrale de STMicroelectronics : réviser les classiques du management de la recherche industrielle," (thèse), MINES ParisTech, Sciences de Gestion, Paris. p.

⁷³Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A., and Cogez, P. (2012). "Why aren't they locked in waiting games? Unlocking rules and the ecology of concepts in the semiconductor industry. ." Technology Analysis & Strategic Management, 24, (6), pp. 617-630.

bien servir de source d'inspiration pour penser la recherche adaptée à nos économies contemporaines.

Pour conclure : que nous dit la recherche conceptive pour l'industrie contemporaine ? Fayol, Guillaume et Chevenard, leurs succès et, par contraste, les difficultés de la recherche résolutoire nous amènent à souligner deux points :

1- il est nécessaire d'organiser la gouvernance de la générativité, au-delà du strict cadre du laboratoire. La recherche, la science, peuvent avoir de puissants effets génératifs. Mais la soutenabilité de ces activités d'exploration tient aussi au cadre d'action collective dans lequel elles s'inscrivent. Quel collectif peut supporter ces effets génératifs ? Fayol a montré quel type d'administration était nécessaire – une participation à l'État-Major, une implication dans l'élaboration des programmes d'action, la capacité à désigner des inconnus communs. On peut finalement constater que ce type d'entreprise était peut-être une condition nécessaire à une recherche générative. Ce qui est là encore une version plus équilibrée, plus « co-générative » du rapport science-industrie. Et aujourd'hui ? A-t-on les structures de gouvernance capables d'intégrer la générativité associée aux techniques, aux sciences et aux industries contemporaines (voir sur ce sujet les travaux de Blanche Segrestin et Armand Hatchuel⁷⁴ ? Ces structures de gouvernance sont-elles l'apanage des entreprises ou bien d'autres entités sont-elles (aussi voire plus) en mesure de gérer la générativité (voir les collègues et architectes de l'inconnu⁷⁵ ?

2- La recherche, en tant que processus contrôlé de production de connaissance, peut ou ne pas être générative selon qu'elle s'applique à des objets existants ou explore l'inconnu. Le laboratoire de Chevenard, avec ses « recherches », s'était organisé pour explorer l'inconnu de façon systématique. Nous avons vu que cela tenait à des orientations particulières, presque une nouvelle discipline, la métallurgie de précision, mettant l'accent sur la conception d'outils pour mesurer de nouvelles propriétés et la capacité à concevoir des lois de transformation des alliages. Conception d'instrument et de processus apparaissent ainsi comme deux façons d'explorer systématiquement l'inconnu, d'être génératif tout en étant générique. Ces propriétés restent vraies aujourd'hui (pensons par exemple à l'invention de Crispr-Cas 9 pour la génétique contemporaine). On peut se demander quelle est la place de la conception d'instruments et de processus dans les sciences contemporaines ? et se demander aussi quels seraient les autres formes de production de connaissances qui auraient les mêmes propriétés de générativité générique.

⁷⁴ Segrestin, B., and Hatchuel, A. (2012). *Refonder l'entreprise*, La République des idées, Seul. 128 p.,

Segrestin, B., Roger, B., and Vernac, S. (2014). "L'entreprise, point aveugle du savoir." *Sciences humaines*, Paris, 344.

⁷⁵ Le Masson, P., and Weil, B. (2014). "Réinventer l'entreprise : la gestion collégiale des inconnus communs non appropriables." *L'entreprise, point aveugle du savoir*, B. Segrestin, B. Roger, et S. Vernac, eds., *Sciences humaines*, Paris pp. 238-253