

David Aubin, "Les Alliés et la production d'hélium (1914-1918)," in *La Technologie au risque de l'histoire*, dir. R. Belot, M. Cotte et P. Lamard. Paris, Berg/Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2000, p. 405-412.

LES ALLIÉS ET LA PRODUCTION D'HÉLIUM (1914-1918)

David AUBIN

À la signature de l'Armistice, 750 cylindres d'acier attendent sur les quais de la Nouvelle-Orléans d'être embarqués pour la France. Chacun de ces cylindres contient de l'hélium gazeux comprimé qui à pression atmosphérique occuperait un volume d'environ 200 pieds cubes. Il est destiné à être utilisé comme gaz de remplissage dans les dirigeables du corps américain. Ces cylindres sont extrêmement précieux. Avant la guerre, l'hélium n'existait guère qu'en tant que curiosité de laboratoire, et l'on en avait jamais séparé, dans tous les laboratoires du monde, plus de 100 pieds cubes, son coût de production s'élevant à environ \$ 2000 du pied cube. Sur les quais de la Nouvelle-Orléans est donc entassée une quantité d'hélium dont la valeur, au cours d'avant-guerre, aurait atteint plus de \$ 250 millions. Après la guerre, cette réalisation apparaît comme l'un des exploits de la science. « L'un des plus grands triomphes scientifiques et techniques découlant de l'application de connaissances exactes et du génie inventif à des problèmes d'importance militaire a été la production à grande échelle d'hélium » [Manning 1919, 75].

Comment cette production fut-elle possible dans le court laps de temps qui sépare l'entrée en guerre des États-Unis, en avril 1917, de l'Armistice ? En étudiant le programme de production d'hélium, on s'aperçoit qu'aux États-Unis des structures efficaces de mobilisation scientifiques et industrielles, et de collaboration entre agences gouvernementales, militaires et universitaires existent dès avant le début des hostilités. Contrairement à ce qui se passe en Europe, l'existence de telles ressources, due en partie à l'entrée tardive dans le conflit, a permis une mobilisation rapide des forces scientifiques et industrielles de la nation au service de la guerre.

Ce programme de production d'hélium ne fut pas unique. En effet, sous contrat de l'Admiralty britannique, des physiciens canadiens s'attaquent au même problème dès 1915. En mettant sur pied la première usine de production d'hélium au monde, les Canadiens font preuve d'un dynamisme impressionnant. Pourtant, cette usine reste au stade expérimental et la production d'hélium en quantités utilisables ne sera jamais atteinte. Le contraste entre ces deux programmes met en lumière les différences entre

deux types de mobilisation scientifique pendant la Première Guerre mondiale : l'auto-mobilisation des savants et l'enrôlement au sein d'agences gouvernementales.

A priori, les concentrations d'hélium dans les gaz naturels canadiens (de 2 à 3 fois plus faible environ) et le choix d'un procédé qui, testé par les Américains, s'avère n'être pas optimal, fournissent de bonnes raisons au demi-échec canadien. En analysant les structures sociales de ces programmes, il apparaît toutefois que les expériences furent très différentes. D'une part, les Américains utilisèrent leurs agences gouvernementales et les diverses armes militaires qui coordonnèrent la collaboration avec scientifiques universitaires et ingénieurs industriels. D'autre part, les autorités britanniques qui coordonnent directement le travail des Canadiens (une situation coloniale prévaut encore dans le pays) chargent le physicien le plus qualifié du pays, Sir John Cunningham McLennan, de l'Université de Toronto, de diriger tous les aspects du programme canadien. Dans cette différence fondamentale il faut voir l'un des exemples les plus frappants de deux types bien distincts de mobilisation scientifique pendant la Première Guerre mondiale, qui influence les choix technologiques. En allant plus loin, il est possible de voir dans le contraste entre ces deux programmes l'une des leçons de la mobilisation scientifique de guerre, une leçon qu'on n'oubliera pas lors du conflit mondial suivant.

Le Programme canadien de production d'hélium

Le 28 février 1915, William Ramsay, le célèbre chimiste britannique qui, le premier, en 1895, avait détecté l'hélium, écrit à Richard B. Moore du U.S. bureau des Mines : « Je suis en train d'étudier des échappements de gaz pour l'hélium pour notre gouvernement. [...] Mon idée est d'utiliser l'hélium pour les dirigeables » [cité in Seibel, 1968, 23]. En effet, la densité et l'extrême inertie chimique de l'hélium en font un gaz de remplissage idéal. Avec 93 % de la force ascensionnelle de l'hydrogène, il offre l'immense avantage de ne pouvoir s'enflammer. L'Admiralty britannique est évidemment animée par l'espoir de pouvoir remplacer l'hydrogène de ses quelques dirigeables par l'hélium, ce qui les rendrait beaucoup moins vulnérables à l'assaut des balles incendiaires. Les raids sur Londres de zeppelins allemands, même handicapés par leur grande inflammabilité, en ayant prouvé l'efficacité, les autorités britanniques envisagent d'en faire un dangereux instrument de bombardements civils.

Un projet canado-britannique de production d'hélium est donc établi sous l'impulsion de Sir Richard Threlfall. Ce physicien britannique, qui s'occupe à l'Admiralty de recherches dans le domaine aérien, dresse des plans pour une usine de £ 2 à 3 millions au Kansas. Membre du Board of Invention and Research (BIR) mis sur pied en juillet 1915, Threlfall saisit le comité de son projet. Regroupant des scientifiques civils, le BIR est chargé d'assister à la recherche de solutions aux problèmes navals et avant tout celui de la détection des sous-marins. Saisi du problème de l'hélium, J.J. Thomson suggère que le physicien canadien John C. McLennan soit

chargé d'une mission d'exploration. Il s'agirait d'analyser les gaz naturels du Canada afin de déterminer leur concentration en hélium. Le sous-comité « Airship » du BIR approuve cette suggestion mais souligne que « *the matter should be carried out as unobtrusively as possible* » [cité in Countryman, 1992, 6].

Né au Canada en 1867, McLennan était bien connu en Angleterre. Après des études de physique à l'université de Toronto, il travaille, en 1898, à Cambridge sous la direction de Thomson. Dès le début de la guerre, il s'implique dans la recherche militaire britannique. Vers la fin de 1914, il écrit au First Sea Lord pour lui suggérer l'application de quelques principes scientifiques aux mesures de défense navale. En particulier il suggère des méthodes de détection magnétique des sous-marins et des mines à détente magnétique sur lesquelles il travaillera pendant les années suivantes. À la suite de la recommandation du Airship Subcommittee du BIR, McLennan dirige une étude des sources d'hélium au Canada réalisées par des physiciens canadiens. Entre-temps le Airship Subcommittee, malgré l'insistance de Threlfall, hésite à s'engager dans un programme de production d'hélium. Ce ne sera qu'au cours de l'été 1917 que McLennan recevra le feu vert du BIR pour mettre sur pied une usine expérimentale en Ontario. Quelques scientifiques y travailleront sur un compresseur (procédé Claude) prêté gratuitement par la filiale torontoise de la Société l'Air liquide. Pendant l'automne 1918, une seconde usine sera établie en Alberta. Mais les progrès accomplis sont lents et relativement décevants et c'est aux États-Unis qu'il seront repris avec succès.

Le programme de production d'hélium du Bureau des Mines

À la conférence de l'American Chemical Society en avril 1917, un papier sur la présence des gaz rares dans les gaz naturels du Kansas est présenté par l'étudiant Clifford W. Seibel. Pendant la discussion, le professeur Moore mentionne la possibilité d'utiliser l'hélium comme gaz de gonflement pour les dirigeables et insiste pour que l'on étudie cette possibilité sérieusement, ce que Seibel a bien du mal à imaginer en regard des difficultés énormes qu'il a eu à en isoler d'infimes quantités. Très rapidement, tout un réseau se met en place ayant pour objectif d'étudier la possibilité de produire de l'hélium en quantité industrielle. À son cœur, le Bureau des Mines. Créé le 1^{er} juillet 1910, le Bureau des Mines devait tout d'abord s'occuper de recherches ayant pour but de réduire les risques d'accident dans les mines américaines. Son rôle était « d'étudier les méthodes de prospection, surtout en regard de la sécurité des mineurs, l'amélioration des conditions dans les mines, la prévention des accidents, et le traitement des minerais [et] l'accroissement de la sécurité, santé, économie, et efficacité de la prospection, l'exploitation des carrières, la métallurgie, et les diverses industries minières dans le pays » [Lyon 1925, 4]. Avant même la déclaration de guerre, en février 1917, le Bureau des Mines, et son directeur Van Manning attirent l'attention des autorités civiles et militaires sur son expertise particulière lui permettant de développer des masques à gaz.

L'offre est acceptée et le Bureau des Mines s'insère dans l'effort de guerre américain.

Au mois de mars 1916, l'attention du *chief metallurgist* Frederick G. Cottrell du Bureau des Mines est attirée sur le problème de la production d'hélium par un inventeur, Fred E. Norton qui était détenteur de brevets pour des processus de séparation des gaz de l'air. L'insistance acharnée de cet inventeur sera importante pour la suite du projet mais, à ce moment, aux yeux du Bureau des Mines, la neutralité des États-Unis ne semble pas lui permettre de consacrer ses énergies à cette question. En plus de Moore et Cottrell, un autre employé du Bureau, Mr. G. A. Burrell placé à la tête des travaux sur les gaz, se trouve impliqué dans les discussions préliminaires. De par leur situation au Bureau des Mines, ces hommes sont au courant de la concentration importante d'hélium dans certains gisements pétroliers à Petrolia, Texas et, bien sûr, au Kansas. Puisque la production massive de ce gaz ne semblait pas hors de portée, des initiatives furent entreprises en deux directions : les autorités militaires (en particulier celles de la Navy) sont consultées afin de savoir si l'hélium pourrait avoir une réelle importance tactique ; et plusieurs réunions d'experts sont organisées qui rassemblent chimistes, spécialistes des gaz rares, des physiciens spécialisés dans les basses températures et les ingénieurs du Bureau des Mines.

Mais l'expert sur lequel s'appuie par-dessus tout le Bureau des Mines c'est Norton à qui l'on demande d'estimer le coût d'une usine expérimentale. On sollicite aussi l'avis de deux grandes firmes spécialisées dans la liquéfaction des gaz de l'air : la Linde Air Products et l'Air Reduction, toutes deux filiales indépendantes de sociétés allemande et française (l'Air liquide dans le second cas). Le 26 juillet 1917, le Joint Army and Navy Airship Board recommande d'allouer \$ 100 000 à ce projet que dirigera le Bureau des Mines. En même temps, la décision est prise de préserver le secret militaire à propos du projet et le nom d'*hélium* est retiré au profit de celui d'*argon*. Pour le projet argon, le Bureau of Mines, sous la direction de Burrell, sollicite donc l'armée et la marine pour le financement, le Geological Survey pour un relevé rapide des principaux champs de gaz naturel aux USA, les chimistes de l'Université du Kansas pour l'analyse d'échantillons, le National Bureau of Standards pour des analyses scientifiques, les industries de séparation des gaz de l'air pour le développement de procédés industriels, le National Research Council pour l'évaluation de ces procédés, le Bureau of Steam Engineering et le Bureau of Yards and Dock militaires pour la construction d'usines et de pipelines, etc. Pour coordonner le travail de ces différentes agences et organiser le contrôle effectif de l'exploration et la conservation de l'hélium, un comité comprenant un représentant de la Navy, de l'Army, et du Department of Interior (de qui dépend le Bureau des Mines) sera mis sur pied.

La séparation industrielle de l'oxygène de l'air (présent à 21 %) par refroidissement avait été une longue et fastidieuse entreprise qui n'avait réussi que récemment aux alentours de 1902. Dans le cas de l'hélium, on devait s'attendre à des concentrations de tout au plus 1 % seulement et on

devait pouvoir atteindre des températures plus basses. Le problème demandait donc une solution délicate. D'ailleurs, le physicien hollandais Heike Kamerlingh-Onnes, récipiendaire en 1913 du Prix Nobel de physique pour avoir réussi à liquéfier l'hélium, avait rencontré d'énormes difficultés pour collecter aussi peu que 2 mètres cubes de ce gaz. Dans l'industrie, les techniques de liquéfaction de l'air étaient alors largement connues mais plusieurs procédés s'affrontaient. C'est pourquoi le Bureau des Mines décide de tester simultanément trois procédés dans trois usines différentes ! Le procédé Linde (usine n° 1) dépend de l'effet Joule-Thomson, obtenu par l'expansion soudaine d'un gaz très comprimé à travers un petit orifice et le refroidissement du gaz qui s'ensuit. Le procédé est basé sur un cycle thermique de telle sorte que le gaz refroidi circule autour du tube amenant le gaz dans l'appareil. Le procédé Claude (usine n° 2) utilise aussi l'effet Joule-Thomson, mais réduit son efficacité au minimum par une compression beaucoup moins grande du gaz. L'effet de refroidissement maximal est produit par le fait que le gaz comprimé en s'expulsant dans le cylindre est obligé d'effectuer un travail et réduit sa température. Dans le procédé Norton (usine n° 3), trois expulseurs sont utilisés et utilisent de nouveaux designs. Si le système Linde exige une dépense énorme d'énergie pour comprimer le gaz, qui est ainsi gaspillée, le système Claude n'exige pas tant d'énergie pour la compression, mais celle-ci est dissipée par le gaz comprimé qui la stocke. Dans le système Norton enfin, les besoins de compression et les pertes d'énergie sont grandement réduits ce qui promet une efficacité maximale à un coût minimum. Malheureusement, ce système qu'on devait faire « sauter » du laboratoire à l'échelle industrielle fut le plus ardu à mettre en pratique et l'usine n° 3 de Petrolia demeura au stade expérimental avant d'être définitivement arrêtée en juillet 1921.

En novembre 1917, les contrats qui lient les Sociétés Linde et Air reduction pour la construction de deux usines appelées respectivement « Argon Plants 1 and 2 » sont établis. L'exploitation des gisements de Petrolia est organisée auprès de la Lone Star Co. En juin 1918, Moore est chargé de s'occuper des trois usines (y compris celle exploitant le procédé Norton qui avait pris du retard). En août, les ministères de la Guerre et de la Marine décident d'arrêter les opérations des usines expérimentales et de construire, sur la base des connaissances déjà acquises, une grande usine suivant le procédé Linde à Fort Worth, Texas. D'avril 1917 au 23 octobre 1918, le coût total de ce programme aura été de \$ 1 090 000, entièrement à la charge du gouvernement. En décembre 1918, un plan soumis aux ministères de la Guerre et de la Marine recommande un investissement de plus \$ 5 millions dans l'année suivante en vue de produire plus de 7 millions de pieds cubes d'hélium, suffisant pour remplir trois dirigeables du type des zeppelins géants construits à la fin de la guerre (LZ 113 et LZ 114). En fait, plus de \$ 7 millions seront dépensés par le gouvernement américain entre juillet 1917 et juillet 1920.

Discussion

Avant d'aborder la question de l'impact de l'urgence sur les choix technologiques à l'œuvre dans les deux programmes de production d'hélium pendant la Première Guerre mondiale, il faut caractériser l'urgence qui joue dans chacun des cas. Pour les Britanniques, qui non seulement sont pleinement impliqués dans la guerre mais aussi subissent un grand nombre d'attaques qui touchent le territoire national, l'urgence de la situation réclame des solutions immédiates à des problèmes immédiats. La question de la production d'hélium n'entre donc pas vraiment dans ce cas et leur manque d'empressement et d'enthousiasme est manifeste. Pour les Américains, une certaine forme d'urgence est fortement ressentie par les scientifiques de certaines agences gouvernementales qui désirent démontrer leur utilité. Il faut dire que l'entrée en guerre des États-Unis est placée sous le sceau de la préoccupation de sa préparation, sa « *preparedness* ». Fort de l'expérience européenne, les savants américains s'empressent d'offrir leur service au gouvernement. Au Canada, finalement, on peut se demander s'il y a seulement eu urgence. La guerre est loin, le pays reste une colonie de la Grande-Bretagne. McLennan témoignera plus tard du manque d'intérêt manifesté par son gouvernement : « *I remember early in the Great War speaking to a Canadian cabinet minister of distinction [...] Instead of welcoming any proposals he appeared to be amused, and spoke in a depreciative way of what we might do. He seemed to have no conception of what science meant or of what it could do* » [cité par Hangton, 1939, 44].

Les deux programmes de production d'hélium reflètent en fait deux modes de mobilisation des savants dans l'effort de guerre. L'auto-mobilisation des scientifiques est symbolisée par le travail des comités, comme le Board of Invention and Research britannique. L'inefficacité de cette solution frappa les acteurs eux-mêmes. Ainsi, en septembre 1917, McLennan demanda l'abolition du BIR « *principally because the scientists were not used to their potential and were wasted in committee work while the board did not work closely enough with the Admiralty* » [Countryman, 1992, 18]. Cette forme de mobilisation implique un contrôle important exercé par les scientifiques universitaires eux-mêmes sur le développement de projets militaires, ce pour quoi ils ne sont pas nécessairement les mieux placés. La deuxième forme de mobilisation fut celle mise en place pour le projet du Bureau of Mine américain. Elle est centrée sur les agences gouvernementales (ou dans d'autres cas militaires) qui engagent des scientifiques directement. Celles-ci collaborent avec les universitaires en vue d'obtenir des résultats précis et des analyses concrètes. On sollicite également leur avis et leur conseil, mais la direction des projets restent constamment entre les mains des employés des agences qui ont l'habitude du travail de comité et des collaborations industrielles.

Dans le cas précis des programmes de production d'hélium, on constate que les choix technologiques sont soumis au mode de mobilisation des savants. Sans doute, les ressources financières totalement différentes

dans les deux cas conditionnent-elles les choix qui sont faits. Mais le mode d'évaluation des procédés techniques disponibles diffère grandement. Dans les deux cas, une étape expérimentale est prévue. Mais alors que les Canadiens testent uniquement le procédé pour lequel ils ont pu obtenir un compresseur gratuit, les Américains planifient des essais pratiquement en grandeur nature de pas moins de trois procédés. Les critères de fonctionnalité des différents procédés sont évalués à partir d'une information la plus complète possible. Fidèles à leurs habitudes universitaires, les savants auto-mobilisés tentent de réussir une expérience délicate, tandis que les savants du Bureau des Mines, plus proches des pratiques des ingénieurs, ont le souci d'arriver à une solution efficace.

Épilogue : l'hélium de l'entre-deux-guerres à la Seconde Guerre mondiale

La configuration mise en place pendant la Première Guerre mondiale subsiste tant bien que mal jusque dans les années 1940. A l'approche de la guerre, les besoins de la marine en dirigeables (plus petits que leurs célèbres prédécesseurs mais plus nombreux) donne un nouvel élan à l'Helium Division du Bureau des Mines. Alors qu'en mars 1940, la seule usine de production d'hélium subsistant dans le monde n'employait guère plus de 36 personnes, en quatre ans \$ 16 millions de dollars sont investis pour la construction de quatre nouvelles usines employant plus de 400 personnes. En fait le Bureau des Mines multipliera sa production d'hélium par dix pendant la Seconde Guerre mondiale.

L'histoire de la production d'hélium aux USA illustre le succès des agences gouvernementales américaines, comme le Bureau des Mines. Ces agences permirent la collaboration efficace entre scientifiques universitaires, ingénieurs industriels et militaires, stratégies militaires et bureaucraties. Bien que les sommes mises en jeu soient dérisoires comparativement à celles qui inondèrent la recherche américaine par la suite, il est bon de rappeler qu'autour des agences gouvernementales se mirent en place, dès 1917-1918, et subsistèrent, des réseaux, aisément mobilisables en 1941-1945, qui servirent de base à la réorganisation de la recherche scientifique qui suivit. Les circonstances particulières de la guerre totale avaient permis une coopération exceptionnelle entre différents groupes (scientifiques universitaires, industriels, militaires, agences gouvernementales). Des organismes tels que le Bureau des Mines semblent avoir joué un rôle important dans la perpétuation de ces alliances. Contrairement à ce qui se passa dans bien d'autres domaines, l'importance stratégique de l'hélium avait transformé l'Helium Division en une sorte de sanctuaire de cette expérience. Comme de vieux réflexes, les liens tissés vingt ans auparavant se renouèrent rapidement. Son rôle fut important dans la perpétuation d'une expérience réussie qui fut très rapidement réveillée en 1940-1941 avec les conséquences que l'on sait, comme en témoigne Clifford Seibel : « *Some of us knew that many thousand cubic feet of helium had been shipped to the Manhattan Engineers District of the Army [...]. Later, we were told by*

General Leslie Groves [...] that without helium there would not have been an atomic bomb » [Seibel, 1968, 107]².

¹ Procédés décrits dans Manning 1919, 82-83 ; McLennan 1920 ; Seibel 1968, 28ff. ; Cottrell 1919 ; Moore 1921, Stewart 1933.

² Cette recherche a été financée par le Conseil de recherche en sciences humaines du Canada. Sources : Aubin David, 1999, « Prélude au Projet Manhattan ? La production d'hélium aux États-Unis et la perpétuation d'une expérience de collaboration entre science, industrie, gouvernement et armée, 1917-1941 » à paraître ; Comptes rendus d'une journée d'étude du CRHST, *Le sabre et l'éprouvette. L'invention d'une science de guerre 1914-1939* ; Cottrell Frederick G., « Presentation of the Perkin Medal », *Journal of the American Chemical Society* 38, 121r-126r, « Production commerciale de l'hélium », *Chimie et industrie* (mai 1919) ; Countryman Barry, *Helium for Airships and Science : The Search in Canada, 1916-1936*, Toronto, Currenium, 1992 ; Langton, H. H., 1939, *Sir John Cunningham McLennan : A Memoir with a Chapter on his Scientific Work*, by E. F. Burton, Toronto, University of Toronto Press, 1939 ; Lyon D. A., « Fifteenth Annual Report of the Director of the Bureau of Mines to the Secretary of the Interior », *Historical Review*, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1-23, 1925 ; Manning Van. H., « Petroleum Investigations and Production of Helium », Advanced Chapter from Bulletin 178 War Work of the Bureau of Mines, *U.S. Bureau of Mines Bulletin* 178-C. ; McLennan John Cunningham, « Helium : Its Production and Uses », *Nature* 105 : 747-751, 778-780 ; *Journal of the Chemical Society* 117. 923-947, 1920 ; Moore Richard B., « Helium : Its History, Properties, and Commercial Development », *Journal of the Franklin Institute* 191 : 145-197, 1921 ; Rogers G. Sherburne, « Helium, the New Balloon Gas », *National Geographic Magazine* 35 : 441-456, 1919 ; Satterly John, « The Story of the Early Days of the Extraction of Helium Gas from Natural Gas in Canada, 1915-1920 », *Mine Branch Information Circular* IC 105, 1959 ; Seibel Clifford W., *Helium : Child of the Sun*. Lawrence, The University Press of Kansas, 1968 ; Stewart Andrew, « About Helium », *U.S. Bureau of Mines Information Circular* 6745, 1933.

QUAND L'ACADÉMIE DES SCIENCES DÉCOUVRE LA TECHNOLOGIE

Robert BELOT

Cette intervention a pour origine une interrogation relative à l'évolution de la perception, en France et au xx^e siècle, de la notion de technologie.

Si le souci de l'intensification du lien entre la science, la technique et le marché est affiché aujourd'hui comme une priorité nationale, il faut convenir que cet apparent consensus (qui souffre des exceptions notoires) s'inscrit dans une longue période caractérisée, en réalité, par des rapports d'antagonisme et de mépris. Il est proposé ici de poser un jalon sur le chemin de l'historisation de cette prise en compte, à la fois symbolique et institutionnelle de la technologie, en tentant de repérer le moment inaugural du processus de reconnaissance. La Première Guerre mondiale constitue ce moment que nous nous proposons d'analyser à travers la vie d'une institution symbolique : l'Académie des sciences.

À la veille de cette guerre, si l'on suit l'historien britannique Maurice Crosland, c'est plutôt le « conservatisme » qui semble prédominer dans ce sanctuaire de la science¹, accompagné d'une réticence aux idées nouvelles et une tendance au repli fondamentaliste. On imagine difficilement l'Académie des sciences avoir l'audace de la Royal Society qui, le 6 novembre 1919, donne raison à un savant allemand (Einstein) contre Newton dont le portrait se trouve à la place d'honneur de l'institution de sa Gracieuse Majesté !²

De fait, un double problème d'identité se pose à la noble institution. L'Académie a eu du mal à s'adapter à la grande révolution de ce xix^e siècle, à savoir le triomphe de la « méthode d'invention » qui, comme le dit François Caron, préside à « la création d'un système technique directement connecté avec le système scientifique », provoquant une sorte de renversement des valeurs et de l'ordre des facteurs où c'est la technique qui favorise le progrès scientifique³. D'où la consolidation, au sein des entreprises, d'un processus d'internalisation de l'effort de recherche/développement et d'intégration dans la production.

L'Académie a eu également à se positionner par rapport à de nouveaux organismes qui, soit assument une part de la mission d'expertise technologique qui avait été la sienne à l'origine, soit représentent des concurrents