

Entre techno-science, industrie et régulations étatiques dans le cadre de l'Etat-nation : mettre les années 1870-1970 en perspective

Dominique Pestre
Directeur d'Etudes à l'EHESS

Pour penser les sciences et techniques en société, et leur articulation à un ou des régimes de régulation sociale et politique, je m'attarderai dans ce texte au siècle qui court des années 1870 aux années 1970. Je tiens en effet que ce moment présente une certaine unité, une unité dont la logique se déploie au fil du temps et dont l'apogée se situe dans les Trente Glorieuses. Je suis conscient de la simplification qu'opère l'idée de chercher à définir un « régime de sciences en société » à un moment donné. D'une part la pureté et l'unicité ne sont pas de ce monde et tout moment est une composition de modes d'être plus ou moins hétérogènes, en équilibre ou en conflit. De l'autre une telle approche rend difficile la pensée des transitions et des dynamiques qui conduisent au changement. Ces arguments ne sont toutefois pas rédhibitoires et l'essai de caractérisation d'un moment garde toujours un sens.

1. -- *Le régime de savoirs des années 1870-1970 : une proposition générale*

Ce siècle qui court des années 1870 aux années 1970 voit d'abord une transformation profonde des sciences et des pratiques scientifiques, de ce qu'est « être scientifique » et « faire science ». Emerge à ce moment une autre définition de la science comme institution sociale, une autre liste de ses espaces de production comme de ses modalités de travail. Les universités s'ouvrent radicalement aux techniques et à l'industrie, la science devient un élément central des dispositifs d'innovation, un outil essentiel des dispositifs productifs de masse -- et un moyen de la rationalisation bureaucratique. La science est prise en charge par les Etats, elle est mobilisée pour la préparation d'une guerre totale toujours à venir, et elle devient un moyen indispensable à la constitution des Etats-nations¹.

La transformation des sciences est aussi affaire de nombres (les laboratoires Bell, qui dépendent de la grande compagnie américaine *American Telegraph and Telephone* emploient déjà plusieurs milliers de personnes dans les années 1920) et on peut parler, dans cette période, de l'apparition d'une *techno-science* numériquement sans commune mesure avec ce qui existe précédemment, du surgissement d'un nouvel assemblage social et techno-scientifique.

Voici, en quelques mots, les thèses que je voudrais défendre, que je voudrais préciser et illustrer dans ce texte. Dans cette première partie, je préciserai la thèse générale ; dans les deux parties suivantes, j'affinerai l'image par période et à l'aide d'exemples.

Pour commencer, je préciserai ma position en soulignant trois des traits nouveaux qui définissent ce moment :

(1) une efficace accrue des savoirs scientifiques spécialisés (des savoirs « purs » de l'université si l'on veut) dans les pratiques de maîtrise du monde, notamment industrielles et militaires, dans les techniques de la chimie organique ou de l'électrotechnologie par exemple ;

¹ Sur l'invention de la tradition dans la constitution des Etats-nations européens du XIXe siècle, voir Thiesse, Anne-Marie, *La création des identités nationales, Europe XVIII-XXe siècle* (Paris : Seuil, 1999)

(2) un intérêt symétrique, soudainement plus soutenu mais bien compréhensible, des divers types de pouvoir pour les produits de la science et pour la démarche scientifique en général – puisqu'elle offre de nouvelles possibilités d'action et de maîtrise ;

(3) une multiplication des lieux où du savoir et/ou de l'innovation sont produits, une diversification des modes d'appropriation de ces savoirs -- ainsi que des dynamiques d'interaction beaucoup plus diverses entre la variété des acteurs intéressés par la science.

Second aspect : cette première caractérisation -- une recomposition de la science, une transformation des pratiques scientifiques, l'émergence d'un nouveau régime techno-scientifique -- se fait en rapport étroit et organique avec une redéfinition du social, de l'économique et du politique, une redéfinition de ce qui fonde le collectif et le vivre ensemble -- et notamment une redéfinition de ce qu'est l'Etat, un élargissement fantastique de son être.

Ma thèse est ici que, des années 1870 aux années 1970, dans le cadre de nations alors en phase de reconstitution / redéploiement / extension, se met en place une nouvelle légitimité, un nouvel espace pour un acteur social jusqu'alors inconnu sous cette forme – l'*Etat*. Cet Etat nouveau qui s'invente alors est un *Etat scientifique* préoccupé de technique et d'innovation (pour le bien supérieur du pays), un *Etat guerrier et colonial* préparant la défense des intérêts économiques, politiques et impériaux grâce à la science, un *Etat providence* qui vise à maîtriser l'intégration des 'classes dangereuses', et (plus tard) un *Etat régulateur de l'économie* qui entend maîtriser la croissance de la Nation -- à nouveau grâce à la science, à ses théories et les indicateurs qu'elle construit. Ces dimensions émergent de conserve (sauf la dernière, un peu plus tardive) et sont constitutives de l'*Etat nouvelle manière* ; elles constituent les différents volets d'une même entreprise visible, dès la fin du XIX^e siècle de Berlin à Paris, de Londres à New York.

Précisons ces idées en insistant sur cinq points :

(1) Les années 1870-1970 voient d'abord des nations en compétition, nations se définissant par leur possibilité à tout mobiliser pour leur maintien ou expansion – dont la science et ses techniques. L'Etat devient la figure qui unit le groupe national, qui s'assure de sa mobilisation, qui le coordonne de l'intérieur comme pour ses actions à l'extérieur. Les appareils d'Etat s'allient à la science et à l'industrie pour préparer la guerre et la compétition économique. Ils le font par la mobilisation des savoirs et de toutes les « forces de production » (pour prendre un vocabulaire daté). Dans certains cas, celui de l'Allemagne de la République de Weimar par exemple, le manque de confiance dans l'Etat en tant qu'appareil politique peut conduire des acteurs particuliers, ici les industriels et les universitaires, à se substituer à lui pour incarner la Nation et son nécessaire maintien, sa nécessaire défense.

Une violence de masse est théorisée et pratiquée dans cette période marquée par de nombreux conflits entre Etats et par des violences d'Etat envers le social. Cette violence s'est manifestée dans l'holocauste, deux guerres totales et une guerre techno-scientifique de plusieurs décennies (la guerre froide), dans des conflits coloniaux propices aux massacres (c'est pour réduire les révoltes des colonisés qu'a été inventé le « bombardement stratégique » des populations civiles, pratique devenue la norme depuis la seconde guerre mondiale) -- comme dans l'existence de régimes politiques pratiquant des formes quotidiennes d'exaction. La violence n'est pas propre à ce long XX^e siècle, bien évidemment, mais elle a été dans ce siècle une violence

massive et *scientifiquement organisée*, techniquement rationalisée, avec l'aide étroite des élites du savoir.

(2) Dans ces années, les Etats s'emparent du bien public comme valeur. Dans ce mouvement, la construction de l'Etat social (ou providence) est décisive. A l'échelle européenne, elle consiste par exemple à associer les groupes sociaux organisés à la gestion collective (par exemple 'la classe ouvrière' représentée par ses syndicats et partis dans le cadre de conventions collectives). Pour l'Etat garant de l'ordre et de la puissance nationale, la stabilité sociale passe par un nouveau compromis sous son hégémonie. L'Etat qui se développe devient alors l'arbitre du social et la démocratie délégative devient, au détriment des formes d'auto-organisation de la « société civile », la forme dominante du politique.

A partir des années 1930, et du fait de la crise économique, un pas supplémentaire est franchi et l'Etat prend une place centrale dans les régulations et actions économiques elles-mêmes. Le credo libéral est certes toujours réaffirmé et le marché reste dominant mais l'Etat devient un acteur dont il est de plus en plus 'naturel' qu'il intervienne à tous les niveaux. Il draine d'ailleurs une part croissante des produits nationaux via l'impôt et les prélèvements sociaux (le processus se met timidement en place après la première guerre mondiale pour s'amplifier avec la crise et exploser avec la seconde guerre mondiale et la guerre froide). Il devient ainsi un interlocuteur clé de la vie industrielle et économique, comme des questions de protection sociale et de santé².

(3) Au long de cette centaine d'années, le monde de la production est renouvelé dans ses pratiques et structures, comme dans ses objectifs : la production de masse devient la norme, comme la standardisation des produits et des modes de travail. De nouvelles formes d'organisation et de traitement des informations voient le jour et le 'management scientifique' pénètre les ateliers.

Ce long XX^e siècle est celui des méga-organisations, notamment des grandes structures industrielles reposant sur la techno-science pour fonctionner. Les premiers grands systèmes industriels voient certes le jour au XIX^e siècle (qu'on pense aux chemins de fer) mais le long XX^e siècle a vu leur généralisation massive -- il les a vus devenir la norme *autour des savoirs techno-scientifiques*.

Plus généralement, il voit l'apparition et la généralisation d'économies reposant sur des connaissances rationnellement mobilisées au laboratoire, dans le bureau des méthodes, autour des chaînes de production, dans la promotion des ventes et de la consommation. Ce mouvement concerne les sciences physiques, mathématiques, chimiques, biologiques, sanitaires, agrico-

² Je pourrais ajouter deux choses. D'abord que cet Etat de plus en plus interventionniste en termes social et économique est le revers, et parfois la condition du déploiement de l'Etat guerrier. Je ne souhaite pas subsumer la logique du premier sous celle du second ; il existe des logiques propres de déploiement de l'état social (effroi devant la misère urbaine, volontés philanthropiques, grèves et luttes syndicales, logiques démocratiques) et il serait aberrant de les rabattre sur les nécessités de l'Etat guerrier. Il n'en est pas moins vrai que les besoins de ce dernier conduisent à conforter ou instituer l'Etat providence (qu'on pense à l'importance de la santé et de la 'qualité physique' des soldats à la fin du XIX^e siècle par exemple) et que les sorties de guerres conduisent à toujours refonder le pacte social en faveur d'interventions accrues des Etats. Je noterai ensuite que, malgré l'ampleur du champ qu'il se met à couvrir, cet Etat ne détruit pas les formes d'auto-organisation du social. Il réduit certes un grand nombre des structures qui lui pré-existent, mais la philanthropie et l'associationnisme, par exemple, restent très vivaces (en France comme ailleurs).

les, mais aussi les sciences sociales et le management -- il est un mouvement de mobilisation et d'appropriation de l'intelligence théorique et pratique.

(4) La science, notamment via l'établissement des normes métrologiques, passe aussi au coeur de l'innovation et de la production : les normes « techniques », les standards et « calibres », comme la « qualité » des produits sont largement définis par elle, et ils constituent l'assise sur laquelle l'industrie de masse peut se déployer. Un partage des tâches voit aussi le jour, dans ces années, entre science ouverte, dont les découvertes circulent librement, dont le coeur reste l'université, les grandes fondations, et plus tard les laboratoires nationaux comme le CEA ; et science privée installée dans les entreprises et dont les produits sont le plus souvent protégés par des brevets. La coordination entre ces deux mondes se fait à travers la circulation continue des universitaires et par l'action d'un Etat garant du développement national et devenant lui-même entrepreneur de science.

Un équilibre s'établit ainsi entre trois univers : « la science » en tant qu'entreprise « autonome » de savants installés dans les universités ; les travaux de métrologie et de normalisation menés le plus souvent sous l'égide des Etats et de ses instituts ; et la recherche menée dans l'univers économique – cet équilibre étant inscrit dans ce qui fonde la législation et la jurisprudence des brevets. Domine enfin la croyance dans la possibilité d'un point de vue rationnel supérieur pour dire LA solution à tout problème : l'expert scientifique est roi, dans un lien fort aux industriels et aux administrations et agences publiques.

Les guerres furent cruciales dans ce processus dans la mesure où, guerres totales, elles ont demandé une organisation d'ensemble de l'économie, une planification des productions et de la logistique, et qu'elles ont mobilisé mathématiciens et statisticiens, physiciens et économistes, chimistes et biologistes, psychologues et spécialistes des sciences sociales, ingénieurs et capitaines d'entreprises. Dans le second XX^e siècle, l'ordinateur et la pensée systémique qu'il a permis ont fortement accéléré cette dynamique -- la pensée rationalisatrice à fort *input* mathématique et logique ayant envahi alors la pensée de la guerre comme le contrôle de production, le complexe bio-médical comme l'organisation administrative.

(5) Pour les savoirs proprement dits, quatre grandes tendances sont à l'œuvre des années 1870 aux années 1970, à savoir :

- une tendance à un *réductionnisme généralisé* rendu désirable et efficace par la maîtrise des micro-phénomènes au laboratoire et par de nouvelles pratiques théoriques permettant d'en rendre compte (la mécanique quantique par exemple). Cela est typique de la physique électronique, et de la physique des atomes et des noyaux, qui commencent toutes deux à la fin du XIX^e siècle avec la découverte des électrons et de la radioactivité ; à partir des années 1940 cela devient vrai des sciences du vivant via la génétique moléculaire, via ce qu'on appelle « la molécularisation du vivant » (la fabrique d'organismes génétiquement modifiées par exemple à partir du milieu des années 1970). Ce détour par l'échelle microscopique au laboratoire a été extraordinairement productif. Il a autorisé l'invention, la fabrication d'univers artificiels toujours plus vastes et démiurgiques (le monde de l'électronique, le monde des lasers, celui des thérapies géniques), univers que seules les pratiques industrielles permettent toutefois de faire advenir (seule l'industrie dispose des moyens pour fabriquer certains produits, le silicium dopé par exemple). Ces approches des phénomènes par la maîtrise de leur niveau microscopique a scellé une interdépendance neuve entre science très fonda-

mentale et technique, elles ont conduit à l'invention d'une première « économie de la connaissance techno-scientifique » ;

- une *attitude* très souvent *pragmatique*, sous l'influence des laboratoires industriels et de la guerre, et qui mobilise tous les moyens disponibles, au-delà des disciplines constituées de l'université, pour réussir pratiquement. Ces pratiques sont transdisciplinaires et trans-métiers et sont reprises par les militaires après le second conflit mondial (pensons à la recherche opérationnelle par exemple ou à la création institutionnelle de la science des matériaux dans les années 1950 via des financements sélectifs de l'armée américaine). Cette tendance à toujours plus de pragmatisme fait de la techno-science de ce siècle un monde où 'everything goes' en termes de méthode, où ce qui compte est le *résultat* ;
- un usage accru des mathématiques et des *processus de formalisation* en général. Les approches statistiques et calculatoires se généralisent, comme se déploient les pratiques de modélisation et de simulation (sur machines analogiques d'abord, sur ordinateurs numériques par la suite). Ce développement fait ses premières armes à la fin du XIX^e siècle (ce qu'inaugure le grand mathématicien qu'est Félix Klein, à Göttingen), il s'étend avec de nouvelles formes de modélisation (les premières modélisations des équilibres écologiques datent des années 1920 et 30³), se déploie avec les simulations après guerre (les modélisations sont décisives pour concevoir une bombe H), etc. ;
- une *fondamentalisation de la recherche appliquée* et des études d'ingénieurs, finalement, une formalisation et une « scientification » accrue des « génies » (électrique ou chimique) – qui sont le symétrique de « la technicisation des sciences ». Ce changement dans la formation et les pratiques d'ingénieurs est décisif : il constitue l'autre face, l'autre condition pour le succès de ce régime nouveau d'existence des sciences en société qu'est cette économie de la connaissance des années 1870-1970. Dans tous les cas, ces pratiques sont organiquement liées à des développements instrumentaux et techniques permettant une maîtrise accrue sur les choses.

En résumé – et même si la thèse reste pour l'instant très compacte et peu illustrée d'exemples – je dirais que, au long des années 1870-1970, la science s'intègre hautement, en tant que système de pratiques et qu'idéologie rationalisatrice à la vie des nations. Parce qu'elle est instrumentalisée et mise en œuvre par les divers pouvoirs dans ce qu'elle a de plus fondamental et de plus « pur », qu'elle est pertinente pour la vie économique comme pour la vie militaire, elle contribue à transformer le monde et est elle-même profondément guidée, modelée, déterminée par les contextes sociaux et formes de production qui autorisent son développement.

Cette techno-science nouvelle redéfinit les possibles, elle transforme les activités humaines et la vie sociale. Elle ouvre des champs à l'activité économique comme à l'action technique, elle est cause et conséquence, à l'origine et produit de ces transformations. Inséparable de techniques, les savoirs qu'elle produit sont les aboutissements autant que les points d'origine des profondes recompositions que connaissent nos modes de vie et notre expérience du monde. L'électronique tout au long du siècle (des laboratoires de General Electric et de la Bell au début du siècle au radar et au transistor au milieu du siècle, des lasers et masers aux nouveaux matériaux, des ordinateurs aux technologies de l'information et de la communication aujourd'hui) serait un parfait exemple de ce double mouvement de redéfinition conjointe des univers scientifiques et sociaux -- celui des savoirs sur le vivant (génétique, bio-médecine, *agro-business*) en constituant un exemple plus récent mais tout aussi spectaculaire. La science (ou

³ Les petits poissons qui mangent le plancton, les gros poissons qui mangent les petits, etc.

plus exactement la techno-science universitaire et industrielle) transforme radicalement ce qu'est la vie (sociale, économique et biologique) -- et elle le fait de façon irréversible, sans toujours prendre le temps de mesurer les déséquilibres qu'elle introduit⁴.

2. -- *Des années 1870 aux années 1930 : industrie, Etats-nations et science*

Dans les deux sections qui viennent, j'aimerais donner un peu de substance concrète à cette thèse très générale. Concernant le dernier tiers du XIX^e siècle et les débuts du XX^e siècle, je dirais d'abord qu'on voit émerger un monde industriel gagé sur les derniers savoirs scientifiques -- qu'il s'agisse de télégraphie, de chimie, d'électricité, de radio, de science des matériaux ou de chimie agricole. L'accompagnent la création, de façon successive :

- (1) de nouveaux lieux d'enseignement : les universités scientifiques sont alors profondément remaniées et le dispositif est complété par la création d'universités, d'écoles et d'instituts techniques de toutes sortes (les universités de 'brique rouge' en Angleterre par exemple, mais aussi tous les instituts techniques des universités françaises de la fin du XIX^e siècle) qui fleurissent à des centaines d'exemplaires à travers l'Europe et les Etats-Unis ;
- (2) d'espaces et de lieux d'un nouveau genre que sont les laboratoires de recherche en milieu industriel et qui deviennent de règle à partir des années 1900 (la majorité des physiciens américains travaillent dans de telles structures dès avant la première guerre) ; mentionnons aussi les centres de recherche et de diffusion des savoirs en matière agronomique, et les centres de normalisation techno-industrielle comme le Physikalisch-Technische Reichsanstalt en Allemagne ou le National Bureau of Standards aux Etats-Unis ; nodales pour la production de masse et la nouvelle économie, ces institutions sont chargées de développer les normes et standards industriels indispensables à l'interchangeabilité des pièces, au bon fonctionnement des processus de production, à l'interconnexion des réseaux ; à Berlin par exemple, le PTR est établi par accord entre trois personnages symboliquement essentiels, Bismarck le politique, Helmholtz le scientifique et Siemens l'industriel ;
- (3) des agences nationales de recherche financées par les Etats (et parfois les industriels) et qui visent à socialiser une part de la recherche et de ce qu'on a plus tard appelé le « développement ». C'est le cas de la Caisse Nationale des Sciences, puis du CNRS en France, une entreprise remise sur le métier pendant quatre décennies et qui ne prendra sa forme définitive (et massive) qu'avec l'imminence de la guerre et la mobilisation scientifique de 1938 ; c'est bien sûr aussi le cas de la Kaiser Wilhelm Gesellschaft en Allemagne, installée avec ses laboratoires dès avant la première guerre mondiale ; du Department of Scientific and Industrial Research en Angleterre, sous-produit de la mobilisation de guerre, installé en 1915 mais préservé par la suite ; du Consiglio Nazionale delle Ricerche en Italie, mis en place lui aussi au sortir de la guerre ;
- (4) des « laboratoires nationaux », enfin, c'est-à-dire des laboratoires créés de toute pièce par les Etats dans les champs à fort potentiel technique (comme l'aéronautique dans

⁴ Pour les sciences biologiques, Gaudillière, Jean-Paul, *Inventer la biomédecine, La France, l'Amérique et la production des savoirs du vivant, 1945-1965* (Paris : La Découverte, 2002)

les années 1930) et dont on veut qu'ils servent de lien entre universités et industriels et fécondent les deux mondes. Cette étape ne prendra pourtant son ampleur qu'avec les Trente Glorieuses – pensez, en France, au CEA, Commissariat à l'Energie Atomique, ou au CNET, le Centre National d'Etudes des Télécommunications -- renforçant d'autant le poids des Etats dans le *business* scientifique.

Ces évolutions sont typiques des sciences physico-chimiques. Elles sont infiniment moins vraies pour les sciences du vivant où l'opérationnalité et la construction d'univers artificiels n'est pas alors acquise (les sciences du vivant sont donc encore largement financées par des fondations privées, aux Etats-Unis par exemple). Parallèlement à ses créations institutionnelles de toutes natures, et qui indiquent la nouvelle place des sciences dans l'univers de l'Etat-nation, la science devient, sous la houlette des ingénieurs, une manière de penser et gérer les activités humaines. La pensée rationalisatrice pénètre dans l'atelier comme dans les bureaux, le mouvement implique « l'organisation scientifique du travail » pour les cols bleus comme pour les cols blancs, mais aussi le travail à la chaîne et le bureau des méthodes, et une place nouvelle pour le traitement de l'information. L'organisation et la planification des activités passe au centre des préoccupations et l'approche de la production comme système devient monnaie courante⁵.

C'est aussi de ce moment que date l'invention du laboratoire d'enseignement (l'invention des « travaux pratiques »), cet espace où est formé l'apprenti-savant et pour lequel savoir-faire et maîtrise des instruments sont les maîtres mots. Dans ces espaces, de nouvelles normes d'évaluation s'imposent (une certaine « efficacité pratique »).

Je développerais aussi l'exemple du laboratoire Curie, toujours donné comme emblématique des pratiques éternelles de la science « pure ». Or, toutes les études récentes montrent que ce sont les Curie et leurs collaborateurs qui ont construit l'industrie du radium en France. Dès 1899, deux ans après la découverte de la radioactivité, ils ont cherché la collaboration de la Société centrale des Produits Chimiques. André Debierne, l'assistant des Curie, transforme les techniques de laboratoire en procédures industrielles pour la compagnie, obtenant en retour une part des sels de radium extraits. Cinq ans plus tard, Marie Curie commence une collaboration avec un chimiste industriel, Armet de Lisle. Cette fois c'est Jacques Danne, éditeur du journal *Le Radium* et membre du laboratoire, qui organise la production. En 1907, Danne fonde son propre laboratoire de recherche et de production (pour mettre sur le marché des instruments dérivés de ceux du laboratoire) et, en 1908, un autre chercheur part établir le service de mesure et de purification d'une compagnie fondée cette fois par Henry de Rothschild.

Ces comportements – qui n'ont rien d'exceptionnel dans le panorama français des sciences physico-chimiques, ni dans le panorama européen et américain -- s'expliquent par le fait que les éléments radioactifs n'existent qu'en quantité infime dans les minerais, que seuls des procédés industriels peuvent amener le laboratoire à disposer de quantités suffisantes pour son travail – que l'industrie est en ce sens décisive pour une pratique efficace des sciences elles-mêmes ; ils s'expliquent par le fait que le savant se doit à son pays, à son développement économique comme au bien-être de ses habitants -- et souvent, ce qui n'est pas le cas des Curie, qu'il souhaite gagner de l'argent grâce à ses découvertes. Cette nécessité se marque dans les cours de Marie Curie, donnés largement à des ingénieurs ; dans la conception d'instruments utiles à la prospection et aux activités industrielles ; ainsi que dans une préoccupa-

⁵ Delphine Gardey, *Ecrire, calculer, classer. Comment une révolution de papier a transformé les sociétés contemporaines* (Paris : La Découverte, à paraître en décembre 2007)

tion continue pour les usages médicaux. Pierre Curie est le premier en France à s'intéresser aux effets biologiques du radium et à collaborer avec des médecins, tandis que Jacques Danne et d'autres ingénieurs formés à l'Ecole de Physique et Chimie Industrielle de la ville de Paris, l'*Alma Mater* de Langevin, de Pierre Curie, puis de Joliot, contribuent, dans les premières décennies du siècle, à la préparation de sources calibrées pour les traitements et à l'évaluation des dosages nécessaires aux activités médicales⁶.

Dans cette période commence aussi un nouveau type de fondamentalisation des sciences physiques, une nouvelle manière de définir les objets pertinents de la discipline – et qui va dans le sens d'une réduction à des entités sous-jacentes, d'une régression vers des entités toujours plus petites et ultimes, vers les composants 'élémentaires' de la matière dont la combinaison doit permettre de comprendre (et de *reconstruire*) le monde sensible et macroscopique. Il ne s'agit plus de faire une science des phénomènes, de construire des systèmes d'équations reliant des entités macroscopiques et d'avancer ainsi vers un corpus descriptif de lois (lois de Joule, d'Ohm, ...). Il s'agit au contraire d'ouvrir une nouvelle boîte de Pandore et de regarder, grâce à des outils neufs, à l'intérieur du monde, au tréfonds du monde, dans ce qu'il est à une échelle qui n'est pas la nôtre et qui était jusque là inaccessible. Non point maîtriser les phénomènes grâce à une bonne sténographie des relations qui lient les paramètres que *nous* appréhendons (puissance, résistance et intensité en électricité par exemple) mais prendre l'infiniment petit (l'électron ou le noyau) dans les rets de l'expérience et de la théorie mathématisée – et à son tour domestiquer ce niveau et le faire servir. Ce travail requiert de nouveaux outils théoriques (la mécanique quantique) mais aussi une transformation profonde des techniques expérimentales.

Précisons : les années 1895/96 sont celles de la découverte de l'électron et de sa maîtrise expérimentale, maîtrise qui va conduire à l'électronique des tubes (diodes, triodes et autres dans un premier temps, magnétrons et klystrons ensuite, décisifs pour les radars de la seconde guerre mondiale). Ainsi, dès la première décennie du siècle, les laboratoires de la Bell recrutent-ils les élèves du grand patron de la physique américaine qu'est Robert Millikan, les seules personnes alors formées à la manipulation des électrons ; le but que leur fixe la Bell est d'établir des communications téléphoniques à longue distance entre les côtes Atlantique et Pacifique du pays -- ce qui sera réalisé grâce à ces techniques à partir de 1915.

Les années 1890 sont aussi celles où la nouvelle boîte de Pandore livre un autre secret et un moyen de sonder le monde microscopique : la découverte des phénomènes radioactifs et l'usage qu'on peut faire des particules alpha et beta spontanément rayonnés par le radium et d'autres corps radioactifs pour « sonder » l'infiniment petit. De là émerge la physique du noyau, la physique nucléaire qui, une fois proprement industrialisée, une fois prise en main et reformatée par des ingénieurs de guerre, générera à son tour le complexe cognitif-industriel particulièrement puissant qui est celui de la guerre froide. Plus généralement, le mélange de haute théorie et de préoccupations pratiques envahit les laboratoires, la transdisciplinarité et de nouveaux liens entre métiers, industries et université voient le jour : n'oublions pas que la bombe A américaine a demandé le laboratoire « scientifique » de Los Alamos mais aussi l'immense complexe industriel de productions des matériaux fissiles installé par Du Pont de Nemours à partir de 1942.

⁶ Boudia, Soraya, *Marie Curie et son laboratoire. Sciences et industrie de la radioactivité en France* (Paris : Editions des Archives Contemporaines, 2001)

Cette pratique nouvelle et réductionniste de la physique est donc transversale (dans ses modes de travail et d'explication) à la physique « phénoménologique » qui domine les universités du XIX^e siècle et qui est au fondement des révolutions industrielles du télégraphe, de l'électricité industrielle et de la radio. Cette manière de faire ne disparaît pas, loin s'en faut ; elle reste au contraire au cœur de la techno-science jusqu'aux années 1930. Les techniques de l'optique, par exemple, continuent d'offrir les moyens les plus efficaces pour des mesures de grande précision et la définition des étalons indispensables aux arts mécaniques -- et l'industrie en dépend crucialement⁷. Il n'en reste pas moins qu'une autre approche voit le jour, celle de la micro-physique, une approche initialement moins préoccupée de précision ou de l'établissement de normes pour l'industrie – mais qui deviendra, à partir des années 1930, une ressource centrale pour l'industrie et la guerre.

Dans le domaine des sciences du vivant, le phénomène est plus tardif. Le début du siècle est néanmoins le moment d'apparition de la génétique (celle de l'école de Morgan, utilisant la drosophile comme modèle animal), du développement de la statistique en matière agronomique et d'épidémiologie, mais aussi celui du modèle pasteurien qui lie étroitement l'étude d'entités élémentaires visualisables (les microbes), des pratiques de laboratoire, de préparation et de production (sérum, vaccins), et de nouvelles formes de pratiques sociales (réforme de l'hygiène par exemple).

Dans ces années, l'univers techno-scientifique-industriel n'est toutefois pas le seul à se transformer. Le dernier tiers du XIX^e siècle est aussi le moment d'affermissement, de justification et de transformation de l'Etat-nation, nous l'avons dit. Cette période est le moment de plein déploiement de la Nation, de sa fabrication par l'enseignement et le discours historique, de sa stabilisation à travers les législations du travail, la protection sociale et la généralisation des procédures démocratiques – elle est celui de son enracinement matériel par l'investissement systématique des champs techniques et scientifiques. C'est le moment où le (futur) chef d'Etat-major allemand Von Moltke prédit que le monde entre dans l'ère des guerres totales et de la mobilisation permanente. Dans ce registre, le laboratoire et l'industrialisation de la recherche deviennent des outils premiers et les Etats se donnent comme devoir de garantir leur pérennité. Dans ce monde, le savant devient un professionnel dédié à la poursuite d'une connaissance de pointe autant qu'un « intellectuel ». Le former n'implique plus d'en faire un héritier de la quête socratique du savoir et de la sagesse, elle suppose d'en faire un spécialiste qui a évacué tout ce qui n'est pas décisif pour le travail pratique et finalisé de recherche qui est devenu le sien.

On assiste donc, du fait du rôle que jouent les Etats, à une *sécularisation* des activités de la science, à leur insertion radicale dans le cadre industriel et national. Alors que les sciences sont largement des affaires *locales* jusqu'aux années 1880 (elles sont le fait d'universitaires et d'industries régionales, en France par exemple), elles deviennent, à partir de cette date, des affaires qui concernent la groupe national tout entier. C'est en ce sens que David Edgerton parle de *nationalisation* des sciences, un processus qui fait des sciences un enjeu majeur pour la *nation*, qui fait du développement scientifico-technique une préoccupation commune au personnel politique, aux industriels, aux militaires et aux grands barons des sciences. Ceci s'explique par le fait que cette période est celle d'une violente compétition entre Etats, au niveau militaire comme au niveau économique. Il suffira d'évoquer, d'une part les conflits inter-Européens autour des possessions coloniales, la compétition pour le contrôle des océans

⁷ Je pense ici aux réseaux de diffraction indéfiniment perfectionnés par Rowlands, professeur à Johns Hopkins et en lien constant avec l'industrie de précision allemande et américaine, ou aux interféromètres de Fabry et Perot qui deviennent les outils de mesure et de calibration de toute la micro-mécanique du début du siècle.

et de l'information, la première guerre mondiale, la montée des fascismes et du nazisme ; de l'autre l'intensité des batailles pour la suprématie économique et industrielle et l'importance prise par la science et les laboratoires de recherche dans l'industrie à partir des années 1900. Des variations sont sensibles de pays à pays quant aux *formes de développement* de la techno-science (des Etats-Unis, où domine une recherche industrielle conquérante après 1900, à l'Allemagne, où la collaboration est organique entre Etat fédéral, *länders* et industriels -- et à la France, où l'innovation repose encore largement, au sein des entreprises, sur les ingénieurs de production – et non sur des départements de recherche séparés) mais la mise en place d'une économie basée sur les connaissances devient un enjeu central pour la domination du monde⁸.

Avec la première guerre mondiale, se mettent finalement en place des économies largement planifiées, de nouvelles formes de rationalisation de la production (le meilleur exemple en est en France l'organisation de la production de guerre par le ministre Albert Thomas) -- et les budgets des Etats, appuyés sur les impôts, entament leur croissance irrésistible. La guerre est aussi le moment d'apparition de nouveaux usages pour la science, avec le développement de techniques qui transforment l'art guerrier (détection à distance des batteries et sous-marins par exemple) mais aussi l'usage systématique des démarches de la science pour *penser* les combats et planifier de gigantesques systèmes techniques fonctionnant en réseau – ce que deviennent les armées et l'usage combinée des armes sur le terrain.

3. -- Des années 1930 aux années 1970 : sciences, seconde guerre mondiale et guerre froide⁹

La seconde guerre mondiale et la guerre froide qui lui fait suite *sans discontinuité* (et là est un point fondamental pour saisir en quoi l'investissement dans les sciences ne cesse pas en 1945) définissent un moment d'apogée dans l'intégration engagée dans la période précédente entre industrie, techno-science et Etat chargé de diriger la guerre et le progrès. C'est le moment d'épanouissement du modèle du *welfare state*, système de protection des plus faibles sous l'ombrelle active des Etats – comme il est celui du *warfare state*. Avec comme moteur pour les deux, et aide à pour leur gestion : la techno-science et ses savoirs.

Au fondement des années de guerre chaude et froide se trouve donc *une culture de l'urgence et de la mobilisation permanentes*. Animées d'une foi technologique sans faille suscitée par les réussites de la seconde guerre mondiale (radars, bombes atomiques, ...), ces années n'imaginent pas que la technique alliée à la science puisse ne pas résoudre tous les problèmes. Cette foi, omniprésente dans les élites industrielles, politiques et scientifiques, se manifeste dans le fait qu'on croit souvent que la science est à l'origine de tout développement technique, lui-même à l'origine du progrès industriel, économique et social (ceci est théorisé par les économistes du changement technique à travers ce qu'on appelle « le modèle linéaire d'innovation »). Elle se marque par la conviction que si tous les moyens sont mobilisés, une solution sera toujours trouvée. Le modèle est celui de Los Alamos, qu'il s'agisse des programmes de lutte contre le cancer ou le *scanning* des molécules antibiotiques produites en série par l'in-

⁸ Edgerton, David, 'Science in the United Kingdom : A Study in the Nationalization of Science', in Krige, John & Pestre, Dominique (ss la dir. de), *Science in the Twentieth Century* (Amsterdam : Harwood Academic Publishers, 1997), 759-776

⁹ Pour cette partie voir Dahan, Amy & Pestre, Dominique (ss la dir. de), *Les sciences dans et pour la guerre* (Paris : EHESS, 2003)

dustrie pharmaceutique, ou qu'on pense les politiques de réforme du monde agricole vers toujours plus de 'productivité'. La croyance est qu'une action techno-scientifique coordonnée viendra à bout de n'importe quelle difficulté et conduira à la solution de tous les maux, y compris des maux sociaux. Ces croyances fortes mèneront à une technicisation croissante du social et de l'action politique et économique, à grands renforts de modèles, d'ordinateurs et d'experts.

Cette culture qui s'est épanouie pendant la guerre n'est pas qu'un culte des solutions techniques (invention de dispositifs d'imagerie médicale à base de résonances magnétiques héritées des recherches sur le radar par exemple). Elle est au moins autant une culture du *management*, une culture de l'analyse et de la planification à partir d'un centre dont l'Etat et les experts scientifiques et industriels sont les acteurs privilégiés. Durant la guerre et la guerre froide, les militaires et les industriels ont appris que, si l'on souhaite être rapidement efficace, les solutions doivent toujours être techniques *et* logistiques, de *hardware* *et* de gestion des hommes. Ils ont appris que la dimension planificatrice vaut autant du côté de la production que du côté des usages. L'industrie a certes mis en place des procédures de ce type depuis le XIXe siècle, mais le changement d'échelle (il convient de gérer des actions à l'échelle planétaire, dans la guerre du pacifique par exemple), le rôle nouveau et centralisateur joué par les appareils d'Etat (souvent en position de décision du fait du contexte de guerre froide), la mobilisation volontaire du meilleur du monde scientifique et mathématique -- comme la confiance inébranlable dans la légitimité des actions menées au nom de la Science -- ont conduit à un changement qualitatif.

Les élites qui soutiennent ce mouvement dans les années 1950 et 60 ont en commun d'avoir contribué directement à l'effort de guerre. Il s'agit bien évidemment de militaires, notamment de ceux venant des échelons intermédiaires, qui ont été au contact direct des scientifiques et des ingénieurs, et qui ont eu à juger de leurs méthodes sur le champ de bataille (via l'invention de nouvelles techniques de logistique par exemple) ou dans la lutte contre la malaria. Il s'agit de cadres industriels, de capitaines d'industrie ayant servi dans des bureaux de recherche opérationnelle pendant le conflit (c'est notamment le cas du futur secrétaire à la défense de Kennedy, Robert McNamara, dont la carrière et le rôle au Département de la Défense sont profondément marqués par ce moment). Il s'agit d'ingénieurs-théoriciens, de concepteurs de systèmes, de personnes qui travaillent dans le traitement du signal (Shannon à la Bell), sur de nouvelles machines à calculer (chez IBM), dans la chimie des polymères (chez Du Pont), dans la R&D aéronautique et la conception de missiles (chez Douglas Aircraft), dans la pharmacie industrielle et la chimie agricole. Il s'agit enfin de physiciens, de mathématiciens, de logiciens, d'économistes, de spécialistes de biologie humaine ou végétale et autres psychologues ou anthropologues pour un temps immergés dans l'univers de la guerre, dans l'univers des solutions à trouver et à mettre en œuvre dans l'urgence. La guerre leur a offert des possibilités quasi-illimitées d'agir et d'innover, elle les a affranchis des contraintes financières, voire morales -- et ces hommes ont pu penser leurs nouveaux projets dans une grande démesure.

Ces personnes ont appris les vertus et l'efficacité des approches pragmatiques pour qui seul le résultat importe, qui mettent à profit toutes les ressources imaginables (de la psychologie et la propagande à la logique et aux techniques d'ingénieurs), et sans qu'une échelle de valeur surannée (la hiérarchie comtienne des savoirs par exemple) puisse être invoquée contre le seul critère qui vaille, celui de l'efficacité ici et maintenant ; ils ont appris l'intérêt du travail collectivement distribué, des séances de *brain storming* en amont, et l'importance, en aval, d'une organisation méticuleuse de l'action. Ce faisant, ils ont généralisé une démarche, un *modus operandi* directement hérité de la guerre et qui consiste en : (1) définir précisément l'objectif,

qui doit être unique et dont on doit pouvoir suivre et mesurer la réalisation, (2) créer un groupe d'intervention décidé regroupant toutes les expertises possibles pour attaquer le problème, (3) décortiquer la situation de toutes les façons possibles en combinant *hardware* et *software*, sciences dures, sciences de l'ingénieur et sciences sociales, (4) trouver l'angle d'attaque pertinent et énoncer une procédure d'action à mettre en œuvre, (5) agir en masse, de façon coordonnée, en mobilisant toutes les ressources disponibles, (6) évaluer à chaque moment le résultat, numériquement si possible, et passer à l'opération suivante. Dans les années 1950 et 60, ce *modus operandi* devient la norme de toute bonne action, qu'on fasse de la physique, qu'on organise des essais thérapeutiques ou qu'on réforme l'agriculture dans les colonies.

Cette manière de faire reposant sur une association étroite entre un centre et des experts qu'il aide à se constituer, n'est pas seulement attestée au cœur des systèmes d'innovation et de rénovation de la production -- elle l'est tout autant dans la gestion et la réforme des sociétés. Cette nouvelle forme de définition de l'Etat et de ses interventions prend cette ampleur pour des raisons diverses -- politiques (le besoin de rationaliser la gestion de systèmes devenus gigantesques) ; pour des raisons économiques (la récession des années 1930, les politiques anti-crisis et le Keynésianisme) ; pour des raisons idéologiques (la lutte contre le communisme) ; mais surtout du fait, à nouveau, de la guerre froide puisqu'il faut démontrer la supériorité d'un système social, politique et économique, celui du monde libre -- et ainsi développer des formes d'Etat social qui puissent servir de modèle.

Concernant les sciences de laboratoire, le processus de fondamentalisation atteint un nouveau stade. Il signifie une capacité matérielle à manifester et manipuler des phénomènes au niveau d'entités élémentaires en chimie et biologie, une capacité à mesurer et purifier dans un premier temps, à recomposer et instrumentaliser ces entités élémentaires par la suite (on séquence des gènes puis on les déplace par exemple). Cette maîtrise pratique met en jeu de l'instrumental très raffiné, des savoir-faire nombreux et des outils formels et de calcul très puissants. On est donc en tension constante entre le très abstrait et le très matériel, on combine le théorique et le calculatoire (via les modèles par exemple), et l'expérimental est profondément lié au technique ; on navigue du travail sur papier au travail avec des moyens de calcul et au travail à la paillasse, on circule du laboratoire à la normalisation des techniques et à la mise en production, des savoirs les plus abstraits à l'instrumentalisation standardisée et au développement technique. Et ce processus se fait de façon toujours plus rapide.

Ces mouvements perpétuels d'un registre à l'autre sont le fait d'institutions diverses et articulées les unes sur les autres : la physique des atomes telle qu'elle est pratiquée au laboratoire de Townes (prix Nobel de physique) à l'université Columbia est en continuité avec celle des laboratoires industriels développant des lasers ; les outils inventés par les 'techno-physiciens' (et devenus boîtes noires) se déplacent pour transformer la chimie comme la biologie (un exemple parfait est celui de l'usage des techniques de Résonance Magnétique Nucléaire dans la chimie, un autre l'emploi de la microscopie électronique et de l'électrophorèse en biologie fondamentale et industrielle). Les laboratoires de recherche de l'industrie et du complexe militaire sont au cœur du dispositif (en électronique, physique des matériaux, aéronautique, ordinateurs, chimie, modélisation, techniques de simulation et de reconnaissance des formes), mais aussi dans les sciences agricoles, les sciences économiques et sociales ou la pensée de la ville. Apparaissent de nouveaux domaines (océanographie, étude de la haute atmosphère et connaissance de l'espace grâce aux fusées) ainsi que de nouveaux modèles de management (gestion des programmes d'engins balistiques, formalisation d'outils de gestion comme le PERT, *Program Evaluation Review Technique* développé en 1957 -- et qui arrivera en France

au début des années 1970 dans la gestion administrative) ; finalement de nouvelles régions scientifico-techniques comme la Silicon Valley et la Route 128, autour de Boston, voient le jour, régions caractérisées par des liens denses entre universités et création d'entreprises basées sur la connaissance.

Cette mise en usage politique et économique des sciences pour le bien supérieur de pays en guerre (froide), et sous stimulation forte des Etats, reste toutefois une affaire menée d'abord par des entreprises privées – ce qui n'est contradictoire qu'en apparence et superficiellement. Au long du siècle en effet, et notamment durant la guerre froide, les grandes sociétés comme IBM en informatique, ATT et le *Bell system* en électronique, ou Boeing en aéronautique, fonctionnent tout autant pour leurs intérêts financiers propres que pour le bien supérieur des Etats-Unis. Le cas est évident en France puisque l'Etat a contribué lui-même à la création de ces géants industriels (souvent nationalisés) et qu'il prétend même se substituer à leurs volontés défaillantes (pensons au Gaullisme triomphant) ; il l'est tout autant aux Etats-Unis où ces compagnies agissent pour leur compte propre et pour la sécurité nationale -- avec la bénédiction et le soutien financier et intellectuel d'un Etat fédéral et de militaires extraordinairement interventionnistes sous le couvert d'autres rhétoriques. Ce sont les politiques d'Etat et les contrats militaires qui expliquent la croissance de ces mastodontes (pensons à IBM dans les années 1950 dont le développement est propulsé par les commandes militaires) ou qui permettent de comprendre les changements alors rapides de systèmes techniques : c'est le cas des transistors rendus rentables financièrement (alors qu'ils ne le sont pas pendant très longtemps) par une profusion de crédits d'Etat pour la recherche et par une politique d'achats à prix forts par les militaires pendant quinze ans). Aujourd'hui encore, dans les toutes puissantes Technologies de l'Information et de la Communication, l'Etat et les militaires ne sont jamais très loin des compagnies privées et celles-ci de l'intérêt national.

Voilà. J'espère que ce texte fournira des cadres d'analyse utiles.

Dominique Pestre