

SOMMAIRE

DOSSIERS

Science et Défense, <i>Roger Godement</i>	03
---	----

MATHÉMATIQUES

Quelques coups de projecteurs	
sur les travaux de Jacques Tits, <i>Alain Valette</i>	61
Sur quelques problèmes incomplètement résolus proches	
des probabilités et de la mécanique quantique, <i>Jean Bass</i>	79
Yvette Amice (1936–1993), <i>Daniel Barsky & Jean-Pierre Kahane</i>	83

INFORMATIONS

Rapport sur le Prix d'Alembert	89
Sciences Cognitives : Comment y participer ?	95
Nomination	97
Compte-rendu de la commission CNU	
de la 26ème section (mars 94)	99
Point de l'enquête sur la situation administrative	
de certains mathématiciens non-européens	101
Divers	104

LIVRES

Comptes Rendus	111
--------------------------	-----

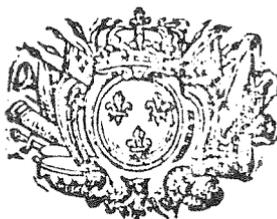
DATE LIMITE
de soumission des articles, pour parution
dans le n° 62 : **30 septembre 1994**

NOUVEAU COURS
DE
MATHEMATIQUE,
A L'USAGE
DE L'ARTILLERIE ET DU GENIE.
OÙ L'ON APPLIQUE

Les Parties les plus utiles de cette Science à la Théorie & à la Pratique des differens sujets qui peuvent avoir rapport à la Guerre.

DEDIÉ
A SON ALTESSE SERENISSIME
MONSEIGNEUR
LE DUC DU MAINE

Par M. BELIDOR, Professeur Royal des Mathématiques des Ecoles de l'Artillerie, Correspondant des Académies Royales des Sciences de France & d'Angleterre.



A PARIS, RUE S. JACQUES,
Chez CHARLES-ANTOINE JOMBERT, Libraire du Roy pour
l'Artillerie & pour le Génie, à l'Image Notre-Dame.

M. DCC. XXV.

Avec Approbation de Messieurs de l'Académie Royale des Sciences.

SCIENCE ET DÉFENSE

Une brève histoire du sujet I

Roger GODEMENT

L' idée de publier dans la Gazette le texte que l'on va ou ne va pas lire ne me serait jamais venue sans ma participation, à Lyon il y a deux ans, à une réunion de l'association Science et Défense où je me suis livré à un duel à fleurets très mouchetés avec M. Carayol, ingénieur de l'armement et l'une des rares personnes citées à propos de la bombe H française. J'avais insisté pour que l'on me permette de dire pour commencer quelques mots sur l'histoire du sujet, ce qui, compte-tenu du temps dont j'ai pu disposer, n'a produit qu'un résultat caricatural. Après quoi j'ai appris que le texte du débat serait publié dans la Gazette. Les écrits, à la différence des paroles, ayant tendance à rester, j'ai demandé à développer suffisamment le sujet pour fournir aux mathématiciens un peu plus de matière à réflexion, car je ne vois pas comment on pourrait comprendre les problèmes actuels sans avoir une idée de leur histoire.

De rédaction en rédaction, le texte s'est allongé tout en restant bien en deçà du minimum raisonnable; la vérité, disent les historiens, gît dans les détails et l'on n'en trouvera guère ici. Le sujet est très vaste et complexe, il n'est sérieusement étudié que depuis une vingtaine d'années, surtout aux USA depuis la guerre du Vietnam¹, curieusement, et beaucoup de cas qui pourraient l'éclairer, France notamment, restent peu explorés y compris et surtout par les historiens français.

On notera que cet article mentionne rarement les Mathématiques; elles servent certes, à des niveaux très variables, d'outil aux physiciens et ingénieurs, mais ce ne sont presque jamais les mathématiciens qui trouvent les grandes idées techniques avant 1940, et la chose reste exceptionnelle même si, de nos jours, leur rôle s'est beaucoup développé par l'intermédiaire de l'informatique (la Première guerre mondiale fut celle des chimistes, la Seconde celle des physiciens, on attend la Troisième). De toute façon, l'histoire des Mathématiques commence à prospérer en France et des gens bien plus compétents que moi sur ce point peuvent, s'ils le désirent, entretenir la communauté de ses éventuels rapports, anciens ou présents, avec les organismes militaires; certains le font déjà. Les auteurs de traités de Mathématiques appliquées pourraient aussi, de temps à autre, proposer

¹ Voir Alex Roland, *Technology and war : the historiographical revolution of the 1980s* (Technology and Culture, vol. 34, janvier 1993).

à leurs lecteurs peut-être innocents des exemples explicites d'applications militaires ne violant pas le très confortable "secret défense".

On remarquera sans doute que mon titre aurait dû être "Science, Technologie, Industrie et Armement" –il sera même parfois inévitablement question de politique–, mais puisque la DGA² parle de "Science et Défense", autant faire de même pour simplifier...

J'ai ajouté des indications bibliographiques pour ceux qui voudraient étoffer ce résumé qui n'est pas autre chose que ce qu'on appelle en Peinture un collage. Beaucoup des titres cités sont disponibles à la bibliothèque *Science et Société*³ de Jussieu (tour 56, 4ème étage), créée il y a vingt ans à l'initiative de l'auteur et qui obtiendra d'autant plus de crédits qu'elle aura davantage de clients; c'est à ma connaissance la seule du genre dans une université française. Il y a naturellement beaucoup d'autres sources de documentation sur des aspects particuliers du sujet; la bibliothèque de la Fondation nationale des sciences politiques est fort remarquable sur les aspects... politiques très libéralement interprétés, mais 600 F de droit d'entrée annuel si l'on y est admis. En dehors de ce cas bien repéré, je ne conseille pas à mes collègues de s'engager dans le processus de marche au hasard qui consisterait à se diriger à travers cette jungle.

De la Renaissance à la Révolution

Les relations entre certains scientifiques –tous ne sont pas impliqués, à beaucoup près– et militaires remontent à la plus haute Antiquité, comme l'on dit. Tout le monde connaît Archimède, l'un des rarissimes scientifiques à en être mort ne serait-ce qu'indirectement (refus d'obtempérer immédiatement au *Project Paperclip* de l'époque); les ondes de choc de ce scandale sont

² Délégation générale pour l'armement, auparavant Délégation ministérielle pour l'armement (DMA), dont dépend la DRET. Il est curieux que le sigle DMA désigne aussi la célèbre stratégie de la Destruction mutuelle assurée, le MAD des Américains, le remplacement du M par un G n'améliorant pas l'interprétation. On trouvera beaucoup d'informations sur la DGA dans l'excellent livre de François Chesnais et Claude Serfati, *L'armement en France. Genèse, ampleur et coût d'une industrie* (Nathan, 1992), dont la bibliographie cite les titres les plus importants sur le sujet, de l'étude académique d'Edward Kolodziej, *Making and Marketing Arms. The French Experience and its Implications for the International System* (Princeton UP, 1987) au pamphlet de Paul Marion, *Le Pouvoir sans visage* (Calmann-Lévy, 1990). Notons aussi que la DGA publie une revue, *L'Armement*, contenant beaucoup d'articles semi-techniques.

³ La direction de la Bibliothèque Jussieu m'a expliqué un jour que ce titre "faisait soixante-huitard". Il fait aussi atlantiscard puisque la Direction des affaires scientifiques de l'OTAN l'a adopté pour l'un de ses programmes. Le département de *Science, Technologie et Société* du CNAM, qui possède une bibliothèque mieux financée et organise des enseignements, a été fondé par Jean-Jacques Salomon qui a longtemps fait partie de l'OCDE et a écrit, sous la direction de Raymond Aron, une très instructive thèse de doctorat, *Science et Politique* (Seuil, 1970, rééd. Economica), titre pouvant aussi passer pour "soixante-huitard" si l'on y tient. Ajoutons que ce genre de préoccupations est né dans les années 1930 en URSS (N. Boukharine), aux USA (Robert Merton) et en Grande-Bretagne (J. D. Bernal) et qu'il est arrivé à un dirigeant du *Manhattan Project* d'écrire pendant la guerre un article intitulé *Science and Society*. Autrement dit, on peut attribuer au sujet toutes les colorations idéologiques que l'on voudra.

encore audibles. Mais il y a bien d'autres exemples moins célèbres de "géomètres" construisant par exemple des machines de siège.

Avant même la Renaissance, les armes à feu et l'artillerie bouleversent l'armement, mais les scientifiques, dans l'hypothèse où la chose existerait, n'y prennent aucune part; principalement liée à la médecine ou à l'alchimie, la chimie en tant que science ne comprend quasiment rien à la poudre à canon ou à la métallurgie avant au minimum 1780; tout le progrès est le fait d'artisans sans aucune autre culture que technique. On peut en dire autant de la construction navale, mais non de l'art de la navigation qui, à partir de 1550 environ, suscite à Londres l'intérêt de mathématiciens, astronomes et cartographes – ce sont souvent les mêmes – comme Robert Recorde, John Dee, Thomas Digges et, vers 1620, Henry Briggs qui popularise les logarithmes de Neper; tous ces gens sont en contact direct avec les navigateurs et explorateurs et, en diffusant les mathématiques dans un public relativement vaste, contribuent à lancer le mouvement qui aboutira à Newton⁴.

Contre la "menace soviétique" de l'époque – les Turcs, qui ne se bornent pas à exhiber leurs armes –, Tartaglia construit des tables de tir pour l'artillerie, sujet qui intéressera aussi Galilée et bien d'autres mathématiciens par la suite. Mais les artilleurs n'en ont que faire avec leurs pièces non standardisées, leurs boulets mal ajustés et leurs poudres capricieuses, sans parler de la résistance de l'air; les calculs de Galilée ne les concernent que dans le cas de boulets à trajectoire presque verticale. Il faudra attendre 1860 au moins pour obtenir dans ce domaine des résultats vraiment utilisables grâce à l'amélioration des matériels – canons rayés, usinages de précision, poudres uniformes⁵ – et, sans doute, des Mathématiques du sujet.

Les scientifiques de la Renaissance, qui sont tout autant des artistes ou des ingénieurs, imaginent des tanks, machines volantes, sous-marins, etc., mais cela relève de la fiction et du Dr. Freud. Le baron écossais Neper invente d'abord une pompe bien réelle pour évacuer l'eau de ses mines de charbon; antipapiste fanatique et propagandiste populaire de l'Apocalypse, il propose à la Reine Elizabeth un sous-marin beaucoup plus imaginaire pour lutter contre l'Armada espagnole; à la fin de sa vie, il aurait prétendu avoir inventé une machine

*capable de débarrasser un champ de quatre miles de tour de
toutes les créatures vivantes dépassant un pied de haut,*

alléchant programme que Hiram Maxim réalisera avec sa mitrailleuse en attendant le nucléaire tactique et les *cluster-bombs* américaines. Fort

⁴ Voir le chap. II de Christopher Hill, *Intellectual Origins of the English Revolution* (Oxford UP, 1965 ou Granada, 1972).

⁵ Sur la balistique, voir Brett Steele, *Muskets and Pendulums : Benjamin Robins, Leonhard Euler and the Revolution in Ballistics* (exposé au séminaire D. Pestre, La Vilette, 22 septembre 1992). En 1881, huit navires de bataille anglais expédièrent sur les forts d'Alexandrie quelque 3.000 obus; on enregistre 10 coups au but. Massie, *Dreadnought*, p. 399, citant le principal expert britannique du contrôle de tir vers 1900. Les problèmes sont naturellement beaucoup plus difficiles en mer que sur terre.

chrétien, le père des logarithmes aurait refusé de divulguer les plans de son engin car, dit-il,

on a déjà donné aux hommes tant d'armes pour s'entretuer que, si cela ne dépendait que de moi, je ferais tout pour en réduire le nombre. Mais voyant que la méchanceté enracinée au coeur des hommes ne le permettra jamais, je veux du moins éviter de contribuer à l'augmenter.

Même s'il est apocryphe, l'argument peut encore servir à l'approche de l'An Deux Mille, particulièrement à ceux qui ne confient pas le choix de leur conduite à des directeurs disposant d'un arsenal complet d'alibis à géométrie variable : théologiens, idéologues, chefs militaires ou politiques et, depuis un demi-siècle, stars de la Science entraînant dans leur sillage des jeunes gens qui montent dans un train en marche sans savoir d'où il vient ni où il va⁶.

Les XVIIème et XVIIIème siècles sont plus calmes. Les scientifiques commencent à s'organiser, notamment en Académies, et songent davantage à s'établir en "communauté internationale" et à faire reconnaître la valeur intellectuelle de leurs travaux qu'à en développer les applications; même s'ils en parlent fréquemment⁷, les problèmes pratiques profitent sans doute plus à la Science que l'inverse comme le montre l'exemple de l'astronomie - les problèmes de navigation valent aux astronomes les observatoires de Greenwich et de Paris - ou celui de l'hydrodynamique dont, au XVIIème siècle, les lois fondamentales sont établies par Daniel Bernoulli, Euler, d'Alembert, etc. longtemps avant qu'elles ne soient utilisées par les ingénieurs. Jusqu'en 1750 au moins, ce sont de même des activités artisanales telles que le traitement des minerais, la production du sel, de la soude, des colorants naturels, du verre, de la poterie, des médicaments, etc. qui contribuent à aider la chimie plutôt que l'inverse⁸.

Les seules sciences vraiment solides - Mathématiques, Mécanique, Astronomie, Optique géométrique - interviennent dans la cartographie et la géodésie, la préparation des almanachs nautiques, la conception des instruments de visée pour la marine et surtout la détermination de la longitude en mer qui, seule, permettrait d'éviter des erreurs de navigation souvent catastrophiques. Toutes les grandes puissances maritimes proposent de 1600 environ (Portugal) à 1714 (Angleterre⁹) des récompenses faramineuses qui inspirent Galilée,

⁶ Neper cité par John U. Neff, *Western Civilization since the Renaissance. Peace, War, Industry and the Arts* (Harper, 1963), p. 121-122.

⁷ Exposé court et précis, mais un peu daté, dans la *Cambridge Economic History*, vol. IV, chap. II, qui couvre aussi la Renaissance. Ces académies sont en général très liées à leurs gouvernements.

⁸ Sur l'hydrodynamique, voir E. W. Constant II, *The Origins of the Turbojet Revolution* (Johns Hopkins UP, 1980), chap. 2 et 4. Le classique de A. et N. Clow, *The Chemical Revolution* (The Batchworth Press, 1952), tout en se concentrant sur l'Ecosse de 1750-1820 environ, montre que les nouvelles théories de Lavoisier, Davy, etc. ne jouent guère de rôle dans la chimie industrielle de l'époque.

⁹ Pour simplifier, nous appelons "Angleterre" ce que les natifs appellent "England, Wales and Scotland".

Huyghens, Hooke et bien d'autres. Le problème sera résolu, dans l'Angleterre du XVIIIème siècle, par un modeste artisan horloger autodidacte qui se heurtera longtemps à l'obstruction des astronomes officiels voués à la méthode des distances lunaires¹⁰, et par des horlogers professionnels français ou suisses. Ces problèmes ne sont pas spécifiques aux marines militaires, mais il va de soi que celles-ci jouent fréquemment un grand rôle dans ces domaines –et pas seulement à cette époque–, notamment en diffusant des cartes marines de plus en plus précises en attendant l'océanographie.

Notons en passant que l'horlogerie suscite le développement de machines-outils de dimensions réduites mais incorporant certains des principes qui fleuriront au siècle suivant. La fabrication des ressorts suscite, elle, l'invention en 1740, par l'anglais Benjamin Huntsman, de la technique de l'acier au creuset qui, pour la première fois, permet, en fusionnant des barres de fer et de fonte avec un fondant qui les affine, de couler des lingots de dix à vingt kilos de très haute qualité. C'est du civil –la coutellerie de Sheffield en profitera– mais vers 1860 on l'appliquera à l'artillerie et aux plaques de blindage en attendant des méthodes plus efficaces.

Il n'y a aucune grande innovation dans l'armement avant le milieu du XIXème siècle; la vraie révolution militaire de l'époque porte sur les fortifications, l'organisation des armées et des transports, la généralisation des uniformes et de l'exercice, la discipline au combat et la standardisation des armes; celles-ci, tout au moins sur terre, ne représentent du reste qu'une minime fraction du coût des guerres. Il faut toutefois noter que l'usinage des canons, donc aussi leur portée et leur précision de tir, s'améliore considérablement après 1760 grâce aux nouvelles machines à forer les tubes –les cylindres de James Watt en profitent– et que Gribeauval allège et standardise le matériel à temps pour les guerres de la Révolution¹¹. Des chimistes, de Réaumur à Berthollet en France, commencent à comprendre le rôle du carbone, du soufre et du phosphore dans la métallurgie du fer, sujet certes non dépourvu de rapport avec l'armement.

Il va de soi que la poudre à canon intrigue beaucoup de scientifiques, qu'il s'agisse du comportement physique des gaz que Robins commence à comprendre grâce aux travaux de Boyle, Huyghens et autres, ou des mystérieuses réactions chimiques produites par l'explosion, réactions auxquelles on ne comprend rien avant de connaître au minimum l'existence et le rôle de l'oxygène et de l'azote. Elles intriguent notamment le jeune

¹⁰ Voir les livres de Derek Howse, notamment *Nevil Maskelyne : The Seaman's Astronomer* (Cambridge UP, 1989), ainsi que David Landes, *L'heure qu'il est* (trad. Gallimard). Le problème technique consiste à comparer l'heure locale (facile à déterminer grâce à l'observation du Soleil) à l'heure du point de départ fournie par une horloge; or, en une minute, la Terre, à l'Equateur, tourne de 27 km environ, même après trois mois de navigation...

¹¹ Voir les chapitres 4 et 5 de William H. McNeill, *The Pursuit of Power. Technology, Armed Forces, and Society since A. D. 1000* (Chicago UP, 1982, trad. *La course à la puissance*, Economica, 1992). Lecture hautement recommandée bien que les aspects proprement scientifiques en soient absents.

Berthollet et à fortiori Lavoisier¹², directeur de la Régie des Poudres sous Louis XVI, qui améliorent appréciablement la qualité des poudres et introduisent en France des salpêtriers permettant de tripler la production nationale. Mais ce n'est pas avant l'empire que les travaux de Proust, en Espagne de 1785 à 1806, commenceront à éclaircir le sujet tout en confirmant que la composition traditionnelle est pratiquement la meilleure possible¹³. Notons en passant qu'à partir de la fin du XVIII^e siècle, les mines consomment beaucoup plus de poudre noire que les militaires. Notons aussi qu'un Du Pont de Nemours, physocrate familier des chimistes et particulièrement de la séduisante Mme Lavoisier, finira, peu avant 1800, par émigrer avec son fils chimiste aux Etats-Unis; ils fondent aussitôt à Wilmington, en Pennsylvanie, une fabrique de poudre noire d'où sortiront un peu plus tard deux articles que le père fondateur eût peut-être trouvés à son goût : les bas nylon et les piles plutonigènes du Manhattan Project.

La balistique commence à ressembler à une science mathématique et expérimentale vers 1740; le mathématicien anglais Robins invente des instruments pour mesurer la vitesse initiale d'un boulet et la résistance de l'air (proportionnelle au carré de la vitesse en dessous de 300 m/sec et au cube au dessus, curieusement), ce qui lui permet de montrer qu'une trajectoire de dix sept miles selon Galilée est, dans la réalité, inférieure à trois miles; on commence même à calculer des tables de tir "par la méthode des trapèzes", nous dit Steele : vaste programme pour l'époque... Le livre de Robins (1742) est traduit pour le roi de Prusse par Euler qui l'agrémenta de ses commentaires et, en France, par l'un des instructeurs du futur Napoléon; celui-ci en rédige un résumé fort correct.

Dans un domaine voisin, il y a bien sûr les travaux de Monge sur la géométrie descriptive appliquée à l'art des fortifications. Les premiers enseignements de Mathématiques, ceux de Belidor, Bezout et de l'abbé Bossut notamment en France, se rencontrent au XVIII^e siècle dans les écoles militaires ou de la marine, ce qui explique sûrement en grande partie le goût des artilleurs pour nos chères études et vice-versa; les collèges de jésuites, eux, enseignent plutôt la géométrie : elle forme les esprits à la logique tout en étant d'une idéale neutralité philosophique.

Dans la France du XVIII^e siècle finissant, nous dit Gillispie¹⁴

les scientifiques, et eux seuls, se pressèrent au service de chaque régime successif, sans aucune considération des distinctions

¹² Bernadette Bensaude-Vincent, *Lavoisier, mémoires d'une révolution* (Flammarion, 1993), Arthur Donovan, *Antoine Lavoisier, Science and Revolution* (Blackwell, 1993), Jean-Pierre Poirier, *Lavoisier* (Pygmalion, 1993).

¹³ Voir Seymour H. Mauskopf, *Gunpowder and the Chemical Revolution* (Osiris, 2d series, vol.4, 1988) et un article sur Proust *Technology and Culture*, 1990. Aussi Gillispie, *Science and Polity...*, cité plus loin. L'histoire des explosifs fait l'objet d'un intéressant résumé dans la nouvelle édition de l'*Encyclopedia Britannica* (tome 21, p. 275-282) où l'on trouvera ailleurs un article *War (Technology of)* d'une centaine de pages.

¹⁴ *Science and Polity in France at the End of the Old Regime* (Princeton, UP, 1981), p. 550.

politiques entre la droite et la gauche ou des distinctions constitutionnelles entre la liberté et la tyrannie, et ils reçurent en retour de chaque gouvernement successif des bénéfiques institutionnels croissants (...) La Science ne fut pas la source d'un mouvement de réforme ou de libéralisme. Son rôle était de fournir à la monarchie les services et les connaissances des experts,

commentaire qui oublie ceux qui perdirent la tête, au propre ou au figuré, sous la Terreur. De l'autre côté de la Manche, par contre, l'activité scientifique est encore, et pour longtemps, dans une très large mesure l'oeuvre d'amateurs¹⁵ finançant eux-mêmes leurs recherches grâce à leur fortune personnelle ou aux revenus d'une profession.

Révolution et Empire

En France, la Révolution¹⁶, comme on le sait, agite énormément les scientifiques français mais, mis à part le télégraphe optique qui n'est quand même pas une arme et les ballons de Montgolfier déjà inventés et rapidement abandonnés, ne donne lieu à aucune innovation¹⁷ technique militaire notable. Les activités de Berthollet et de ses collègues en ce qui concerne les poudres ou la fonte des canons sont surtout pédagogiques et transitoires, après quoi nombre d'entre eux seront bien davantage occupés à faire fortune dans l'industrie chimique –Smith détaille ce point–, à profiter des sinécures napoléoniennes, à mettre sur pied un "nouveau pouvoir" ou, plus simplement, à exercer leur métier : malgré son goût pour les scientifiques respectueux, goût qui contraste fortement avec son horreur des insolents "idéologues" de l'époque¹⁸, l'Empereur se contente d'autant mieux des armements de Gribeauval –ils resteront en usage sans guère de changements jusqu'en 1850 environ– qu'il sait s'en servir et profite d'une abondante démographie.

Les grandes innovations françaises de la période 1789–1815, curieusement, sont civiles ou, à la rigueur, destinées à limiter les effets du blocus : soude "artificielle" que nombre de chimistes cherchent à réaliser économiquement bien avant 1789 à partir du sel marin et qui se répand difficilement au début,

¹⁵ D.S.L. Cardwell, *The Organisation of Science in England* (Heinemann, 1972), p. 17–21, qui précise qu'un "amateur" n'est pas un "dilettante"...

¹⁶ Sur la Révolution et l'Empire, voir Maurice Crosland, *The Society of Arcueil* (Harvard UP, 1967), John Graham Smith, *The Origins and Early Development of the Heavy Chemical Industry in France* (Clarendon Press, 1979), Joachim Fischer, *Napoleon und die Wissenschaft* (Franz Steiner Vlg., 1988), Jean et Nicole Dhombres, *Naissance d'un pouvoir : science et savants en France, 1793–1824* (Payot, 1989), qui consacre fort peu de place aux activités militaires et F. B. Artz, *The Development of Technical Education in France, 1500–1850* (MIT Press, 1966), qui reste fort utile.

¹⁷ Une innovation est une invention donnant lieu à une diffusion effective.

¹⁸ Rappelons la fière réponse de l'historien Cabanis à Napoléon s'étonnant de ne plus le voir aux Tuileries depuis le Sacre : "Le pouvoir, Sire, attire l'ordure". On n'imagine pas Laplace, Monge ou Fourier dans ce rôle, et lorsque Chaptal renonce à son ministère de l'Intérieur, c'est parce que son chef s'est intéressé de trop près à sa danseuse; il reste Sénateur.

chlore de Berthollet que par l'intermédiaire de Watt les Anglais transforment en une *bleaching powder* beaucoup plus commode, sucre de betterave inventé en Allemagne cinquante ans auparavant, métier Jacquard, etc.

La grande innovation scientifico-militaire française de la Révolution, c'est l'École polytechnique militarisée par Napoléon. Elle prépare la liaison entre les trois composantes de ce que, dans un autre contexte, le Sénateur Goldwater, rectifiant le Président Eisenhower, a appelé en 1969 le *scientific-military-industrial complex* (SMIC), encore que les fondateurs eux-mêmes s'intéressaient bien davantage au "progrès des Sciences et des Arts" en général qu'à ses aspects militaires, comme en témoignent leurs autres initiatives (CNAM, Muséum, Ecole Normale, système métrique, Bureau des Longitudes, etc.).

Les grandes inventions militaires qui apparaissent vers cette période, à savoir les sous-marins des ingénieurs Bushnell (1776) et Fulton (1799) aux USA, les torpilles¹⁹ du même Fulton, les engins incendiaires et les obus à balles des militaires William Congreve (1791) et Henry Shrapnel (1800) en Angleterre, ne sont dues ni à des scientifiques, ni à des Français. Les sous-marins se réduisent à des prototypes inutilisables bien que Fulton -ingénieur génial qui inaugure aussi, avec succès cette fois, la navigation à vapeur et construit en 1813 un étrange navire de guerre²⁰ - en ait compris la plupart des principes. Ses inventions intéressent Pitt à Londres mais beaucoup moins les marins; comme le chef de la Royal Navy le dira en 1804 à Fulton,

*Pitt was the greatest fool who ever existed, to encourage a mode of war which those who command the sea did not want and which, if successful, would deprive them of it*²¹.

Dangereux et imprécis, les engins à réaction de Congreve seront détrônés par l'arrivée des canons modernes après 1860 et ne jouent que des rôles très auxiliaires même s'ils peuvent incendier Copenhague ou Alger²². Les obus de Shrapnel, vieille idée, sont promis à un bel avenir mais, comme l'arme précédente, ne révolutionnent rien; la France ne les adopte pas avant le Second Empire.

On a quand même quelques idées en France. En traitant en 1787 la future

¹⁹ Ce sont en fait des mines stationnaires ou fixées à l'extrémité d'une perche d'une dizaine de mètres et qu'une équipe de rameurs est chargée, à ses risques et périls, de faire exploser sur la coque d'un navire ennemi.

²⁰ Son *Demologos* est un énorme catamaran protégé par une coque en bois de cinq pieds d'épaisseur, propulsé par une machine à vapeur de 120 chevaux et une roue à aubes située entre les deux coques, et muni d'une trentaine de canons tirant des boulets de 32 livres portés au rouge dans la chaudière de la machine. Il arrive trop tard pour la guerre de 1812 entre les USA et la GB, et Fulton meurt en 1815. Sur Fulton et ses idées politiques, voir H. Bruce Franklin, *War Stars. The Superweapon and the American Imagination* (Oxford UP, 1988), chap. 1.

²¹ C. J. Bartlett, *Great Britain and Sea Power, 1815-1853* (Oxford UP, 1963), p. 205.

²² Paul Johnson, *The Birth of the Modern. World Society 1815-1830* (Harper Collins, 1991), p. 286-291 pour le bombardement d'Alger en 1816 par la flotte anglaise. On trouve dans ce pavé de 1.095 pages (16 dollars) beaucoup d'informations sur Congreve, Shrapnel, Fulton, les chimistes anglais, la Marine anglaise, les routes et les ponts, etc.

eau de Javel par de la potasse pour en éliminer le chlore superflu, Berthollet avait découvert un nouvel explosif, le chlorate de potassium; il améliore la poudre à canon mais est si instable qu'il pulvérise l'atelier destiné à le produire. On y revient en 1793; même résultat. Le chlorate attire un autre amateur de liaisons dangereuses, Chlodderlos de Laclos, qui, vieille idée ici encore, en remplit des boulets creux; ils explosent avant d'être sortis du canon. On pense aussi à des boulets incendiaires: un sous-lieutenant Fabre ayant inventé en 1786 une formule "inextinguible" passée en Angleterre avec son colonel, se manifeste auprès de Monge en 1793; on le charge de développer le projet ainsi que les idées de Laclos en y substituant la poudre classique au chlorate. Ses travaux, soutenus par des bureaucrates traversant les vicissitudes de l'époque, sont poursuivis pendant une dizaine d'années, mais la Marine n'apprécie pas les risques que ces armes entraînent à bord de navires en bois et ballottés par les tempêtes, et elle sait que, si l'on s'en sert, il faudra peu de temps aux Anglais pour faire de même²³ comme l'avenir le montrera.

Enfin, il y a à cette époque, comme à toutes les autres, des travaux proprement scientifiques d'intérêt militaire potentiel; mais quand leurs auteurs n'en sont pas totalement inconscients, les techniques de l'époque n'en permettent aucune utilisation. Scheele et Berthollet n'ignorent pas davantage les effets du chlore que les ouvriers de Javel qui, parfois, se roulent par terre de douleur, nous dit Smith, ou que James Watt qui se dit *afraid to attack so fierce and strong a beast, there is no bearing the fumes of it*, nous disent Musson et Robinson; pour autant qu'on le sache, ils ne sont pas assez sauvages pour imaginer la future guerre des gaz. Un chimiste allemand isole l'oxyde d'uranium en 1789; il colore les faïences en jaune. En exposant à la lumière un mélange de chlore et d'oxyde de carbone, John Davy, frère du grand chimiste, découvre et baptise en 1811 le phosgène, $COCl_2$. Un certain Woulfe découvre en 1771 l'acide picrique, trinitrophénol, en traitant de l'indigo par l'acide nitrique; la réaction, très exothermique, est apparemment retrouvée par Fourcroy et Vauquelin en 1794, lesquels constatent que le picrate de potassium est un explosif; l'acide picrique sera l'un des premiers colorants chimiques quarante ans avant de devenir le premier explosif brisant après 1880. L'anglais Howard découvre en 1800 le fulminate de mercure, explosif trop violent, dit-il, pour remplacer la poudre à canon; il sera utilisé quelques décennies plus tard comme détonateur dans les cartouches puis pour la dynamite civile de Nobel. Les fulminates intriguent beaucoup de chimistes, dont Gay-Lussac (qui dirige le Service des Poudres sous la Restauration et au-delà) et Liebig vers 1825, qui en cherchent la composition. On avance dans la nuit.

²³ Charles Coulton Gillispie, *Science and secret weapons development in Revolutionary France...* (Hist. Studies in Phys. Sciences, 23 (1992), n°1, p. 35-152). Gillispie reproduit de nombreuses lettres échangées entre les chimistes et les politiques ou bureaucrates et semble voir dans la situation de 1793 de curieuses analogies avec les initiatives des atomistes en 1939-40.

La révolution industrielle

Avant et pendant ce temps, l'Angleterre se lance dans une "révolution industrielle"²⁴ qui résulte comme on le sait de quelques innovations fondamentales s'étalant sur tout le XVIII^e siècle : (1) la substitution du coke au charbon de bois dans la métallurgie du fer (Darby père et fils, 1709–30 environ); (2) la mécanisation du textile de 1733 à la fin du siècle; (3) la machine à vapeur de James Watt (1765–85 environ), qui perfectionne les pompes de Newcomen avant de se transformer en source universelle de force motrice; (4) l'invention du puddlage par Henry Cort (1784) qui, combinée avec son utilisation de fours à réverbération et de laminoirs à rayures, transforme la fonte en barres de fer forgé; (5) les débuts de l'industrie chimique (acide sulfurique à partir de 1750, chlore et soude un demi-siècle plus tard) sans laquelle l'expansion du textile eût été impossible. On peut ajouter la technique de l'acier au creuset de Huntsman; mais, en dehors de la coutellerie qui l'adopte lentement en raison de son coût et de sa difficulté technique, son importance se manifesterà au siècle suivant.

Si les nécessités militaires n'ont rien à voir avec le textile, la nouvelle industrie chimique ou la machine à vapeur, le lien avec la métallurgie au coke, qui peut paraître évident, ne l'est cependant pas²⁵. La nécessité de remplacer le charbon de bois par du charbon de terre dans une Angleterre dont les forêts s'épuisent —la Marine y contribue fortement— était claire depuis longtemps; la production de la fonte stagnait à 25.000 tonnes par an depuis 1650 et l'on devait en importer de l'Oural et du Pays basque. C'est un Quaker pacifiste, fondateur d'une longue dynastie de métallurgistes, qui résoud le problème parce qu'il a la chance de trouver localement des matières premières acceptables et se borne à produire pour la vie quotidienne des ustensiles de prix relativement élevé n'exigeant pas une fonte de qualité supérieure. Plus tard la fonte au coke, brute ou forgée comme chez Cort, servira à fabriquer des bâtis de machines, des rails pour les mines de charbon, des ponts (1779), des cylindres pour les machines de Newcomen et de Watt, des canalisations d'adduction d'eau, des charpentes pour le bâtiment, etc. en attendant la suite. En Angleterre, les procédés des Darby et de Cort se perfectionnent et se répandent, lentement dans le premier

²⁴ On trouve dans le petit livre de Jean-Pierre Rioux, *La révolution industrielle, 1780–1880* (Seuil, 1989) une bibliographie de 402 titres sur le sujet (sans les titres allemands, qui doivent bien exister...). Les vol. 3 et 4 de Carlo M. Cipolla, ed., *The Fontana Economic History of Europe* (Fontana/Collins, 1973), écrits par divers auteurs européens, sont passionnants mais épuisés. Le classique de David S. Landes, *The Unbound Prometheus* (Cambridge UP, 1969, trad. *L'Europe technicienne*, Gallimard), oublie l'armement. Sur l'Angleterre, qui a fait l'objet d'un océan de littérature, le plus simple est sans doute de consulter le vol. 1 de R. Floud & D. McCloskey, eds., *The Economic History of Britain since 1700* (Cambridge UP, 1981). Le cas de l'Europe continentale est excellemment exposé dans Clive Trebilcock, *The Industrialization of the Continental Powers, 1780–1914* (Longman, 1981). Enfin, le rôle très controversé du progrès scientifique est étudié dans A. E. Musson et E. Robinson, *Science and Technology in the Industrial Revolution* (Manchester UP, 1969).

²⁵ Très bon exposé sur Darby et Cort dans Franz Selmeier, *Eisen, Kohle und Dampf* (Deutsches Museum/Rowohlt, 1984).

cas, rapidement dans le second, la transformation y étant quasi complète dès 1800 – mais pas avant 1850 au moins sur le continent où le charbon de bois reste abondant. La machine à vapeur, en actionnant les souffleries des hauts-fourneaux (Wilkinson, 1776), permet un fonctionnement beaucoup plus régulier et une température plus élevée que l'énergie hydraulique et autorise la métallurgie à s'installer à proximité des mines de charbon, le coke, peu friable, permettant d'augmenter considérablement la capacité des hauts-fourneaux.

Les nécessités militaires concernent les "marchands de canons" comme John Roebuck, inventeur vers 1750 des chambres de plomb pour fabriquer de l'acide sulfurique, qui crée en 1759 près de Glasgow les *Carron Ironworks* d'où sortiront en 1779 les caronades (orthographe militaire française) de la Royal Navy²⁶, ou comme John Wilkinson qui invente en 1774 une machine à forer les tubes d'artillerie permettant aussi un alésage précis des cylindres des machines à vapeur. Comme d'autres Anglais dans d'autres domaines – chimie ou textile – avant 1789, son frère William est appelé en France pour installer à Indret une fonderie de canons pour la Marine, et un officier d'artillerie, un de Wendel, entreprend alors, avec une aide gouvernementale, d'installer au Creusot une énorme métallurgie "à l'anglaise" pour alimenter Indret ; premier sur le continent, ce projet s'effondre sous l'Empire, sera repris en 1826 par deux Anglais et, une dizaine d'années plus tard, par un Schneider.

A la différence de Darby, Cort pensait dès le départ, lui aussi, aux canons et ancres pour la marine : employé aux achats de la Royal Navy et la voyant refuser la fonte au coke, il décide d'en produire à un coût inférieur et à une qualité comparable à ceux de la fonte au charbon de bois ; son succès auprès de son principal client potentiel n'est pas pour autant immédiat en ce qui concerne les canons, la fonte au bois restant supérieure au début. La Marine lui commande par contre des quantités de fer forgé en barres, Cort s'associe au sous-intendant de celle-ci qui lui apporte 27.000 livres sterling contre ses brevets et la moitié des bénéfices. Hélas, la Navy découvre que le magot a été puisé dans ses coffres et Cort, qui perd tout y compris ses brevets, se retrouve avec une modeste pension (il a quand même rendu service...) jusqu'à la fin de ses jours.

En fait, on pense maintenant que, dans l'Angleterre du XVIIIème siècle, la "révolution agricole", avec son besoin accru d'instruments en fer, est l'une des explications du démarrage de la métallurgie²⁷. Les historiens ne sont guère d'accord sur la contribution des guerres de la Révolution et de l'Empire au développement de la métallurgie britannique²⁸ : de 10 à 25 %

²⁶ Pièces en fonte courtes, aux parois minces, de gros calibre, utilisant une quantité réduite de poudre et servant au combat rapproché. L'East India Cy les adopte avant la marine militaire.

²⁷ Voir le chapitre de Paul Bairoch dans le vol. 3 de Cipolla ou, du même, *Le Tiers-Monde dans l'impasse. Le démarrage économique du XVIIIème au XXème siècle* (Gallimard/Folio, 1992).

²⁸ Sous l'Empire, la Royal Navy comporte environ 250 navires de ligne à 60 ou 80 canons pesant jusqu'à trois tonnes, plus des centaines de bâtiments moins imposants ; aux canons s'ajoutent les boulets, les ancres, le lest, etc., le tout à renouveler périodiquement.

d'une production de deux à trois cent mille tonnes de fonte après 1800, le marché civil prenant le relais pendant les périodes de paix. Une crise survient lorsque celle-ci éclate en 1815, mais la croissance de la métallurgie britannique retrouve son exponentielle après 1820 et s'explique sans doute mieux, par l'abondance de charbons et minerais faciles à traiter²⁹, par le goût des Britanniques pour le fer et les machines, favorisé par un excellent système de brevets, ainsi que par les possibilités commerciales civiles qui se présentent en foule dans ce domaine comme dans les autres.

En dépit d'activités militaires encore plus substantielles, la France ne connaît, à la même période, aucune révolution ou expansion comparable dans la métallurgie. Outre la relative rareté et le coût des charbons et minerais convenables, les troubles et les guerres de la période se traduisent en France par un quasi arrêt des transferts de technologie de l'Angleterre vers la France, fort importants avant 1789, et par une chute considérable de la production dans beaucoup de secteurs (le textile, protégé dans une certaine mesure de la concurrence anglaise, fait exception); l'Empire ne parviendra pas à la compenser entièrement, sauf en exploitant l'Europe conquise, la Belgique et la Ruhr par exemple en profitant pour développer leurs industries; la performance du Creusot en particulier semble avoir été fort médiocre. Par ailleurs, la Marine française ne se compare pas à sa concurrente. Noter en passant qu'à Trafalgar, la flotte de Nelson transporte autant de canons en fer, un millier, que la Grande Armée qui envahit la Russie avec ses canons en bronze.

On insiste souvent sur les avantages que certains secteurs industriels tirent de la guerre ou de sa préparation; on pourrait aussi se pencher sur les *opportunity costs*, i.e. les secteurs ou innovations qui ne se développent pas précisément à cause de la guerre³⁰. Bien que vainqueurs, les Anglais en sortent avec une gigantesque dette publique, des taxes sur d'innombrables produits et des émeutes populaires³¹.

²⁹ En fait, les meilleurs minerais de fer, à l'époque comme en 1940, sont suédois (car non phosphoreux) et l'Angleterre en importe de grandes quantités pour ses produits de qualité, en premier lieu la coutellerie de Sheffield; au début du XIX^e siècle, l'acier au creuset de qualité maximum était employé par Thomas Firth and Sons pour fabriquer les instruments suivants : "*taps, dies, graving tools, razors, axes, turning tools, pistol cylinders, scythe blades, pen nib sheet*"; les épées se contentaient d'une qualité un peu inférieure. Kenneth C. Barraclough, *Swedish Iron and Sheffield Steel* (History of Technology, vol. 12, 1990).

³⁰ Le principal spécialiste français du sujet, François Crouzet, attribue à la "catastrophe" que fut la Révolution le retard de la France sur l'Angleterre, théorie qui semble acceptée par Braudel et Labrousse, *Histoire économique et sociale*, vol. III (PUF) comme par Trebilcock et par Claude Fohlen dans Cipolla, vol. 4. François Hincker, *La Révolution française et l'économie. Décollage ou catastrophe?* (Nathan, 1989), conteste, mais ce court manuel pour étudiants innocents se place à un niveau de généralité beaucoup trop vaste pour être ici de quelque utilité. La guerre a sans doute aussi un coût intellectuel, par exemple les Polytechniciens qui n'en sont pas revenus. Tout cela est trop compliqué pour le présent auteur et même, apparemment, pour les experts. La charge idéologique du sujet n'échappera à personne.

³¹ Voir par exemple Johnson, chap. 5; le contraste entre l'extrême richesse et l'extrême pauvreté provoque, avant même 1815, des émeutes (notamment contre les machines qui remplacent la main d'oeuvre) qui effraient fort des dirigeants ayant peu de goût pour les excès de la Révolution

Après 1815, l'avance acquise par l'Angleterre, grâce notamment à l'interruption des transferts de technologie vers le Continent, lui permet d'inonder le continent de textiles et d'objets manufacturés de toutes sortes. Elle exporte aussi, malgré les interdictions du gouvernement, des machines et des milliers d'artisans et ingénieurs qui, pendant une génération au moins, feront, parfois au prix fort, l'éducation des continentaux³². La "révolution industrielle", qui continue de plus belle en Angleterre, se propage alors plus lentement au Continent — France et Belgique d'abord, Allemagne ensuite, Russie à la fin du siècle — et donnera lieu à un prodigieux développement de l'industrie et des innovations techniques avant 1914; on y reviendra.

Le XIXème siècle

Le développement des universités et écoles techniques

Parallèlement à ces développements industriels apparaissent au XIXème siècle des enseignements scientifiques et techniques dont l'histoire va, en apparence, nous écarter de notre sujet. Elle varie beaucoup d'un pays à l'autre, notamment en raison du rôle que les pouvoirs publics jouent en Allemagne et en France et ne jouent pas, ou fort peu, en Angleterre et aux USA. On oubliera l'Angleterre³³ afin de limiter le texte, déjà trop long.

En ce qui concerne le monde germanique³⁴ qui servira de modèle ou de défi au reste du monde après 1870, l'X inspire, à un niveau probablement inférieur au début, une douzaine de prétendus imitateurs à Prague (1806), à Vienne (1815), puis à Karlsruhe, Munich, Dresde, etc. (neuf écoles entre 1825 et 1836), et à Zürich en 1855; s'y ajoutent nombre d'écoles professionnelles de niveau moins élevé, sans oublier l'enseignement primaire que la Prusse a rendu obligatoire un siècle avant tout le monde et un excellent système d'enseignement secondaire inauguré en 1819. On adopte plus ou moins la pédagogie (théorie et travaux pratiques) des fondateurs de l'X mais c'est la seule ressemblance : statut civil (il y a des académies d'artillerie pour les artilleurs); recrutement des étudiants sans concours, mais non sans contrôle,

française; ils y réagissent de façon pragmatique et généralement non violente.

³² Voir Landes, chap. 3 et Robert A. Buchanan, *The Engineers. A History of the Engineering Profession in Britain, 1750-1914* (Jessica Kingsley, 1989), qui consacre un chapitre au sujet.

³³ voir Peter Alter, *The Reluctant Patron. Science and the State in Britain, 1850-1930*, (Berg, 1987)

³⁴ Sur l'Allemagne, citons Karl-Heinz Manegold, *Universität, Technische Hochschulen, und Industrie* (Dunker & Humblot, 1970), Yves Cohen et Klaus Mangrass, eds., *Frankreich und Deutschland. Forschung, Technologie und industrielle Entwicklung im 19. und 20. Jahrhundert* (E. H. Beck, 1990), comptes rendus d'un colloque franco-allemand, Charles E. McClelland, *State, society, and university in Germany, 1700-1914* (Cambridge UP, 1980), Robert N. Proctor, *The Politics of Purity : Origins of the Ideal of Neutral Science* (Ph. D. Harvard, 1984), R. Steven Turner, *The Growth of Professorial Research in Prussia, 1818 to 1848* (Hist. Studies in Phys. Sciences, vol. 3, 1971, p. 137-182), Frederick Gregory, *Kant, Schelling, and the Administration of Science in the Romantic Era* (Osiris, vol. 5, 1989, p. 17-35, volume entièrement consacré à l'Allemagne). Pour les aspects les plus proches des Mathématiques, voir surtout Christia Jungnickel & Russell McCormack, *Intellectual Mastery of Nature. Theoretical physics from Ohm to Einstein* (Chicago UP, 1986, 2 vol), qui traitent uniquement de l'Allemagne sans se borner à l'histoire "interne" du sujet.

dès quinze ans au début, puis à la sortie d'une école préparatoire intégrée à l'établissement ; plusieurs sections entre lesquelles se répartissent les étudiants (architecture, travaux publics, eaux et forêts, commerce, arts et métiers, en attendant le développement de sections de chimie puis d'électrotechnique), etc. Beaucoup de produits de ces écoles se dirigent en fait vers les services techniques des Etats dont elles dépendent plutôt que vers l'industrie, peu développée avant 1850.

Entre 1877 et 1890, et d'abord à Berlin, les neuf écoles initiales, dont les effectifs, le niveau intellectuel et le champ pédagogique se sont progressivement améliorés, obtiennent le titre de *Technische Hochschulen* (TH). Prétendant au même prestige intellectuel que les universités – ce que celles-ci contestent vigoureusement –, elles renforcent leurs conditions d'admission en exigeant la même éducation secondaire complète que celles-ci tout en accentuant les aspects théoriques de leurs programmes : la technologie devient l'interface entre les sciences proprement dites et l'industrie, ce qui fait dire à certains que le progrès des machines à vapeur résulte moins de la Thermodynamique que des expériences de praticiens ; ils ne pourraient en dire autant du moteur Diesel, dont l'inventeur a suivi les cours de Thermodynamique de Carl Linde, l'homme du froid. En fait, on est obligé à partir de 1890 environ de fonder des écoles de niveau intermédiaire fortement appuyées par l'industrie, de même que beaucoup d'écoles privées de niveau variable ; le résultat est un enseignement technique très diversifié – l'autonomie dont jouissent les *Länder* y contribue fortement – produisant sensiblement plus d'ingénieurs, relativement à la population, que les pays concurrents. Grâce à Guillaume II qui passe par-dessus l'opposition des universitaires (détails dans Manegold), les TH obtiennent finalement en 1900 un statut équivalent à celui des universités et en particulier le droit de décerner des diplômes d'ingénieur-docteur. A la fin du siècle, elles commencent à disposer de laboratoires et ateliers bien équipés et attirent des scientifiques de premier plan ne trouvant pas place dans les universités – manque de postes, spécialités non encore représentées, préjugés contre les Juifs. En 1913, les TH comptent 15.000 étudiants régulièrement inscrits auxquels s'ajoutent 5.000 personnes autorisées à suivre les cours qui les intéressent. Les plus célèbres attirent alors tant d'élèves étrangers – 30 à 40 % à Karlsruhe, Darmstadt et Dresde en 1906, Zürich jouissant d'une réputation équivalente – que des réactions épidermiques se produisent parfois, notamment à l'égard des nombreux Juifs d'Europe centrale ou de Russie (Haber, II, p. 43 et 45).

On considère de même généralement qu'en ce qui concerne l'organisation moderne des universités, c'est la Prusse qui, à petite échelle au début, prend l'initiative avec la création en 1810 à Berlin, sur un modèle qui s'étendra au reste du pays après 1815, d'une université destinée à remplacer celles que Napoléon a fermées ou occupe, à compenser sur le plan culturel le prestige national perdu à Iena et plus généralement à revitaliser intellectuellement

le pays dont les universités, à de rares exceptions près (Göttingen), sont tout aussi décrépités et rétrogrades que celles que la Révolution a fermées en France. Il règne dans les nouveaux établissements un degré de liberté qu'on n'a jamais rencontré ailleurs : liberté pour les professeurs de choisir le contenu de leurs enseignements et, pour les étudiants, de choisir les cours qu'ils suivent et de changer d'université; le seul examen, pour les étudiants les plus motivés, est un doctorat final comportant une thèse assez simple et des interrogations sur d'autres matières. Le contrôle sera quelque peu renforcé à la fin du siècle grâce à un examen intermédiaire.

Le but pédagogique des fondateurs est avant tout de fournir aux futures "élites" une formation culturelle : la célèbre *Bildung*, fondée sur une conception unitaire de la *Wissenschaft*, terme désignant l'ensemble des connaissances pouvant progresser rationnellement. Fortement influencé par les idées de philosophes, philologues et historiens désirant en finir avec l'obscurantisme clérical des universités traditionnelles, Wilhelm von Humboldt, fondateur de l'université et frère du célèbre géographe familial de l'X, insiste explicitement –c'est l'une des grandes nouveautés du système– sur la nécessité de parvenir à ce qu'il appelle une "unité de la recherche et de l'enseignement" et de fournir aux étudiants les moyens de réfléchir par eux-mêmes.

Ce programme ne se réalisera pas instantanément, bien sûr : on ne change pas par décret les mœurs des universitaires, les grands hommes que tout le monde connaît ne tombent pas du Ciel tout armés, la plupart des étudiants, les *Brotstudenten*, cherchent à préparer scolairement les concours de recrutement officiels à la sortie de l'université plutôt qu'à devenir des "bureaucrates-philosophes", le recrutement d'étudiants motivés passe par le développement des lycées, etc. En fait, les despotes gouvernementaux, parfois éclairés, imposent fréquemment jusqu'en 1848 leurs candidats aux postes vacants, au besoin après consultation d'experts; le jeune Jacobi par exemple en profite à Königsberg et y fonde en 1835, avec Franz Neumann, le premier *Seminar* de mathématiques et de physique sur le modèle d'un séminaire de philologie qu'il a fréquenté à Berlin. A partir de 1850 environ, lorsqu'une chaire devient libre, la Faculté écoute généralement les avis d'experts et propose au Ministère une liste de trois noms parmi lesquels celui-ci choisit généralement avant de négocier avec l'heureux élu son salaire et ses conditions de travail.

On fonde beaucoup d'espoirs sur la Faculté de Philosophie regroupant les disciplines littéraires et les sciences, bien qu'au début elle attire évidemment beaucoup moins d'étudiants que le Droit, la Médecine et la Théologie. Les sciences y sont d'abord représentées principalement par les Mathématiques, invention grecque favorisant la "réflexion libre et solitaire", et une *Naturphilosophie* plus proche de la métaphysique ou du mysticisme romantique que de Newton et de l'expérimentation qu'un Hegel méprise. Les littéraires considèrent la chimie comme une cuisine auxiliaire de la

pharmacie³⁵, ce qui n'est pas entièrement faux puisque les cuisiniers découvriront avant 1914 le chloroforme, l'aspirine, les barbituriques, la Novocaïne, le 606 ou Salvarsan contre la syphilis et nombre d'autres produits pouvant profiter même aux philosophes.

C'est dans ce cadre, et sous l'influence des philosophes et littéraires, que naît et se développe une idéologie de la "science pure" opposée aux conceptions utilitaristes et commerçantes contre lesquelles tout le Romantisme se révolte. A Koenigsberg, Jacobi proclame déjà son mépris aussi bien à l'égard de ses collègues que des motivations utilitaires des étudiants et, extrême romantisme de l'époque et de la jeunesse, préconise comme chacun sait la pratique de la Science "pour l'honneur de l'esprit humain"; à tout prendre, ce n'est pas pire que, par exemple, les vingt cinq ans d'Ulam à Los Alamos qui laissent froids les cyniques d'aujourd'hui rigolant de Jacobi. Elle est aussi motivée, dans les disciplines sensibles, par la nécessité d'observer une prudente "neutralité politique", i.e. de rester au large des idées subversives. D'autres l'adopteront ailleurs, soit pour proclamer la valeur intellectuelle de leurs travaux et, notamment en Allemagne, se démarquer des écoles techniques, soit en raison de leur peu de goût pour les préoccupations commerciales de l'industrie et le secret industriel. D'autres encore la rejeteront, notamment les Académies française et anglaise qui, tout au long du XIXème siècle et au-delà, accueilleront volontiers des ingénieurs n'ayant eu qu'une activité scientifique marginale mais rendus célèbres par leurs activités techniques.

Esprits moins purs que Hegel ou Schelling, les cercles dirigeants prussiens ne sont quand même pas insensibles aux arguments utilitaires :

contre le danger de nous trouver toujours plus étroitement limités par les efforts des autres nations manufacturières...l'aide que peut apporter l'État peut se résumer en un seul mot : Bildung!

A cette théorie de 1818 (on crée les lycées en 1819) que justifient le sous-développement allemand³⁶ et l'invasion des produits anglais répond l'idée encore prématurée de Humboldt selon laquelle l'industrie profitera automatiquement du progrès scientifique favorisé en tant que tel (Manegold, p. 26-31). Ces préoccupations vont se manifester dans les universités comme dans l'enseignement technique.

Une intervention de Humboldt auprès du gouvernement de Hesse qui l'impose à la Faculté locale, permet à Justus Liebig, éduqué en Allemagne puis en France par Gay-Lussac et autres et qui se dirige a priori vers la

³⁵ Le fondateur de la *Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte* se demande publiquement en 1829 ce qu'est "un philologue, qui ne connaît que des langues, qui ne sait même pas pourquoi il y a du tonnerre et des éclairs et encore moins pourquoi frappe la foudre, qui ne sait pas pourquoi le mercure baisse lorsqu'il va pleuvoir, qui ne sait pas que l'on peut mesurer la hauteur d'une montagne à l'aide d'un baromètre ni comment, qui n'a aucune idée de ce qu'est une machine à vapeur, qui avoue qu'il ne sait pas ce qui le chauffe et l'éclaire." Borscheid, p. 38.

³⁶ Chevaux-vapeur installés en 1840 : 620.000 en Angleterre, 90.000 en France, 40.000 en Allemagne et en Belgique, total pour l'Europe 860.000. Cipolla, vol. 3, p. 165.

pharmacie, d'élaborer à l'université de Giessen à partir de 1826 un système d'enseignement qui se propagera partout : apprentissage méthodique de l'analyse chimique que Liebig systématisa et simplifia, présence constante au laboratoire des étudiants qui se lancent très tôt dans la recherche et s'instruisent mutuellement. Peu populaire parmi ses collègues avec lesquels il polémiqua énergiquement à l'occasion, Liebig est parqué pendant une douzaine d'années dans une baraque fort insalubre et doit financer lui-même en grande partie ses appareils et ses produits avant d'obtenir un vrai laboratoire organisé sur ses plans ; il y formera à la chimie organique naissante des quantités de spécialistes allemands et, bien davantage encore, étrangers. L'exemple et la propagande de Liebig et autres conduiront à la création ou au développement de laboratoires universitaires dirigés dans les années 60 par des gens comme Wöhler, Bunsen, Kekulé, Baeyer, Hofmann ou Liebig lui-même, à Munich maintenant, et attirant déjà chacun des dizaines d'étudiants, ici encore pas tous allemands à beaucoup près.

La Physique expérimentale suivra le même chemin avec un décalage d'une génération du sans doute au fait que son utilité pratique ne devient très visible qu'avec le développement de l'industrie électrique. Dans un ordre d'idées qui combine science et technologie et à l'initiative de gens comme Helmholtz et Werner Siemens³⁷ qui donne un terrain de 500.000 marks, naît en 1887 à Berlin un *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* (PTR) gouvernemental ; à la fois institut de recherche et service de métrologie où l'on développe des instruments et méthodes de mesure de précision, il sera présidé successivement par Helmholtz, Kohlrausch et Emil Warburg, i.e. par des physiciens de niveau maximum³⁸. Tout en émettant des idées "darwiniennes" sur la compétition internationale, comme les appelle Cahan –mais elles se rencontrent à l'époque partout ailleurs–, Siemens insiste sur la nécessité de développer la recherche scientifique sans se préoccuper de ses applications immédiates, point de vue déjà proclamé par Helmholtz dès 1862, et de libérer des scientifiques éminents des tâches d'enseignement. De plus ou

³⁷ Officier d'artillerie qui comptera parmi ses plus proches amis les grands scientifiques de Berlin, notamment Helmholtz (deux de leurs enfants se marient), Siemens met au point en 1847 un système de télégraphie, quitte aussitôt l'armée et fonde avec un mécanicien une compagnie qui devient rapidement la principale en Europe. Il expose à Paris en 1867 un modèle de dynamo qui lui assure la prépondérance dans le secteur de l'énergie électrique jusqu'à l'apparition d'AEG (licences Edison–General Electric) en 1883, mais les deux maisons s'entendent rapidement pour limiter la compétition dans ce domaine. Le groupe Siemens emploie 60.000 personnes en 1913 et, avec AEG, se situe alors entre General Electric et Westinghouse quant à la taille de l'entreprise. Siemens a deux frères aussi fort doués ; Wilhelm s'établit en Angleterre où il fonde la branche anglaise de la maison et, plus tard, invente pour la métallurgie le four qui porte son nom ; l'autre, Carl, fait de même à St Petersburg. Voir par exemple W. O. Henderson, *The Rise of German Industrial Power, 1834–1914* (California UP, 1975), p. 189–198, ou Chandler Jr., *Scale and Scope* (cité plus loin), p. 464–474. Il y a aussi (à Jussieu) une traduction anglaise des mémoires de Siemens

³⁸ Leurs revenus le sont aussi : Helmholtz exige 30.000 marks –il en gagne 33.000 à l'université de Berlin–, soit le double du traitement d'un sous-secrétaire d'Etat ; même problème avec Kohlrausch. Tout cela est raconté en détail dans David Cahan, *The Physikalisch-Technische Reichsanstalt...* (Ph. D. Johns Hopkins, 1980) et un livre récent du même. Taux de change d'avant 1914 : 1 livre sterling = \$5 = RM20 = 25 francs-or.

moins bonnes imitations voient ensuite le jour ailleurs, le National Physical Laboratory anglais et, surtout, le National Bureau of Standards américain en 1901, qui comprend aussi une section de chimie et disposera rapidement de crédits très supérieurs à ceux du PTR. La France n'a rien de comparable.

En France et jusqu'aux lendemains de 1870, l'Université, au singulier, fondée par Napoléon en 1808 se compose d'académies comprenant au moins un lycée et quatre facultés gouvernées directement par le recteur et Paris (en fait, on en ferme en 1815 pour les rouvrir et en créer d'autres plus tard). Les sciences et les lettres, dix pour cent des étudiants pendant longtemps, forment principalement les futurs enseignants des Lycées et assurent le très lourd service (jusqu'à quatre mois par an) du Baccalauréat. En sciences, on ne compte encore que 350 étudiants inscrits en 1877, dont 2 à Besançon, 6 à Lyon et Toulouse,..., 27 à Nancy, 54 à Lille et 155 à Paris. Les facultés des sciences comprennent quatre professeurs, parfois un peu plus, donnant pendant la courte année universitaire 4 h 30 de cours par semaine sur des programmes strictement contrôlés par Paris. En province, la plupart d'entre eux, jusqu'en 1850 au moins, enseignent aussi au lycée local ou l'ont fait pendant dix ou vingt ans. Même à la Sorbonne où enseignent des scientifiques éminents qui fonctionnent souvent aussi à l'X, au Collège de France ou au Muséum, les activités de recherche ne sont ni prévues, ni financées, ni hébergées³⁹; en dépit des protestations, le Ministère réitère périodiquement la théorie officielle : subordination aux besoins du Secondaire. Entre 1848 et 1868, nous dit Terry Shinn, on agrandit les bâtiments des Facultés des Sciences de 480m² au total, détail révélateur compte-tenu de la priorité que le Second Empire attribue au développement de la prospérité dans tous les domaines⁴⁰.

La situation commence à changer en 1869; on envoie Wurtz, qui a fréquenté Liebig, enquêter en Allemagne; il en revient avec le rapport que l'on imagine. Il en sort l'École pratique des hautes études et quelques chaires de physique ou chimie en province.

C'est 1870 –les catastrophes de 1793, 1870, 1940–44 et le coup d'Etat de 1958 ont beaucoup profité à la "Science française"– qui réveille les gouvernants sous l'influence d'universitaires comme Renan, Pasteur ou Berthelot invoquant l'exemple allemand⁴¹; on remarque notamment que

³⁹ On verra d'ailleurs encore un ministre déclarer en 1833 + 100 que "la recherche est une irrégularité sur laquelle nous fermons les yeux".

⁴⁰ En 1867, l'économiste Michel Chevalier remarque dans son rapport sur l'Exposition universelle qu'avec "la moitié ou le quart" de l'argent dépensé à construire l'Opéra et ses abords, on aurait pu édifier à Paris un complexe d'institutions d'enseignement primaire, secondaire et supérieur bien pourvu en bâtiments et équipement scientifique. Sans doute exact, mais naïf. François Leprieur et Pierre Papon, *Chemical Industry in Nineteenth-Century France* (Minerva, summer 1979), p. 211.

⁴¹ Voir l'exposé de Robert Fox dans Yves Cohen et Klaus Mangrass, eds., *Frankreich und Deutschland*. La supériorité allemande sur la France dans la plupart des domaines semble assez claire, voire même écrasante comme en chimie organique; Leprieur et Papon notent p. 210 qu'en 1870, 94 % des articles sur la série du benzène cités dans le Bulletin de la Société chimique de

l'université de Strasbourg reçoit l'équivalent de 17 millions de francs pour améliorer son secteur scientifique. On crée alors des bourses pour les étudiants, on réunit les facultés en universités indépendantes du secondaire, on encourage la recherche qui devient, en théorie, le principal critère de nomination, on recrute 70 Maîtres de Conférence dès 1877-78, on augmente considérablement les crédits, on dépense, en un quart de siècle, 13 millions pour agrandir et rénover les installations scientifiques, dont 9 pour la Sorbonne. On ne va quand même pas jusqu'à accorder aux universitaires et étudiants la liberté pédagogique dont jouissent les Prussiens.

Grâce à sa sélection et à son corps enseignant, l'X, avec ses écoles d'application, produit des milliers d'officiers (artillerie terrestre ou navale, génie, infanterie, etc.) parfois fort capables; on aurait envie dans certains cas d'ajouter : hélas. Elle produit aussi, jusqu'au milieu du siècle au moins, d'excellents scientifiques et quelques uns des meilleurs théoriciens de la technique dans certaines branches, ponts, hydraulique, construction navale par exemple, et assez tôt un petit nombre d'ingénieurs des télégraphes; mais la caractéristique fondamentale de l'X pendant le XIX^{ème} siècle est un immobilisme que les écoles d'application ne compensent pas toujours. Pour fournir à l'industrie les ingénieurs qu'elle ne produit pas, l'école Centrale est fondée en 1829 par des industriels et scientifiques qui s'inspirent du modèle initial de l'X en rejetant les "folies mathématiques" de Cauchy et Poisson. Les trois écoles d'Arts et Métiers recrutent, en nombre très insuffisant relativement à l'Allemagne, les enfants des "classes dangereuses" et les soumettent à une discipline draconienne (on n'a pas oublié le cachot) contre laquelle ils se révoltent sauvagement; il en sort des "sous-officiers", ou adjudants, de l'industrie ou des chemins de fer qui fondent souvent des entreprises; les distingués produits de l'X les regardent du haut de leurs origines sociales et de leur éducation mathématique. Le CNAM, avec ses cours du soir, produit aussi des techniciens ou améliore leurs connaissances. Il y a enfin, en province, quelques écoles professionnelles fondées par des municipalités ou des industries locales. Mais à la fin du siècle, comme de nos jours, l'Allemagne produira environ deux fois plus d'ingénieurs et techniciens que la France.

Les universités réagissent. Sous la pression de notables locaux, de scientifiques excédés de l'accaparement des meilleurs étudiants par une Ecole polytechnique rétrograde, enfin, encore et toujours, de l'exemple allemand, on autorise après 1885 les universités de province à recevoir des fonds extérieurs et à créer des services, instituts ou écoles de sciences appliquées (Nancy, Lyon, Lille, Bordeaux, etc.) bénéficiant de subventions locales importantes (cinq millions à Lyon par exemple). La période 1900-1914 voit en conséquence les priorités de la plupart des universités de province s'orienter vers les besoins de l'industrie, le nombre des étudiants en technologie dépassant de plus en plus celui des étudiants en sciences proprement dits. L'évolution augmente

France sont allemands.

considérablement les effectifs –7.000 étudiants en sciences en 1914– mais, à part les Mathématiques, ne favorise pas la recherche fondamentale. De toute façon, la France s’engage au tournant des années 1900 vers la création d’une foule de petites écoles d’ingénieurs spécialisées –Physique et Chimie de Paris et Sup Elec pour commencer– puisque, lorsqu’un nouveau problème se pose, il est plus simple d’inventer une nouvelle structure que d’adapter les anciennes : d’où une nébuleuse d’établissements spécialisés mais rien de comparable aux TH allemandes. Nombre d’universitaires enseignent dans ces instituts et écoles, voire même les dirigent, et on aurait bien fait rire mes collègues de Nancy en 1946 en leur expliquant, comme M. Claude Allègre le fait encore, que depuis cent ans les universitaires français sont enfermés dans leurs tours d’ivoire⁴². Il est vrai que la collaboration directe avec l’industrie reste quand même assez exceptionnelle jusqu’à la Seconde guerre mondiale, notamment parce que, pour collaborer, il faut être deux.

L’Amérique n’est encore, jusqu’à la guerre de Sécession, qu’un petit pays par sa population et sa production intellectuelle. Du côté de l’enseignement technique, il y a très tôt des tentatives isolées. West Point (1805), réorganisée plus tard un peu sur le modèle pédagogique de l’X, produit alors un *Corps of Engineers* qui jouera un rôle analogue à celui des Ponts et Chaussées français, notamment pour la construction des voies ferrées; il y a aussi un *Rennselaer Polytechnic Institute* fondé par un philanthrope en 1826 et influencé ensuite par l’école Centrale française. Il y a enfin quelques services gouvernementaux qui contribuent à l’activité scientifique, notamment le *Geological Survey* dont le Congrès se refuse à financer d’éventuelles activités scientifiques (ce sont les mines qui l’intéressent...) ou encore la Marine, qui construit subrepticement l’observatoire que le Congrès lui refuse et fera plus tard démarrer l’océanographie à Woods Hole, aujourd’hui le centre mondial de la discipline.

Le premier “grand bond en avant”, comme l’appelle Noble, *America by Design*, est la loi fédérale de 1862 qui permet aux Etats de créer des collèges d’agriculture et de mécanique en les dotant d’un capital provenant de la

⁴² Sur la France, voir *La formation polytechnicienne 1794–1994* (Dunod, 1994), recueil d’articles dus à des professionnels de l’histoire des sciences citant toute la bibliographie du domaine, ainsi que les publications à venir du bicentenaire sur le rôle des Polytechniciens, Terry Shinn, *Savoir scientifique et pouvoir social. L’Ecole polytechnique* (Fondation nationale des sciences politiques, 1980), J. H. Weiss, *The Making of Technological Man : The Social Origins of French Engineering Education* (M.I.T. Press, 1982) pour Centrale, Antoine Picon, *L’invention de l’ingénieur moderne. L’Ecole des Ponts et Chaussées, 1747–1851* (Presses de l’Ecole Nat. des Ponts et Chaussées, 1992), Charles R. Day, *Education for the Industrial World. The Ecoles d’Arts et Métiers and the Rise of French Industrial Engineering* (MIT Press, 1987, trad. existe), Eda Kranakis, *Social Determinants of Engineering Practice : A Comparative View of France and America in the Nineteenth Century* (Social Studies of Science, Vol. 19, 1989); G. Weisz, *The Emergence of Modern Universities in France, 1863–1914* (Princeton UP, 1983); Mary-Jo Nye, *Science in the Provinces. Scientific Communities and Provincial Leadership in France, 1860–1930* (California UP, 1986); Harry W. Paul, *From Knowledge to Power : The Rise of the Science Empire in France, 1860–1939* (Cambridge UP, 1986); R. Fox et G. Weisz, eds., *The organization of science and technology in France, 1808–1914* (Cambridge UP/MSH, 1980), etc. On trouve tout à Jussieu.

vente de terrains fédéraux⁴³. La plupart de ces collèges deviendront les *State Universities* actuelles par élargissements successifs de leur vocation initiale. Les fondateurs du MIT en 1861 – le principal d’entre eux trouvera son idéal à peu près réalisé en 1864 à Karlsruhe – en profitent; dès 1870, Alexander Graham Bell y entame des recherches qui aboutiront au téléphone, on introduit l’*electrical engineering* en Physique en 1882, on fonde un laboratoire de biologie en 1884, et en 1902 est créé un département autonome d’*electrical engineering* appelé au développement que l’on sait⁴⁴.

L’enseignement supérieur américain traditionnel se compose, avant les années 1870, de *colleges* privés contrôlés par des *clergymen* polyvalents et destinés à “former le caractère” des étudiants, grâce notamment aux sports, aux “fraternités” et, espère-t-on, aux *Bible studies*. La place des sciences y est fort réduite à de rares exceptions près. Puis, sous l’influence du modèle allemand que l’on va imiter sélectivement, tout change graduellement; au reste, l’Amérique se peuple et s’enrichit.

Il y a d’abord la création des premières véritables universités. Ces établissements embrassant toutes les disciplines classiques et beaucoup d’autres par la suite (vers 1960, on parlera des *Multiversities*) sont caractérisés par l’existence des deux cycles d’études que tout le monde connaît, le second conduisant à un Ph. D. d’inspiration allemande (on oublie l’*Habilitation*), par le rôle qu’on y attribue aux activités de recherche et enfin par l’institution de départements indépendants les uns des autres, correspondant aux diverses disciplines, administrés de façon beaucoup plus démocratique que les facultés germaniques mais dont les enseignants ne jouissent pas, à beaucoup près, de la même autonomie à l’égard des exigences des étudiants que dans celles-ci. Les premiers et plus célèbres exemples, où la priorité de la recherche est proclamée d’emblée, sont Johns Hopkins à Baltimore, fondée en 1876 grâce aux 3,5 millions de dollars⁴⁵ d’un capitaliste local et où naît aussitôt l’*American Journal of Mathematics*, et Chicago, fondée en 1892 par John D. Rockefeller; on pourrait y ajouter Stanford et Cornell fondées avant 1900 dans les mêmes conditions, encore que Mrs. Leyland Stanford s’intéresse avant tout à l’architecture du monument à la gloire de son défunt époux.

Le cas de Rockefeller est tout différent. Fortement influencé par un Reverend Gates, de la secte Baptiste comme lui, Rockefeller fournit d’abord 600.000 dollars pour lancer l’université et y attirer les meilleurs cerveaux disponibles sur le marché. Mais la gigantesque fortune du roi de la Standard Oil a été

⁴³ On attribue à chaque état autant de fois 30.000 acres du domaine public qu’il comporte de Sénateurs et de Représentants au Congrès; 10 % du produit de leur vente peut être consacré à l’achat d’un campus, le reste, placé à 5 %, constituant la dot perpétuelle du collège à créer. F. Rudolph, *The American College and University. A History* (Vintage Books, 1962), p. 252.

⁴⁴ Karl L. Wildes & Nilo A. Lindgren, *A Century of Electrical Engineering and Computer Science at MIT, 1882–1982* (MIT Press, 1986). Histoire officielle...

⁴⁵ Cette somme est du même ordre que ce qu’à la même époque le gouvernement français consacre à la rénovation des Facultés des sciences.

acquise dans des conditions provoquant de virulentes critiques publiques; physiquement et nerveusement démoli, ne parvenant plus à contrôler ses multiples affaires, Rockefeller s'en remet au Reverend pour administrer tout ce qui est dehors de la Standard Oil. Aussi doué, comme son patron, pour les affaires que pour les sermons et vice-versa, Gates lui prédit que sa fortune écrasera ses héritiers (elle dépassera le milliard de dollars en 1913 pour un PNB de 57 milliards); elle risque en outre de tomber sous le coup de taxes, notamment d'héritage, de plus en plus élevées, sans oublier la loi anti-trust qui, sans dommage pour son propriétaire, démantèlera finalement la Standard Oil en 1911. La solution que Gates préconise est de consacrer une grande partie du magot à des opérations philanthropiques⁴⁶ – au total environ 400 millions dont bénéficieront l'éducation en général, Chicago (35 millions avant 1916), la recherche médicale (65 millions entre 1901 et 1928, le budget fédéral dans ce domaine ne dépassant pas 2,8 millions en 1938) et plus tard scientifique (Physique puis Biologie moléculaire), la santé publique, etc.– et à transmettre bien avant sa mort l'essentiel du reste à son fils qui continuera la tradition, mais pas au même niveau. Il va de soi que ces *benefactions* dans des secteurs soigneusement choisis contribuent puissamment à améliorer l'image de leur auteur, qui les fait parfois au moment précis où Washington s'intéresse de trop près à ses affaires.

Le roi de l'acier, Andrew Carnegie, qui n'a pas d'héritier et vend en 1901, pour quelque 400 millions, son affaire au banquier J. P. Morgan qui fonde United Steel, en laisse à peu près autant à des fondations, y compris vingt millions à une *Carnegie Institution* (Washington) vouée à la recherche principalement appliquée, ainsi qu'à une fondation pour la paix qui publiera nombre de rapports intéressants sur la Grande Guerre et reste active. George Eastman (Kodak), sans héritier lui non plus, donne au cours de sa vie environ 35 millions à l'université de Rochester et 20 au MIT, le tout sans aucune condition et même, dans le second cas, anonymement.

Ces fondations et philanthropes exercent jusqu'en 1940 une énorme influence sur les universités et la recherche scientifique non seulement en raison de la quasi absence de tout financement fédéral, mais aussi en raison du fait qu'elles n'aident fréquemment que les établissements administrés "rationnellement" et dont le niveau intellectuel est suffisamment élevé : "*making the peaks higher*" résume l'idéologie Rockefeller dans ce domaine⁴⁷.

⁴⁶ Les fondations et universités dotées par les philanthropes placent leur capital en actions dont les revenus sont exempts d'impôts. La gestion financière en est assurée par des *trustees* nommés par le fondateur (y compris fréquemment la famille, comme dans le cas Rockefeller) se perpétuant par cooptation, qui contrôlent la politique de la fondation et qui, grâce au capital de celle-ci, peuvent intervenir dans les opérations financières du capitalisme privé, voire même obtenir des prêts à un taux préférentiel. Sur les Rockefeller, voir le passionnant et ironique pavé de Peter Collier et David Horowitz, *The Rockefellers. An American Dynasty* (Holt, Rinehart and Winston, 1976, existe en français); sur la recherche médicale, E. Richard Brown, *Rockefeller Medicine Men. Medicine and Capitalism in America* (California UP, 1979) est fort éclairant. Sur les fondations en général, Waldemar A. Nielsen, *The Big Foundations* (Columbia UP, 1972). Je m'abstiens de citer des ouvrages plus anciens et beaucoup plus corrosifs.

⁴⁷ Les philanthropes et fondations ont aussi parfois des projets sensiblement moins élitistes mais

Comme en matière de rationalisation économique, ces "barons voleurs" jouent en somme le rôle que le gouvernement central ne remplit pas tout en diffusant les conceptions élitistes et les principes de *management* propres aux dirigeants des grandes entreprises capitalistes. Nombre d'autres capitalistes suivront ces exemples jusqu'à nos jours : la fondation Howard Hughes pour la recherche médicale par exemple dispose de cinq milliards produits par la vente à General Motors des usines d'aéronautique militaire de l'ancien producteur de Hollywood chambré par les Mormons.

Bien entendu, les institutions traditionnelles sont obligées d'imiter Johns Hopkins et Chicago pour conserver leur rang intellectuel⁴⁸ et s'attirer les faveurs de millionnaires qui se bornent souvent à créer ou à aider un secteur particulier d'une université, voire même seulement à doter une chaire, mais à un niveau de financement qui n'en laisse pas moins les Européens médusés. Le contrôle des universités passe alors aux généreux donateurs et à leurs amis industriels, banquiers ou avocats d'affaires qui finissent par constituer 90 % de leurs conseils d'administration : il faut bien faire fructifier et employer rationnellement les capitaux dont les revenus permettent aux universités de vivre, et qui pourrait être plus compétent que ces stars du business ? Mais les stars en question y importent les pratiques de leur business, et les professeurs sont transformés en "*hirelings of those men of the world who increasingly dominate collegiate governing boards*"⁴⁹.

Il faut enfin noter que le développement des *State Universities* et d'institutions comme le MIT, qui attribuent d'emblée une grande importance aux enseignements techniques, pose un problème aux universités privées, nouvelles ou traditionnelles. Celles-ci seront obligées de suivre le mouvement, mais les départements d'*engineering* qui s'y créent seront contraints d'avoir de plus en plus recours à des enseignements quasi-scientifiques pour améliorer leur statut de seconde zone : hostilité idéologique entre scientifiques et ingénieurs qui se rencontre partout. L'évolution est souvent appuyée par des *trustees* sachant qu'elle correspond à l'intérêt de l'industrie, laquelle, dans ses écoles maison, se charge souvent de la formation pratique complémentaire des ingénieurs.

A partir de la fin du XIX^{ème} siècle, ce sont principalement les nouvelles grandes entreprises capitalistes (General Electric, AT&T, Westinghouse, Standard Oil, DuPont, etc.) qui, de plus en plus, emploient les vrais

d'autant plus populaires. Carnegie crée des centres médicaux, des jardins publics, des salles de concert, dépense 6 millions pour offrir 7.689 orgues aux églises et 60 millions pour donner 2.811 bibliothèques publiques aux villes qui s'engagent à les entretenir (il aurait eu peu de succès en France). Rockefeller développe l'éducation et les soins médicaux dans le Sud, son fils et sa belle-fille financent en 1927 la création du Museum of Modern Art et dépensent des millions pour améliorer ou créer quelques-uns des plus célèbres parc nationaux dans l'Ouest, etc.

⁴⁸ encore que, comme le remarque Noble, les universités chic ne suivent le mouvement que d'assez loin avant 1940 : ce n'est pas vers les professions scientifiques que s'oriente la clientèle riche.

⁴⁹ Rudolph, p. 427. David F. Noble, *America by Design. Science, Technology, and the Rise of Corporate Capitalism*, (Knopf, 1977), insiste beaucoup plus sur ce point que le très modéré Rudolph et est beaucoup mieux documenté, mais son ironie ne lui a pas valu que des amis.

ingénieurs et ce sont elles aussi qui, avant la Grande Guerre, se dotent de services de recherche et développement⁵⁰. On aboutit ainsi, aux USA, à une symbiose plus ou moins complète entre l'industrie d'une part, les départements techniques et parfois scientifiques des universités ou instituts de technologie d'autre part. Au conseil d'administration du MIT siègent en 1914 les dirigeants d'entreprises telles que AT&T, GE, DuPont, Eastman-Kodak, Westinghouse, etc. : ce sont tous des anciens élèves de la maison.

L'ingénieur en chef d'AT&T exprime en 1916 une idée appelée à un grand avenir :

en dernière analyse, la distinction entre la recherche scientifique pure et la recherche industrielle est simplement une question de motifs.

Noble, *America by design*, qui la commente page 112, note que la recherche désintéressée de la vérité et celle de l'utilité et du profit ne sont nullement incompatibles et qu'en somme

le scientifique pourrait continuer à se plonger dans les mystères de l'univers sans s'occuper lui-même des questions pratiques ou financières aussi longtemps que ses découvertes peuvent facilement être traduites par d'autres en moyen du développement industriel capitaliste. Il n'est pas demandé d'accord sur les motifs. Tout ce qui est demandé est une coordination satisfaisante entre les moyens et les fins et, à cet effet, une organisation adéquate.

Beaucoup d'autres utilisateurs de la recherche fondamentale que l'industrie capitaliste – l'industrie socialiste, la DGA et ses homologues étrangers par exemple – reprendront ce commentaire à leur compte, ironie en moins et, parfois, cynisme en plus. La recherche fondamentale consisterait en somme à élaborer sans motifs pratiques un catalogue d'outils à la disposition de tous les utilisateurs. Comme on le verra, deux guerres mondiales et la guerre froide poseront de ce point de vue à certains scientifiques des problèmes éthiques plus sérieux que la transformation de la nitrocellulose en soie artificielle.

Ces développements américains ne passent pas inaperçus en Allemagne. Dès la fin du siècle, Felix Klein, qui a visité les USA, tente d'obtenir la fusion des universités et des TH : les deux parties y résistent énergiquement comme Manegold le relate en détail. Klein doit se contenter de susciter une "association université-industrie" à Göttingen (quolibets des socialistes...),

⁵⁰ Outre Noble, voir D. A. Hounshell et J. K. Smith, *Science and Corporate Strategy : DuPont R&D, 1902-1980* (Cambridge UP, 1988), L. S. Reich, *The Making of American Industrial Research : Science and Business at GE and Bell, 1876-1926* (Cambridge UP, 1985) et Thomas P. Hughes, *American Genesis : A Century of Invention and Technological Enthusiasm* (Viking, 1989). Il y a beaucoup d'autres titres sur ce genre de sujet, mais ceux qu'on vient de citer sont particulièrement remarquables.

d'encourager le développement de petites entreprises *high-tech* autour de la ville et de faire nommer à Göttingen trois scientifiques fortement portés vers les applications : Runge en analyse numérique, Wiechert en Physique et surtout Prandtl, futur pape de l'aérodynamique auquel s'adjoindra le hongrois von Kármán.

Une conséquence plus sérieuse de ces progrès américains, et d'autres beaucoup moins spectaculaires mais non négligeables en France et en Angleterre, est qu'à partir de la fin du siècle on s'inquiète en Allemagne de cette concurrence. A cette époque, l'Amérique possède déjà des industries de taille maximum (U. S. Steel, qui produit quasiment autant d'acier que l'Allemagne⁵¹, General Electric, AT&T, Westinghouse, Standard Oil, etc.), des industries de mécanique légère qui envahissent les marchés européens comme le montre Chandler, des universités fort riches et, grâce aux philanthropes, des crédits de recherche énormes pour l'époque; le MIT possède en 1910 l'un des plus grands laboratoires de recherche du monde en électrotechnique et le National Bureau of Standards, inspiré du PTR allemand, a déjà deux ou trois fois plus de ressources que celui-ci. La France a quelques bons services de chimie dans des universités de province. L'Angleterre a finalement créé à Londres une imitation de la TH de Berlin, l'Imperial College of Science, des laboratoires de physique sérieux à Oxford et Cambridge, et de bonnes universités de province liées aux industries locales.

Ces faits inquiètent d'autant plus les Allemands que le gouvernement impérial doit faire face à des dépenses militaires croissantes et à des déficits budgétaires –ils paraîtraient comiques aujourd'hui– qui limitent considérablement les crédits qu'il peut attribuer aux scientifiques. Comme le dit Johnson⁵², p. 11,

une armée prussienne équipée de l'artillerie Krupp la plus sophistiquée et une Marine Impériale possédant les navires de bataille les plus perfectionnés, toutes deux faisant preuve d'un insoupçonnable loyalisme à son égard et à l'égard de l'ancien ordre social, incarnaient le type de modernisation que désirait Guillaume II.

Mais cette conception étriquée de la *conservative modernization*, comme l'appelle Johnson, ne convient évidemment pas aux scientifiques et aux industriels, même s'ils ne sont pas opposés aux canons et cuirassés. A cela s'ajoute le fait que, si les industriels sont disposés à financer les

⁵¹ En 1910, les USA produisent 26,5 millions de tonnes, l'Allemagne 13,6, l'Angleterre 6,5 et la France 3,4.

⁵² Jeffrey Allan Johnson, *The Kaiser's Chemists. Science and Modernization in Imperial Germany* (North Carolina UP, 1990) expose en détail les circonstances de la fondation de la KWG dont on va parler. Voir p. 18–19 des comparaisons entre les ressources allemandes et américaines. Dès sa création en 1901–2, le Rockefeller Institute for Medical Research consacre à la recherche pure l'équivalent du budget total d'une grande université allemande. Johnson nous dit ailleurs, référence allemande à l'appui, qu'à cette époque la politique militaire et coloniale absorbe 90 % du budget impérial (lequel ne comprend évidemment pas les budgets des *Länder*)

recherches qui leur sont d'utilité directe, ils n'ont pas, a priori, l'intention de se substituer au gouvernement dans ce domaine : ils n'ont pas, eux, autant d'argent à blanchir que Rockefeller & Co.

Tout cela inquiète en particulier Emil Fischer, Walter Nernst et Wilhelm Ostwald, trois futurs prix Nobel ayant de lourds services d'enseignement et qui sont en train de développer de nouvelles disciplines, à la frontière de la chimie et de la biologie (Fischer) ou de la physique (Nernst et Ostwald), qui trouvent difficilement leur place dans les universités. Avec des collègues et industriels, ils tentent à partir de 1905 de mettre sur pied à Berlin un analogue du PTR pour la chimie. Leurs efforts échouent : l'administration prussienne (à distinguer de l'impériale) estime que les industriels peuvent payer la note, alors que ceux-ci sont loin de réunir les capitaux nécessaires. La situation est débloquée en 1909 lorsque de hauts fonctionnaires suggèrent d'organiser plutôt une association pour la recherche en général dont le capital serait fourni par l'industrie et qui, idée de génie, serait patronnée par Guillaume II à l'occasion du centième anniversaire de l'université de Berlin en 1910. Un professeur de théologie et historien des universités, Adolf Harnack, bien introduit auprès de l'Empereur qui l'a nommé directeur de la Bibliothèque nationale, sert d'intermédiaire; le plan qu'il propose à Guillaume II, assaisonné comme il se doit de considérations nationalistes et "darwiniennes" (voir ci-dessous), est accepté avec enthousiasme par le Très-Haut.

Ainsi naît à la fin de 1911, avec une structure administrative bizarre, la *Kaiser-Whilhelm-Gesellschaft* (aujourd'hui Max-Planck-G.) pour le développement de la recherche, avec ses instituts de chimie, de chimie-physique et électrochimie, de biochimie, de chimie du charbon, au reste peu actifs encore avant 1914; la grande expansion viendra plus tard. L'institut de recherche sur le charbon, situé à Mülheim dans la Ruhr, est entièrement financé par la ville qui vient d'empocher une fondation créée pour la veuve d'un métallurgiste, elle-même soeur de Hugo Stinnes, l'un des rois du charbon et du fer, lequel entre au conseil d'administration (vice-président) en compagnie d'un autre poids lourd de la métallurgie, August Thyssen; on pense déjà sérieusement à la future essence synthétique, que Bergius est en train de développer en laboratoire, et Fischer, qui a des visions d'avenir encore bien plus avancées, prédit que l'on pourra tout synthétiser, les protéines par exemple. L'institut de chimie-physique est dirigé par Fritz Haber que sa synthèse directe de l'ammoniac a rendu célèbre (la BASF est en train de l'industrialiser à grands frais); il est quasi indépendant de la KWG et à peu près entièrement financé par la fondation Koppel, créée en 1905 par un banquier juif contrôlant notamment la société Auer (gaz d'éclairage à Berlin). Le Kaiser fournit à la KWG le terrain de Dahlem et la Prusse quelques postes de directeurs, tandis que plus de 200 contributions privées rassemblent 13,6 millions de marks avant 1914. Les principaux donateurs entrent dans le conseil d'administration de la KWG, lequel comprend quinze hommes d'affaires

et quatre scientifiques sous la présidence de Harnack ; avec une contribution de 400.000 marks, Gustav Krupp, qui emploie un chimiste ancien élève de Fischer, est nommé vice-président ; il remercie en ajoutant un million.

Emil Fischer connaît son Allemagne, comme dit Johnson. Il sait que ses instituts n'attireront guère les mandarins universitaires : salaires trop faibles⁵³, pas d'avancement en vue, pas ou peu d'étudiants pour participer gratuitement au travail de laboratoire. Il a donc pris la précaution d'attirer vers ses instituts quelques éminents scientifiques juifs ou convertis (cas de Haber) ayant peu de perspectives universitaires : Augustus von Wassermann, Emil et Otto Warburg, Richard Willstätter, Paul Ehrlich, l'homme du 606, Fritz Haber, etc. Fischer fait appel corrélativement à ce qu'on appelle à l'époque des banques juives qui donnent patriotiquement 1,6 millions de marks auxquels Leopold Koppel ajoute son million. Au total, avant 1914, la KWG reçoit (directement ou non) 13,6 millions de marks, dont 3,8 de l'industrie lourde, 2,1 des industries chimique et électrique et 3,5 des banques (Johnson, p. 115). Le conseil d'administration de l'institut de chimie comporte 8 juifs –scientifiques et industriels– sur 24 personnes. On pense même à un institut de Physique pour Einstein lorsqu'il arrive à l'Académie de Berlin en 1914, mais la guerre en décide autrement. On pense aussi à fonder un institut pour Prandtl à Göttingen, mais ici encore la guerre éclate et ce sont principalement les militaires qui fourniront les crédits pendant celle-ci.

Il peut être intéressant, pour terminer cette partie de l'exposé, de juxtaposer deux déclarations allemandes séparées par un demi-siècle :

Ce n'est toutefois pas seulement grâce aux machines que les forces humaines ont été multipliées, ce n'est pas seulement sur les canons de campagne en acier coulé et les navires cuirassés, sur les ressources en nourriture et en monnaie, que repose la puissance d'une nation (...) Les hommes de science constituent une sorte d'armée organisée. Ils tentent, pour le bien de la nation et presque toujours sur son ordre et à ses frais, d'augmenter les connaissances qui peuvent servir à faire croître l'industrie, la richesse, la beauté de la vie et à améliorer l'organisation politique et le développement moral du citoyen individuel. On ne devrait donc certainement pas s'enquérir des usages immédiats comme le fait si souvent l'homme non informé. Tout ce qui nous fait connaître les forces naturelles ou

⁵³ L'institut de chimie héberge notamment Otto Hahn et Lise Meitner, encore très jeunes mais déjà fort connus pour leurs travaux communs sur la radioactivité. Le salaire de Hahn, 5.000 marks, est directement fourni par deux industriels; Meitner –femme, autrichienne, physicienne et juive, comme le note Johnson– n'est d'abord qu'une hôtesse sans salaire; on lui accordera 1.500 marks en 1913 (le mécanicien du labo en reçoit 2.280) puis 3.000 lorsqu'elle recevra une offre de l'université de Prague. Johnson, p. 169, 173–175. En fait, la plus grande partie des 13,6 millions recueillis avant 1914 finançant la construction et l'équipement des instituts, les crédits de fonctionnement sont limités.

les pouvoirs de l'esprit humain est précieux et peut en temps opportun être utile, habituellement à un endroit où on l'aurait le moins attendu⁵⁴.

La force militaire et la Science sont les deux solides piliers de la Grande Allemagne, et en raison de ses glorieuses traditions l'Etat prussien a le devoir de veiller à leur maintien. (...) Les autres grandes nations civilisées ont reconnu les signes des temps, elles ont attribué ces dernières années d'énormes crédits à l'avancement de la recherche scientifique. (...) Cette réalité est dès maintenant lourde de conséquences politiquement et le sera aussi de plus en plus économiquement. Lourde de conséquences politiquement car, à la différence du passé, l'extraordinaire montée du sentiment national donne aujourd'hui une empreinte nationale à tous les résultats de la recherche scientifique⁵⁵.

On peut présumer que les scientifiques allemands ne partageaient pas tous les idées d'Harnack. Mais le fait qu'il était nécessaire de les exprimer à l'intention du gouvernement impérial n'était sûrement pas sans signification. Harnack, quant à lui, y gagne un "von".

Science et Industrie

Revenons maintenant à la technique. La révolution industrielle qui se poursuit au XIX^{ème} siècle conduit à une foule d'innovations. Perfectionnement de la machine à vapeur, des cokeries, des hauts fourneaux et laminoirs, invention des marteaux-pilons et presses hydrauliques, production d'acier liquide à la tonne après 1860. Mécanisation du textile qui se poursuit et en fait le plus important secteur industriel du siècle. Industrie chimique (acide sulfurique, chlore, soude, engrais, colorants, photographie, plastiques, fibres artificielles, médicaments, électro-chimie, pétrole, catalyse, etc.). Chemins de fer, navigation en fer et à vapeur. Machines agricoles. Télégraphe électrique, téléphone, éclairage, énergie et traction électriques. Turbines hydrauliques, à vapeur et à gaz. Moteurs à explosion (gaz, essence, Diesel), automobile, aéronautique. Machines frigorifiques (alimentation d'abord, liquéfaction des gaz ensuite). Imprimantes rotatives et linotypes, machines à écrire ou comptables, trieuses à cartes perforées d'Hollerith. Cinéma, radio. Etc.

On pourrait croire que ces innovations sont dues à des scientifiques ou à des ingénieurs très instruits. En fait, les *practical men* éduqués sur le tas dominant encore la métallurgie, la mécanique ou la construction navale au delà de 1870, particulièrement aux USA et en Angleterre⁵⁶;

⁵⁴ Helmholtz, 1862, cité dans la thèse de Cahan.

⁵⁵ Harnack à propos de la KWG, cité dans Michael Eckert & Helmut Schubert, *Kristalle, Elektronen, Transistoren* (Deutsches Museum/Rohwolt, 1986), p. 49.

⁵⁶ Correlli Barnett, *The Pride and the Fall. The Dream and Illusion of Britain as a Great Nation* (Macmillan, 1987), se livre à une critique féroce de leur influence jusqu'à la dernière guerre; voir notamment les chap. 10 et 11. Cardwell n'est pas beaucoup plus indulgent. Cela n'empêche pas la métallurgie et la construction navale britanniques d'être encore honorables jusqu'en 1914...

dans des branches comme les chemins de fer, les machines textiles ou les machines-outils, un nombre impressionnant d'innovations majeures leur sont dues et la chimie reste longtemps la seule industrie où des connaissances scientifiques, au demeurant fort simples avant l'arrivée de la chimie organique, soient vraiment utiles. Mais l'influence de ces hommes dans les branches "scientifiques" ne dure pas longtemps même si des bricoleurs astucieux peuvent encore réussir au début, au besoin en s'informant comme les frères Wright le feront encore dans les débuts de l'aviation. Deux exemples classiques montrent l'évolution.

Vendeur ambulant à bord d'un *Grand Truck Railroad*, Edison (1847-1931) y trouve à quinze ans l'occasion d'apprendre la télégraphie. Tout en menant une vie de quasi-vagabond due à un tempérament qui lui fait perdre ses emplois, il achète des livres techniques et découvre les oeuvres de Faraday dans une bibliothèque publique. Ses premières réussites techniques et financières - transmission en duplex et surtout un téléscripteur qui intéressent fort la Western Union et Wall Street- lui permettent de monter à Menlo Park, NJ, sa première "usine à inventions" d'où sortent entre 1877 et 1888⁵⁷ un miméographe, un microphone à pastille de carbone qui permet le téléphone à longue distance, le phonographe, la lampe à incandescence à vide et filament de carbone, le premier système de distribution de courant électrique, la traction électrique, plus tard un appareil de cinéma, les batteries alcalines, la séparation magnétique des minerais (\$1.250.000 perdus sans résultat en dix ans), etc. Dès 1885, il est pour le public l'archétype du génial WASP sans instruction qui fait pleuvoir sur l'humanité ébahie les merveilles qu'il invente la nuit dans l'atelier où, de temps à autre, il passe deux heures à dormir tout habillé sur une table. Il reçoit quand même toute la littérature technique, utilise tous les instruments, machines et produits chimiques disponibles et emploie d'excellents ingénieurs et techniciens ainsi que des gens connaissant suffisamment de mathématiques et de physique pour répondre à ses questions et calculer ses circuits ou ses dynamos. Edison est en fait l'un des inventeurs des laboratoires de recherche et développement et ne s'intéresse vraiment qu'aux problèmes qui promettent une industrialisation fructueuse qu'il met fréquemment en place lui-même. Il est en relations avec les trusts du télégraphe et les plus grands requins de la finance dont il adopte dans une large mesure les méthodes. Pour le plus grand profit des *lawyers* qui soutirent jusqu'à cent mille dollars de leur client à une époque où un ouvrier gagne 50 cents par jour, il livre d'innombrables batailles juridiques à propos de ses brevets ou de ceux des autres, car bien sûr Edison, comme tous les innovateurs, a presque toujours eu des anticipateurs⁵⁸ et des imitateurs; l'Amérique de l'époque n'est pas

⁵⁷ Après 1888, la fortune d'Edison lui permet d'acquérir une propriété de \$235.000 à West Orange, NJ, et d'y installer un énorme laboratoire de \$150.000 pour remplacer Menlo Park.

⁵⁸ Notamment, à propos de la lampe à incandescence, le chimiste anglais Joseph Swan qui s'intéresse au sujet depuis bien plus longtemps et qui, au lieu d'envoyer comme Edison aux quatre coins de la planète des agents chargés d'en ramener toutes les espèces possibles de fibres végétales

exactement le paradis du fair-play commercial.

Mais lorsqu'en 1889-1892 le banquier J. P. Morgan, qui finance son entreprise électrique, intègre celle-ci et la Thomson-Houston dans la General Electric qu'il fonde, le magicien est rapidement neutralisé : outre qu'il n'accepte pas de participer à la direction d'une entreprise qu'il ne contrôle pas totalement, il ne comprend pas les courants alternatifs de Nikola Tesla et George Westinghouse qui permettent la distribution à longue distance. Pour les discréditer, il en montre le danger supposé en électrocutant des dizaines d'animaux, des chats à un cheval ; un de ses collaborateurs temporaires, plus imaginaire dans ce domaine restreint, invente la chaise électrique. L'électricité passe sous la direction d'ingénieurs ayant reçu une formation systématique en physique et mathématiques comme Georg Steinmetz, jeune et brillant Allemand importé qui, chez GE où il jouit de la plus grande liberté, sera pendant des décennies l'expert américain maximum de la nouvelle technique - il inaugure en 1893 l'usage des nombres complexes dans le calcul des circuits alternatifs - ainsi qu'un très influent avocat de la formation scientifique des ingénieurs. Cela n'empêche pas la popularité d'Edison, qui donne son opinion sur tous les sujets et méprise les universitaires, d'atteindre des hauteurs vertigineuses : il sera encore, en 1945, "le plus grand homme de l'histoire du monde" après Jésus, Washington, Jefferson et le général MacArthur⁵⁹.

Pendant ce temps, Röntgen découvre les rayons X et d'autres la radioactivité ; les équations de Maxwell, via Hertz, conduisent des gens comme Marconi et Ferdinand Braun à la radio opérationnelle, expérimentée un peu plus tôt par Rutherford. Chez GE où l'on fait la course avec Siemens et AEG (entreprise fondée par Emil Rathenau, détenteur allemand des licences Edison), Irving Langmuir, qui a fait son éducation chez Nernst en étudiant la dissociation des gaz au voisinage d'un filament incandescent, met au point en 1912 les filaments de tungstène et remplit les ampoules d'azote pour en éviter le noircissement, en attendant l'argon déjà découvert par l'anglais William Ramsay. Autrement dit, on passe des ingénieurs autodidactes ou formés sur le tas aux prix Nobel non seulement pour les théories scientifiques elles-mêmes, mais aussi pour des innovations techniques majeures.

susceptibles, après carbonisation, de fournir des filaments, a l'idée plus ingénieuse d'utiliser des fils à base de nitrocellulose. Edison est obligé de s'entendre avec Swan, dont des élèves se lanceront plus tard dans les fibres artificielles.

⁵⁹ Voir Robert Conot, *Thomas A. Edison. A Streak of Luck* (1979, rééd. Da Capo), biographie détaillée utilisant pour la première fois les énormes archives de l'inventeur, Wyn Wachhorst, *Thomas Alva Edison. An American Myth* (MIT Press, 1981) et Thomas P. Hughes, *Networks of Power.. Noble, America by Design*, mentionne fréquemment Steinmetz tout en insistant sur le fait que, de plus en plus, le rôle des ingénieurs est de "mettre la Science au service de l'industrie capitaliste". L.S. Reich, *The Making of American Industrial Research*, est aussi fort éclairant. Steinmetz s'est en fait exporté lui-même car menacé d'arrestation en raison de ses idées socialistes. Il n'a aucune peine à les concilier avec son emploi chez GE, le développement des grandes entreprises capitalistes étant, selon lui, destiné à constituer la base économique d'une future société socialiste. Le socialisme serait en somme les managers plus l'électricité. Voir Noble et sans doute Ronald R. Kline, *Steinmetz : Engineer and Socialist* (Johns Hopkins UP, 1992).

En fait, Edison lui-même avait, sans rien y comprendre, anticipé quelques-unes de ces découvertes comme le montre l'exemple de la radio. En 1885, après avoir observé d'étranges et regrettables transmissions de messages entre lignes téléphoniques, il avait réussi à transmettre des impulsions électriques entre deux ballons distants de deux miles grâce à des condensateurs et bobines d'induction; expérience isolée mais conduisant, comme toujours chez lui, à un brevet (1.093 au total). Lorsque des physiciens en rappelèrent publiquement l'existence en 1902, Edison ne vit guère le rapport, mais la nouvelle stupéfia Marconi; on arrangea l'affaire à l'amiable moyennant \$ 60.000 seulement, personne ne prévoyant alors le développement de la radio (Conot, p. 229).

Autre cas d'école abondamment étudié : la naissance de l'industrie des colorants artificiels⁶⁰. Elle s'effectue en plusieurs étapes qu'il faut un peu détailler. A l'origine se trouvent le gaz d'éclairage anglais, l'aniline, Liebig et son élève Hofmann et, bien sûr, l'industrie textile qui fournit un marché.

Le gaz fournit des masses de goudron de houille qu'on commence à distiller grossièrement (essences légères, huiles lourdes, asphalte); des chimistes en tirent en laboratoire des composés organiques de plus en plus sophistiqués, à commencer par le benzène (Faraday, 1825) qu'on transforme rapidement en nitrobenzène $C_6H_5NO_2$. A la même époque, l'aniline est isolée dans l'indigo naturel (en portugais "anil") et dans le goudron, le russe Zinin, élève de Liebig, la préparant par réduction du nitrobenzène. On ne sait pas encore que ces procédés fournissent tous le même produit, mais certains, notamment Liebig qui s'est intéressé à l'indigo chez Gay-Lussac, soupçonnent son rôle dans la teinture.

Nommé à Giessen en 1824, Liebig s'intéresse d'abord à des problèmes de chimie organique pure, ce qui l'implique dans de parfois pénibles controverses avec les Français aux relents, chez lui, fortement nationalistes. En 1840, il se lance dans un vaste projet : montrer que la Chimie suffit à expliquer la croissance des végétaux et permet de choisir rationnellement les engrais adaptés aux cultures et aux sols; comme le note Borscheid, le sujet n'est pas gratuit dans une Allemagne où la production agricole ne suit pas la progression démographique. Il écrit en quelques mois un livre qui lui vaut une tournée triomphale en Angleterre en 1842; l'un de ses anciens élèves, John Muspratt, sera le premier à produire un peu plus tard des superphosphates.

Lors de sa visite, Liebig persuade le Prince Consort (allemand d'origine) de

⁶⁰ On trouve des informations dans quelques livres très remarquables. Exposés généraux dans L. F. Haber, *The Chemical Industry during the Nineteenth Century* (Oxford UP, 1966) et *The Chemical Industry, 1900-1930* (id, 1971). Plus spécialisés : Peter Borscheid, *Naturwissenschaft, Staat und Industrie in Baden (1848-1914)* (Ernst Klett Vlg, 1976), J. J. Beer, *The Emergence of the German Dye Industry* (Illinois UP, 1959), Anthony S. Travis, *The Rainbow Makers : The Origins of the Synthetic Dyestuffs Industry in Western Europe* (Bethleem, 1992), W. Reader, *Imperial Chemical Industries : A History* (Oxford UP, 1970 et 1975), Peter H. Spitz, *Petrochemicals. The Rise of an Industry* (Wiley, 1988).

fonder une école de chimie sur le modèle de Giessen ; elle est créée en 1845 et, après fusion avec une école des Mines fondée en 1851, deviendra le Royal College of Chemistry. Pour la diriger, Liebig fournit l'un de ses jeunes anciens assistants, A. W. Hofmann, lequel accepte l'offre pour deux ans mais, en fait, restera vingt ans à Londres. Le choix est judicieux puisqu'un distillateur anglais de goudron et ancien élève de Liebig ayant demandé à celui-ci en 1843 d'analyser un échantillon d'essences légères, Hofmann, avec l'aide de Muspratt, avait pu démontrer de façon définitive la présence de benzène et d'aniline, à les obtenir sous forme à peu près pure et, surtout, à découvrir la formule, $C_6H_5NH_2$, et les principales propriétés de celle-ci.

Se souciant peu lui-même des applications industrielles, Hofmann poursuit à Londres ses études sur l'aniline et toutes sortes de composés dérivés du coaltar : inépuisable mine pour ses élèves. Il espère aussi réaliser la synthèse d'alcaloïdes naturels (caféine, morphine, quinine, etc.), problème à la mode et trop difficile pour l'époque. L'un de ses élèves, William Perkin cherche en 1856, à 18 ans, à réaliser celle de la quinine⁶¹. Partant d'un dérivé du toluène, Perkin n'aboutit à rien, remplace celui-ci par de l'aniline et, en fait de quinine, obtient un jour une substance noirâtre qu'il étudie au lieu de l'évacuer comme à l'habitude. Les cristaux de couleur qu'il en extrait semblant teindre la soie, il les adresse pour essais à un teinturier dont il reçoit une réponse enthousiaste, mis à part le coût encore inconnu du produit.

Sans la moindre expérience de l'industrie chimique, Perkin prend dès août 1856 un brevet qu'une "erreur de date" fait rejeter en France et se lance dans la production. Un procédé commode de transformation du nitrobenzène en aniline inventé par le français Béchamp en 1854 lui permet de démarrer, mais les appareils indispensables n'existent pas, le benzène est d'une pureté douteuse et fort cher, l'acide nitrique du commerce n'est pas assez concentré, les risques d'accident sont énormes, etc. Il faut aussi trouver des mordants permettant à son "pourpre d'aniline" de se fixer sur les fibres⁶². Perkin réussit néanmoins à produire des couleurs applicables au coton, à la laine et à l'impression des étoffes.

Sa découverte déclenche partout de grandes manoeuvres chez les teinturiers et chimistes, particulièrement en France où, grâce au brevet piraté, les soyeux

⁶¹ Les maladies tropicales fauchent couramment, en un an, la moitié des visages pâles qui s'y exposent; voir, sur la quinine, les livres de Daniel Headrick cités plus loin.

⁶² Une vingtaine d'années plus tard, Perkin, fortune faite, abandonnera l'industrie pour la recherche qui l'amuse davantage. On obtient aujourd'hui l'aniline par réduction catalytique directe du nitrobenzène par l'hydrogène. En 1974, les USA en ont produit 250.000 tonnes, utilisées dans la fabrication des polyuréthanes (50 %), la chimie du caoutchouc (30 %), les pesticides (10 % -l'aniline est un produit fort toxique-), les colorants (5 % seulement), la photographie (2 %) et la pharmacie (1 %) où elle intervient notamment dans la préparation des sulfamides; elle intervint aussi dans les carburants liquides des premiers missiles. Trois cents de ses dérivés sont utilisés de diverses autres façons. En 1983, la production s'élevait à 580 KT aux USA, 200 en RFA, 190 en Grande-Bretagne, 100 en Belgique et au Japon, 25 en France. *Encyclopedia of Chemical Technology*, vol. 2, p. 309-321 et *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, A2, p. 303-312.

de Lyon fabriquent immédiatement un superbe "mauve". Vient ensuite le "rouge d'aniline" étudié en 1857 par Hofmann qui publie aux CRAS; un chimiste de Lyon, Verguin, le prépare par une voie légèrement différente, a l'idée, lui, d'en faire un colorant et prend en 1859 un brevet : c'est l'immortelle "fuchsine" ou "rouge Magenta". Il y a aussi au début des années 1860 un bleu d'aniline breveté par des Français bien qu'ayant déjà été noté, ici encore, par Hofmann et autres; on le fabrique partout un an plus tard et, en variant sa préparation, on en tire toutes les couleurs intermédiaires entre le bleu et le rouge fuchsia, ainsi qu'un violet dit "impérial" en l'honneur de sa première cliente qui, avec les dames de la Cour, lance la mode. Il y a encore, outre-Manche, un jaune d'or que prépare Nicholson, autre brillant élève de Hofmann converti à l'industrie et qui, comme Perkin, l'abandonnera pour la recherche après fortune faite.

Dès l'exposition internationale de Londres en 1862, des firmes britanniques, françaises, allemandes et suisses présentent ces nouvelles couleurs appliquées à des étoffes de luxe. L'Angleterre et la France réalisent 50 et 40 % des affaires et Hofmann prédit que l'Angleterre sera bientôt à la tête du mouvement et que les couleurs dérivées de la houille remplaceront un jour l'indigo des Indes, la cochenille mexicaine et le safran chinois. Exact à un détail près : lire Allemagne au lieu d'Angleterre, bien que celle-ci possède tous les atouts possibles, chimistes, matières premières et textile.

Outre d'excellents élèves britanniques de Hofmann ou de Liebig, un certain nombre de bons ingénieurs allemands, souvent en relations avec Hofmann, travaillent en effet en Angleterre⁶³ et y apprennent la nouvelle chimie, comme Heinrich Caro, spécialiste de l'impression des textiles, Carl Martius, assistant d'Hofmann, Otto Witt ou Peter Griess, employé par un brasseur de bière. Et il y a Hofmann lui-même, devenu célèbre depuis Perkin et son mauve, qui s'amuse à déterminer et à publier la composition chimique ou même des procédés de fabrication de nouvelles couleurs⁶⁴ que Nicholson trouve sur le marché et lui adresse.

En même temps, de 1860 à 1870, de petites entreprises, créées en général par un ou deux chimistes et un commerçant assistés de quelques ouvriers, naissent en Allemagne, comme BASF, Bayer, Hoechst, Kalle ou AGFA (les noms originaux sont parfois différents). Leur démarrage, généralement assez

⁶³ L'Allemagne, très sous-développée et en expansion démographique, exporte beaucoup de gens en Angleterre jusqu'en 1860 environ. L'industrie chimique anglaise continuera à embaucher des techniciens et chimistes allemands pendant encore plusieurs décennies, cependant qu'à la fin du siècle tout chimiste anglais, américain, russe ou japonais (mais fort peu de Français) qui se respecte aura fréquenté les universités allemandes.

⁶⁴ S'étant livré plus tard en Allemagne, à la grande fureur de Witt, Caro, Griess et autres, à des exercices analogues à l'égard de produits couverts par le secret industriel, Hofmann leur demande "pourquoi les chimistes ne pourraient-ils pas faire valoir leurs activités intellectuelles au même titre que les écrivains ou les artistes? Si un chimiste décide de tenir secrète une découverte tout en la lançant sur le marché où tout le monde peut l'acquérir, il ne faut pas s'étonner que le secret soit d'éphémère durée. Le temps des alchimistes est passé. Celui qui, dans le dernier quart du XIX^{ème} siècle, pose des devinettes à ses confrères doit se résigner à les voir percées tôt ou tard". Borscheid, p. 149.

artisanal et empirique⁶⁵ comme à Lyon, est facilité par une réglementation chaotique des brevets qui leur permet de copier les produits étrangers – ou allemands – et de croître rapidement : l'Allemagne n'est pas encore unifiée, chaque état a son système et, à l'inverse de la France, les gouvernements allemands protègent tout au plus les procédés de fabrication mais non le produit final.

Les Français le leur reprocheront en 1914 en oubliant le mauve de Perkin et le fait que le fair-play, à l'époque ou plus tard, ne règne pas davantage à l'intérieur de l'Allemagne ou de la France qu'entre les deux pays : il y a bien trop d'argent à gagner. En fait, les entreprises allemandes finiront par imposer à leurs chimistes de s'engager devant Dieu et, pour plus de sûreté, devant notaire, à protéger les secrets de la maison, notamment après avoir vu chez Bayer l'inventeur du célèbre rouge Congo le vendre à AGFA (Borscheid, p. 152). En France, dans les années 1860, le brevet de Verguin sur la fuchsine est tourné par des chimistes de Mulhouse qui vendent le même produit sous un autre nom, d'où un énorme procès que gagne Verguin, trois chimistes du CNAM ayant certifié qu'il ne s'agissait pas du rouge d'aniline publié par Hofmann... A la suite de cet incident, un certain nombre de coloristes de Lyon et de Mulhouse s'installent à Bâle où ils auront considérablement plus de succès qu'en France. Quant à la société La Fuchsine financée par le Crédit Lyonnais, elle distribue ses énormes bénéfices à ses actionnaires au lieu de les réinvestir dans la recherche, d'où une faillite retentissante⁶⁶.

La situation change alors rapidement. D'une part l'exemple et la propagande de Liebig et autres ont conduit, on l'a dit, à la création ou au développement de laboratoires universitaires dirigés par des gens de premier plan attirant déjà des dizaines d'étudiants chacun. En 1863, à la stupéfaction de Liebig, Hofmann renonce à sa brillante situation londonnienne et accepte à Berlin la direction d'un somptueux institut construit sur ses plans, un institut identique étant construit à Bonn pour Kekulé. La plupart des Allemands établis en Angleterre rentrent bientôt eux aussi au pays : Caro chez Bunsen en 1866 puis à la BASF en 1868 avec 2 % des encore modestes bénéfices de la maison, Martius chez AGFA en 1871 et Witt chez Cassella en 1879. Arriveront ensuite d'autres recrues de premier ordre et des centaines de chimistes moins imaginatifs, mais compétents et obstinés : il faut des centaines d'essais systématiques pour découvrir un colorant commercialisable.

Intervient enfin en 1869 une découverte aussi sensationnelle que celle de Perkin et que l'on cherche à réaliser depuis le début : deux jeunes élèves de Baeyer à la TH de Berlin, Graebe et Liebermann, réussissent à synthétiser un premier colorant naturel, l'alizarine qui, en attendant d'illuminer en août 1914 le pantalon rouge du militaire français avec les conséquences que l'on

⁶⁵ La teinture s'apparentant encore, à l'époque, à la cuisine, on ajoute aux colorants chez Bayer de grandes quantités de blanc d'œuf. Mais que faire des jaunes? Réponse : des crêpes que l'on vend à d'autres clients.

⁶⁶ Outre Haber et surtout Travis, voir F. Leprieur et P. Papon, *Chemical Industry in Nineteenth Century France* (Minerva, Summer 1979, 197-224).

sait, fait tomber la production de la garance provençale de 25.000 tonnes à 200 entre 1872 et 1884. Il y a de nouvelles et sombres histoires de brevets à cette occasion : il suffit de modifier légèrement le procédé de fabrication pour les tourner⁶⁷, comme Hoechst l'explique aux inventeurs. La BASF, elle, préfère négocier avec eux un contrat qui l'assure de leur coopération et lui permet de dominer la production grâce à un procédé de fabrication plus simple dû à Caro. Les banques prennent ensuite le relais, les entreprises manifestent rapidement un sens de la recherche, du management et de la commercialisation très en avance sur l'époque et fondent un peu partout des succursales étrangères qui, en France et en Angleterre par exemple, importent les produits intermédiaires, peu taxés, et les transforment sur place en colorants, l'Angleterre exportant une grande partie des matières premières nécessaires (cf. le Tiers-Monde actuel).

En 1879, la valeur des colorants allemands s'élève déjà à 2.000.000 livres sterling, contre 450.000 en Angleterre (Cardwell, p. 134). La supériorité allemande ne fera que se renforcer par la suite, l'épisode maximum étant la synthèse de l'indigo réalisée en laboratoire par Adolf Baeyer, futur prix Nobel, entre 1865 et 1883; l'industrialisation en est ensuite réalisée entre 1880 et la fin du siècle par la BASF (vingt millions de marks) sous la direction de Caro et de son successeur von Brunck⁶⁸, et par Hoechst. Il faut espérer qu'ils ne pensaient pas au bleu lavasse des actuels blue-jeans...

A partir de 1880-1890, tout le monde, en Allemagne, a compris que les innovations sont une source d'énormes profits, qu'on ne peut s'en passer pour survivre ou croître et enfin qu'il n'est plus question, en pareil domaine, d'innover sans disposer de véritables laboratoires de recherche parfaitement organisés et sans utiliser les connaissances les plus avancées avec, au besoin, la collaboration de chimistes universitaires de niveau maximum⁶⁹. Chez Bayer, le système est mis au point par un jeune chimiste de talent, Carl Duisberg (1861-1935) qui, après avoir inventé des colorants fructueux, résoud deux problèmes fondamentaux : l'organisation rationnelle d'un laboratoire de recherche⁷⁰ puis, un peu plus tard, une organisation non moins rationnelle de la nouvelle usine que Bayer construit à Leverkusen sur les bords du Rhin.

⁶⁷ Perkin, qui découvre aussi la synthèse de l'alizarine, la fait breveter avec un jour de retard sur le brevet anglais de Graebe et Liebermann; il s'en tire en modifiant le procédé. En 1877, sous l'influence notamment de Werner Siemens s'adressant directement à Bismark, le système allemand des brevets sera unifié et renforcé : on continuera à ne breveter que les procédés de fabrication, ce qui permet à la concurrence de développer des préparations plus efficaces, et les brevets seront délivrés avec garantie du gouvernement après une enquête internationale.

⁶⁸ Aux Anglais qui déplorent la ruine de l'indigo indien, il répond que les Indiens ont davantage besoin de cultures vivrières...

⁶⁹ Cela conduit du reste ceux-ci à retarder parfois la publication de leurs résultats, comme dans le cas de l'indigo. Mais ils en tirent quelques profits : si Baeyer, en 1869, se contente de 1.800 marks par an à Berlin, Emil Fischer, prix Nobel 1905, déclarera 400.000 marks de revenus au fisc en 1907. Borscheid, p. 128 et Jeffery A. Johnson, *Academic Chemistry in Imperial Germany* (Isis, Vol 76, 1985).

⁷⁰ Au lieu de faire travailler ses chimistes côte à côte en pleine vue les uns des autres sur de longues paillasses parallèles, il les installe autour de la pièce dans des compartiments en U entourés d'étagères sur lesquels on emmagasine les réactifs les plus utilisés. Ce plan fournit aux chimistes

La croissance de cette industrie allemande ressemble un peu à celle de l'informatique⁷¹ après 1950; Hoechst par exemple emploie cinq ouvriers et un chimiste en 1863, mais 7.680 ouvriers et 307 chimistes en 1912; les prix des nouveaux produits, d'abord élevés, subissent ensuite des chûtes vertigineuses; au tournant du siècle, les dividendes distribués oscillent entre 15 et 30 pour cent. En 1900, la production mondiale des seuls colorants est estimée à 130-150 millions de marks, dont 120 pour l'Allemagne et 10 pour la Suisse. Ces firmes produisent non seulement d'innombrables autres composés organiques (médicaments⁷², produits photographiques, vernis, laques, encres, etc), mais aussi, lorsqu'elles se développent, des quantités de produits de base ou intermédiaires dont elles ont besoin. A la veille de la guerre, grâce à l'oxydation catalytique directe de SO_2 en SO_3 réalisée par la BASF avant 1900, celle-ci, Bayer et Hoechst fabriquent pour leurs propres besoins des centaines de tonnes d'acide sulfurique par jour, ainsi que des tonnes de chlore que l'on sait maintenant liquéfier pour le transporter. A partir de 1900, les firmes commencent à se diversifier vers d'autres secteurs : matières plastiques (celluloïd, bakélite), fibres artificielles (acétate de cellulose) et, peu de temps avant 1914, synthèse directe de l'ammoniac chez BASF, après quoi viendront, entre les deux guerres, les insecticides, le caoutchouc et les carburants synthétiques auxquels on pense avant même 1914, de nouvelles fibres artificielles et matières plastiques, etc.

Tout cela n'a aucun rapport avec notre sujet, Science et Défense, à un détail près : ces paisibles entreprises se transformeront inopinément pendant la Grande Guerre en fabriques d'explosifs et de gaz toxiques et fourniront ensuite au régime nazi les quantités massives de pétrole et de caoutchouc synthétiques indispensables à la guerre, sans compter le reste.

Le progrès technique : rôle des militaires

On a dit plus haut que, de 1815 à 1914, les développements succesifs mais convergents du "génie inventif" des *practical men*, de l'industrie capitaliste,

un degré d'isolement appréciable mais insuffisant pour leur permettre de se livrer discrètement à des travaux personnels, éventualité toujours à craindre. Duisberg monte ensuite une bibliothèque (en achetant notamment celle de Kekulé) et organise des séminaires bimensuels. Le résultat final dépasse de loin ce dont disposent les universitaires. Notons en passant qu'à 25 ans, Duisberg dispose déjà d'un revenu de 9.000 marks, largement équivalent à celui d'un professeur titulaire, et investit ses surplus en actions de la maison qu'il finira par diriger avant de fonder et diriger l'I. G. Farben.

⁷¹ Les méthodes commerciales aussi. Non seulement on distribue gratuitement les nouveaux colorants aux clients, mais on les invite, tous frais payés, à des stages pour en apprendre l'utilisation.

⁷² Panflavine (Cassella et Paul Ehrlich), Antipyrine et Pyramidon (Hoechst), Antifebrine (Kalle), serum anti-diptérique (Hoechst et Robert Koch), Holocaïne et Novocaïne (Hoechst), Véronal et Aspirine (Bayer). Il y a enfin le Salvarsan découvert par Paul Ehrlich et le japonais Sahachiro Hata en 1910 après 605 essais infructueux : premier remède contre la syphilis et catastrophe pour Ehrlich, assiégé par les médecins et les malades. La relation avec les colorants provient de l'observation que certains d'entre eux se fixent sélectivement sur certaines bactéries (bleu de méthylène par exemple); Ehrlich en déduit, trente ans avant le 606, qu'ils pourraient peut-être même les détruire : d'où la bactériochimie.

de la recherche scientifique, des universités et écoles techniques conduisent à d'innombrables innovations dans tous les secteurs industriels anciens ou nouveaux. Les fabrications d'armements en profiteront évidemment mais, mis à part quelques secteurs que nous allons examiner, la plupart de ces innovations ne doivent rien aux demandes militaires; elles se développent en raison de l'existence d'énormes marchés civils au moins potentiels et de la nécessité, pour renouveler les marchés et survivre à la compétition, de réduire constamment les coûts de production ou d'utilisation des machines et de constamment innover, comme Marx l'avait remarqué dans un texte célèbre que les économistes citent encore. C'est la différence fondamentale avec ce qu'on verra après 1945 dans des industries comme l'électronique, l'informatique, le nucléaire, l'espace, et même dès 1914 au plus tard dans l'aéronautique. Il y a toutefois des exceptions à cette règle.

Le secteur peut-être le plus important où une incitation militaire, dans laquelle la Science ne joue du reste aucun rôle, "retombe" dans le secteur civil est la mise au point entre 1810 et 1850, dans un arsenal américain, de la fabrication en série des armes à feu à l'aide de machines-outils produisant des pièces théoriquement interchangeables⁷³. De son côté, le faux "Colonel" Samuel Colt développe son revolver à partir de 1835 mais n'a pas de succès auprès de l'armée américaine (trop compliqué...) jusqu'à la guerre avec le Mexique en 1846-48 pendant laquelle nombre de militaires acquièrent des colts. Celle-ci lui permet de monter la plus grande fabrique privée d'armes du monde sur le principe, ici encore, de l'interchangeabilité des pièces -des pièces qui, après fabrication par les machines-outils, demandent néanmoins encore un ajustage final à la main. La principale revue militaire britannique écrit en 1854 que :

The name of Col. Colt is now patent to the whole world; for it is associated with one of the grandest schemes which ever entered into the mind of man, for the protection of human life where it is most exposed to danger. If the principle be admitted that the way to ensure peace is to be prepared for war. Col. Colt has devised a guarantee for perpetual harmony in the construction of a projectile [sic] which multiplies by six the powers of destruction (Bradley, p. 38).

Le système permettra de munir toute une armée de nouveaux modèles de fusils en quelques années (à partir du moment où on les adopte : vingt ans de délai pour le fusil à aiguille de l'Allemand Dreyse...). Des progrès spectaculaires seront réalisés après 1850 avec ou sans recours au

⁷³ Le sujet est exposé, avec plusieurs autres, dans M. R. Smith, ed., *Military Enterprise and Technological Change. Perspectives on the American Experience* (MIT Press, 1985). Plus détaillé : D. A. Hounshell, *From the American System to Mass Production 1800-1932* (Johns Hopkins UP, 1984); excellente mise au point au chap. 2 de Joseph Bradley, *Guns for the Tsar* (Northern Illinois UP, 1990) qui traite aussi de l'évolution des armes individuelles. John Ellis, *The Social History of the Machine Gun* (Johns Hopkins, rééd. 1986) ne traite pas son sujet comme le font les historiens militaires et les livres d'images.

“système américain” : projectiles intégrés à des cartouches en cuivre avec amorce à percussion au fulminate, fusils à canon rayé et chargement par la culasse, chargeurs, l'évolution culminant lorsque l'ingénieur américain Hiram Maxim produit en 1884 sa mitrailleuse automatique à 600 coups par minute ; auparavant, l'inventeur américain d'une mitrailleuse à tubes multiples actionnée manuellement, Gatling, avait observé pendant la guerre de Sécession que son engin

sera aux armes individuelles ce que la moissonneuse de McCormick est à la faucille.

La colonisation fournit d'excellents terrains d'essais aux nouvelles armes de l'infanterie. L'épisode maximum est probablement la bataille d'Omburdman où, en 1898, à l'aide d'obus à la lyddite (voir plus bas, c'est leur premier usage) et de quelques mitrailleuses Maxim, le général Kitchener tue 11.000 Soudanais en quelques heures au prix de 48 morts du côté civilisé. Cet exploit inspirera Churchill⁷⁴ :

Thus ended the battle of Omburdman, the most signal triumph ever gained by the arms of science over barbarians. Within the space of five hours the strongest and best-armed savage army yet arrayed against a modern European Power had been destroyed and dispersed, with hardly any difficulty, comparatively small risk, and insignificant loss to the victors.

De nos jours, dans certains pays pas tous sous-développés, le “système américain de manufacture” permet de vendre à bas prix des Kalatchnikov – l'inventeur l'a récemment déploré – à n'importe quel mâle pur et dur désireux d'exhiber symboliquement sa virilité. Il est ensuite partout appliqué aux machines agricoles, à coudre, à écrire, à la bicyclette et à l'automobile, etc., encore que, dans les premiers temps, ces machines admettent souvent des tolérances de fabrication plus larges que les culasses de fusils et disposent de systèmes de réglage.

Everett Mendelsohn⁷⁵ rappelle la théorie de Lewis Mumford, *Technique et Civilisation* (1934, trad. Seuil encore en vente bien que le livre soit depuis longtemps périmé aux USA...), selon laquelle

de par la nature même du système de production lié aux usines créées au XIXème siècle, seules l'armée et la guerre offraient des possibilités suffisantes d'utilisation ou d'absorption de la production des nouvelles installations.

⁷⁴ Daniel R. Headrick, *Tools of Empire*, p. 118. Churchill, qui participa à la bataille et en fut considéré comme un héros national pour avoir participé à une charge de cavalerie parfaitement inutile, écrit en 1933.

⁷⁵ dans J.-J. Salomon, ed., *Science, guerre et paix* (Economica, 1989), livre intéressant où l'on trouvera un article de Mendelsohn analogue au nôtre, mais qui accorde nettement plus d'importance que nous aux nécessités militaires. Le point de vue du présent article est qu'il ne faut pas oublier d'en comparer le rôle à celui des nécessités ou potentialités civiles. Maurice Daumas, *Le cheval de César ou le mythe de la révolution technique* (Archives contemporaines/Gordon & Breach, 1991), n'est pas particulièrement tendre à l'égard de la compétence de Mumford.

C'est peut-être exact au début –mais voir plus bas– si l'on pense aux productions en très grande série d'objets comportant un nombre appréciable de pièces, catégorie qui, au début, ne comprend guère que les armes à feu : il faudra inventer ou se décider à commercialiser la plupart des autres. Mais ce n'est sûrement pas dans l'Amérique du XIXème siècle que la fabrication des armes de guerre aurait dû faire problème : mise à part la guerre de Sécession qui fait exploser les capacités de production dans ce domaine, l'armée américaine est négligeable : 40.000 hommes en 1900 y compris la Marine. Elle compte probablement moins que le goût fanatique et permanent des citoyens pour les armes à feu (200 millions en circulation actuellement, 35.000 morts en 1993) destinées à la chasse aux Indiens, à la surveillance des esclaves, aux querelles de famille, à la défense de la propriété, aux attaques à main armée, etc. L'enthousiasme des industriels américains pour leur "système" s'explique au moins aussi bien par la rareté chronique de leur main d'oeuvre qualifiée au XIXème siècle que par la nécessité de fabriquer des armes de guerre : l'un des buts explicites (et des résultats) du système inventé dans les arsenaux était de se libérer d'une main d'oeuvre spécialisée aux habitudes fantaisistes et d'introduire une discipline et un contrôle stricts des ouvriers. Idée certes bien militaire mais qui se répandra partout. On vient du reste de voir la théorie dominante contestée par un auteur soulignant le rôle également initiateur joué aux USA par la fabrication, entre autres, des pendules⁷⁶. L'industrie du bois –fabrication de meubles, portes, fenêtres, etc.– est aussi l'une des premières à se mécaniser et à se standardiser aux Etats-Unis.

Notons aussi que, si les Britanniques découvrent avec enthousiasme le "système" à l'occasion de la grande exposition de 1851 à Londres où Colt exhibe ses revolvers, ils avaient inventé et utilisé à partir de 1800 environ bon nombre des types les plus importants de machines-outils, domaine dont les Américains et Allemands s'empareront ensuite⁷⁷. Grâce à Joseph Whitworth, ingénieur fanatique de précision qui s'enthousiasma immédiatement pour le système américain –on l'introduisit à l'arsenal d'Enfield–, les Britanniques avaient aussi, pour la métallurgie, inventé des instruments de mesure précis (jusqu'au millionième de pouce chez Whitworth) et standardisé les calibres des vis et boulons sans aller certes jusqu'au satanique système métrique des révolutionnaires français (il y a aussi le *NIH syndrome* – not invented here). Il parait assez clair que, si les fusils n'avaient pas existé, on aurait inventé le système américain pour produire toutes sortes d'objets manufacturés d'utilité évidente ; mais c'est de l'histoire-fiction et il est certain que des fabricants d'armes légères comme Remington, Birmingham Small Arms (BSA) ou la

⁷⁶ Donald R. Hoke, *Ingenious Yankees : The Rise of the American System of Manufacture in the Private Sector* (Columbia UP, 1990).

⁷⁷ L'un des principaux experts, Joseph Clement, fabrique les engrenages dont Babbage a besoin pour sa célèbre machine à calculer financée, déjà, par la Navy. Sur les machinoutis (nouvelle orthographe), voir K. H. Mommertz, *Bohren, Drehen und Fräsen. Geschichte der Werkzeugmaschinen* (Deutsches Museum/Rohwolt, 1987); il faut un bon dictionnaire pour traduire les termes techniques, après quoi il faudrait les comprendre en français, ce qui est plus difficile...

Manufacture de Saint Etienne passent facilement des armes aux machines à écrire, bicyclettes ou motocyclettes : les problèmes à résoudre et l'outillage nécessaire sont à peu près les mêmes⁷⁸. L'automobile, par contre, n'aura pas besoin de ces intermédiaires, le "système" étant alors pleinement développé et Henry Ford inventant, sans les militaires, la production à la chaîne qui va encore plus loin.

Le procédé Bessemer a aussi, en un sens, une origine militaire. Ingénieur polyvalent mais peu compétent en métallurgie, Bessemer invente, pendant la guerre de Crimée, une méthode pour communiquer à un obus un mouvement de rotation (problème à la mode à l'époque, que Robins connaissait et que résoudront Armstrong, Whitworth, Krupp, les polytechniciens, etc.). Son idée est rejetée sans examen à Londres à cause, dit-il, de

cette tendance de nos autorités militaires toujours prêtes à se moquer de toute proposition émanant d'un ingénieur civil;

mais elle intéresse Napoléon III, que l'artillerie a toujours passionné au point d'écrire un bon traité sur le sujet. Bessemer décide alors de produire pour celle-ci un métal de qualité comparable au fer forgé ou à l'acier et -c'est le point crucial- par une méthode permettant de le couler directement à la tonne sans passer par le cauchemar des creusets de Huntsman. Après plusieurs échecs, un incident fortuit lui montre qu'on peut transformer de la fonte brute liquide, à haute teneur en carbone, en fer malléable, sans carbone, en faisant passer à travers celle-ci un courant d'air intense, avec des effets spectaculaires et imprévus. C'est le procédé Bessemer, 1856, pour lequel il trouve immédiatement à Sheffield nombre de détracteurs qui le trouvent trop beau pour être vrai (deux tonnes en 20 minutes!), mais aussi d'enthousiastes clients, comme Krupp. Ceux-ci découvrent hélas rapidement qu'il est incompatible avec l'utilisation de minerais phosphoreux; Bessemer, sans même s'en rendre compte, avait utilisé de l'hématite exempte de phosphore. C'est la catastrophe après le triomphe et c'est en bonne partie grâce à des gens plus compétents que le problème est finalement résolu (utiliser dans les fours des revêtements basiques au lieu de la silice acide). Il se lance dans la production pour justifier son procédé aux yeux des sceptiques, mais sans parvenir à fabriquer un acier de qualité militaire, domaine où la méthode Huntsman reste encore en usage pendant une vingtaine d'années. En fait de canons ou d'obus, le procédé Bessemer fabriquera pour commencer des centaines de milliers de kilomètres de rails⁷⁹.

⁷⁸ Le caractère américain du système a une conséquence que l'on retrouvera plus tard dans d'autres secteurs. Bien que les fabricants européens d'armements de la fin du siècle disposent partout d'énormes parcs de machines-outils, on constate qu'en 1919 une vingtaine de branches des industries mécaniques légères britanniques étaient dominées par les initiateurs américains; Chandler, *Scale and Scope*, p. 275; les Allemands, p. 446-452, se défendent un peu mieux. La situation n'était sûrement pas meilleure dans le reste du monde, France par exemple, qu'en GB. Notons aussi avec Bradley qu'après la guerre de Sécession les fabricants d'armes américains, publics ou privés, exportent en masse.

⁷⁹ Voir J. C. Carr & W. Taplin, *History of the British Steel Industry* (Blackwell, 1962). Vers 1880,

Vers la fin du siècle, la métallurgie bénéficie des demandes des militaires en aciers dits spéciaux (euphémisme appliqué aux fabrications militaires et, en France, aux Mathématiques du concours d'entrée à l'X) incorporant des métaux jusqu'alors ésotériques; mais il faudrait distinguer. De grandes quantités de ces alliages, avant tout au nickel puis au nickel-chrome, sont utilisées après 1880 dans les plaques de blindage pour la marine, les canons et les obus pour les percer; ces usages militaires contribuent à renforcer la confiance en l'acier. Les Français innovent parfois et possèdent d'ailleurs en Nouvelle Calédonie la principale source de nickel. Mais en 1819-1824, Faraday, avec un fabricant de coutellerie et d'instruments chirurgicaux, avait déjà expérimenté des alliages de ce genre (y compris au platine, à l'argent et au rhodium) et provoqué un intérêt certain, mis à part leur coût beaucoup trop élevé. Les premiers alliages commercialisés – au tungstène, Köller, 1855, auquel Mushet ajoute en 1868 du manganèse et du silicium – sont utilisés pour améliorer les instruments de coupe des métaux partout en usage. Les aciers au manganèse (Hadfield, 1882), lentement diffusés, serviront aux bandages des roues de wagons, aux embranchements des voies ferrées puis aux rails eux-mêmes, ainsi que dans l'industrie électrique (ils sont non magnétiques) qui utilise aussi les aciers au silicium (ils ont la propriété opposée). D'autres encore, les "aciers rapides", développés par l'inventeur du système Taylor dans deux aciéries américaines (Midvale Steel et Bethlehem Steel) fournissant notamment la *U.S. Navy*, perfectionnent à nouveau les instruments de coupe pour usiner les aciers les plus durs et, de ce fait, intéressent évidemment les fabricants d'armements; mais Taylor lui-même cherche surtout à limiter les temps de production. Les aciers au vanadium se développent avec l'industrie automobile. La fabrication des turbines à vapeur ou à gaz puis l'aviation demandent elles aussi de nouveaux alliages⁸⁰, etc.

Dans certains secteurs, ce sont plutôt les besoins de l'impérialisme ou de la colonisation qui poussent parfois au progrès technique ou en favorisent la diffusion⁸¹. On subventionne par exemple les grands vapeurs à passagers à condition qu'ils puissent se transformer en transports de troupes. On installe à grands frais des câbles sous-marins reliant les métropoles anglaise et française à leurs colonies. On encourage la lutte contre les maladies tropicales qui interdisent la colonisation de l'Afrique ou de l'Indochine. Mais les câbles télégraphiques transatlantiques, de loin les plus importants et du reste les

les rails absorbent 80 % de l'acier Bessemer. C'est en montant la plus grande installation Bessemer du monde pour en fabriquer que Carnegie fait fortune.

⁸⁰ Voir Carr & Taplin et surtout P. S. Bardell, *The Origins of Alloy Steels* (History of Technology, vol.9, 1984, p. 1-30).

⁸¹ Les livres de Daniel Headrick, *The Tools of Empire : Technology and European Imperialism in the XIXth Century* (Oxford UP, 1981), *The Tentacles of Progress. Technology Transfer in the Age of Imperialism* (Oxford UP, 1988) et *The Invisible Weapon. Telecommunications and International Politics, 1851-1945* (Oxford UP, 1991) développent le sujet sous tous ses aspects. Les deux grandes histoires de la colonisation française récemment parues semblent fort discrètes au sujet des armements utilisés.

premiers câbles à longue distance construits, n'ont rien à voir avec des utilisations militaires; il s'agit plutôt de connaître instantanément les cours de la bourse ou du coton. Et lorsque les premiers télégraphes électriques sont apparus en Angleterre (Cooke et Wheatstone, un *practical man* et un physicien, 1837), aux USA où l'on abandonne tout au secteur privé comme le font les Britanniques (Samuel Morse, un artiste et *practical man* aidé par un physicien, 1837), en Allemagne (1847, Werner Siemens) ou en France (1845? 1852?) après des tentatives antérieures repoussées par les gouvernements, ce sont souvent les chemins de fer qui en bénéficient les premiers, les utilisateurs commerciaux potentiels en imposant, immédiatement ou à terme, l'ouverture au public contre, en Allemagne et en France, des gouvernants très inquiets des utilisations subversives possibles du nouveau système⁸². Les militaires n'en apprécient pas toujours les usages, notamment lorsque, pendant la guerre de Crimée, le télégraphe permet à Napoléon III de diriger les opérations depuis Paris, inconvénient que la radio puis les satellites aggraveront. Dans la Marine par exemple, on était avant la radio parfaitement libre à partir du moment où l'on prenait la mer...

Le progrès des armements avant 1914

Les militaires finissent naturellement par adopter les innovations civiles. Par exemple, les réseaux de chemins de fer français et allemand sont, après 1870-1880, organisés de telle sorte qu'ils puissent être rapidement mobilisés en cas de guerre⁸³; en France, en Allemagne et bien plus encore en Russie, on construit parfois des lignes d'intérêt principalement stratégique. Mais ce sont avant tout les énormes bénéfices qu'en espèrent les spéculateurs qui les développent comme le montre par exemple Jean-Pierre Rioux à propos de la France, cependant qu'en Amérique, où la guerre de Sécession en confirme l'utilité, "les institutions de finance de Wall Street servirent presque exclusivement à financer les chemins de fer" de 1850 à 1890, nous dit Chandler, *Scale and Scope*, p. 53-58. D'autre part, et mis à part les wagons "hommes 40, chevaux 8", les chambres à explosif sous les ponts et, dans l'Allemagne nazie, d'ingénieuses machines sur rails qui, lorsqu'on recule devant l'armée soviétique, permettent de tronçonner les traverses en série, les militaires ne jouent apparemment aucun rôle dans le progrès technique du secteur: ils n'ont sûrement aucun usage, en cas de guerre, pour les locomotives dépassant largement 100 km/h déjà courantes à la Belle Epoque. Ils n'ont pas non plus besoin avant 1914, du moins le croient-ils, de transports automobiles; le cheval est encore roi sur la route.

⁸² Excellent exposé, y compris technique, dans Rolf Oberliesen, *Information, Daten und Signale* (Deutsches Museum/Rohwolt, 1982); Catherine Bertho, *Télégraphes et Téléphones de Valmy au microprocesseur* (Livre de Poche, 1981), beaucoup moins documenté, est utile pour le cas français.

⁸³ "L'organisation des transports, placés sous la responsabilité des militaires, mais réglée en fait par les cheminots eux-mêmes, fut impeccable. Tout marcha "comme un mécanisme d'horlogerie", constatait un dirigeant de la compagnie du chemin de fer du Nord", nous dit un spécialiste de l'histoire ferroviaire, à savoir François Caron, dans *La France des patriotes de 1851 à 1918* (Livre de Poche, Fayard, 1985), p. 617. Il s'agit bien entendu de la mobilisation en 1914.

Il faut aussi noter que les chemins de fer sont bien plus importants que l'armement pour le développement de la métallurgie après 1840 : à quelques dizaines de kilos par mètre de rail, estimez la production nécessaire aux 240.000 miles de voies américaines de 1910, et on a remplacé partout, après Bessemer, les rails en fer par des rails en acier qui, bien que durant beaucoup plus longtemps, ne sont pas éternels ; à quoi s'ajoutent le matériel roulant et les infrastructures. La construction navale civile prendra le relais même s'il semble bien que, mises à part des tentatives civiles sans lendemain après Bessemer, la Royal Navy ait fait construire le premier navire substantiel en acier ; on est aussi en avance à Lorient, semble-t-il.

Les militaires finissent par se convertir, mais ils ne se précipitent pas dans la grande majorité des cas ; ils restent –ne le déplorons pas– très satisfaits de leurs rutilants uniformes, de leur cavalerie, de leurs mousquets, de leurs canons en bronze et de leur marine à voile et en bois jusqu'au milieu du siècle. Les Lords de l'Amirauté refusent la vapeur pour leurs grands navires non seulement pour des raisons techniques sérieuses –vulnérabilité, encombrement et manque de fiabilité des roues à aubes et des machines, difficulté de se ravitailler en charbon et faible rendement des machines, proximité dangereuse de la poudre et du feu–, mais aussi en raison du poids des traditions, de raisons esthétiques (un amiral inspectant un navire porte des gants blancs dont l'état à la sortie conduit à des conclusions) et sous prétexte qu'en se répandant chez les concurrents, la suprématie anglaise, fondée sur un inépuisable vivier de marins, serait en danger ; l'argument est amusant compte tenu de l'écrasante supériorité industrielle anglaise de l'époque, mais il deviendra valable un siècle plus tard⁸⁴. De même, les militaires résistent longtemps au fer : il supporte moins bien l'invasion des coquillages que le bois doublé de cuivre et, surtout, les brèches sont difficiles à obturer. En fait, la Navy et ses homologues préfèrent laisser la marine marchande expérimenter la vapeur, les hélices, les doubles coques en fer, les machines compound à cylindres multiples, etc., notamment sur de grands navires à passagers à partir des années 1840. Les performances des transatlantiques seront encore parfois, à la Belle Epoque, plutôt en avance sur celles des cuirassés en dépit de leur tonnage très supérieur (40 à 50.000 tonnes à la veille de la Grande Guerre, la moitié pour les cuirassés) ; les Marines utilisent certes des torpilleurs et destroyers de quelques centaines de tonnes, à machines compound et filant 30 noeuds bien avant que les grands navires, civils ou militaires, en soient capables ; mais, comme dans le cas des avions de chasse actuels, il s'agit d'une vitesse de pointe qu'on n'utilise que pour l'attaque. Et comme le note McNeill, lorsqu'on se trouve au sommet, pourquoi tout révolutionner au lieu d'attendre les initiatives des concurrents

⁸⁴ Exposé particulièrement clair de C. J. Bartlett, *Great Britain and Sea Power, 1815–1853* (Clarendon Press, 1963). Cadre plus général dans les chap. 7 et 8 (1840–1914) de McNeill, *Pursuit of Power*. Les actes des colloques *Marine et technique au XIX^{ème} siècle* et *Du Dreadnought au nucléaire* (Service historique de la Marine), quoique d'une qualité très inégale, sont intéressants et ne se bornent pas au cas français.

pour les dépasser ensuite grâce à la supériorité industrielle dont on dispose ? C'est pourtant ce que feront les Américains de la guerre froide –sauf pour les missiles, cas auquel s'appliquera le raisonnement de McNeill–, mais il s'agira alors de ruiner l'URSS si l'on en juge par le résultat final : idée bien naturelle qui se rencontre déjà dans l'Angleterre d'avant 1914.

Le raisonnement de McNeill est celui des Anglais ; ce n'est pas celui de leurs ennemis potentiels, français notamment. La technique des boulets explosifs dont on a parlé plus haut à propos de la Révolution est reprise vers 1820 par Paixhans, Polytechnicien de l'artillerie qui, dans *La nouvelle force maritime*, anticipera la révolution navale militaire de 1860 en préconisant des blindages, la vapeur, l'uniformisation des calibres, etc. Son livre fait sensation des deux côtés de la Manche, Congreve, nous dit Bartlett, propose les mêmes idées en 1828 et les obus explosifs anglais sont prêts en 1830 mais non encore adoptés : comme plus tard à propos des torpilles, les essais, fort concluants, provoquent l'horreur des amiraux devant la perspective de voir un navire de cent mille livres sterling envoyé par le fond en cinq minutes par un seul projectile, alors qu'il résisterait à des centaines de boulets classiques. Mais lorsque les obus de Paixhans, après quinze ans d'expérimentation et d'hésitations, sont adoptés en 1837, la Royal Navy suit en 1838 ; le processus est le même en ce qui concerne l'introduction de la vapeur ou des blindages plus tard par des X du génie maritime comme Dupuy de Lôme : au navire en bois protégé par une armure en fer, les Anglais répondent immédiatement par un navire entièrement en fer.

Le rapport de Paixhans sur ses boulets explosifs⁸⁵ reçut les éloges de l'Académie en 1823. Gillispie, qui mentionne ses travaux à la fin de l'article sur les *secret weapons* qu'on a utilisé plus haut, reproduit sans commentaire –mais on l'entend rire de Princeton– un passage du livre de Paixhans qu'il est plus prudent de ne pas retraduire en français :

all honest and enlightened men, when they engage themselves in these matters, have clearly recognized that the development of weapons (which is inevitable anyway) is in no way to be deplored. It confers on the physically weak the means for battling against unjust force.

En fait, le développement des armes n'est inévitable que parce qu'il y a des gens comme Paixhans pour s'y consacrer et, fréquemment, l'imposer aux gouvernants : comme on vient de le voir, il s'agissait en fait dans le cas considéré d'une *self-fulfilling prophecy* ; l'avenir en fournira beaucoup d'autres.

Tristes alibis pour justifier un métier que, comme tant d'autres, Paixhans avait sans doute choisi (?) à un âge où, compte-tenu de l'éducation qu'on a reçue, à l'X dans son cas, on ne comprend rien d'autre qu'un peu de sciences

⁸⁵ Voir l'exposé de Thomas Adam dans *Marine et technique au XIXème siècle*.

et de technique et où l'on est prisonnier des idées dominantes : la "menace britannique" dans son cas. Les gens d'en face sont, eux, préoccupés par la "menace française" au point de prendre très au sérieux à diverses reprises au cours du siècle, notamment en 1844, l'éventualité d'une invasion française lorsque l'amiral de Joinville, fils de Louis-Philippe, se livre à des déclarations irresponsables à propos de ce que Napoléon aurait pu réussir avec la vapeur et alors que, précisément, les Français sont plutôt mieux équipés sur ce plan que les Anglais. Mais on ne dispose pas des crédits nécessaires, les préparatifs ne passeraient pas inaperçus et de toute façon, à part quelques marins, personne en France n'a des idées aussi stupides (Bartlett, p. 155-170). Il n'empêche que, jusqu'à la fin du siècle, la marine anglaise regardera la française comme son ennemi potentiel numéro un : comme durant la guerre froide, la simple existence des armements est regardée comme une menace même s'il n'existe aucune volonté politique de s'en servir agressivement.

Les X qui introduisirent les premiers les obus explosifs, les cuirassés à vapeur et à hélice⁸⁶ (à coque encore en bois au début et conservant leurs voilures jusqu'en 1875-80 environ), les torpilleurs et les submersibles à ballasts, avaient fort bien compris que leur seule chance de concurrencer la Navy était de sortir de la technique traditionnelle. Cette idée ingénieuse se heurtera au fait qu'en portant la compétition sur le terrain de l'industrie métallurgique, on n'augmente pas énormément ses chances de dépasser les Britanniques au XIX^{ème} siècle; on y renoncera du reste⁸⁷ après 1880. Ils ont davantage de succès dans l'artillerie avec le célèbre 75 dont le frein hydraulique, idée d'un ingénieur allemand qui n'intéresse pas la *Wehrmacht* et dont le brevet, qu'il n'a pas renouvelé, est exploité par les Français; ils améliorent considérablement sa technique⁸⁸.

Les progrès techniques sont en fait très souvent imposés, après parfois des années de *lobbying*, par des civils comme Alfred Krupp et William Armstrong (canons rayés à chargement par la culasse vers 1860, en fer forgé chez Armstrong et en acier chez Krupp), Robert Whitehead (torpilles autopropulsées incorporant les premiers servo-contrôles, 1865-70), Hiram

⁸⁶ Voir les exposés de René Etienne et Jacques Chanriot sur Dupuy de Lôme dans *Marine et technique au XIX^{ème} siècle*. A noter que les plans du cuirassé *La Gloire* aboutirent en Angleterre dans les deux mois.

⁸⁷ Jean Doise et Maurice Vaisse, *Politique étrangère de la France. Diplomatie et outil militaire, 1871-1991* (Seuil, 1992), p. 140-149. Exposé fort intéressant et critique de Doise pour la période antérieure à 1914, et canonisation des doctrines officielles par Vaisse pour la période après 1945. Noter la différence de documentation entre la première et la seconde partie. Plus près de nous, on a vu la France gaulliste lancer le Concorde pour tenter de battre l'Amérique sur le terrain où sa suprématie était maximale...

⁸⁸ Outre Doise et Vaisse, voir le merveilleux petit livre de Jean Doise, *Un secret bien gardé. Histoire militaire de l'affaire Dreyfus* (Seuil, 1994) où l'on présente le début de l'affaire Dreyfus comme une entreprise montée de toutes pièces pour concentrer l'attention des Allemands sur un canon de 120 peu performant pendant qu'on développe le 75 en secret. Contrairement à certains critiques, je n'y ai trouvé strictement rien susceptible de mettre en cause l'innocence de Dreyfus, bien au contraire; on y trouve par contre tout ce qu'il faut pour mettre en cause l'intelligence de l'*Intelligence Service* français de l'époque; ils n'avaient pas prévu le dénouement...

Maxim (mitrailleuse, 1884) ou Charles Parsons (turbines à valeur pour la marine, construites d'abord pour la production d'électricité – voir Constant).

Les yeux s'ouvrent avec la guerre de Crimée; elle sonne le glas de la marine en bois, l'archaïsme technique de l'artillerie anglaise conduisant William Armstrong, à la tête d'une entreprise de mécanique et d'ingénierie, de même que Joseph Whitworth déjà mentionné, à se lancer pour la Navy dans la production de canons rayés à chargement par la culasse tirant, pour commencer, des projectiles de 40, 70, et 110 livres; mais on arrivera rapidement à des monstres bien plus impressionnants avec ou sans culasse mobile. Les canons d'Armstrong améliorant spectaculairement la précision du tir (*they can do anything but speak*, déclare le chef de l'armée de terre), Armstrong construit une usine et passe un curieux accord avec le gouvernement: il renonce à exporter et donne, gratuitement, son brevet au gouvernement, lequel s'engage à assurer le plein emploi des capacités de production et à financer les recherches d'Armstrong. Maintenant Sir, Armstrong devient instantanément célèbre. Mais lorsqu'on essaie ses canons quelques années plus tard au Japon, les culasses non étanches des canons de 110 livres provoquent un grand nombre d'accidents (même problème chez Krupp lors de la guerre contre l'Autriche); la Navy rejette la nouvelle technique pour vingt ans, les Français résolvant le problème grâce en partie à un brevet américain. Armstrong décide alors de se lancer dans l'exportation et deviendra l'un des trois grands armuriers navals anglais, avec Whitworth et, plus tard, Vickers⁸⁹. La guerre de Sécession (premières mitrailleuses Gatling à tubes multiples, torpilles et mines primitives, premiers navires cuirassés à tourelle d'Erikson, usage des chemins de fer) accentue le mouvement: c'est la première guerre industrielle de l'Histoire; elle ne devait, déjà, durer que trois mois. 600.000 victimes et la célèbre déclaration du général Sherman: *War is Hell*⁹⁰. On en profite pour fonder une Académie des Sciences privée mais censée conseiller le gouvernement.

Bien que les armements terrestres progressent de façon spectaculaire, on n'y voit rien, pas même les gigantesques canons de Krupp, qui se compare en complexité technique à ce qui se passe dans les Marines pendant le demi-siècle précédant 1914. On commence avec la vapeur, les hélices et des coques puis des blindages en fer forgé (renforcés encore, au début, par 80 cm de teck). Celles-ci obligent les ingénieurs à placer les canons sur le pont

⁸⁹ J. D. Scott, *Vickers: A History* (London, 1962) est passionnant et utile même sur Armstrong. Voir aussi McNeill et surtout l'article beaucoup mieux documenté de Marshall J. Bastable, *From Breechloaders to Monster Guns: Sir William Armstrong and the Invention of Modern Artillery, 1854–1880* (Technology and Culture, 1992, p. 213–247), résumant un Ph. D. de Toronto sur l'histoire de la maison Armstrong. Ses canons sont formés de tubes concentriques de longueur décroissante que l'on installe à chaud les uns autour des autres et qui, en se refroidissant, soumettent les tubes intérieurs à une pression qui en augmente la résistance; en même temps, l'épaisseur du canon "télescopique" augmente lorsqu'on se rapproche de la culasse, ce qui permet l'utilisation de grandes quantités de poudre.

⁹⁰ James M. McPherson, *La guerre de Sécession* (héroïquement traduit chez Laffont, 1991, 1.040 p, 130 F), chap. 12, donne des indications sur la guerre maritime. Le chap. 1 contient des réflexions utiles sur le "système américain de manufacture".

puis à les protéger par des tourelles elles-mêmes blindées (le premier navire anglais de ce type chavira : erreur d'équilibrage...); enfin à regrouper en une "citadelle" centrale fortement protégée les oeuvres vivres du navire. Comme il faut percer les blindages, le calibre des canons augmente ainsi que la puissance des obus dont la conception pose des problèmes difficiles : l'ogive doit percer la coque à l'aide d'aciers de plus en plus durs et l'explosion doit être déclenchée devant, dans ou derrière l'armure, selon les buts poursuivis, à l'aide de détonateurs réglables (fusées). L'épaisseur des blindages augmente alors, jusqu'à ce qu'on se décide, lorsqu'elle atteint 50 cm au plus fort, à passer à l'acier, d'où de nouveaux problèmes pour les artilleurs, etc. En même temps, les dimensions des grands navires de ligne passent de 5.000 tonnes à quelque 25.000 en 1914, et les vitesses de 10-12 noeuds à 25, ce qui suppose naturellement des machines de plus en plus gigantesques.

Les Dreadnoughts de la Belle Epoque, qui serviront de modèle à toutes les marines jusqu'à la Seconde guerre mondiale qui mettra fin aux cuirassées, procèdent d'une stratégie analogue à celle de la dissuasion nucléaire et, comme les actuels sous-marins nucléaires lance-missiles, se situent au sommet de la pyramide des techniques; bon signe pour le progrès technique. Celui-ci a transformé les navires biologiques en bois et à voiles, aux coques plongées dans la nuit et envahies par de véritables marécages puants⁹¹, en usines *high tech* aux murs d'acier découpées en une multitude de compartiments étanches. Une machinerie hydraulique permet le chargement et le pointage de dix canons de douze pouces⁹² dans les premiers modèles, jusqu'à huit canons de 15 pouces (auxquels s'ajoutent quatorze canons de six pouces) expédiant une tonne à 20 km dans les superdreadnoughts programmés en 1912. D'énormes roulements circulaires permettent de déplacer les tourelles. Un système de contrôle de tir utilisant des calculateurs analogiques primitifs (encore qu'un système bien supérieur eût été refusé par la Navy⁹³)

⁹¹ Voir le chap. 22, *From Sail to Steam* de Robert Massie, *Dreadnought. Britain, Germany, and the coming of the Great War* (Random House, 1991, ou Ballantine Boks, 1992, paperback impeccable de mille pages pour \$14), qui se lit comme un roman et dont l'intérêt dépasse de beaucoup le cadre de la compétition navale. La période postérieure à 1905 fait l'objet du premier volume, classique, de Arthur J. Marder, *From the Dreadnought to Scapa Flow : The Royal Navy in the Fisher Era, 1904-1919* (Oxford UP, 1961) et plus récemment, de Jon Tetsuro Sumida, *In defence of naval supremacy. Finance, Technology, and British naval policy, 1889-1914* (Unwin, 1989 ou Routledge, 1993).

⁹² L'idée de Fisher est d'envoyer sur les navires ennemis des obus de gros calibre que l'on tire, à un rythme rapide, d'une distance supérieure à la portée des canons ennemis. On corrige le tir en observant les impacts, après quoi l'ennemi est censé recevoir trois obus à la minute. Cela suppose naturellement qu'il n'ait pas les mêmes idées ou les mêmes capacités, ce qui, dans le cas de l'Allemagne de Krupp, est loin d'être garanti comme le montrera la bataille du Jutland.

⁹³ McNeill fournit quelques détails sur ce point, mais la référence est maintenant Jon Sumida, *In defence of naval supremacy. Finance, technology, and British naval policy, 1889-1914* (Unwin, 1989 ou Routledge, 1993), qui, outre les aspects politiques et stratégiques, détaille les problèmes de contrôle de tir sans, malheureusement, écrire la moindre équation; cela ressemble aux problèmes de robinets de mon enfance. La question devrait intéresser les historiens des mathématiques appliquées puisqu'on est là à l'extrême limite de ce qu'on peut faire sans informatique. L'une des difficultés pour les artilleurs de la Navy semble avoir été que, pour contrôler le tir, il faut tenir compte non seulement de ce que Sumida et ses sources appellent le *change of rate* de la distance et de

fournissant la distance à l'objectif à partir des azimuts transmis par deux télescopes installés au sommet des mâts et qu'on finira par stabiliser à l'aide de gyroscopes. On y trouve aussi des canons à tir rapide et des mitrailleuses lourdes contre les torpilleurs à l'aide desquels les Français avaient, vers 1880, espéré neutraliser à bon marché la Royal Navy, ainsi qu'une dizaine de tubes lance-torpilles. Une centrale électrique alimente d'innombrables moteurs. La radio est déjà installée. Les machines à vapeur traditionnelles, assourdissantes, entourées d'un nuage de vapeurs d'huile, menaçant constamment de gripper à un point ou à un autre, devaient être révisées après quelques heures à pleine puissance; les Dreadnoughts sont propulsés en silence et sans vibrations par les nouvelles turbines à vapeurs de Parsons, imposées par des constructeurs de transatlantiques sous peine d'obsolescence rapide; elles permettent au navire de se maintenir plusieurs jours à sa vitesse maximum. On substituera le fuel au charbon avant 1914 –Fisher envisage même déjà des moteurs Diesel–, d'où 25 noeuds (ou presque 30 pour les croiseurs moins lourdement protégés) et l'intérêt anglais pour le pétrole iranien⁹⁴. Enfin, la fabrication de plaques de blindage de 400 mm et de 20 mètres carrés représente, on l'imagine bien, d'extraordinaires tours de force métallurgiques qu'un dizaine tout au plus de firmes sont, dans le monde, capables de réussir.

Issu d'un milieu social fort médiocre (Massie, chap.23), ayant, grâce à son intelligence, à son énergie et à un ego quelque peu hypertrophié, gravi tous les échelons de la hiérarchie jusqu'à l'entourage d'Edouard VII inclusivement, Fisher n'a pas les préjugés sociaux de ses collègues. Il supprime (en théorie...) la distinction entre les aristocratiques officiers de pont et les *greasers*, officiers mécaniciens de basse extraction. On ne tente pas cet exploit en France (Ecole navale contre Arts et Métiers).

Quant aux stratégies d'emploi de ces forteresses flottantes, les avis varient. L'un des rares fanatiques du progrès technique dans la Royal Navy, Fisher s'était enthousiasmé dès 1870 pour les torpilles et plus tard pour les sous-marins qui intéressaient beaucoup moins ses collègues et pas davantage les Allemands⁹⁵. Fisher proclame en 1903 que les sous-marins détruiront

l'azimuth, mais aussi de leur *change of rate of the change of rate*, même dans l'hypothèse de navires suivant des trajectoires parallèles à vitesse constante. Les lecteurs de la Gazette n'auront sans doute pas de peine à comprendre pourquoi, et à traduire cette terminologie archaïque... Noter enfin qu'Arthur Pollen, l'inventeur du système refusé, était directeur administratif de la branche anglaise de la Linotype Cy. américaine dont le titre indique l'activité. Lord Kelvin, membre de son conseil d'administration mais fort âgé et par ailleurs conseiller de la Marine, conseillait d'assez loin Pollen (Sumida, chap. 3) dont le système utilisait une version perfectionnée de l'intégraphe développé trente ans plus tôt par Kelvin et son frère. L'histoire est trop complexe pour être résumée en quelques lignes.

⁹⁴ Daniel Yergin, *The Prize. The Epic Quest for Oil, Money and Power* (Simon and Schuster, 1991 – existe en français), chap. 8.

⁹⁵ C'est en 1914 que von Tirpitz s'y convertira bien qu'on en programme quelque 70 en 1912–13, ce qui affole les Britanniques. Ils ont beaucoup de succès en France après le *Gustave-Zédé* de 1899; en 1904, la France en possède 26 plus 13 en chantier, l'Angleterre 8 plus 11, les Etats-Unis 8 et aucun en chantier, l'Allemagne un seul, en chantier; Weir, p. 85. On destinait les sous-marins

les navires de bataille et préconise une flotte de croiseurs rapides et de destroyers. Mais lorsqu'il arrive à la tête de l'Amirauté en octobre 1904, c'est le programme des Dreadnoughts qu'il lance ! Il prévoit à nouveau en 1913 que les sous-marins détruiront les navires de bataille (il n'est plus au pouvoir...); revenu à l'Amirauté en 1914-1915, il préconise à nouveau des supersuperdreadnoughts de 35.000 tonnes filant 32 noeuds et armés de canons de 17 ou même 20 pouces. Les polémiques vont aussi bon train dans ce milieu quant aux usages possibles et à la vulnérabilité des croiseurs, aussi bien armés que les Dreadnoughts mais moins protégés et donc plus rapides; on en arrive à les blinder plus ou moins eux aussi. En fait, tout le monde, ici encore, avance dans la nuit.

Quand à ce qui va se passer en cas de guerre dans la marine marchande, Fisher en a une idée en 1913 sans probablement se douter de l'ampleur de la catastrophe à venir. Le sous-marin, dit-il,

cannot capture the merchant ship; she has no spare hands to put a prize crew on board (...) she cannot convoy her into harbour (...) There is nothing else the submarine can do except sink her capture (...) [this] is freely acknowledged to be an altogether barbarous method of warfare (...) [but] the essence of war is violence, and moderation in war is imbecility⁹⁶.

Les Allemands retiendront la leçon, à supposer qu'elle leur ait été nécessaire. Trebilcock, p. 89, note que, de 1880 à 1914,

les forges allemandes rivalisèrent avec les forges britanniques dans une course aux armements qui était autant une confrontation de capacités industrielles, autant une compétition d'économies manufacturières se disputant les marchés mondiaux, qu'une compétition entre Etats-nations se disputant la préséance internationale⁹⁷.

Mais tout cela sera de peu d'utilité militaire : une rencontre au Jutland en mai 1916 infligera à la Navy des pertes très comparables à celles de la flotte allemande, après quoi celle-ci, à quelques exceptions près, restera prudemment dans ses ports; le vrai problème, que les *big guns* ne résoudront pas, sera de lutter contre les torpilles des sous-marins et les mines. Un sous-marin allemand coule le 22 septembre 1914 trois croiseurs cuirassés, un superdreadnought à l'état neuf coule sur une mine le 27 octobre -on tiendra l'incident secret jusqu'en 1919...-, l'Amirauté évacue sa base de Scapa Flow lorsqu'un marin aperçoit un imaginaire périscope, deux cuirassés anglais,

à des opérations très limitées : défense des ports, pose de mines. La Grande Guerre changera tout grâce à l'accroissement de leur autonomie.

⁹⁶ Exposé exhaustif de la guerre sous-marine pendant la Grande Guerre et la suivante dans John Terraine, *Business in Great Waters* (Mandarin Paperbacks, 1990); Fisher cité p. 5. Pendant la Grande Guerre, ce sera l'un des domaines privilégiés d'utilisation des progrès scientifiques et techniques.

⁹⁷ Pour la France de de Gaulle, la force de frappe, comme le Concorde, devait établir aux yeux de tous l'excellence de notre industrie.

périmés il est vrai, et un français coulent sur des mines aux Dardanelles, etc., sans parler bien entendu de la guerre contre le commerce qui, en 1917, placera l'Angleterre dans une situation quasi désespérée.

Les nouveaux explosifs

Si les innovations techniques que nous venons de mentionner sont presque toujours dues à des ingénieurs, parfois certes militaires, par contre les propriétés explosives de la nitroglycérine et de la nitrocellulose, qui donneront lieu à une révolution militaire de première grandeur, sont découvertes accidentellement et sans le moindre but militaire par de vrais chimistes, Sobrero et Schönbein⁹⁸, en 1846-47; peu surprenant puisqu'une des distractions favorites des chimistes de l'époque est d'attacher des radicaux NO_2 à tous les composés organiques qui les acceptent, ce qui rend d'ailleurs la chimie des colorants fort proche de celle des explosifs. Mais leur utilisation dans l'artillerie, à laquelle on pense partout instantanément, ainsi que leur fabrication et leur stockage qui donnent lieu à des accidents spectaculaires – on voit encore des navires de guerre exploser spontanément peu avant 1914 –, se heurtent à des difficultés majeures qui ne seront pas résolues avant 1880-90.

Dans l'intervalle, Nobel stabilise en 1867 la nitroglycérine en la transformant en dynamite et, encore plus important, invente les détonateurs au fulminate de mercure actionnés électriquement. Il améliore ensuite sa dynamite en lui ajoutant de la pâte de bois, du collodion ou du nitrate d'ammonium, composé dont les propriétés explosives sont découvertes en Suède en 1867. Le nouvel explosif révolutionne non pas l'armement – il démolirait n'importe quel canon – mais les travaux publics et les mines qui en font rapidement une consommation prodigieuse après avoir utilisé la poudre noire puis la nitroglycérine, qu'on utilisera longtemps encore pour creuser des puits de pétrole. La dynamite intéresse aussi d'autres clients sérieux :

*DYNAMITE! Of all the good stuff, that is the stuff! Stuff several pounds of the sublime stuff into an inch pipe (...) plug up both ends, insert a cap with a fuse attached, place this in the immediate vicinity of a lot of rich loafers who live by the sweat of other people's brows, and light the fuse. A most cheerful and gratifying result will follow. In giving dynamite to the downtrodden millions of the globe, science has done its best work*⁹⁹.

⁹⁸ Schönbein, dans sa cuisine, distille un mélange d'acides nitrique et sulfurique, la cornue se rompt, il s'empare du tablier de sa femme pour éponger la table, le rince abondamment, le met à sécher au-dessus de son poêle et, au bout de quelques minutes, le voit disparaître en flammes sans lancer de traces. Sobrero verse un peu de glycérine dans un peu du même mélange, chauffe le tout avec le résultat qu'on peut deviner, publie aux CRAS et abandonne le sujet. *Si non è vero...* Schönbein par contre aide immédiatement les Anglais à monter une usine de "coton-poudre"; l'expérience se termine par une explosion catastrophique.

⁹⁹ Cité dans J. I. Brian di Salvatore, *Vehement Fire* (The New Yorker, 27/4 et 4/5/1987), hymne à

Les compagnies que Nobel fonde un peu partout deviendront rapidement le premier grand holding international basé en Europe, inspiré sans doute de la Standard Oil de John D. Rockefeller, laquelle inspirera aussi les futurs fondateurs de l'I. G. Farben dans un pays de toute façon voué aux cartels disciplinant la concurrence (Trebilcock, L. F. Haber et surtout Reader). Le directeur de la branche française, Paul Barbe, est impliqué dans le scandale de Panama.

L'inventeur français des premiers explosifs Brisants¹⁰⁰, Turpin, en 1884-85, est un fabricant autodidacte de jouets en caoutchouc qui trouve le moyen (un bain-marie d'huile!) de fondre un colorant pour ses jouets, l'acide picrique, sans le faire exploser contrairement aux théories de Berthelot¹⁰¹ dont les travaux sur la cinétique et la thermodynamique chimiques, comme ceux de Le Chatelier, seront néanmoins fort utiles; les démêlés de Turpin avec les militaires le mèneront au bord de la folie. Le secret de sa mélinite (du grec *meli*, miel, nous dit Doise, pour faire croire à nos ennemis qu'il s'agit d'agriculture), sera vendu dans les deux ans aux Anglais, qui la baptiseront *lyddite*, et aux Allemands par des patriotes dont la trahison, réelle, ne soulèvera pas le même scandale public que celle, inventée, du capitaine Dreyfus à la même époque comme Doise le remarque... Paul Vieille, qui invente en 1884 pour les armes individuelles des poudres sans fumée à base de collodion comprimé, est ingénieur général des Poudres, ce qui facilite probablement les négociations¹⁰², et collabore depuis longtemps avec Berthelot.

De son côté Nobel, après quinze ans d'efforts, produit pour l'artillerie, en 1888, une "poudre" (elle a la consistance du celluloid -les Anglais parlent, eux, de *propellants*) en mélangeant de la nitroglycérine et du collodion; il espère, un de plus, rendre la guerre suffisamment horrible pour en dégouter les hommes. Deux chimistes anglais, Frederic Abel et James Dewar, auxquels Nobel a presque tout révélé, qui font partie d'un Comité officiel des poudres et, en même temps, "consultent" à l'usine de Glasgow du trust Nobel, transforment immédiatement sa *ballistite* en la *cordite* qui propulsera les obus de la Royal Navy¹⁰³: d'où un procès que Nobel perdra à tous les échelons,

la gloire de la dynamite dans le cadre américain. Sur le développement de la compagnie Nobel, voir W. Reader, *Imperial Chemical Industries: A History* (Oxford UP, deux vol., 1970 et 1975), exemple particulièrement réussi d'histoire industrielle.

¹⁰⁰ Dans un explosif Brisant, la combustion se propage à plusieurs km/sec et produit donc des ondes de choc; dans les poudres, à quelques m/sec. Le problème, dans le second cas, est de contrôler la vitesse de combustion pour propulser le projectile mais non le canon.

¹⁰¹ Celui-ci préside aussi vers 1880 une Commission des inventions destinées à l'armée de terre. Fin 1895, il est pour quelques mois ministre des Affaires étrangères, poste où son principal succès consiste à lancer vers le Nil l'expédition Marchand -d'où l'incident de Fachoda...

¹⁰² Doise et Vaisse, chap. III. Le collodion est obtenu en dissolvant de la nitrocellulose dans un mélange d'éther et d'alcool. On en tire le celluloid et des fibres artificielles et il sert d'abord à protéger les plaies de l'infection...

¹⁰³ L'apparition dans l'artillerie navale de nouvelles poudres permet d'augmenter la portée des canons à condition de les allonger suffisamment pour permettre à la poudre de produire tout son effet. Arrive alors un moment où le chargement des obus par la bouche devient quasiment

les "inventeurs" de celle-ci recevant un brevet et le droit de l'exploiter à leur profit, décision "remarquablement libérale" de la part du gouvernement britannique qui emploie Abel, nous dit Mr. Reader; Nobel se console en vendant son produit ailleurs, à la Triplice par exemple.

Beaucoup d'autres explosifs, militaires (TNT surtout, depuis longtemps connu dans l'industrie des colorants et que l'armée allemande utilise à partir de 1904) ou civils, seront découverts par la suite dans les laboratoires spécialisés ou non; un chimiste allemand qui, en 1908, publie dans le célèbre *Berichte* une histoire du sujet, note qu'en chimie organique chacun a un explosif dans ses cartons: les détonateurs à la Nobel permettent de faire exploser quasiment n'importe quoi.

Y compris, en 1992, à l'usage des gratte-ciels de New-York, un mélange à 94 et 6 % (avis aux amateurs) de flocons de nitrate d'ammonium, engrais parfaitement standard, et de fuel. Ce type d'explosif, découvert aux USA en 1955, représente maintenant avec ses variantes 70 % du marché dans le secteur civil, nous dit l'article de la nouvelle édition de l'Encyclopedia Britannica consacré au génie chimique.

Les "merchants of death"

A partir de 1860-70, les progrès techniques de l'armement sont favorisés par la compétition entre la Grande-Bretagne, la France, l'Allemagne, la Russie, les Etats-Unis, le Japon et l'Italie, où un ingénieur naval, Cuniberti, invente une partie des idées de base de Fisher sur les Dreadnoughts. C'est particulièrement le cas dans le domaine naval, de loin le plus technique, totalement révolutionné comme on l'a vu plus haut par le développement de la métallurgie et le progrès des machines-outils. Mais les fabrications deviennent si coûteuses — en Angleterre, le prix d'un navire de ligne passe, entre 1850 et 1914, de 150.000 à 2,7 millions de livres sans inflation — le rythme du changement technique devient si rapide que les arsenaux gouvernementaux sont maintenant obligés de recourir, au moins en partie, à des entreprises privées qui, elles, peuvent amortir les énormes investissements nécessaires et compenser les hauts et les bas des commandes nationales grâce à des productions civiles, grands navires à passagers par exemple, et surtout à des exportations d'armements tous azimuts¹⁰⁴. A la suite du scandale Krupp de 1913 (voir plus loin), le Ministre de la Guerre allemand formulera au Reichstag la philosophie, universellement adoptée, du système :

Ce n'est pas que je sois en faveur de l'industrie privée. Mais nous dépendons d'elle. En période critique, nous devons pouvoir

impossible, ce qui force la Royal Navy à adopter le chargement par la culasse auquel elle avait renoncé vingt ans plus tôt.

¹⁰⁴ En dépit du fait que les dépenses militaires des grandes puissances sont, entre 1880 et 1913, multipliées par trois et même par cinq pour l'Allemagne, la part du PNB consacrée à la défense en 1913 ne dépasse pas 4 à 5 %, sauf pour la Russie (plus de 7 %). Le chiffre allemand, 3,8 % à la veille de la guerre, est du même ordre que le chiffre français actuel, que d'aucuns jugent trop faible et qui constitue un minimum depuis 1945.

disposer de grandes masses d'armements. On ne peut pas les obtenir des arsenaux de l'Etat. D'autre part, nous ne pouvons pas passer suffisamment de commandes aux firmes privées pour les maintenir solvables en temps de paix. Elles dépendent donc des commandes étrangères. Qui en retire les avantages? Sans aucun doute la classe qu'elles entretiennent¹⁰⁵!

Et comme le notent tous les auteurs, les profits qu'espèrent les fabricants privés constituent un puissant motif au progrès technique dans ce domaine comme dans d'autres : la meilleure façon d'obtenir des commandes est de rendre périmé le matériel en service. Comme un expert américain le dira à propos des fabricants d'armes de la guerre froide,

ce qu'ils ont de plus vendable, c'est le progrès technique.

Il faut noter que les entreprises les plus célèbres – Krupp, Armstrong, Whitworth, Vickers¹⁰⁶ – se lancent dans l'armement *après* avoir acquis une expérience considérable dans la métallurgie et la mécanique civiles. Armstrong invente et fabrique d'abord des grues actionnées hydrauliquement. Krupp et Vickers, qui réussissent les premiers à couler et à forger d'énormes lingots d'acier au creuset, fabriquent d'abord des cloches pour les églises, des cylindres à estamper les monnaies, couverts de tables et autres objets inoffensifs (Krupp), des bandages (d'où le logo de Krupp : trois cercles) puis des rails pour les chemins de fer, des axes de transmission et des tôles pour la marine marchande, des machines de toutes sortes, etc.

Entrés dans l'armement en 1888 à la suite d'une dépression du marché civil – les rails en acier s'usent lentement... –, les frères Vickers fabriquent d'abord des canons de marine et des plaques de blindage. Ils décident en 1897 de produire par leurs propres moyens des navires de guerre entièrement équipés, canons y compris, comme Krupp un peu plus tard. Ils construisent dès 1900 des sous-marins en acquérant la licence américaine Holland exploitée par l'Electric Boat Cy, aujourd'hui branche de la firme General Dynamics qui construit les sous-marins nucléaires américains. Ils achètent, en compagnie d'Armstrong, l'entreprise de Fiume où, la Navy ayant refusé d'acquérir le brevet, la famille Whitehead fabrique des torpilles pour tout le monde depuis 1870. Ils fondent des branches en Espagne, Italie, Japon, Russie et Turquie. Ils se lancent dans l'aviation en 1910, etc.

¹⁰⁵ Manchester, chap. 11, p. 311 de l'édition Bantam Books.

¹⁰⁶ Voir notamment William Manchester, *The Arms of Krupp*, J. D. Scott, *Vickers. A History* (Londres, 1962), Gary E. Weir, *Building the Kaiser's Navy* (Annapolis, Naval Institute Press, 1992), Marshall J. Bastable, *From Breechloaders to Monster Guns : Sir William Armstrong and the Invention of Modern Artillery, 1854-1880* (Technology and Culture, 1992, p. 213-247), qui résume une thèse canadienne, et McNeill, *La course à la puissance*. Il n'existe apparemment rien d'équivalent sur Schneider. J'ai rencontré il y a quelques années une élève d'un spécialiste connu d'histoire militaire; elle préparait une thèse de troisième cycle sur "le complexe militaro-industriel français, 1880-1914" et passait ses journées au fort de Vincennes à dépouiller les archives relatives aux fournitures de... fourrage à l'armée.

Ce processus donne naissance, particulièrement en Angleterre et en Allemagne, aux premiers “complexes militaro-industriels” et à ce qu’on appellera plus tard les “marchands de canons”, avec tout ce qu’on voit de nos jours : pantoufflages¹⁰⁷, campagnes financées par les fabricants dans la presse et les revues spécialisées que celle-ci utilise, corruption de fonctionnaires¹⁰⁸, fusions d’entreprises (Armstrong et Whitworth fusionnent en 1897, date à laquelle Vickers a déjà absorbé plusieurs chantiers navals en attendant d’absorber Armstrong-Whitworth après la Grande Guerre), accords internationaux, etc.

Cinquante ans avant le non moins faux *missile gap* américain de 1957–1960, le faux *Dreadnought gap* de 1908–1909 en Grande-Bretagne donne lieu à de curieux développements. Le ralentissement prévu à quatre par an des commandes anglaises après 1908 conduit le directeur des Coventry Ordnance Works à prétendre que l’Allemagne s’appête à construire secrètement davantage de cuirassés qu’officiellement annoncé; Lord Balfour, leader de l’opposition, prétend qu’en 1912 l’Allemagne possèdera 21 Dreadnoughts, contre 16 britanniques. Il est de fait qu’en 1908 Krupp met deux nouveaux navires sur cale avant même que le budget correspondant ne soit voté; Tirpitz, qui a signé secrètement le contrat pour l’un des deux navires, prétend que ces chantiers privés le font “à leurs risques et périls, avec leurs propres ressources et pour éviter d’avoir à débaucher des ouvriers” et qu’il n’est pas question d’accélérer le rythme des constructions¹⁰⁹. Ces “informations” provoquent une énorme polémique dans la presse et les milieux politiques entre partisans d’un programme annuel de quatre Dreadnoughts et ceux qui en veulent six; le *Daily Mail*, qui en rajoute toujours, explique que

quatre-vingt pour cent du coût d’un navire de guerre va aux travailleurs

qui le construisent (Massie, p. 623). La conclusion de l’affaire est résumée par Churchill : ayant à choisir entre quatre et six, *we compromised on eight*; l’affaire est exposée en détail dans Massie et surtout Noël-Baker. Le résultat de toutes ces campagnes, appuyées dans tous les grands pays par des Ligues maritimes fort influentes jouant des peurs du public, est clair : entre 1908 et 1914, le budget de la marine passe de 32 à 51 millions de livres en GB (total

¹⁰⁷ En 1905, l’amiral Fisher, qui tente d’imposer sa stratégie des Dreadnoughts, menace d’accepter la présidence d’Armstrong-Whitworth aux appointements de 20.000 livres sterling par an, soit quatre fois ce qu’il reçoit du gouvernement (Massie, p. 499).

¹⁰⁸ En 1913, le député socialiste Karl Liebknecht reçoit sous enveloppe anonyme des informations –qu’il rend publiques– prouvant que le représentant de Krupp à Berlin, Brandt, a obtenu des quantités de documents secrets sur le budget à venir du ministère de la Guerre et les armements prévus. On est obligé d’enquêter, ce qui conduit à un énorme scandale et à des révélations sur les relations financières de Brandt avec de hauts fonctionnaires et militaires. L’affaire se termine par un procès, des mois de prison et des expulsions de l’armée. Voir Manchester, chap. 11, ou Noël-Baker, p. 144–150, dont les récits coïncident pour l’essentiel, sinon dans les détails.

¹⁰⁹ On s’apercevra effectivement plus tard que les informations de Mr. Mulliner sont parfaitement fausses; la flotte allemande de 1912 ne comporte que 9 Dreadnoughts et, de toute façon, le budget allemand, devant être approuvé par le Reichstag, est public.

pour la période : 309 millions, tables détaillées dans Sumida), et de 16 à 23 en Allemagne.

Les exportations soulèvent autant ou davantage de problèmes à l'époque que de nos jours. Pots de vins aux acheteurs. Prix à l'exportation inférieurs à ceux que l'on demande au gouvernement national : en Allemagne, Krupp est quasiment le seul fabricant de blindages navals (son concurrent sarrois, Dillinger, n'est pas de taille à le concurrencer et s'entend avec lui) et peut pratiquement imposer ses prix, au besoin en menaçant de se retirer de ce secteur, alors qu'à l'étranger il se heurte notamment aux Américains (Carnegie, Bethlehem Steel et Midvale Steel) qui se concurrencent entre eux et pratiquent des prix très inférieurs aux siens ; Tirpitz songe sérieusement, à diverses époques, à importer des plaques américaines. Il y a aussi et surtout le problème des ventes à des ennemis potentiels. Krupp vend à la Russie ses premiers canons en acier dont ne veulent pas ses concitoyens (il faudra l'intervention du futur Guillaume II pour les faire adopter après quelque quinze ans de démarches et de démonstrations). Malgré Bismark, il vend les memes canons à l'Autriche trois mois avant la guerre de 1866 : un contrat est un contrat. Il les propose, sans succès car on ne veut pas couler Schneider, à la France avant 1870. Il installe des usines en Russie. En 1906, alors que commence la course aux Dreadnoughts, le Ministre anglais de la Marine révèle que Krupp est disposé à fournir à l'Angleterre huit navires par an (Manchester, chap. 11) ; on refuse poliment.

En Angleterre, Vickers et Armstrong exportent parfois des croiseurs supérieurs à ceux de la Royal Navy, ainsi obligée de suivre sous peine de se voir dépassée par le Chili (!), ou sont en train de construire des Dreadnoughts pour la Turquie en 1914 (on les confisque). Les mitrailleuses de (later Sir) Hiram Maxim, financé par les frères Vickers en 1884, sont fabriquées sous licence par Krupp dès 1888, année où, avec la bénédiction de Lord Rothschild, la Maxim Gun Cy fusionne avec la Nordenfeld Gun and Ammunition Cy présidée par un amiral. Celle-ci apporte un voyageur de commerce de talent, Basil Zaharoff (later Sir et Grand Croix de la Légion d'Honneur), qui financera des chaires d'aéronautique à Paris-Sorbonne pour Painlevé, Saint-Petersbourg et Londres avant 1914. La compagnie périclitant par manque de commandes -c'est la Grande Guerre qui ouvrira vraiment les yeux des militaires sur les vertus des mitrailleuses- et de talent administratif, Lord Rothschild lui donne en 1895 un nouveau directeur général, Sigmund Loewe ; le frère de celui-ci, Ludwig, qui fabrique les meilleures machines-outils du monde, a fondé et dirige la principale fabrique allemande d'armes individuelles pour l'armée. En dépit des efforts des fabricants allemands pour égaler les turbines Parsons, celles-ci, fabriquées en Allemagne, équipent la Marine Impériale (Weir, p. 71-72). Le superbe laboratoire central de la société Nobel, qui domine le marché des explosifs en Grande-Bretagne (on finit par avoir recours à elle malgré l'affaire de la cordite), est à Berlin. On pourrait multiplier les exemples. En ce qui concerne Schneider, autorisé à

exporter après 1880, la théorie officielle est que, dans ce domaine, la maison obéit strictement à la politique gouvernementale; même si c'est le cas, il suffit de contempler la situation de 1994 pour éprouver des doutes quant aux vertus des résultats... On voit aussi apparaître des arguments fort actuels. Dès 1873, Krupp explique que les exportations permettent de diminuer le cout des armements nationaux, ce que, dans son cas, l'avenir sera loin de confirmer puisqu'il profitera abondamment de son monopole des plaques blindées et canons lourds de Marine et de l'appui inconditionnel du Kaiser pour imposer ses prix à la *Reichsmarine*.

Le progrès des armements a naturellement pour principal objectif de périmer ceux de l'ennemi potentiel; l'apparition du Dreadnought oblige les Allemands à modifier leurs plans en catastrophe, d'où seize mois de retard. Fisher formule la théorie dans son inimitable style :

THE GREAT SECRET IS TO PUT OFF TO THE VERY LAST HOUR THE SHIP (big or little) that you mean to build (OR PERHAPS NOT BUILD HER AT ALL!). You see your rival's plans fully developed, their vessels started beyond recall, and in each individual answer to each such rival vessel you plunge with a design 50 per cent better! knowing that your rapid shipbuilding and command of money will enable you to have your vessel fit to fight as soon, if not sooner, than the rival vessel... (Lettre à Churchill, Noël-Baker p. 406).

Do you know that the ships we have just laid down are as far beyond the Dreadnought as the Dreadnought was beyond all before her! And they will say again, "D—n that blackguard! Again a new era of Dreadnoughts!" But imagine the German "wake-up" when these new ships by and by burst on them! 70,000 horsepower!!! and guns that will gut them!!! (Sumida, p. 162)

Mais les nouveaux armements périment aussi ceux du pays qui innove. Les obus à la melinite, laquelle passe rapidement en Grande-Bretagne et en Allemagne comme on l'a dit plus haut, ouvrent d'énormes brèches dans les fortifications françaises qu'on est obligé de bétonner (Doise et Vaïsse). Les Dreadnoughts de 1905, introduits au moment précis où la Royal Navy est au sommet de sa puissance, périment tous les cuirassés anglais construits dix ans auparavant —l'amiral Fisher retire du service 154 navires en tous genres, ce qui lui vaut de solides inimitiés qui le forceront à se retirer en 1910— puisque les Allemands s'en inspirent aussitôt et que, de plus, les constructeurs britanniques peuvent en exporter. Il arrive aussi qu'un métallurgiste, disons Krupp ou Armstrong, mette sur le marché l'année N un blindage résistant à tous les projectiles connus et, l'année N + 3, un obus perçant ses increvables blindages; on organise des concours internationaux. Comme le notent Carr et Taplin, il existe en Angleterre une compétition nationale entre fabricants de blindages et fabricants de canons.

Tout se passe en fait fort bien grâce aux accords d'échanges de brevets existant à l'intérieur de cette très internationale communauté, sans parler de l'espionnage. Pour la fabrication de blindages en acier au nickel dont la surface est durcie au carbone, tout le monde utilise le brevet américain Harvey de 1890 et, peu après, la méthode Krupp qui l'améliore; pour la délicate technique des fusées d'obus de marine, Vickers acquiert un autre brevet Krupp. Ces échanges de brevets impliquent non seulement des redevances mais aussi parfois une mise en commun des améliorations techniques ultérieures comme dans le cas que l'on vient de mentionner. On n'en est pas encore vraiment à construire des SS-20 et des Pershing pour les envoyer à la casse d'un commun accord attendu que, dans le cas qui nous occupe, on finira par s'en servir, mais on n'en est plus très loin. Tous ces aspects étranges du commerce des armes donneront lieu après 1918 à une enquête systématique de la Société des Nations, jamais rendue officielle, à laquelle participera Noël-Baker; d'où son livre, écrit grâce notamment à l'aide de la Rockefeller Foundation.

A tort ou à raison, la croissance de la flotte allemande inquiète de plus en plus les Anglais. Elle débute, à très petite échelle, en 1880 et sera dirigée jusqu'à la Grande Guerre par von Tirpitz que Guillaume II, *darling grandchild* de la reine Victoria, soutiendra au même titre que Krupp contre tous ses critiques. Elle est motivée, comme celle de la Royal Navy trois siècles auparavant, par le désir d'acquérir un empire colonial ou des zones d'influence, en Chine par exemple : la nécessité d'une marine puissante va alors de soi dans la logique impérialiste de l'époque. S'ajoute à cela, de la part du Kaiser, duquel toute la politique navale dépend directement, un mélange de complexe d'infériorité et d'admiration à l'égard de l'Angleterre et de sa marine.

La stratégie de von Tirpitz consiste à construire au fil des ans, sans trop se soucier des réactions anglaises, une flotte dont le financement est assuré par des lois de programmation militaire pluri-annuelles que les violentes attaques des socialistes au Reichstag ne parviennent pas à mettre en échec. Tirpitz ne cherche pas à surpasser la Marine anglaise; il espère parvenir à une quasi-égalité vers 1919 et se contenterait même d'un rapport 2/3 puisque l'Angleterre, avec son Empire, ne pourra jamais concentrer toute sa flotte en mer du Nord; il doit au surplus tenir compte du coût d'une armée de terre de 600.000 hommes. Il désire faire courir à la Royal Navy un risque suffisant pour lui interdire d'attaquer, mais il est aussi fort conscient de l'existence, entre 1905 et cette date future, d'une dangereuse période de vulnérabilité vis-à-vis des Anglais et déplorera l'arrivée, trop tôt, de la guerre en 1914.

Compte-tenu de la composition de la flotte allemande -navires de bataille plutôt que croiseurs destinés à protéger les lignes de communication-, les Anglais ne peuvent en imaginer d'autre usage que d'attaquer la Navy, voire même de protéger un débarquement. On évoque l'idée d'un Pearl-Harbor allemand avant la lettre, l'amiral Fisher évoquant symétriquement

devant Edouard VII celle d'une attaque préventive contre la flotte de von Tirpitz (le roi lui répond "*My God, Fisher, you must be mad!*", Massie, p. 406). Tout le monde se rend bien compte que la course aux armements engouffre des sommes astronomiques sans autre résultat prévisible que de transformer chacun des participants en une "menace" pour les autres, de sorte que la dissuasion nucléaire de l'époque sert en réalité et principalement à attiser l'hostilité entre "ennemis potentiels". On voit même avant 1914 des tentatives de contrôle des armements navals; elles échouent sur le problème des inspections, comme durant la guerre froide, et sur la condition, un peu exagérée, posée par l'Allemagne que la Grande-Bretagne reste neutre lors d'un conflit sur le continent. Mais pourquoi s'effrayer? A la Conférence pour la Paix de 1906, qui n'aboutit à quasiment rien, tout le monde a reconnu (Marder, p. 134) que la meilleure façon d'éviter la guerre est de s'y préparer¹¹⁰. C'est ce que confirmera un témoin compétent :

*The enormous growth of armaments in Europe, the sense of insecurity and fear caused by them – it was these that made war inevitable*¹¹¹.

ERRATUM

- Comme des lecteurs attentifs nous l'on signalé, la liste des agrégé(e)s 1821-1950 que nous avons publiée dans la gazette numéro 59 (pages 9 à 24) omettait plusieurs des prénoms des lauréats et estropiait plusieurs noms. Nous prions nos lecteurs et tout particulièrement les personnes dont le nom a été victime de coquilles d'accepter nos plus humbles excuses.

¹¹⁰ Sur toute cette période qui ressemble tant, en plus cynique si possible, à celle que nous avons connue depuis 1945, voir McNeill, Scott, Sumida, Marder et Massie. Le brûlot classique sur les "marchands de canons", Philip Noël-Baker, *The Private Manufacture of Armaments* (1936, rééd. Dover, 1980), armé d'une documentation et d'une argumentation impressionnantes, n'est pas cité par les auteurs précédents. On se demande pourquoi, Noël-Baker ayant par la suite reçu un prix Nobel pour la Paix et un titre de Lord, ce qui devrait au moins en faire un "gauchiste" honorable. La littérature française du sujet semble quasi inexistante; en particulier, Doise et Vaïsse sont d'une grande discrétion sur le genre de détails qui préoccupe Noël-Baker.

¹¹¹ Lord Grey, après la guerre; noter que Grey ne prétend pas que la course aux armements ait été la cause de la guerre. Au soir du 3 août 1914, le chef du Foreign Office a eu une réaction plus émotionnelle et non moins connue : "*The lamps are going out all over Europe. We shall not see them lit again in our lifetime*"

MATHÉMATIQUES

————— QUELQUES COUPS DE PROJECTEURS —————

————— SUR LES TRAVAUX DE JACQUES TITS —————

(à l'occasion de la remise du Prix Wolf)

Alain VALETTE

Institut de Mathématiques – Neuchâtel Suisse

0. Introduction.

Un article sur les travaux de Jacques Tits par quelqu'un qui se considère comme analyste? Oui, cela peut se concevoir, dans la mesure où, de nos jours, il est impossible de travailler en analyse harmonique ou en représentations de groupes sans rencontrer Tits tôt ou tard. Que l'on s'intéresse aux groupes de Lie réels, aux groupes algébriques sur un corps quelconque, ou aux groupes simples finis, les contributions de Tits jouent un rôle central.

Au vu de ces premières lignes, un lecteur qui ne connaîtrait pas Tits pourrait penser que celui-ci est algébriste; or, s'il fallait absolument coller à Tits une étiquette autre que celle de mathématicien, ce serait plutôt celle de géomètre qui lui conviendrait. En effet, pour lui, les groupes apparaissent moins comme groupes abstraits que comme groupes d'automorphismes de structures géométriques ou combinatoires. Il assume d'ailleurs la paternité de certaines structures géométrico-combinatoires fort riches –les immeubles– qui ont permis la compréhension de la structure fine des groupes algébriques simples (spécialement sur les corps locaux) et qui, même sur des sujets plus classiques comme les groupes de Lie simples réels et les groupes simples finis, ont imposé un nouveau point de vue, à la fois fécond et unificateur.

Par l'importance et l'esprit de ses travaux, Jacques Tits apparaît pour moi comme le successeur naturel d'Elie Cartan; les deux maîtres se rejoignent d'ailleurs par leur exploitation systématique de l'homogénéité des structures géométriques, ainsi que par leur souci constant de classification.

Né en 1930, Jacques Tits est l'auteur d'environ 170 articles. Il serait donc fastidieux de se lancer dans un compte-rendu analytique de son oeuvre. Je choisirai donc de donner une description hautement impressionniste de ses travaux, inspirée avant tout par mes goûts personnels.

1. Le Théorème de l'Alternative.

“Tout est bon chez elle, y a rien à jeter; Sur l'île déserte il faut tout emporter.” (Georges Brassens)

Si malgré tout j'étais obligé d'isoler dans l'oeuvre de Tits un unique résultat avant de partir pour l'île déserte, je choiserais le Théorème de l'Alternative, que Tits a démontré en 1972 [5]. En effet, ce théorème remplit pour moi tous les critères des belles mathématiques : un résultat profond, un énoncé simple (qu'on peut présenter même au niveau Maîtrise), une preuve qui utilise toute une variété de techniques, une liste impressionnante de corollaires.

Théorème de l'Alternative : Soit Γ un groupe linéaire (c'est-à-dire un sous-groupe de $GL_n(K)$, pour un certain $n \geq 1$ et un certain corps commutatif K). On suppose soit que la caractéristique de K est nulle, soit que Γ est finiment engendré. On a alors l'alternative suivante : ou bien Γ est virtuellement résoluble, ou bien Γ contient le groupe libre sur deux générateurs.

On rappelle qu'un groupe Γ est *virtuellement résoluble* (resp. *virtuellement nilpotent*) si Γ possède un sous-groupe d'indice fini qui est résoluble (resp. nilpotent). Il est facile de vérifier qu'un groupe libre sur au moins deux générateurs n'est pas résoluble et, en utilisant le fait que tout sous-groupe d'indice fini d'un groupe libre non abélien est encore libre non abélien, qu'un tel groupe libre n'est pas non plus virtuellement résoluble. Ceci pour dire que, dans le théorème ci-dessus, on est bien en présence d'une alternative. Intuitivement, le théorème signifie qu'un groupe linéaire, ou bien est obtenu par des extensions successives de groupes abéliens ou finis, ou bien contient un sous-groupe qui est “le moins commutatif possible”, c'est-à-dire libre. Notons que la restriction soit à la caractéristique 0, soit au cas de génération finie, ne peut être levée : si K est la clôture algébrique d'un corps fini alors, pour $n \geq 2$, le groupe $\Gamma = SL_n(K)$ n'est pas virtuellement résoluble (car il est presque simple), et ne peut contenir le groupe libre L_2 sur 2 générateurs (car c'est un groupe de torsion)¹.

La preuve de l'Alternative repose –entre autres– sur un lemme très simple qui assure qu'un groupe est libre; ce lemme remonte à F. Klein (qui l'appelait “der Process der Ineinanderschiebung” [Kle]), et a été retrouvé par Tits; depuis, ce lemme a été popularisé (voir par exemple [Har]) sous le nom de

Lemme “du ping-pong” : Si a, b sont 2 permutations d'un ensemble X , et s'il existe deux parties disjointes non vides A, B de X telles que

¹ On sait aussi [Lic] que l'Alternative est fautive pour les sous-groupes de $GL_n(D)$, où D est une algèbre à division non commutative.

$a^m(B) \subset A, b^n(A) \subset B$ pour tous $m, n \in \mathbb{Z} \setminus \{0\}$, alors le sous-groupe du groupe symétrique de X engendré par a et b est libre sur a et b .

Joint à la classification des isométries du plan hyperbolique, ce lemme suffit essentiellement à démontrer l'Alternative pour les sous-groupes de $PSL_2(\mathbb{R})$ (voir [Har]), en utilisant la dynamique des isométries sur le cercle X à l'infini du plan hyperbolique réel; ainsi, si a et b sont des isométries paraboliques ou hyperboliques sans point fixe commun sur X , on applique le lemme du ping-pong à des voisinages A et B disjoints des points fixes de a et b , pour conclure que, pour m, n assez grands, a^m et b^n engendrent une copie de L_2 . Bien sur, la situation est simplifiée en dimension 2 par le fait que le stabilisateur dans $PSL_2(\mathbb{R})$ d'un point du plan hyperbolique réel est isomorphe à $PSO(2)$, donc est abélien; les sous-groupes formés d'isométries elliptiques ne font donc pas problème.

La situation change dès qu'on remplace $PSL_2(\mathbb{R})$ par $PSL_2(\mathbb{C})$, le groupe des isométries préservant l'orientation de l'espace hyperbolique réel de dimension 3. Ici les stabilisateurs des points sont isomorphes à $PSU(2)$, et une des difficultés consiste à démontrer l'Alternative pour un sous-groupe Γ de $PSU(2)$: les éléments de Γ sont des isométries elliptiques (c'est à dire conjuguées à une matrice de la forme $\begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda^{-1} \end{pmatrix}$, avec $(|\lambda| = 1)$, et on ne peut plus faire appel à un argument de ping-pong basé sur la dynamique des isométries sur la sphère à l'infini. Partant de la constatation que la distinction entre isométries elliptiques et hyperboliques n'est pas une notion purement algébrique (puisqu'elle fait appel au module d'un nombre complexe), Tits introduit une idée (d)étonnante, qui consiste à faire "exploser" le groupe Γ au moyen d'un automorphisme sauvage de \mathbb{C} ; par exemple, si $g = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda^{-1} \end{pmatrix}$ est un élément de $\Gamma \subset PSU(2)$, et si λ est transcendant, on trouve un automorphisme α de \mathbb{C} tel que $|\alpha(\lambda)| \neq 1$. Donc, on peut remplacer Γ par $\alpha(\Gamma)$, qui contient l'élément *hyperbolique* $\alpha(g)$. Ce procédé a bien sur ses limites : si λ est un nombre algébrique dont tous les conjugués sont de module 1 (par exemple $\lambda = \frac{3+4i}{5}$), on ne peut transformer l'élément elliptique g en un hyperbolique. Pour passer outre, Tits introduit un lemme remarquable (lemme 4.1 de [5]) qui permet de changer de corps en plongeant K dans un corps local non nécessairement archimédien (même si K est donné comme sous-corps de \mathbb{C}) :

Lemme : Soit K un corps finiment engendré. Si $\lambda \in K$ n'est pas une racine de l'unité dans K , il existe une extension F de K munie d'une valeur absolue $|\cdot|$ telle que $|\lambda| \neq 1$.

On voit donc que, pour démontrer l'Alternative pour les sous-groupes de $SL_2(K)$, on se ramène à la démontrer pour les sous-groupes de $SL_2(F)$ où

F est un corps valué; dans ce contexte, on peut utiliser la dynamique de l'action de $SL_2(F)$ sur la droite projective $\mathbf{P}^1(F)$, où on sera susceptible d'utiliser le lemme du ping-pong.

Pour démontrer l'Alternative pour les sous-groupes Γ de $GL_n(F)$, l'idée est aussi d'étudier la dynamique de l'action sur l'espace projectif $\mathbf{P}^{n-1}(F)$ à $n - 1$ dimensions. Si $g \in \Gamma$ est un élément diagonalisable sur F tel que, pour g et g^{-1} , la multiplicité de la valeur propre de plus grande valeur absolue soit 1, alors la dynamique de g est très semblable à celle d'une isométrie hyperbolique du plan hyperbolique réel : Γ a exactement un point fixe attracteur et un point fixe répulseur sur $\mathbf{P}^{n-1}(F)$. Sinon, il faut être prêt à modifier la représentation qui définit Γ ; ainsi, si la somme des multiplicités des valeurs propres de plus grande valeur absolue de g vaut k alors, dans la puissance extérieure k -ième de la représentation définissante, g aura un unique point fixe attracteur sur $\mathbf{P}^{N-1}(F)$, avec $N = \binom{n}{k}$.

Parlons maintenant des corollaires de l'Alternative. Rappelons qu'un groupe Γ est moyennable si toute action affine de Γ sur un convexe compact non vide d'un espace vectoriel topologique séparé possède un point fixe. Les groupes finis sont trivialement *moyennables*, et les groupes abéliens le sont par le théorème de Markoff-Kakutani. Il est facile de vérifier que la moyennabilité est préservée par suites exactes courtes; donc les groupes virtuellement résolubles sont moyennables. Dans son article fondamental [Neu] de 1929, von Neumann montre que la moyennabilité est préservée par passage aux sous-groupes, et que L_2 n'est pas moyennable; donc un groupe qui contient une copie de L_2 n'est pas moyennable; von Neumann demande si un groupe finiment engendré et non moyennable contient nécessairement une copie de L_2 . Le théorème de Tits montre que la réponse est affirmative pour les groupes linéaires. Par la suite, Ol'shanskii [Ols] a montré que la réponse est négative en général, et Gromov [Gr2] a montré que L_2 possède une infinité non dénombrable de quotients non moyennables qui sont des groupes de torsion, donc qui ne peuvent contenir L_2 . La question de von Neumann est toujours ouverte pour les groupes de présentation finie.

Si Γ est un groupe finiment engendré où l'on a fait choix d'une partie génératrice finie S , la *longueur* $l(g)$ d'un élément g de Γ est le nombre minimal de lettres de $(S \cup S^{-1}) \setminus \{1\}$ nécessaires pour épeler g . Pour $n \in \mathbf{N}$, notons $b(n)$ le nombre d'éléments g de Γ tels que $l(g) \leq n$; la fonction $n \rightarrow b(n)$ s'appelle la *fonction de croissance*² de Γ . Pour le groupe libre L_N sur N générateurs a_1, \dots, a_N , avec $S = \{a^1, \dots, a^N\}$, on a

$$b(n) = \frac{N(2N - 1)^n - 1}{N - 1}$$

² Il y a là un abus évident de terminologie, puisque $b(\cdot)$ dépend du choix de la partie génératrice S . Néanmoins, on montre facilement que les fonctions de croissance $b - 1$, b_2 associées à deux parties génératrices finies $S - 1$, S_2 de sont liées par une double inégalité $b - 1(n/c) \leq b_2(n) \leq b - 1(cn)$ pour un certain $c > 1$ et tout $n \in \mathbf{N}$.

La notion de croissance d'un groupe est due indépendamment à Svarc [Sva] et Milnor [Mil]. On dit que Γ est à *croissance polynomiale* s'il existe deux constantes $C, d > 0$ telles que $b(n) \leq C.n^d$ pour tout n , et que Γ est à *croissance exponentielle* s'il existe deux constantes $C, \alpha > 0$ telles que $b(n) \geq C.e^{\alpha n}$ pour tout n . Wolf avait montré [Wol] qu'un groupe presque nilpotent est à croissance polynomiale³, et avait demandé si un groupe qui n'est pas à croissance exponentielle est nécessairement à croissance polynomiale. L'Alternative montre que la réponse est affirmative pour les groupes linéaires : en effet, un groupe linéaire qui n'est pas à croissance exponentielle ne peut contenir L_2 , donc est nécessairement virtuellement résoluble; or un groupe virtuellement résoluble qui n'est pas virtuellement nilpotent est à croissance exponentielle [Mi2], [Wol], [13]. Ce résultat de Tits a ouvert la route au fameux théorème de Gromov [Gr1], [14] qui affirme qu'un groupe à croissance polynomiale est nécessairement virtuellement nilpotent; l'Alternative joue d'ailleurs un rôle crucial dans la preuve de Gromov. Des groupes à croissance intermédiaire (ni polynomiale, ni exponentielle) ont été construits par la suite par Grigorchuk [Gri].

2. Le groupe des points rationnels d'un groupe algébrique simple, vu comme groupe abstrait.

La structure des groupes classiques ($SL_n(K), Sp_{2n}(K)$, groupes d'isométries de formes quadratiques, de formes hermitiennes, ...) est détaillée dans les traités d'Artin [Art] et de Dieudonné [Die]. Les problèmes de simplicité, ainsi que de classification des isomorphismes et des automorphismes y sont étudiés au coup par coup. Dans [2] et [7] (ce dernier article en collaboration avec Armand Borel), Tits obtient des résultats qui fournissent quasiment tous les résultats "classiques" comme cas particuliers.

Si G est un groupe algébrique (absolument presque) simple défini sur un corps K , on note $G(K)$ le groupe des points rationnels sur K . Le théorème principal de [2] affirme qu'en général $G(K)$ contient un "gros"⁴ sous-groupe G^+ qui est simple modulo son centre, sauf dans quelques cas entièrement classés, à corps K petit. Plus précisément, on a le

Théorème : Soit K un corps ayant au moins 4 éléments. Le sous-groupe G^+ de $G(K)$ engendré par les K -sous-groupes unipotents déployés de G est simple modulo son centre.

Ce théorème de simplicité est lié à l'existence dans $G(K)$ de ce que Tits appelle une BN -paire, et que tout le monde appelle dorénavant *système de Tits*, suivant Bourbaki [Bou]; nous y reviendrons au § 4.

³ Dans ce cas, la formule donnant le degré exact de croissance de $b(\cdot)$ est due à Bass [Bas].

⁴ "Gros" doit se comprendre comme suit : si K est infini, G^+ est Zariski-dense dans $G(K)$.

Le point de vue adopté dans [7] est de considérer les homomorphismes entre groupes algébriques, et pas seulement les isomorphismes ou automorphismes.

Théorème : Si G' est un groupe algébrique simple de type adjoint défini sur un corps K' , et $\alpha : G(K) \rightarrow G'(K')$ un homomorphisme de groupes abstraits à image Zariski-dense, alors il existe un plongement $\phi : K \rightarrow K'$ tel que α est obtenu comme composée de l'homomorphisme $G(K) \rightarrow {}^\phi G(K')$ (où ${}^\phi G$ est le groupe algébrique sur K' obtenu via le changement de base ϕ), et d'une isogénie ${}^\phi G \rightarrow G'$ définie sur K'^5 .

Ce résultat est à rapprocher de la super-rigidité de Margulis, complétée par Corlette-Gromov-Schoen (voir [10], [Mar], [Zim], ou [Pan] pour un exposé récent). En effet, soient K le corps des réels et K' un corps localement compact; on suppose que $G(\mathbf{R})$ est non compact et n'est localement isomorphe ni à $SO(n, 1)$ ni à $SU(n, 1)$; soit Γ un réseau dans $G(K)$; alors un homomorphisme $\alpha : \Gamma \rightarrow G'(K')$ dont l'image est Zariski-dense mais non relativement compacte pour la topologie localement compacte de $G'(K')$, se prolonge à $G(\mathbf{R})$. Un tel α est donc décrit par le résultat de Borel-Tits (en particulier, si K' est non archimédien, il n'y a pas de plongement de \mathbf{R} dans K' , par [7], donc un homomorphisme $\Gamma \rightarrow G'(K')$ est nécessairement à image relativement compacte).

A propos de la super-rigidité de Margulis, rappelons qu'un des corollaires célèbres de la super-rigidité est l'arithméticité des réseaux : si Γ est un réseau dans un groupe $G(\mathbf{R})$ comme ci-dessus, il existe un groupe algébrique semi-simple H défini sur \mathbf{Q} et un homomorphisme $\psi : H(\mathbf{R}) \rightarrow G(\mathbf{R})$, propre, continu et surjectif, tels que Γ est commensurable à $\psi(H(\mathbf{Z}))$, où $H(\mathbf{Z})$ est le groupe des points entiers de H . Or les groupes algébriques semi-simples définis sur \mathbf{Q} sont classés [3]. Par ce biais, le théorème d'arithméticité de Margulis peut être vu comme un résultat de classification, à commensurabilité près, des réseaux dans les groupes de Lie simples réels non compacts et distincts de $SO(n, 1)$, $SU(n, 1)$.

3. Arbres et arbres réels.

“Après de mon arbre, je vivais heureux...” (Georges Brassens)

Un arbre est un complexe simplicial de dimension 1, connexe et simplement connexe. L'intérêt de Tits pour ces graphes vient du fait que les arbres où tout sommet est au moins de degré 2 sont exactement les immeubles affines de dimension 1 (voir § 4); on sait aussi que, si K est un corps à valuation

⁵ Rappelons qu'il est permis de penser à une isogénie comme à un analogue algébrique d'un revêtement fini.

discrète, le groupe $SL_2(K)$ agit proprement sur l'arbre homogène de degré $q + 1$, où q est l'ordre du corps résiduel de K ; cette action est transitive sur les arêtes géométriques, et a deux orbites sur les sommets (voir [Ser]).

Tits fut le premier à étudier systématiquement le groupe des automorphismes d'un arbre, dans les deux articles [4] et [11]. Dans [4], il démontre que les automorphismes d'un arbre X se répartissent en trois types très simples :

- *les rotations, ou automorphismes elliptiques* : ce sont les automorphismes de X qui fixent au moins un sommet de X ;
- *les inversions* : ce sont les automorphismes de X qui permutent deux sommets voisins de X (si nécessaire, on peut les ramener à des automorphismes elliptiques, en remplaçant X par son premier subdivisé barycentrique) ;
- *les translations, ou automorphismes hyperboliques* : ce sont les automorphismes de X qui ne fixent ni sommet ni arête de X ; on montre qu'un tel automorphisme g stabilise un unique sous-arbre de X isomorphe à la chaîne doublement infinie, le long duquel g agit par translation.

Tits s'intéresse à la structure du groupe $G = \text{Aut}X$ des automorphismes de X , et montre qu'elle présente des similitudes avec celle des groupes algébriques simples définis sur un corps. Avant d'énoncer le résultat principal, rappelons qu'une *demi-droite* d'un arbre X est une chaîne simplement infinie dans X ; deux demi-droites de X sont *équivalentes* si leur intersection contient une demi-droite ; un bout de X est une classe d'équivalence de demi-droites.

Théorème : Notons G^+ le sous-groupe de G engendré par les stabilisateurs des sommets de X . Le groupe quotient G / G^+ est un produit libre de groupes cycliques infinis et de groupes à deux éléments. Si G ne conserve aucun sous-arbre propre de X et aucun bout de X , alors G^+ est un groupe simple.

L'étude des groupes d'automorphismes d'arbres et de leurs sous-groupes a reçu de nombreux prolongements, voir par exemple [BaK]. D'autre part, les résultats de Tits sont à l'origine de l'*analyse harmonique sur les arbres*, inaugurée par les travaux de Cartier [Car] et qui a connu depuis d'importants développements (comme en témoignent les volumineux textes [Cho] et [FTN]).

Dans l'article [11], Tits introduit une classe remarquable d'espaces métriques : les *arbres réels*. Un arbre réel est un espace métrique entre deux points duquel passe un arc unique, qui de plus est isométrique à un intervalle de \mathbf{R} . Un arbre est canoniquement un arbre réel, si on remplace chaque arête par une copie de $[0,1]$ et si on prolonge de manière naturelle la métrique combinatoire de l'arbre. Mais il y a bien d'autres exemples, comme le plan euclidien muni de la métrique des chemins de fer français⁶ :

⁶ Notons P pour Paris. Si d désigne la distance usuelle du plan, on définit la métrique des

cet exemple montre déjà qu'en général, un arbre réel n'est pas localement compact; pour un autre exemple, beaucoup plus homogène celui-là, le lecteur pourra essayer de se représenter $\mathbf{R} * \mathbf{R}$, produit libre de 2 copies de la droite réelle : ce dernier exemple montre que les notions de sommets et d'arêtes perdent leur sens dans un arbre réel.

Tits montre que, si K est un corps muni d'une valuation pas nécessairement discrète, il existe une action isométrique de $SL_2(K)$ sur un arbre réel; dans le cas où la valuation est discrète, on retrouve l'action habituelle de $SL_2(K)$ sur son arbre.

Si X est un arbre réel, les isométries de X se répartissent en deux classes : les isométries elliptiques, qui possèdent un point fixe, et les *isométries hyperboliques*, qui n'en possèdent pas; une *isométrie hyperbolique* laisse invariante l'image de \mathbf{R} par un plongement isométrique, le long de laquelle elle agit par translation.

Tits démontre qu'un groupe virtuellement résoluble agissant par isométries sur un arbre réel complet X^7 fixe un point de X , ou un bout de X , ou une paire de bouts de X . Ce résultat a pu être précisé dans [CuM], [Neb], [PaV], sous forme d'une "Alternative de Tits" qui s'énonce comme suit. Soit Γ un groupe agissant par isométries sur un arbre réel X ; si Γ ne fixe ni point, ni bout, ni paire de bouts de X , alors Γ contient une copie de L_2 qui agit librement et proprement discontinûment sur X .

Les arbres réels ont joué un grand rôle dans l'étude de l'espace $\mathcal{T}(M)$ des structures hyperboliques sur une variété riemannienne compacte M à courbure sectionnelle -1 : ils apparaissent comme points à l'infini dans la compactification à la Thurston de $\mathcal{T}(M)$; (travaux de Morgan-Shalen [MoS], Bestvina [Bes], Paulin [Pau]). Ceci a conduit aux travaux récents culminant avec les résultats de E. Rips sur les actions de groupes sur les arbres réels (voir [GLP]) : un groupe finiment engendré agit librement sur un arbre réel si et seulement si c'est un produit libre de groupes abéliens libres et de groupes de surfaces⁸.

4. Immeubles et systèmes de Tits.

"L'un veut son or, l'autre ses meubles, Qui ses bijoux, qui ses bibelots, Qui ses forêts, qui ses immeubles, Qui ses tapis, qui ses tableaux." (Georges Brassens)

On ne peut présenter les travaux de Tits sans mentionner la théorie des

chemins de fer français par $d_{SNCF}(x, y) = d(x, y)$ si x, y sont sur la même demi-droite issue de P , et $d_{SNCF}(x, y) = d(x, P) + d(P, y)$ sinon. Noter que P n'a aucun voisinage compact.

⁷ La complétion d'un arbre réel est encore un arbre réel [Morgan-Shalen]; l'hypothèse de complétude n'est donc pas restrictive.

⁸ Un théorème de simplicité pour le groupe des isométries d'un arbre réel, analogue à celui énoncé plus haut pour les arbres ordinaires, a été obtenu par Tignol [Tig]. L'analyse harmonique sur un arbre réel semble ne pas avoir été développée : nous ne connaissons que [Val] dans cette direction.

immeubles, qui sous-tend la plupart de ses travaux depuis 1955. La difficulté, pour le présentateur, vient de ce qu'il s'agit de la partie la moins classique, c'est-à-dire la plus novatrice, de son oeuvre. C'est une des raisons pour lesquelles j'ai gardé les spéculations immobilières pour la section finale de cet article; une autre est que la définition-même d'un immeuble n'est pas simple (dans le livre de Tits [8] comme dans les traités de Brown [Bro] et Ronan [Ron]), cette définition n'apparaît pas avant le 3ème Chapitre.

Néanmoins, une approche des immeubles aussi concise qu'efficace figure dans la remarquable contribution [9] de Tits aux Actes du Congrès International de Vancouver (1974); je m'en suis inspiré, peut-être outrageusement, pour tenter de donner au lecteur une idée de ce que sont ces objets.

Commençons par ce que nous appellerons la *construction de base*. Soient Σ un simplexe et G un groupe. A chaque facette σ de Σ , on associe un sous-groupe G_σ de G , en exigeant $G_{\sigma \vee \tau} = G_\sigma \cap G_\tau$ quelles que soient σ et τ (où $\sigma \vee \tau$ désigne l'enveloppe convexe de $\sigma \cup \tau$)⁹. Il existe alors un unique complexe simplicial C contenant Σ , muni d'une action de G telle que le stabilisateur d'une facette σ de Σ soit exactement G_σ et que deux facettes distinctes de Σ ne soient pas dans la même orbite de G , et minimal pour ces propriétés : on prend $C = (G \times \Sigma) / \sim$ où $(g, x) \sim (g', x')$ si $x = x'$ et $g^{-1}g' \in G_x$.

Voici un premier exemple de cette construction. Un *groupe de Coxeter* est un couple (W, S) où S est un ensemble fini et W est un groupe donné par une présentation du type $W = \langle S : s^2 = 1 = (st)^{m_{st}} \text{ pour tous } s, t \in S, s \neq t \rangle$, où $m_{st} = m_{ts}$ appartient à $\{\infty, 2, 3, 4, \dots\}$. Si (W, S) est un *groupe de Coxeter*, notons Σ le simplexe de dimension $|S| - 1$ d'ensemble de sommets S . A toute facette σ de Σ , on associe le sous-groupe $W_\sigma = \langle s : s \notin \sigma \rangle$. Le complexe obtenu par la construction ci-dessus est un complexe de Coxeter.

Voici quelques exemples de complexes de Coxeter. Si $S = \{1, 2\}$ et $m_{12} < \infty$, le complexe C est un $2m_{12} - gone$; si $m_{12} = \infty$, alors C est la chaîne doublement infinie. Si $S = \{1, 2, 3\}$ et $m_{12} = 2, m_{23} = 3, m_{13} = 5$, le complexe C est isomorphe à la subdivision barycentrique de l'icosaèdre; si $m_{12} = m_{23} = m_{13} = 3$, alors C est isomorphe au pavage du plan euclidien par des triangles équilatéraux.

Posons $|S| = n$. Si le groupe de Coxeter (W, S) est fini, le complexe C se réalise comme une triangulation de la sphère S^{n-1} sur laquelle W agit par isométries; on dit alors que C est *sphérique*. Si le complexe C se réalise comme triangulation de l'espace euclidien E^{n-1} sur lequel W agit par isométries affines, on dira que C est *euclidien*, ou encore *affine*¹⁰.

Nous supposerons toujours dans ce qui suit que les groupes de Coxeter sont *irréductibles*, ce qui veut dire que la partie génératrice S ne peut être partagée en deux parties S_1, S_2 non vides qui commutent entre elles.

⁹ Il est clair au vu de cette règle qu'il suffit de se donner les sous-groupes attachés aux sommets de S .

¹⁰ Les groupes de Coxeter donnant lieu à des complexes sphériques ou affines sont classés, grâce aux travaux de Coxeter et Witt (voir [Bou]).

Définition : Un *immeuble* est un complexe simplicial Δ qui est la réunion de sous-complexes appelés *appartements*, satisfaisant aux conditions suivantes :

- a) tout appartement est un complexe de Coxeter;
- b) pour toute paire σ, τ de simplexes de Δ , il existe un appartement qui contient simultanément σ et τ ;
- c) si A, A' sont deux appartements contenant les simplexes σ et τ , il existe un isomorphisme de A sur A' qui fixe σ et τ ponctuellement.

La condition c) nous permet de parler du complexe de Coxeter C associé à un immeuble; si C est sphérique, l'immeuble est dit *sphérique*. Si C est affine, on parle d'immeuble *affine*, ou d'immeuble *euclidien*, ou encore d'immeuble de *Bruhat-Tits*, par référence au monumental article [6] de François Bruhat et Jacques Tits, où ces immeubles sont étudiés de manière exhaustive; nous y reviendrons plus bas.

Un exemple important d'immeuble sphérique s'obtient comme suit : partons d'un corps K , posons $G = SL_n(K)$ ($n \geq 3$), et considérons un simplexe Σ de dimension $n - 2$, dont les sommets sont numérotés de 1 à $n - 1$; au k -ième sommet nous attachons le groupe $G_k = \{(g_{ij}) \in G : g_{ij} = 0 \text{ pour } i > k \geq j\}$. Le complexe Δ obtenu par la construction de base est l'immeuble sphérique de G , qu'on peut voir aussi comme "complexe de drapeaux" de $\mathbf{P}^{n-1}(K)$: les sommets sont les sous-espaces projectifs propres de $\mathbf{P}^{n-1}(K)$, et les *chambres* (c'est-à-dire les simplexes de dimension maximale) sont les drapeaux maximaux :

point \subset droite \subset plan...¹¹.

Pour identifier les appartements de Δ , nous disposons déjà d'un groupe de Coxeter, à savoir le groupe de Weyl W_n de SL_n , qui n'est autre que le groupe symétrique sur n lettres; regardons W_n comme le groupe d'automorphismes du graphe complet sur n sommets (dans la philosophie de Tits, ce graphe apparaît comme "l'espace projectif de dimension $n - 1$ sur le corps à un élément", et W_n comme " SL_n du corps à un élément"). Le complexe de Coxeter associé à W_n n'est autre que la subdivision barycentrique de la surface du simplexe régulier de dimension n . Les appartements de l'immeuble Δ sont en bijection avec les systèmes de n points en position générale dans $\mathbf{P}^{n-1}(K)$.

Définition : Soit G un groupe. Une *BN-paire*, ou un *système de Tits* dans G , est la donnée de deux sous-groupes B, N tels que

- 1) $B \cup N$ engendre G ;

¹¹ Le lecteur est vivement invité à se faire un dessin, dans le cas le plus simple qui est $G = SL_3(\mathbf{F}_2)$. L'immeuble est alors un graphe biparti sur 14 sommets, dont les 28 cycles de longueur 6 correspondent aux appartements.

- 2) $B \cap N$ est distingué dans N ;
- 3) le groupe de Weyl $W = N / B \cap N$ possède un système générateur S formé d'involutions;
- 4) pour tous $s \in S, w \in W$, on a $sBw \subset BsB \cup BswB$
- 5) pour tout $s \in S : sBs \neq B$. Les conjugués de B dans G s'appellent sous-groupes de Borel; les sous-groupes contenant un sous-groupe de Borel sont dits *paraboliques*.

Dans l'exemple $G = SL_n(K)$, on prendra pour B le sous-groupe des matrices triangulaires supérieures, et pour N le normalisateur du sous-groupe des matrices diagonales.

Soit G un groupe muni d'un système de Tits; pour $X \subset S$, on note W_X le sous-groupe de W engendré par X , et on pose $G_X = BW_XB$. On montre (voir [Bou]) que G_X est un sous-groupe de G , et que l'application $X \rightarrow G_X$ est une bijection préservant l'inclusion de l'ensemble des parties de S sur l'ensemble des sous-groupes paraboliques de G qui contiennent B . Considérons le simplexe abstrait Σ dont les facettes sont exactement les parties de S ; la construction de base fournit l'immeuble associé au système de Tits. Dès 1959, Tits [1] a montré que, si G est un groupe algébrique simple défini sur un corps K , alors $G(K)$ possède une BN -paire avec groupe de Weyl fini, qui permet de construire un immeuble sphérique $\Delta(G, K)$.

Disons qu'un immeuble Δ est épais si toute facette de codimension 1 de Δ est contenue dans au moins 3 chambres. Le livre [8] de Tits est essentiellement consacré à la preuve du résultat suivant, que nous formulons sous une forme volontairement imprécise.

Théorème :

- 1) Si Δ est un immeuble sphérique épais de dimension au moins 2, il existe un corps K et un groupe algébrique simple G défini sur K tels que $\Delta = \Delta(G, K)$;
- 2) Soient K, K' des corps (de caractéristique ni 2, ni 3), et G, G' des groupes algébriques simples de type adjoint définis respectivement sur K et K' . Supposons que $\Delta(G, K)$ et $\Delta(G', K')$ soient de dimension au moins 1. Tout isomorphisme de $\Delta(G, K)$ sur $\Delta(G', K')$ provient d'un isomorphisme de $G(K)$ sur $G'(K')$ (et donc est décrit par le théorème de Borel-Tits du § 2).

Ce théorème est une généralisation profonde du "théorème fondamental de la géométrie projective" [Art] : un espace projectif abstrait de dimension au moins 3 provient d'un corps (pas nécessairement commutatif); de plus, une collinéation bijective entre deux espaces projectifs de dimension au moins 2 sur des corps provient nécessairement d'un isomorphisme de corps et d'une application linéaire relativement à cet isomorphisme. L'existence de

plans projectifs non desarguésiens est responsable de la présence d'immeubles sphériques de dimension 1 qui ne sont pas de la forme $\Delta(G, K)$.

En 1965, Iwahori et Matsumoto [IwM] font une importante découverte : si K est un corps local non archimédien, et G un groupe algébrique simple défini sur K , alors $G(K)$ possède une BN -paire avec groupe de Weyl *affine*, donc distincte de la BN -paire à groupe de Weyl fini mentionnée ci-dessus¹². A partir de $G(K)$ on construit donc deux immeubles : un immeuble sphérique, comme précédemment, et un immeuble affine, de dimension supérieure de 1 à celle de l'immeuble sphérique.

Prenons comme exemple $K = \mathbf{Q}_p$, le corps des p -adiques, et $G = SL_n$. Le système de Tits affine de $SL_n(\mathbf{Q}_p)$ s'obtient en prenant pour N le normalisateur des matrices diagonales, et $B = \{(g_{ij}) \in SL_n(\mathbf{Z}_p) : g_{ij} \in p\mathbf{Z}_p \text{ pour } i > j\}$; le sous-groupe B est donc l'image inverse dans $SL_n(\mathbf{Z}_p)$ du sous-groupe de Borel standard de $SL_n(\mathbf{F}_p)$ via la réduction modulo p . La dimension de l'immeuble affine de $SL_n(\mathbf{Q}_p)$ est $n - 1$. Ainsi, l'immeuble affine associé à $SL_2(\mathbf{Q}_p)$ est l'arbre homogène où tout sommet est de degré $p + 1$ (voir [Ser]), et les appartements sont les chaînes doublement infinies. Les appartements de l'immeuble affine associé à $SL_3(\mathbf{Q}_p)$ sont isomorphes au pavage du plan euclidien par des triangles équilatéraux. Les appartements de l'immeuble de $SL_4(\mathbf{Q}_p)$ sont isomorphes au pavage de l'espace euclidien E^3 par des tétraèdres dont les faces sont des triangles isocèles de base 2 et de hauteur $\sqrt{2}$; l'immeuble lui-même apparaît comme un assemblage (compliqué!) de ces appartements, où tout triangle est contenu dans $p + 1$ chambres.

Voici maintenant l'important théorème de classification des immeubles affines (Tits [16]) :

Théorème. *Les immeubles épais, localement finis, de type affine et de dimension au moins 3 proviennent des groupes algébriques simples de type adjoint sur les corps localement compacts non archimédiens. Tout isomorphisme entre deux tels immeubles est induit par un isomorphisme entre les groupes algébriques associés.*

Notons que les groupes algébriques simples sur les corps localement compacts non archimédiens ont été classés par – devinez qui! – [12].

Un des points dans la preuve du résultat ci-dessus consiste à construire, à partir d'un immeuble affine, un immeuble sphérique "à l'infini", de dimension moindre de 1; on dispose alors du théorème de classification des immeubles sphériques, qui fournit d'emblée un corps et un groupe algébrique simple sur ce corps.

¹² Pour éviter les confusions, on change la terminologie pour cette nouvelle BN -paire : les sous-groupes de Borel sont appelés *sous-groupes d'Iwahori*, et les sous-groupes paraboliques sont appelés *sous-groupes parahoriques*.

Les immeubles affines de dimension 1 sont exactement les arbres sans sommets terminaux; il est clair qu'ils ne peuvent être classés¹³. Le cas de la dimension 2 est très intéressant : d'une part, on dispose de "constructions libres" qui permettent de produire une infinité non dénombrable d'immeubles affines de dimension 2, non isomorphes deux à deux; d'autre part, on peut construire des exemples d'immeubles affines de dimension 2 "exotiques", c'est-à-dire non isomorphes à l'immeuble d'un groupe algébrique, et admettant malgré tout des actions de groupes "très transitives" (par exemple transitives sur les chambres [17], ou transitives sur les sommets [CMSZ]); on distingue les immeubles "classiques" des immeubles exotiques au moyen d'une propriété des sphères de rayon 2, voir [18]. L'analyse harmonique sur les immeubles affines a connu un début de développement [Gér]; dans le cas des immeubles exotiques de dimension 2, elle a donné récemment des résultats surprenants [CMS].

Une propriété importante des immeubles affines est qu'il ne s'agit pas seulement d'objets combinatoires, mais aussi d'espaces métriques. En effet, un appartement d'un immeuble affine est isomorphe à un espace euclidien; il est donc muni naturellement d'une métrique. On vérifie que, si l'on définit la distance de deux points de l'immeuble comme leur distance dans n'importe quel appartement qui les contient, on obtient une métrique sur l'immeuble, invariante par tout automorphisme de l'immeuble. Cette métrique, ainsi que la topologie sous-jacente, jouissent de propriétés tout-à-fait remarquables [6], qui font apparaître un immeuble affine comme un analogue p-adique des espaces riemanniens symétriques : unicité de la géodésique par deux points, contractibilité, courbure négative ou nulle, propriété de point fixe pour les actions de groupes compacts, et inégalité de la médiane : si x, y, z sont trois points de l'immeuble, et si m désigne le milieu de l'intervalle $[x, y]$, on a

$$d(x, z)^2 + d(z, y)^2 \geq 2d(m, z)^2 + \frac{1}{2}d(x, y)^2.$$

Les appartements sont maximaux parmi tous les sous-ensembles de l'immeuble qui sont isométriques à un espace euclidien¹⁴.

Si G est un groupe algébrique simple défini sur \mathbf{R} ou sur un corps localement compact non archimédien F , notons X l'espace riemannien symétrique de $G(\mathbf{R})$, ou l'immeuble affine associé à $G(F)$. Dans [9], Tits défend la philosophie suivante : le choix "le plus naturel" pour définir les points à l'infini de X est "souvent" fortement relié à l'immeuble sphérique $\Delta(G, .)$. Nous avons déjà vu cette philosophie en action dans le théorème de classification des immeubles affines, où Tits "compactifie" l'immeuble

¹³ Même pour les arbres qui proviennent d'un groupe algébrique simple, il se produit des phénomènes (dé)plaisants. Par exemple, \mathbf{Q}_2 possède deux extensions quadratiques non isomorphes \mathbf{K} et \mathbf{K}' telles que $SL_2(\mathbf{K})$ et $SL_2(\mathbf{K}')$ donnent le même arbre.

¹⁴ D'où le jeu de mots intraduisible des anglo-saxons : "An apartment is a flat".

affine au moyen d'un immeuble sphérique. Le bien-fondé de cette philosophie apparaît par exemple dans le livre [BGS] de Ballman-Gromov-Schroeder, où il est démontré que, si G est un groupe de Lie simple réel, et si X^∞ désigne le bord visuel de l'espace riemannien symétrique X associé à G , alors l'immeuble sphérique $\Delta(G, \mathbf{R})$ de G se réalise sur X^∞ ; la preuve n'utilise que les propriétés métriques de X . Cette compactification de X au moyen de $\Delta(G, \mathbf{R})$ a joué un rôle fondamental dans les applications, en particulier dans les calculs de cohomologie de sous-groupes arithmétiques de G (voir à ce sujet [Bro]).

Nous terminerons par ce qui est pour nous une des applications les plus impressionnantes de cette compactification, et par là de la théorie des immeubles, à savoir la preuve originale du théorème de rigidité de Mostow [Mos]. Ce résultat affirme que, si G, G' sont des groupes de Lie simples réels, non compacts, sans centre, et non isomorphes à $PSL_2(\mathbf{R})$, et si G, G' sont des réseaux de G, G' respectivement, alors tout isomorphisme de G sur G' est la restriction d'un isomorphisme analytique de G sur G' . Nous allons donner, d'après [9], l'idée de la preuve d'un cas particulier important de la rigidité de Mostow.

Théorème. *Soient G, G' deux groupes de Lie simples réels, sans centre, de rang réel au moins 2 (ce qui signifie que les immeubles sphériques $\Delta(G, \mathbf{R})$ et $\Delta(G', \mathbf{R})$ sont de dimension au moins 1). Soient Γ, Γ' deux réseaux co-compacts sans torsion dans G, G' respectivement. Tout isomorphisme $\alpha : \Gamma \rightarrow \Gamma'$ est la restriction d'un isomorphisme de G sur G' .*

Esquisse de preuve : On note X, Y les espaces riemanniens symétriques de G, G' , qu'on compactifie comme ci-dessus par X^∞ et Y^∞ respectivement. Les variétés compactes X / Γ et Y / Γ' sont des espaces classifiants pour Γ, Γ' respectivement. L'isomorphisme α induit donc une équivalence d'homotopie $\beta : X / \Gamma \rightarrow Y / \Gamma'$, qui se relève en une application $\gamma : X \rightarrow Y$. Comme Γ et Γ' sont co-compacts, γ est une quasi-isométrie, qui induit un isomorphisme entre X^∞ et Y^∞ , donc entre les immeubles sphériques $\Delta(G, \mathbf{R})$ et $\Delta(G', \mathbf{R})$. Par la généralisation du théorème fondamental de la géométrie projective, cet isomorphisme entre immeubles est induit par un isomorphisme de G sur G' .

5. En guise de conclusion.

“Ce petit groupe n'est qu'un éclat, N'est qu'un groupuscule qui est compris Dans un groupe Qui le contient et qui est plus grand...” (Guy Béart)

Pour donner une idée plus complète des travaux de Tits, il faudrait parler encore de variétés riemanniennes doublement transitives, d'univers de la relativité générale, de variétés complexes compactes homogènes, de revêtements de groupes topologiques, de groupes et algèbres de Kac-Moody, et bien sur de groupes simples finis¹⁵.

Le manque d'espace et de compétence m'en dispense. Je voudrais pour conclure redire toute mon admiration devant ce grand Monsieur des mathématiques du 20ème siècle.

Remerciements : Merci à Francis Buekenhout, qui m'a passé quelques notices sur les travaux de Tits qui m'ont été bien utiles. Par ailleurs, le lecteur intéressé par des éléments biographiques concernant Tits, et spécialement sa période bruxelloise¹⁶, consultera avec profit les articles [Bu1], [Bu2] de Buekenhout.

Références.

1) Articles sur Jacques Tits (et co-auteurs).

[1] Groupes algébriques semi-simples et géométries associées, Proc. Coll. Algebraical and topological foundations of geometry, Utrecht, août 1959; Pergamon Press, Oxford, 1962, 175-192.

[2] Algebraic and abstract simple groups, Annals of Maths. 80 (1964), 313-329.

[3] Classification of algebraic semisimple groups, Proc. Symposia Pure Math., vol. 9 (Proc. Summer Inst. on Algebraic groups and discontinuous groups, Boulder, 1965). A.M.S., 1966. 33- 62.

¹⁵ Les habitués du Séminaire Bourbaki se souviennent sans doute qu'en novembre 1983, Tits présentait les travaux de R. Griess sur le “Monstre” [15], qui est le plus gros groupe simple fini sporadique. Il avait commencé par capter l'attention de l'auditoire en hurlant : “le Monstre !”, ce qui avait provoqué l'hilarité générale. Une demi-heure plus tard, les applaudissements crépitaient DURANT l'exposé, tant la preuve de Tits de l'existence du Monstre représentait un allègement de la preuve originale.

¹⁶ Qu'on me permette de terminer cet article par une anecdote personnelle – qui est aussi une histoire belge. Tits m'a dit quelques fois : “Vous savez, Valette, je vous ai connu quand vous étiez comme ça” (mains écartées d'une cinquantaine de centimètres). De fait, en 1959, mon père Guy Valette était thésard de Jacques Tits à l'Université Libre de Bruxelles. Faut-il croire aux bonnes fées qui se penchent sur les berceaux des bébés? Toujours est-il que, 21 ans plus tard, le bébé était devenu un jeune mathématicien qui, avec en poche une bourse de recherches du FNRS belge, se cherchait un sujet et un patron de thèse. Réapparut alors la bonne fée –pardon : Tits! – qui déclara : “Jeune homme, si vous vous intéressez aux algèbres d'opérateurs, vous devez aller travailler à Paris sous la direction d'Alain Connes!” Parmi tous les conseils que j'ai reçus durant ma carrière, celui-là fut de loin le meilleur, je tenais à le dire.

- [4] Sur le groupe des automorphismes d'un arbre, *Essays on topology*, Mémoires dédiés à G. de Rham, Springer, 1970, 188- 211.
- [5] Free subgroups in linear groups, *J. of Algebra*, 20 (1972), 250-270.
- [6] (avec F. Bruhat) Groupes réductifs sur un corps local, I : Données radicielles valuées, *Publ. Math. IHES* 41 (1972), 1-252.
- [7] (avec A. Borel) Homomorphismes "abstraites" de groupes algébriques simples, *Annals of Maths.* 97 (1973), 499- 571.
- [8] Buildings of spherical type and finite BN-pairs, *Lect. Notes in Maths.* 386, Springer, 1974.
- [9] On buildings and their applications, *Proc. Int. Cong. Math. Vancouver 1974*, Vol. 1, (1975), 209-220.
- [10] Travaux de Margulis sur les sous-groupes discrets de groupes de Lie, *Sém. Bourbaki 1975-76*, exposé 482, *Lect. Notes in Maths.* 567, Springer, 1977, 174-190.
- [11] A "theorem of Lie-Kolchin" for trees, *Contribution to Algebra. A collection of papers dedicated to E. Kolchin*, Acad. Press, 1977, 377-388.
- [12] Reductive groups over local fields, *Summer Inst. on Group representations and automorphic forms, Corvallis 1977*, *Proc. Symp. Pure Math.* 33, 1979, vol.1, 29-69.
- [13] Appendice à l'article de M. Gromov : Groups of polynomial growth and expanding maps, *Publ. IHES* 53 (1981), 74-78.
- [14] Groupes à croissance polynomiale (d'après M. Gromov et al.), *Séminaire Bourbaki 1980-81*, exposé 572, *Lect. Notes in Maths.* 901, Springer, 1981, 176-188.
- [15] Le Monstre (d'après R. Griess, B. Fischer et al.), *Sém. Bourbaki 1983-84*, exposé 620, *Astérisque* 121 122 (1985), 105-122.
- [16] Immeubles de type affine, *Buildings and the geometry of diagrams*, Como 1984, *Lect. Notes in Maths.* 1181, Springer, 1986, 159-190.
- [17] Buildings and group amalgamations, *Proc. of Groups St. Andrews 1985*, ed. Robertson & Campbell, *London Math. Soc. Lect. Notes* 121 (1986), 110-127.
- [18] Spheres of radius 2 in triangle buildings I, *Finite geometries, buildings, and related topics*, ed. W.M. Kantor et al., Oxford (1990), 17-28.

2) Autres Références.

- [Art] E. ARTIN, *Algèbre géométrique*, Cahiers Scientifiques XXVII, Gauthier-Villars, 1972.
- [BGS] W. BALLMANN, M. GROMOV & V. SCHROEDER, *Manifolds of nonpositive curvature*, *Progress in Maths.* 61, Birkhäuser, 1985.
- [Bas] H. BASS, The degree of polynomial growth of finitely generated nilpotent groups, *Proc. London Math. Soc.* 25 (1972), 603-614.
- [BaK] H. BASS & R. KULKARNI, Uniform tree lattices, *J. Amer. Math. Soc.* 3 (1990), 843-902.

- [Bes] M. BESTVINA, *Degenerations of the hyperbolic spaces*, *Duke Math. J.* 56 (1988), 143-161.
- [Bou] N. BOURBAKI, *Groupes et algèbres de Lie*, Chap. 4, 5 et 6, *Actualités Sci. Ind.* 1337, Hermann, 1968.
- [Bro] K. BROWN, *Buildings*, Springer, 1989.
- [Bu1] F. BUEKENHOUT, *Un mathématicien belge contemporain : Jacques Tits*, *Math-Jeunes* 49 (1990), 2-6.
- [Bu2] F. BUEKENHOUT, *A belgian mathematician : Jacques Tits*, *Bull. Soc. Math. Belge (Sér. A)*, XLII (1990), 463-465.
- [Car] P. CARTIER, *Géométrie et analyse sur les arbres*, *Sém. Bourbaki 1971 72*, exposé 407, *Lect. Notes in Maths.* 407, Springer, 1973, 123-140.
- [CMSZ] D.I. CARTWRIGHT, A.M.MANTERO, T. STEGER & A. ZAPPA, *Groups acting simply transitively on the vertices of a building of type \tilde{A}_2* , Part I, *Geom. Dedic.* 47 (1993), 143- 166; Part II, *Geom. Dedic.* 47 (1993), 167-226.
- [CMS] D.I. CARTWRIGHT, W. MLOTKOWSKI & T. STEGER, *Property (T) and \tilde{A}_2 -groups*, *Annales Inst. Fourier (Grenoble)* 44 (1994), 213-248.
- [Cho] F. CHOUCROUN, *Analyse harmonique des groupes d'automorphismes d'arbre de Bruhat-Tits*, *Mémoire de la Soc. Math. France*, Supplément au no 122, fascicule 3, 1994.
- [CuM] M. CULLER & J.W. MORGAN, *Group actions on \mathbf{R} -trees*, *Proc. London Math. Soc.* 55 (1987), 571-604.
- [Die] J. DIEUDONNE, *La géométrie des groupes classiques*, *Ergebnisse der Math.* 5, Springer, 1971.
- [FTN] A. FIGA-TALAMANCA & C. NEBBIA, *Harmonic analysis and representation theory for groups acting on homogeneous trees*, Cambridge Univ. Press, 1991.
- [GLP] D. GABORIAU, G. LEVITT & F. PAULIN, *Pseudogroups of isometries of \mathbf{R} and Rips' theorem on free actions on \mathbf{R} -trees*, à paraître dans *Israel J. Math.*
- [Gér] P. GERARDIN, *On harmonic functions on symmetric spaces and buildings*, *Canadian Math. Soc. Conference Proc.*, vol. 1 (1981), 79-92.
- [Gri] R.I. GRIGORCHUK, *On Milnor's problem of group growth*, *Soviet Math. Dokl.* 28 (1983), 23-26.
- [Gr1] M. GROMOV, *Groups of polynomial growth and expanding maps*, *Publ. IHES* 53 (1981), 53-73.
- [Gr2] M. GROMOV, *Hyperbolic groups*, *Essays in group theory*, ed. S.M. Gersten, MSRI Publ. 8, Springer, 1987, 75-263.
- [Har] P. de la HARPE, *Free groups in linear groups*, *L'Enseignement Math.* 29 (1983), 129-144.
- [IwM] N. IWAHORI & H. MATSUMOTO, *On some Bruhat decomposition and the structure of the Hecke ring of p-adic Chevalley groups*, *Publ. IHES* 25 (1965),

5-48.

- [Kle] F. KLEIN, *Neue Beiträge zur Riemann'schen Funktionentheorie*, *Math. Ann.* 21 (1883), 141-218.
- [Lic] A. LICHTMAN, *On subgroups of the multiplicative group of skew fields*, *Proc. Amer. Math. Soc.* 63 (1977), 15- 16.
- [Mar] G.A. MARGULIS, *Discrete subgroups of semisimple Lie groups*, *Ergebnisse der Math.*, 3 Folge 17, Springer, 1991.
- [Mi1] J. MILNOR, *A note on curvature and the fundamental group*, *J. Diff. Geom.* 2 (1968), 1-7.
- [Mi2] J. MILNOR, *Growth of finitely-generated solvable groups*, *J. Diff. Geom.* 2 (1968), 447-449.
- [MoS] J.W. MORGAN & P.B. SHALEN, *Valuations, trees, and degenerations of hyperbolic structures I*, *Ann. of Math.* 120 (1984), 401-476.
- [Mos] G.D. MOSTOW, *Strong rigidity of locally symmetric spaces*, *Ann. of Math. Studies* 78, Princeton Univ. Press, 1973.
- [Neb] C. NEBBIA, *Amenability and Kunze-Stein property for groups acting on a tree*, *Pacific J. Math.* 135 (1988), 371-380.
- [Neu] J. von NEUMANN, *Zur allgemeinen Theorie des Masses*, *Fund. Math.* 13 (1929), 73-116.
- [Ols] A.J. OLSHANSKII, *On the problem of the existence of an invariant mean on a group*, *Russian Math. Surveys* 35 (1980), 180-181.
- [Pan] P. PANSU, *Sous-groupes discrets des groupes de Lie : rigidité, arithméticité*, *Sém. Bourbaki*, exposé 778, Nov. 1993.
- [Pau] F. PAULIN, *Topologie de Gromov équivariante, structures hyperboliques et arbres réels*, *Invent. Math.* 94 (1988), 53-80.
- [PaV] I. PAYS & A. VALETTE, *Sous-groupes libres dans les groupes d'automorphismes d'arbres*, *L'Enseignement Math.* 37 (1991), 151-174.
- [Ron] M. RONAN, *Lectures on buildings*, *Perspectives in Maths.* 7, Academic Press, 1989.
- [Ser] J.-P. SERRE, *Arbres, amalgames, SL_2* , *Astérisque* 46, Soc. Math. France, 1977.
- [Sva] A.S. SVARC, *A volume invariant of coverings*, *Dokl. Akad. Nauk SSSR* 105 (1955), 32-34.
- [Tig] J.-P. TIGNOL, *Remarque sur le groupe des automorphismes d'un arbre*, *Annales Soc. Sci. de Bruxelles* 93 (1979), 196- 202.
- [Val] A. VALETTE, *Les représentations uniformément bornées associées à un arbre réel*, *Bull. Soc. Math. Belge XLII* (1990), 747-760.
- [Van] H. VAN MALDEGHEM, *Non-classical triangle buildings*, *Geom. Dedic.* 24 (1987), 123-206.

[Wol] J. WOLF, Growth of finitely generated solvable groups and curvature of Riemannian manifolds, *J. Diff. Geom.* 2 (1968), 421-446.

[Zim] R.J. ZIMMER, Ergodic theory and semisimple groups, *Monographs in Maths.* 81, Birkhäuser, 1984.

— SUR QUELQUES PROBLÈMES INCOMPLÈTEMENT RÉSOLUS, —
PROCHES DES PROBABILITÉS ET DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

Jean BASS

Université de Paris VI

Ce n'est pas sans hésitation que je propose cette note : les questions qui y sont soulevées sont un peu anciennes. Elles ont peut-être été résolues sans que j'en aie connaissance. Je les ai déjà partiellement posées dans le *Journal of mathematical and physical sciences*, en Inde (vol. 25, 1991). Y revenir dans le cadre d'une publication française ne me semble pas inutile.

I – Soit $\{f_n\}$ une suite de fonctions de \mathbf{R} dans \mathbf{C} , telles que la moyenne :

$$M f_n = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f_n(t) dt$$

existe pour tout n . On suppose que, lorsque $n \rightarrow \infty$, f_n tend vers une limite f au sens de la convergence simple (en général non uniforme sur \mathbf{R}).

a– Trouver des conditions pour que f ait aussi une moyenne $M f$.

b– Si $M f$ existe, trouver des conditions pour que $M f = \lim M f_n$.

Sous cette forme, le problème est assez mal posé. La convergence simple est une propriété locale alors que l'existence des moyennes est une propriété asymptotique. On peut relier les deux structures en se limitant aux cas où f_n est presque-périodique ou même périodique. L'exemple des fonctions $\cos(\frac{t}{n})$ et $\sin(\frac{t}{n})$ montre que la réponse n'est pas évidente : le comportement asymptotique dépend du comportement local.

On sait que la limite d'une suite de fonctions périodiques peut avoir diverses structures. En particulier elle peut être pseudo-aléatoire (spectre continu) comme le montre l'exemple suivant (que j'ai souvent invoqué) :

$$f_n(t) = \exp 2i \pi \theta_n [E(t)^2] \quad (\text{pour } t > 0)$$

($E(t)$ est la partie entière de t).

Si θ_n est rationnel, f_n est périodique. On suppose que θ_n tend vers une limite θ . Alors f_n tend (simplement) vers une limite f . Si θ est rationnel, f est périodique. Si θ est irrationnel, f_n a pour limite une fonction pseudo-aléatoire.

II- Quelques problèmes de compatibilité

a- On se donne trois fonctions :

$$f(v, w), g(w, u), h(u, v)$$

Avec des hypothèses peu restrictives sur la définition de ces fonctions, on peut toujours trouver une fonction $\phi(u, v, w)$ telle que :

$$\phi(u, v, 0) = h(u, v), \phi(u, 0, w) = g(w, u) \text{ et } \phi(0, v, w) = f(v, w)$$

Mais le problème prend de l'intérêt si l'on se place dans les conditions suivantes : f, g, h sont des fonctions complexes, continues, *de type positif* et l'on cherche s'il existe une fonction ϕ *de type positif* vérifiant les conditions ci-dessus. En langage probabiliste, on demande s'il existe trois variables aléatoires X, Y, Z dont on connaisse seulement les lois de probabilité relatives aux couples $(Y, Z), (Z, X), (X, Y)$ définies par leurs fonctions caractéristiques.

Il y a des conditions nécessaires banales qui peuvent devenir suffisantes si les trois lois données sont normales. Elles ne le sont pas dans le cas général comme le montre l'exemple de variables aléatoires X, Y, Z ne prenant que deux valeurs (Cf J. Bass, C.R.A.S., 231, 1950).

b- Le formalisme de la mécanique quantique suggère d'autres aspects de ces problèmes de compatibilité. On considère une "particule" à deux dimensions pour fixer les idées. Soient (X, Y) ses coordonnées, (P, Q) les composantes de sa vitesse; la mécanique quantique fournit un procédé pour calculer les lois de probabilité des couples $(X, Y), (Y, P), (P, Q), (Q, X)$ suivant le schéma :

$$\begin{array}{ccc} X & \text{---} & Y \\ & \times & \\ P & \text{---} & Q \end{array} \quad \text{ou} \quad \begin{array}{ccc} X & \text{---} & Y \\ | & & | \\ Q & \text{---} & P \end{array}$$

Elle ne nous fournit aucun moyen pour former les lois de probabilité de $(X, P), (Y, Q)$ ni par suite pour définir une loi de (X, Y, P, Q) . Elle affirme même que c'est fondamentalement impossible, ce qui équivaut à dire que les quatre variables X, Y, P, Q n'appartiennent pas à un même espace de probabilité. On peut cependant se demander si, indépendamment du formalisme de la mécanique quantique, les lois de $(X, Y), (Y, P), (P, Q), (Q, X)$ sont les lois marginales d'une loi à 4 variables.

On peut remarquer que, en dimension 1, la réponse est affirmative : les lois données pour X et pour P sont compatibles avec l'indépendance des variables aléatoires X et P . Je rappelle que, en mécanique quantique, on associe aux variables aléatoires X, Y, P, Q des opérateurs linéaires A, B, A', B' de l'espace de Hilbert dont la forme particulière peut être précisée. Ces opérateurs commutent suivant le schéma suivant :

$$\begin{array}{ccc} A & \text{---} & B \\ & \times & \\ A' & \text{---} & B' \end{array}$$

Par contre les opérateurs A et A' , B et B' ne commutent pas.

Si ψ est un élément normé de l'espace de Hilbert, les quatre lois données sont définies par leurs fonctions caractéristiques :

$$\begin{aligned} & \langle \exp i(uA + vB)\psi, \psi \rangle, \quad \langle \exp i(uA + v'B')\psi, \psi \rangle, \\ & \langle \exp i(vB + u'A')\psi, \psi \rangle, \quad \langle \exp i(u'A' + v'B')\psi, \psi \rangle, \end{aligned}$$

où $\langle \cdot, \cdot \rangle$ désigne le produit scalaire dans l'espace de Hilbert. Mais les fonctions $\langle \exp i(uA + u'A')\psi, \psi \rangle$ et $\langle \exp i(vB + v'B')\psi, \psi \rangle$ ne sont pas en général des fonctions caractéristiques. Plus généralement $\langle \exp i(uA + vB + u'A' + v'B')\psi, \psi \rangle$ n'est pas la transformée de Fourier d'une densité positive (sauf cas particulier). Par exemple, dans un espace L^2 , et pour une particule à une dimension, on peut choisir $A = x$ (multiplication par x), $A' = \frac{h}{i} \frac{d}{dx}$ où h est une constante. On trouve que

$$\langle \exp i(uA + u'A')\psi, \psi \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{ius} \psi(s + u' \frac{h}{2}) \bar{\psi}(s - u' \frac{h}{2}) ds$$

La transformée de Fourier de ces fonctions est la pseudo-densité de probabilité de Wigner, qui peut prendre des valeurs négatives.

Quelques références :

J. Bass : Fonctions de corrélation, fonctions pseudo-aléatoires et applications (Masson, 1984).

J-P. Bertrandias : Espaces de fonctions continues et bornées en moyenne asymptotique d'ordre p (Bulletin de la S.M.F., mémoire numéro 5, 1965).



Yvette AMICE

Daniel Barsky & Jean-Pierre Kahane

Yvette Amice est décédée le dimanche 4 juillet 1993 à Praz-Coutant. Elle luttait contre la maladie depuis dix ans. Au cours des dernières semaines, elle avait reçu de nombreuses visites, et ses visiteurs l'avaient trouvée très affaiblie, mais présente et lucide jusqu'au bout.

C'était une personnalité forte, attachante, qui ne laissait personne indifférent. Elle était brillante, volontaire, obstinée, d'une franchise intransigeante; courageuse en face du malheur, et le malheur ne l'a pas épargnée; accessible, généreuse, toujours prête à échanger et à aider; intelligente, énergique, ambitieuse; lucide nous l'avons dit; rapide, efficace, prête à s'investir dans l'organisation, la gestion, l'action personnelle ou collective; très personnelle, et en même temps très sensible aux autres, avec un sens élevé de l'intérêt général.

Elle était née le 4 juin 1936. Orpheline de père, mort des suites de la guerre, pupille de la nation, élevée par sa mère, institutrice en Indre et Loire, brillante élève, elle entra à Sèvres en 1956 (Sèvres= Ecole Normale de Jeunes Filles, boulevard Jourdan à Paris). Agrégée de mathématiques en 1959, elle fut nommée immédiatement assistante à la Faculté des sciences de Paris. Entre 1959 et 1964, elle fut tour à tour assistante, puis maître-assistante à Paris, maître-assistante à Orsay, chargée d'enseignement puis maître de conférences à Tours. En 1964, elle soutint sa thèse d'Etat, préparée sous la direction de Charles Pisot, sur l'interpolation p -adique, sujet aussi de son cours Peccot au Collège de France en 1966. Elle fut maître de conférences à Poitiers (1964-1966), professeur à Bordeaux (1966-1968), professeur à Poitiers (1968-1970) et fut nommée en 1970 dans la toute nouvelle Université de Paris VII. Toute cette époque qui fut celle de l'explosion scientifique et universitaire, fut riche en événements politiques, de la guerre d'Algérie à mai 68 en passant par la venue au pouvoir du général de Gaulle. Pendant cette période Yvette Amice fut active et efficace sur tous les plans : la recherche, l'enseignement, le syndicalisme, la politique (elle était alors militante active au SNEsup et adhérente au PCF, ce qui devait lui valoir plus tard des inimitiés tenaces comme aussi de fidèles amitiés).

La décennie 1970-1980, "la décennie tristounette" (l'expression est de Pierre Petitmengin, le bibliothécaire de l'E.N.S.) l'a vue élargir ses responsabilités. Pendant sept ans, à la suite de Pierre Samuel et avant Marie-France Vigneras, elle fut la directrice des études de mathématiques à Sèvres, tandis que Jean-Louis Verdier occupait les fonctions analogues à la rue d'Ulm. Marie Thérèse Gschwendtner les appelait le père abbé et la mère supérieure. Le nom lui allait bien, et les nonnes le reprirent à leur

compte. Elle fut membre du CCU (1968-1976), puis du CNESER (1976-1983), directrice de l'UFR de mathématiques de Paris VII (1975-1978), vice-présidente de Paris VII, chargée des enseignements de troisième cycle puis de la totalité des enseignements (1978-1981), présidente de la commission des enseignements du conseil de Paris VII (1980-1981). En plus de ces responsabilités universitaires, elle fut en 1975, à la suite de Georges Poitou et avant Claude Godbillon, présidente de la Société Mathématique de France; les morts de Poitou et Godbillon en 1989 et 1990, alors qu'elle était en période de rémission de maladie, l'avaient beaucoup affectée. C'était une période de grande activité pour la SMF. C'est grâce à Yvette Amice et Jean Giraud que s'est constitué la SCFCIEM (sous commission française de la commission internationale de l'enseignement mathématique). C'est grâce à Yvette Amice et à Georges Poitou que le projet de CIRM à Luminy a pris corps.

La décennie 1980-1990 devait la voir prendre d'autres responsabilités au plan national. En 1982, elle fut candidate à la présidence de Paris VII et elle aurait été une grande présidente d'université; mais il y eut des vents contraires et le projet avorta. Elle collabora alors à la direction des enseignements supérieurs, sans position en vue, mais avec une efficacité reconnue, dont Bernard Decomps a porté publiquement témoignage. Entre 1989 et 1991 elle fut membre du Conseil Supérieur de la Recherche et de la Technologie. Sa dernière apparition publique eut lieu en septembre 1991, quand Hubert Curien lui remit la légion d'honneur. Depuis, elle vivait entre son ordinateur, ses livres, ses proches, ses nouveaux amis à Praz-Coutant, son médecin le docteur Claude Sarrazin, profitant des dernières joies de l'existence et réglant avec son énergie coutumière les douloureux problèmes personnels qu'elle savait devoir lui survivre. Un hommage lui a été rendu les 28 et 29 mars 1994 à Paris, sous la forme d'un colloque scientifique consacré à l'analyse p -adique, au cours duquel on a pu mesurer l'impact de ses travaux.

Toute son oeuvre mathématique est relative à l'analyse p -adique qu'elle a fortement marquée au cours des trente dernières années avec ses collaborateurs, ses élèves directs ou indirects (Jean Fresnel, Alain Escassut, Jacques Velu, Bruno Kahn, Philippe Robba, Gilles Christol, Francois Levron, Pierrette Cassou-Nogues, Daniel Barsky, Jean-Paul Bezin, Bernard Guennebaud, Abdelbakhii Boutabaa,...). Les travaux fondateurs antérieurs ou parallèles à ceux d'Yvette Amice, avaient été ceux de K. Mahler en 1958 (dont nous allons dire un mot), de B. Dwork en 1960 sur la rationalité de la fonction Zêta associée à une variété algébrique sur un corps fini et de T. Kubota et H. W. Leopoldt en 1964 sur l'existence de fonctions L p -adiques associées aux caractères de Dirichlet pairs. Le cadre doit être complété par le livre de Jean-Pierre Serre sur les corps locaux paru en 1962. On peut à la fois s'initier au sujet et apprécier ses progrès entre 1960 et 1975 en lisant le livre d'Yvette Amice sur les nombres p -adiques (PUF, 1975).

Voici le théorème de Mahler sous la forme que lui donne Yvette Amice.

Soit \mathcal{E} , $\| \cdot \|$, un \mathbb{Q}_p -espace de Banach. Une base normale de \mathcal{E} est un ensemble de vecteurs $(e_i)_{i \in \mathcal{I}}$, de norme $\|e_i\| = 1$ tel que tout vecteur $x \in \mathcal{E}$ s'écrive de manière unique :

$$x = \sum_{i \in \mathcal{I}} x_i e_i, \quad x_i \in \mathbb{Q}_p, \quad \lim_i |x_i| = 0, \quad \|x\| = \sup_i |x_i|$$

Théorème (Malher, 1958)

Les polynômes $\binom{x}{k}$ forment une base normale de l'espace $\mathcal{C}(\mathbb{Z}_p, \mathbb{Q}_p)$. Autrement dit, toute fonction $f \in \mathcal{C}(\mathbb{Z}_p, \mathbb{Q}_p)$ s'écrit de manière unique :

$$f(x) = \sum_{n \geq 0} a_n(f) \binom{x}{n}$$

et

$$\|f\| = \sup_{x \in \mathbb{Z}_p} |f(x)| = \sup_{n \geq 0} |a_n|$$

Yvette Amice a fait de ce théorème un programme. Comment les propriétés de la fonction f se reflètent-elles sur les coefficients a_n ? Dans sa thèse, elle résoud complètement le problème pour l'analyticité. Elle montre qu'une fonction $f \in \mathcal{C}(\mathbb{Z}_p, \mathbb{Q}_p)$ coïncide dans un voisinage de chaque point de \mathbb{Z}_p avec une fonction analytique si et seulement si la norme des coefficients d'interpolation $a_n(f)$ décroît vers zéro géométriquement.

Plus tard, avec Fresnel, elle établit les propriétés de prolongement analytique des séries de Taylor $\sum f(n)T^n$ ($f \in \mathcal{C}(\mathbb{Z}_p, \mathbb{Q}_p)$, $T \in \mathbb{C}_p$), qui donnent une nouvelle approche aux fonctions L p -adiques de Kubota et Leopoldt.

Avec Velu, elle donne un nouvel outil, d'usage aujourd'hui constant, pour la construction des fonctions L p -adiques; il s'agit d'une caractérisation des polynômes d'interpolation d'une fonction analytique sur la boule $B(1, 1^-)$ dont l'ordre de croissance à la frontière est donné.

D'autres résultats tels l'exemple de corps local 2-dimensionnel qu'elle donne dans son étude sur la dualité ont été repris indépendamment et connaissent des applications importantes.

Yvette Amice avait à la fois parfaitement compris et dégagé les structures intéressantes en analyse p -adique, utilisé sa solide connaissance de l'analyse classique, forgé des outils nouveaux, atteint sur de nombreuses questions les meilleurs résultats possibles. La "technologie p -adique" qu'elle avait mise au point est encore en avance sur notre époque, et les jeunes chercheurs pourront dans l'étude de sa thèse et de ses travaux ultérieurs, trouver une inspiration et des instruments précieux.

Quelques références :

- 1– Y. Amice Séries d'interpolation sur un corps value, C. R. Acad. Sci. Paris, Série A, tome 256, 1963, pages 1650–1651
- 2– Y. Amice Interpolation des fonctions continues sur la boule unité d'un corps value complet localement compact, C. R. Acad. Sci. Paris, Série A, tome 256, 1963, pages 2742–2744
- 3– Y. Amice Un théorème de finitude, Annales Institut Fourier, tome 14, 1964, pages 527–531
- 4– Y. Amice Interpolation p -adique, Bull. Soc. Math. Fr, tome 92, 1964, pages 117–180
- 5– Y. Amice Interpolation p -adique, Les tendances géométriques en théorie des nombres, pages 15–25, Editions du CNRS, Paris 1966
- 6– Y. Amice & Jean Fresnel Fonctions zêta p -adiques des corps de nombres abéliens réels, Acta Arith, tome 20, 1972, pages 353–384
- 7– Y. Amice Géométrie et transcendance selon James Ax, Séminaire Delange–Pisot–Poitou, 12–ième année, exposé n°5, 1970, Secrétariat Mathématique, Institut Henri Poincaré, Paris 1972
- 8– Y. Amice Conjecture de Schanuel sur la transcendance d'exponentielles, d'après James Ax, Séminaire Bourbaki, 23–ième année exposé n° 382, 1970–1971, Springer, Lectures Notes, vol. 244, p.1–10, 1971
- 9– Y. Amice Limites Uniformes de polynômes dans un corps value complet non archimédien, Mémoire Soc. Math. Fr; Colloque de Théorie des Nombres (Bordeaux 1969), tome 25, 1971, pages 11–16
- 10– Y. Amice Intégration p -adique selon A. Volkenborn, Séminaire Delange–Pisot–Poitou, 13–ième année, 1971, exposé n°G4, Secrétariat Mathématique, Institut Henri Poincaré, Paris 1973
- 11– Y. Amice & A. Escassut Sur la non injectivité de la transformation de Fourier p -adique relative à \mathbb{Z}_p , C. R. Acad. Sci. Paris, Série A, tome 273, 1974, pages 583–585
- 12– Y. Amice Dual d'un espace $H(D)$ et transformation de Fourier – Groupe d'étude d'Analyse Ultramétrique, 1–ière année, 1973/1974, exposé n°5, Secrétariat Mathématique, Institut Henri Poincaré, Paris 1975
- 13– Y. Amice & J. Velu Distributions p -adiques associées aux Séries de Hecke, Astérisque, tome 24–25, pages 119–131, 1975
- 14– Y. Amice Les nombres p -adiques, PUF, Collection Sup. Le mathématicien n° 14, Paris 1975
- 15– Y. Amice Duals, Proceedings of the conference on p -adic analysis (Nijmegen 1978), report 7806, Katholiecke Universiteit Nijmegen, 1978
- 16– Y. Amice Fonctions Gamma p -adiques associée à un caractère de Dirichlet – Groupe d'Etude d'Analyse Ultramétrique, 7/8–ième année,

1979/1981, exposé n°17, Secrétariat Mathématique, Institut Henri Poincaré, Paris 1982

17– Y. Amice Prolongement analytique des sommes de Gauss – Groupe d'Etude d'Analyse Ultramétrique, 9-ième année, 1981/1982, exposé n°13, Secrétariat Mathématique, Institut Henri Poincaré, Paris 1983

18– Y. Amice Prolongement analytique des sommes de Gauss II – Groupe d'Etude d'Analyse Ultramétrique, 9-ième année, 1981/1982, exposé n°J1, Secrétariat Mathématique, Institut Henri Poincaré, Paris 1983

19– Y. Amice Prolongement analytique des sommes de Gauss III – Groupe d'Etude d'Analyse Ultramétrique, 10-ième année, 1982/1983, exposé n°6, Secrétariat Mathématique, Institut Henri Poincaré, Paris 1984

20– Y. Amice Dilogarithmes p -adiques d'après R. Coleman – Groupe d'Etude d'Analyse Ultramétrique, 10-ième année, 1982/1983, exposé n°17, Secrétariat Mathématique, Institut Henri Poincaré, Paris 1984

21– Y. Amice Une démonstration analytique p -adique du théorème de Ferrero–Washington d'après D. Barsky – Séminaire de Théorie des Nombres de Paris, 1982–1983, pages 1–20, Progress in Math. n°51, Birkhauser Boston, Boston Mass., 1984

22– Y. Amice & B. Kahn Sommes de puissances dans les corps finis, Astérisque, Journées Arithmétiques de Genève, septembre 1991, tome 209, pages 115–135, 1992

Société Mathématique de France

AVIS de VACANCE

Le poste de

Directeur du Centre International de Rencontres Mathématiques

situé sur le campus de Marseille-Luminy

est à pourvoir à compter du **1er septembre 1995** pour une période de 4 ans pendant laquelle le ou la candidat-e retenu-e sera rémunéré-e par le C.N.R.S. sur un poste correspondant à son niveau de qualification.

Le choix du directeur se fera en concertation entre la **SMF**, le **CNRS** et la **MST** après consultation de leurs instances respectives.

Les **tâches** que le directeur doit assumer sont les suivantes :

- * **animation scientifique du Centre,**
- * **responsabilité du personnel de l'établissement,**
- * **responsabilité de la gestion du Centre,**
- * **représentation de l'établissement auprès des autorités locales, régionales et nationales,**
- * **organisation au nom du Centre de contacts internationaux.**

Le dossier que devra constituer chaque candidat-e comportera :

- **une lettre de candidature** expliquant sa motivation pour ce poste,
- **un curriculum vitae** détaillant les diverses fonctions académiques et non académiques exercées,
- **une liste de publications** avec un bref commentaire sur les plus importantes,
- **une description du programme de recherche** qu'il ou elle souhaiterait développer pendant ce mandat de 4 ans.

Ce dossier est à envoyer en **5 exemplaires** avant le **1er janvier 1995** à

**Société Mathématique de France
Institut Henri Poincaré
11, rue Pierre-et-Marie-Curie
75231 PARIS cedex 05**

INFORMATIONS

Rapport sur le Prix d'Alembert 1994

Jean-Jacques Risler

La composition du jury du Prix d'Alembert 1994 était la suivante :

Membres de la Société Mathématique de France

<i>Marcel Berger</i>	<i>Directeur de l'IHES</i>
<i>Jean-Jacques Duby</i>	<i>Directeur scientifique de l'U.A.P.</i>
<i>Michel Demazure</i>	<i>Directeur du Palais de la Découverte</i>
<i>Ivar Ekeland</i>	<i>Lauréat 1992</i>
<i>Jean-Jacques Risler</i>	<i>Chargé de l'organisation</i>

Membre désigné par la SMAI

<i>Fulbert Mignot</i>	<i>Professeur à l'Université Paris XI</i>
-----------------------	---

Membre désigné par l'Association des Journalistes Scientifiques

<i>Cécile Lestienne</i>	<i>Journaliste (Science et Vie Junior)</i>
-------------------------	--

Personnalités extérieures

<i>Michel Broué</i>	<i>Directeur du DMI (E N S Ulm)</i>
<i>Jean-François Noël</i>	<i>Président de l'A.P.M.E.P.</i>
<i>Laurent Schwartz</i>	<i>Membre de l'académie</i>
<i>Association "Math en Jeans"</i>	<i>Lauréate 1992</i>
<i>Paul Germain</i>	<i>Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.</i>

Le Jury s'est réuni le 5 Mars 1994 pour examiner 20 candidatures de natures très variées, qui allaient de la fiction vidéo aux articles de journalistes, en passant par les livres de souvenirs, ou des actions menées auprès des lycéens. Dans ces conditions, le choix était difficile, et la stratégie du jury a été la suivante :

- privilégier les oeuvres s'adressant à un "large" public ; il semble en effet que ce soit là la vocation du Prix d'Alembert.*
- Ne pas donner le Prix à des traductions de livres étrangers (en l'occurrence anglo-saxons), le jury considérant que ceux-ci ont eut l'occasion d'obtenir des Prix dans leur langue d'origine.*
- Séparer les oeuvres dans des catégories distinctes et dégager dans chacune de celles-ci une "tête de liste", puis choisir un lauréat parmi les candidats de cette sous-liste.*

Revenons sur le point b). Les membres du jury se sont montrés, au cours de la délibération, préoccupés par la mauvaise qualité des traductions présentées, et en général de beaucoup de traductions d'ouvrages de vulgarisation. Ils souhaitent que les éditeurs se montrent sensibles à cette inquiétude.

Malheureusement, dans certains de ces ouvrages, les contresens et les maladresses de style ne se limitent pas aux passages purement scientifiques. Et si on peut s'amuser à retraduire un passage en anglais pour le comprendre, cela devient agaçant à la longue. D'autant plus qu'on imagine l'effet produit sur un lecteur de bonne volonté, mais qui ne connaît ni le sujet, ni l'anglais... On aimerait que la littérature scientifique soit traduite avec le même soin que la littérature générale, et non pas au kilomètre comme les romans policiers.

Les bons traducteurs sont rares, et peut-être chers, et le temps qu'ils passent à se documenter en consultant les ouvrages existant en français sur le même sujet n'est jamais rétribué. Mais il est de la responsabilité des éditeurs d'assurer la bonne qualité des ouvrages qu'ils mettent en vente. Sans quoi les scientifiques continueront à dire : "Le livre de Untel est très bien... mais il vaut mieux le lire en anglais", avec les conséquences qu'on imagine pour la diffusion du livre chez les étudiants. Il y a au moins un moyen simple d'éviter certaines erreurs : consulter un scientifique pour toutes les difficultés de vocabulaire, ou celles qui tiennent à la logique des démonstrations. Sans doute aussi lui demander de relire le manuscrit, car certaines difficultés peuvent passer inaperçues, aussi bien du traducteur que de tout lecteur non spécialiste (la traduction de "topologist", pour prendre un exemple anodin). Pour ce qui la concerne, la S.M.F. se fera un plaisir de mettre les traducteurs et les éditeurs en contact avec des mathématiciens susceptibles de les aider.

Les sociétés savantes comme la S.M.F. et les éditeurs pourraient, dans le cadre des mesures de "défense de la langue française" en discussion en ce moment, demander que soit renforcées les mesures d'aide à la traduction, en insistant sur l'objectif d'une amélioration de la qualité.

[Exemples de traductions excellentes : Penrose ou Feynman par une physicienne (F. Balibar) et un traducteur.]

S'agissant du point c), le jury a décidé de rendre public les divers têtes de listes, afin de leur rendre hommage et de leur faire un peu de publicité. Les catégories dégagées par le jury étaient les suivantes :

- 1) Livres de vulgarisation "classique".
- 2) Vidéos ou films.
- 3) Articles (ou ensemble d'articles) de journaux.
- 4) Réflexions sur les mathématiques, ou plus pompeusement "philosophie des mathématiques".
- 5) Actions "ciblées jeunes".

Dans la catégorie 1), le jury a regretté le nombre relativement restreint de

candidats, et a décidé de distinguer l'excellent livre "Chaos et déterminisme" paru dans la collection "Points Sciences" aux éditions du Seuil, recueil de textes sur ce sujet très à la mode dirigé par Amy Dahan, Jean-Luc Chabert et Karine Chemla. Ce livre s'adresse à un large public (ayant quand même un minimum de culture scientifique), et donne un véritable accès au sujet sous forme d'articles regroupés en trois thèmes, mathématique, physique et historique.

Le paradoxe apparent du chaos déterministe fascine les esprits; il fournit aussi la clef du comportement d'un certain nombre de systèmes, et (comme l'indique Sinai dans l'un des articles du recueil), l'explication du succès du modèle probabiliste.

Le livre s'ouvre par un excellent article d'Adrien Douady qui formule clairement la question sous une forme mathématique très simple; cet article illustre bien l'effort accompli par les auteurs des contributions pour rendre accessible le sujet tout en offrant un véritable accès au contenu scientifique.

Pour les vidéos ou films, le jury tient à féliciter la société "Ecouter Voir" pour la partie de sa production audiovisuelle consacrée aux applications des mathématiques, notamment dans le domaine mécanique. Il espère que ces produits, ainsi que ceux de la future génération (comme ceux relatifs à la dynamique du plan) connaîtront une grande diffusion.

Dans la catégorie "presse", le jury a voulu distinguer l'équipe des journalistes scientifiques du quotidien "Le monde", en particulier Jean-François Augereau et Jean-Paul Dufour, pour le sérieux de leurs articles et le choix judicieux de leurs sujets. On peut citer par exemple la série de papiers sur le théorème de Fermat au sujet duquel une enquête approfondie a été réalisée auprès de mathématiciens, et pour lequel les difficultés apparues dans la démonstration n'ont pas été cachées.

Le jury tient à faire savoir que étant donnée la grande qualité des articles émanant de cette équipe, il déplorait la trop grande rareté des articles traitant des mathématiques dans le journal "Le monde".

Parmi les livres de réflexions sur les mathématiques, le jury a remarqué le livre d'Alain Boutot : "L'invention des formes" aux éditions Odile Jacob. Cet ouvrage parle aussi du chaos, mais plus généralement de la réhabilitation du point de vue qualitatif dans la modélisation de phénomènes naturels liés à la notion de forme; on reconnaît là une des idées chères à René Thom, et une grande partie du livre est effectivement consacrée à la théorie des catastrophes. Les autres modèles de type qualitatif décrits dans ce livre sont les fractales et les attracteurs étranges. Pour tous ces sujets, le côté accessible aux non initiés a été souligné.

Enfin, dans la catégorie 5), qui correspond bien à la préoccupation "grand public" affirmée ci-dessus, mais peut-être moins à l'exigence "vulgarisation des mathématiques" dans le sens où on l'entend habituellement, il y avait plusieurs excellents dossiers, dont un présenté par Jean-Pierre Boudine, et un

autre par André Deledicq pour l'ensemble de leurs réalisations respectives. Il y en avait aussi un qui présentait le double avantage d'associer les noms de Boudine et Deledicq, et de rassembler en sa faveur l'unanimité des membres du jury : il s'agit du "Kangourou des Mathématiques", qui a donc obtenu le Prix d'Alembert 1994.

Pour présenter le "Kangourou des Mathématiques", je renvoie à l'article de Jean-Pierre Kahane dans le numéro 58 (Novembre 1993) de la gazette.

Signalons simplement que ce jeu-concours mathématique (dont le principe et le nom viennent d'Australie) a été lancé en France en 1991 par Jean-Pierre Boudine et André Deledicq, et qu'il a connu un succès foudroyant : plus de 700 000 participants en 1994 !

Ce jeu-concours a lieu en une seule fois un même jour, à la même heure (une heure quinze d'épreuve) dans tous les établissements scolaires qui le souhaitent, du cours élémentaire à Bac + 1. Pour chaque niveau, les participants répondent à un questionnaire à choix multiple : trente questions de difficulté croissante avec cinq réponses proposées pour chacune. Après les épreuves, la centralisation des fiches-réponses puis le traitement par lecture optique et ordinateur permettent de donner les résultats dans un délai très court (une quinzaine de jours).

ANNONCE CONCOURS KANGOUROU 1995

Le 23 mars 1995 il y aura des épreuves "Kangourou" dans les Universités. Pour les Deug sciences, mais aussi pour d'autres premiers cycles.

Pour tous renseignements, propositions d'énoncés, etc, on peut joindre

Christian Mauduit, Math pour Tous, IREM d'aix Marseille, Faculté des Sciences de Luminy, Case 901, 13288 Marseille cedex 09.

 CONCOURS KANGOUROU (10 mai 1994)

 Extrait de l'épreuve Sup et Deug

2) On jette en l'air une pièce bien équilibrée. Trois fois de suite on obtient pile. La probabilité d'obtenir face au quatrième lancer est :

- A) 0,9 B) 0,8 C) 0,7 D) 0,6 E) 0,5.

3) Carl Friedrich Gauss est né en :

- A) 1512 B) 1602 C) 1693 D) 1777 E) 1831.

6) L'ensemble des points $M(x,y,z)$ (dans un repère orthonormé de l'espace) tels que $x^2 + y^2 \leq 1$ est :

- A) une boule B) un cube C) un cône D) un parallélépipède E) un cylindre.

9) Dans un espace euclidien, quels sont les projecteurs orthogonaux qui sont des endomorphismes orthogonaux ?

- A) Aucun B) l'identité C) l'application nulle
D) l'identité et moins l'identité E) tous.

10) Si la fonction f est définie par : $f(x, y, z) = xy^2z^3$, alors $\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(y, z, x) = \dots$

- A) $2yz^3$ B) $3x^2z^2$ C) $2zx^3$ D) $2yx^3$ E) Autre.

12) On jette quatre fois en l'air une pièce bien équilibrée. La probabilité d'obtenir deux fois pile et deux fois face est :

- A) 1 B) 9/10 C) 1/2 D) 3/8 E) 3/2.

14) Soient deux suites numériques (u_n) et (v_n) telles que pour tout entier n on ait :

$v_n < u_n \leq v_{n+1}$. Quelle affirmation est fautive ?

- A) (v_n) est monotone B) (u_n) est monotone C) si (u_n) est convergente, (v_n) aussi
D) si (u_n) est divergente, (v_n) est divergente E) la suite $(w_n) = (u_n - v_n)$, est convergente.

15). Le chapiteau a pour base un hexagone régulier de côté 1 et sa hauteur vaut 2. Quelle relation vérifie l'angle α ?

- A) $2(\sqrt{5})\sin(\alpha/2) = 1$ B) $(\sqrt{5})\sin \alpha = 1$
C) $(\sqrt{3})\cos(\alpha/2) = 1$ D) $\tan \alpha = \sqrt{2}$ E) $\sin^2 \alpha = 1/6$



 Extrait de l'épreuve Sup et Deug

16). L'équation $X^2 + X = 0$ dans l'algèbre $M_{22}(\mathbb{R})$ possède

- A) aucune solution B) une solution C) deux solutions
 D) un nombre (> 2) fini de solutions E) une infinité de solutions.

19) On considère les énoncés suivants, valables au voisinage de 0,

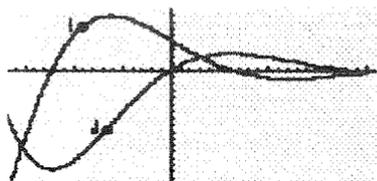
1: $f(x) \sim x$ 2: $f(x) = x - x^3/6 + o(x^3)$ 3: $f(x) \sim x - x^3/6$ 4: $f(x) = x + o(x^2)$.

Parmi les implications suivantes, indiquez laquelle est fausse.

- A) 2 \rightarrow 4 B) 4 \rightarrow 1 C) 2 \rightarrow 3 D) 1 \rightarrow 3 E) 3 \rightarrow 2

20) I est le graphe de la fonction f et J celui de la fonction g. Quelle relation est vraie ?

- A) $f = g^{-1}$ B) $f = g'$ C) $g = f'$
 D) $f = 1 - g$ E) $g = 1 - f$



21) Laquelle des fonctions suivantes vérifie $f(3x) = 2f(x)$?

- A) $f(x) = x^{\ln 2 / \ln 3}$ B) $f(x) = 3x^2$ C) $f(x) = \ln(x/3)$ D) $f(x) = 3^{\ln x / \ln 2}$
 E) $f(x) = x^{\ln 3 \cdot \ln 2}$

22) Selon une légende du Texas, Adam qui vivait voici 4 000 ans mit un dollar à la BigBang Bank, au taux de 0,025 pour cent. A combien avoisine aujourd'hui la fortune de ses héritiers ?

- A) 1,5 \$ B) 2 500 000 \$ C) 0,002 \$ D) 2,7 \$ E) 40 \$

23) Le nombre $1994!$ s'écrit avec un nombre de chiffres voisin de :

- A) 1994 B) 2500 C) 5500 D) 8500 E) 150 000

26) Quel est le nombre de solutions de l'équation $x^2 = x \sin x + \cos x$ dans \mathbb{R} ?

- A) 0 B) 1 C) 2 D) 3 E) une infinité.

29) La limite de $p(n) = 1/(n+1)^2 + 2/(n+2)^2 + \dots + n/(2n)^2$ quand n tend vers l'infini vaut :

- A) 0 B) $\ln(2) - 1/2$ C) $\ln 2$ D) $\pi^2/6$ E) $+\infty$

On peut demander tous les énoncés à : Kangourou des Lycées, BP 129, Argenteuil 95103 Cedex.
 joindre enveloppe timbrée pour la réponse.

— Sciences Cognitives : comment y participer? —

Paula B. Cohen

Les sciences cognitives sont en plein essor. La psychologie cognitive, la linguistique, les neurosciences, la modélisation du cerveau sont parmi les composantes de ce domaine qui ont fait l'objet d'actions et de programmes récents de la communauté scientifique. La plupart des mathématiciens accepteraient sans difficulté qu'une partie des mathématiques joue un rôle crucial dans les sciences cognitives, surtout dans la modélisation : les sciences expérimentales ont toujours besoin des mathématiques pour leurs modèles. On comprend bien que certains philosophes et épistémologues s'intéressent aux sciences cognitives.

Or, les sciences cognitives ne sont pas seulement un récepteur reconnaissant de certains outils mathématiques hautement sophistiqués, mais aussi une discipline qui nous parle de nous-mêmes, en particulier de ces facultés cognitives dont nous nous servons pour faire les mathématiques et dont nous dépendons pour les enseigner. De plus, devant l'actuel développement spectaculaire des sciences cognitives, dont les neurosciences fournissent un exemple frappant, s'en désintéresser est ne pas participer à l'avenir qui se dévoile à nous et ne pas approfondir sa compréhension du présent, car c'est un domaine dont les découvertes nous touchent de très près.

Action concertée et Cognisciences

Au CNRS, une action de recherche intégrée sur les sciences de la communication a inauguré dès 1985 un programme de recherche en sciences cognitives. En 1987, Jean-Pierre Changeux, assisté d'un comité d'experts, a préparé un rapport sur les sciences cognitives à la demande du ministère de la Recherche. Entre 1988 et 1992, le ministère de la Recherche et de la Technologie et le ministère de l'Éducation ont financé une action concertée "Sciences de la Cognition", animée par Jean-Pierre Changeux. Cette action a financé chaque année des projets de recherche pluridisciplinaires et attribué des allocations de recherche à des étudiants en thèse. En avril 1990, le CNRS a créé le PIR Cognisciences. Les grandes lignes de son action avaient été présentées deux mois plus tôt à Lyon, lors d'un colloque fondateur qui avait réuni des représentants des équipes concernées au CNRS, à l'Université et dans plusieurs autres organismes de recherche. Ce programme achève sa première phase cette année et sa continuation est en train d'être déterminée.

Il n'y a pas la place ici pour décrire tout ce que l'Action concertée et Cognisciences ont pu développer au cours des six dernières années. La psychologie, l'anthropologie, l'intelligence artificielle, l'informatique, la logique, les neurosciences, les mathématiques, la physique statistique, la philosophie, l'épistémologie, la communication homme - machine et l'ergonomie cognitive

sont parmi les thèmes qui font la richesse de ces programmes, qui ont souligné et soutenu surtout l'interaction entre ces différents domaines. Sept réseaux régionaux de Cognisciences se sont formés : CogniSeine, ParisCentre, ParisSud, Grand-Est (Metz, Nancy, Strasbourg), Prescott (Toulouse), Rhône-Alpes (Clermont-Ferrand, Grenoble, Lyon, Saint Etienne), CogniSud (Marseille, Montpellier, Nice, Toulon). Le 6 juin 1994 avait lieu la troisième journée annuelle de CogniSeine, dont les responsables sont Daniel Andler et Alain Berthoz. Tout chercheur, professeur, thésard et stagiaire avait la possibilité de s'inscrire à cette journée pour écouter les conférences de synthèse et consulter les posters sur l'activité du réseau lesquels étaient d'un haut niveau tout en restant accessibles. Un mathématicien, R. Azencott, a donné un des meilleurs exposés. Cette journée a fait sentir l'intense activité chez Cognisciences et la possibilité de participer à tout niveau au monde des sciences cognitives.

Comment connaître mieux les sciences cognitives ? On peut par exemple assister aux cours au Collège de France qui touchent aux sciences cognitives : ils sont souvent accessibles au grand public (attentif) et excellents sur le plan pédagogique : ils incorporent aussi des séminaires plus spécialisés. Pour avoir une interaction plus large, il y a énormément de séminaires et de conférences très divers, mais comment être au courant et comment choisir ? C'est là où le RISC peut vous être utile...

Le RISC

Le Relais d'Information sur les Sciences de la Cognition a été créé dans le cadre du programme Cognisciences du CNRS, pour rassembler et diffuser l'information sur les sciences de la cognition à l'intention des étudiants, des chercheurs et des professeurs de toute discipline. Le RISC gère aussi une salle d'orientation avec un petit fonds de livres d'initiation, des moyens d'accès aux banques de données, les catalogues des bibliothèques, et tout autre document utile ayant trait aux sciences cognitives. Le RISC est dirigé par des représentants des trois réseaux parisiens du programme Cognisciences reconnus par le CNRS. Les représentants actuels sont : Jean-François Nicaud pour ParisSud, Danièle Dubois pour ParisCentre et Kevin O'Regan (ou Jean-Pierre Nadal) pour CogniSeine. Joëlle Lavaud est responsable de l'organisation et de la documentation, assisté de Nicole Morain et Catherine Le Forestier.

Le RISC offre le service **ECHOS** auquel vous pouvez vous abonner très facilement. Sur echos@dmi.ens.fr sont envoyés les annonces de séminaires et conférences, ou tout commentaire d'intérêt général sur la recherche en Sciences Cognitives. La plupart de ces annonces concernent les activités dans la région parisienne, mais il y en a beaucoup qui concernent les activités de province ou à l'étranger. Pour s'abonner à Echos il suffit d'envoyer sa demande d'inscription sur la liste d'abonnés par courrier électronique au risc@ext.jussieu.fr en précisant votre nom, adresse complète, domaine de recherche et adresse électronique. Dès votre abonnement vous recevrez

tous les messages envoyés à Echos. Tout message envoyé à Echos est automatiquement diffusé à l'ensemble des abonnés au RISC et donc Echos est aussi un moyen pour vous de transmettre de l'information. Le RISC envoie chaque semaine un FAX avec la mise à jour des séminaires de la semaine qui suit. Pour le recevoir, il suffit d'en faire la demande au RISC. Cette mise à jour est également diffusée sur Echos.

Le RISC édite **paRISCoop**, une gazette donnant des informations pratiques diverses (séminaires, conférences mais aussi informations sur les bibliothèques, les DEA, etc.) Pour le recevoir s'adresser au : **RISC - CNRS, 28 rue Serpente, 75006 Paris, Tél : 40 51 99 40, Fax : 40 51 99 41.** Voici quelques exemples de séminaires et conférences de la région parisienne qui étaient annoncés dans le numéro 6 mai-juin 94 de **paRISCoop** et qui montrent clairement l'intérêt de **paRISCoop** pour les mathématiciens : S. Dehaene : Développement et bases neurales des facultés numériques élémentaires; J-P. Desclés : Mathématiques, informatique, cognition et sciences humaines : analyse de quelques rapports conflictuels et perspectives pour l'enseignement; J-P. Delahaye : Le point de vue constructiviste en math.; V. Danos : Perspectives dégagées par la logique contemporaine; L. Bonatti : La logique mentale vs. les modèles mentaux : une comparaison; S. Dehaene : Bases cérébrales du calcul mental. Il y a eu dans ce même numéro de **paRISCoop** des annonces d'ateliers, groupes de travail et colloques (en France et à l'étranger) dont plusieurs très pertinents pour le mathématicien et d'autres d'un grand intérêt général. Même si vous avez accès à des informations sur une partie des activités en sciences cognitives, vous ignorez peut-être d'autres activités toutes aussi pertinentes : Echos et **paRISCoop** jouent un rôle de coordinateur des activités et centralisateur de l'information.

* Pour des raisons de place disponible, cette information est très courte. La Gazette voudrait vous entendre parler, en tant que mathématiciens, du vaste sujet des sciences cognitives dans ses prochains numéros!!!*

Nomination

Nous publions ci-dessous la liste des membres du groupe d'experts auprès du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, arrêtée le 2 mai 1994. Il s'agit de la mission scientifique et technique : **Groupe d'experts n°1 : "mathématiques et leurs applications"**.

Daniel Barlet, professeur des universités à l'université de Nancy 1,
 Arnaud Beauville, professeur des universités à l'université de Paris 11,
 Bernard Bonnard, professeur des universités à l'université de Dijon,
 Jean Bretagnolle, professeur des universités à l'université de Paris 11,

- Pierre Charrier, *professeur des universités à l'université de Bordeaux 1*,
Laurent Clozel, *professeur des universités à l'université de Paris 11, membre de l'Institut universitaire de France*,
Henri Cohen, *professeur des universités à l'université de Bordeaux 1, membre de l'Institut universitaire de France*,
Yves Colin de Verdière, *professeur des universités à l'université de Grenoble 1, membre de l'Institut de France*,
Francis Comets, *professeur des universités à l'université de Paris 7*,
Jean-Yvon Cougnard, *professeur des universités à l'université de Caen*,
Thierry Coulhon, *professeur des universités à l'université de Cergy-Pontoise*,
René David, *professeur des universités à l'université de Chambéry*,
Jean-Pierre Demailly, *professeur des universités à l'université de Grenoble 1, membre de l'Institut universitaire de France*,
Jean-Marc Deshouillers, *professeur des universités à l'université de Bordeaux 2*,
Michel Dufflo, *professeur des universités à l'université de Paris 7*,
Marie Dutronc—Postel, *maître de conférences à l'université de Paris 6*,
Laure Elie—Woïman, *professeur des universités à l'université de Paris 7*,
Thierry Gallouet, *professeur des universités à l'École normale supérieure de Lyon*,
André Gramain, *professeur des universités à l'université de Tours*,
Yves Guivarch, *professeur des universités à l'université de Rennes 1*,
Bernard Helffer, *professeur des universités à l'université de Paris 11*,
Thierry Jeulin, *professeur des universités à l'université de Paris 7*,
Viatcheslav Kharlamov, *professeur des universités à l'université de Strasbourg 1*,
Hervé Le Dret, *professeur des universités à l'université de Paris 6*,
Jean-François Le Gall, *professeur des universités à l'université de Paris 6, membre de l'Institut universitaire de France*,
Gilles Lebeau, *professeur des universités à l'université de Paris 11, membre de l'Institut universitaire de France*,
Claude Lemaréchal, *directeur de recherche à l'INRIA*,
Martine Marion, *professeur des universités à l'École centrale de Lyon*,
Jean-François Mattei, *professeur des universités à l'université de Toulouse 3*,
Laurent Moret—Bailly, *professeur des universités à l'université de Rennes 1*,
Robert Moussu, *professeur des universités à l'université de Dijon*,
François Murat, *directeur de recherches au CNRS*,
Jean-Louis Nicolas, *professeur des universités à l'université de Lyon 1*,

Joseph Oesterle, *professeur des universités à l'université de Paris 6*,
 Jean-Claude Paumier, *professeur des universités à l'université de Grenoble 1*,
 Daniel Perrin, *professeur des universités à l'IUFM de Versailles*,
 Benoît Perthame, *professeur des universités à l'université de Paris 6*,
 Michel Raynaud, *professeur des universités à l'université de Paris 11*,
 Didier Robert, *professeur des universités à l'université de Nantes*,
 Jacqueline Robinet, *maître de conférences à l'université de Paris 7*,
 Pierre Vogel, *professeur des universités à l'université de Paris 7*,
 Jacques Wolfmann, *professeur des universités à l'université de Toulon*,
 Bernard Ycar, *professeur des universités à l'université de Grenoble 1*.

_____ *Bilan de la session d'inscription sur les listes* _____
 _____ *de qualification de mars 94 (26^{ème} section)* _____

Compte-rendu de la commission du CNU

J. Jacod

1) Quelques résultats statistiques.

La commission 1 s'est réunie les 14, 15 et 16 mars 1994. Pour la liste **Professeurs** il y avait 137 candidats et 126 dossiers sont parvenus aux rapporteurs. Sur ces 126 candidats, 81 ont été inscrits (64%), 10 ont été refusés parce que le dossier ne relevait pas de la 26-ème section, et 35 parce que le contenu du dossier a été jugé insuffisant.

Pour les **Maîtres de Conférences** il y avait 463 candidats, et 368 dossiers sont parvenus aux rapporteurs (pour les dossiers manquants, il s'agit pour l'essentiel de candidats qui n'avaient pas soutenu leur thèse dans les délais). Sur ces 368 candidats, 249 (67 %) ont été inscrits, 74 ont été jugés comme ne relevant pas de la 26-ème section et 80 ont été refusés parce que le contenu du dossier a été jugé insuffisant.

2) Critères d'inscription.

Les critères ont été essentiellement les mêmes que lors de la première réunion de la commission 1 en mai 92 : le CNU a pris en compte en premier lieu les activités de recherche du candidat, mesurées en général en termes de publications dans des revues "internationales". Il a également tenu compte, pour les professeurs, et de manière subsidiaire des activités d'encadrement de recherche et d'administration.

En cas de thèse ou d'habilitation ancienne (datant de 3 ans ou plus), il a été demandé une activité de recherche postérieure à la thèse ou à l'habilitation.

Si les critères ont peu varié, le "niveau" des candidats MC a également peu varié ; en revanche le niveau des candidats professeurs a augmenté de manière significative. En particulier il y avait un nombre assez important de candidats étrangers de très haut niveau.

3) Les dossiers "hors-section".

Comme on peut le voir d'après les statistiques ci-dessus, de nombreux candidats (surtout pour la liste MC) ont été considéré comme "hors-section". Bien entendu ce concept est assez flou. Néanmoins, il convient peut-être de répéter que pour évaluer un dossier la section 26 du CNU considère avant tout l'apport original en termes de mathématiques appliquées, et par contre ne prend pas en considération le simple fait que des mathématiques soient utilisées dans les travaux. Cela a conduit à refuser de nombreux dossiers très certainement de bon niveau (y compris dans l'utilisation de méthodes mathématiques sophistiquées), mais dont l'apport à la théorie mathématique était vide ou très faible. C'est ainsi que beaucoup de candidats de type "ingénieurs" ont été refusés, ce qui pose à nouveau le problème de l'existence d'une section adéquate (ou plus généralement de la reconnaissance de ce type de profil à l'université).

Malgré toutes ces réserves, la commission s'est efforcée de faire preuve d'ouverture. Par exemple, le fait d'avoir une thèse avec la mention "mécanique" ou "informatique" n'est pas un handicap, s'il y a un contenu mathématique.

Enfin, en ce qui concerne les candidats communs aux sections 25 et 26, en accord avec la 25-ème section, nous avons décidé de les examiner dans la section la plus compétente. En conséquence il y a très peu de doubles inscriptions en 25 et 26 (rappelons à ce propos qu'un candidat inscrit dans une section peut se présenter à tous les postes de MC ou de professeurs, quel que soit leur intitulé).

4) Constitution des dossiers.

Au vu du nombre de dossiers difficilement exploitables, essentiellement au niveau MC, il est important de rappeler quelques principes : sauf dans le cas où la thèse a été intégralement publiée et où les articles correspondants sont fournis, il est indispensable de joindre la thèse. Il est recommandé de fournir également les rapports de thèse (en plus du rapport de soutenance). Il est également indispensable de joindre un CV détaillé, avec une liste complète de publications (ceci doit être envoyé aux deux rapporteurs et pas seulement à l'administration).

*— Point de l'enquête sur la situation administrative —
— de certains mathématiciens non-européens —*

Marc Diener et Emmanuel Isambert

Un appel à témoignages avait été lancé dans la Gazette de novembre 1993 dans un problème qui commençait à se faire jour : celui des visas et titres de séjour de collègues non-européens. Dans l'intervalle le Premier Ministre a été alerté, et celui-ci a transmis le problème au Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et à celui des Affaires Etrangères, qui ne nous ont pas contacté.

Voici le point de l'enquête :

Les difficultés rencontrées par nos collègues étrangers appelés à venir en France se répartissent essentiellement en deux catégories :

- les problèmes rencontrés avant l'entrée en France, pour obtenir des services consulaires français un visa conforme avec l'exercice d'une activité salariée. Ce sont surtout les collègues invités pour une courte période qui sont concernés, certains ayant même dû renoncer à venir à des colloques, séminaires, groupes de recherche etc. Certains collègues recrutés ont eu le même type de problèmes, ce qui eut parfois comme conséquence l'impossibilité de rejoindre leur poste en temps voulu (d'où perturbation des services d'enseignement dans nos universités). D'autres ont pu venir, mais avec un visa madéquat, sans pouvoir régulariser leur situation ensuite.*

- les difficultés rencontrées en France, pour obtenir auprès des services d'immigration (préfectures, ministères) un titre de séjour; cela concerne surtout les collègues recrutés sur un poste de titulaire, mais aussi certains associés recrutés pour au moins un an. Les conséquences pour ces collègues se traduisent surtout par une perte de temps considérable en démarches répétées, souvent vécues par ces chercheurs comme manifestant une suspicion peu compatible avec les traditions d'échanges scientifiques internationaux; cela rend également précaire ou impossible la nécessaire sortie de France de ces collègues pour assister à des colloques ou séminaires à l'étranger! Par ailleurs le désir légitime de personnes recrutées pour une ou plusieurs années de faire venir leur famille, les mène souvent à des situations inextricables, fort pénibles sur le plan humain.*

1) Difficultés pour obtenir un visa

Les collègues hors CEE doivent obtenir, avant de se rendre en France, un visa mentionnant leur droit à exercer une activité rémunérée. Pour accorder ce visa, les fonctionnaires des services consulaires paraissent souvent peu au fait de la réglementation concernée, notamment au sujet des autorisations à obtenir auprès de l'OMI (Office des Migrations Internationales), ce qui occasionne de nombreux retards :

ainsi **M. Takei**, citoyen japonais invité à Nice pour janvier 94, s'est vu réclamer à tort des papiers médicaux qu'il ne pouvait fournir, et n'a pu obtenir son visa qu'in extremis après de nombreuses démarches et intervention du Président de l'Université de Nice.

M. Kuwata, également japonais recruté à Caen en 93, a été menacé un temps de se voir refuser son visa.

MM Zaidenberg et Panchiskin (russes) professeurs recrutés à Grenoble, n'ont pas réussi à obtenir leur visa à temps pour le rentrée 93, ils n'ont pu arriver qu'à mi-décembre.

M. Marcouchevitch, russe recruté comme Maître de Conférences (MC) à Lyon, a mis 5 mois pour obtenir son visa pour lui et sa famille : notamment, il est difficile de comprendre pourquoi l'OMI a longtemps refusé le visa à sa fille âgée de 4 ans.

Invités à Montpellier, **MM. Soares** (brésilien) et **Tralle** (polonais) ont du retarder leur invitation et ne savent toujours pas s'ils pourront venir, l'OMI bloquant leur autorisation de visa.

Les personnes suivantes ont du totalement renoncer à venir, faute d'obtenir un visa, ou de l'obtenir à temps :

M. Bensebaa, algérien, invité 1 mois à Caen ;

M. Gmira, marocain, recruté comme ATER à Valenciennes ;

M. Hua Dai, chinois, invité à Saint Etienne ;

M. Orevkov, russe, invité à un colloque à Grenoble ;

M. Sobolev, russe, invité à Nantes.

Devant de telles complications, les consulats conseillent parfois à la personne de demander un visa touristique, quitte à régulariser leur situation une fois en France : or cela est quasiment impossible, ce dont il convient d'avertir les personnes concernées.

C'est ce qui avait été suggéré à **M. Takei**, cité plus haut ; heureusement celui-ci a été averti à temps par les collègues de Nice.

M. Spivakovsky, invité pour 6 mois à Grenoble et **M. Walter**, invité pour 1 an à Nice, tous deux américains, n'ont pas pu bénéficier de tels conseils et se sont retrouvés en France avec un visa touristique ; à l'heure actuelle leur situation n'est pas réglée, et cela pose de graves problèmes pour les payer.

Enfin **M. Greenberg**, américain recruté à Grenoble, a été contraint de revenir à New York en décembre 91 pour régulariser sa situation, n'ayant pu le faire depuis la France : ceci montre que le problème n'est pas nouveau ; c'est l'accumulation des cas qui est récente.

2) Difficultés pour obtenir un titre de séjour et de travail

Il existe deux titres de séjour donnant droit à exercer une activité salariée : la carte de séjour temporaire, valable 1 an maximum et renouvelable au plus

2 fois, et la carte de résident valable 10 ans, qu'on ne peut obtenir qu'après 3 ans de résidence ininterrompue et salariée en France.

On pourrait penser qu'une fois obtenue la carte temporaire, la personne est tranquille pendant un an; or, une pratique assez systématique pour la délivrance de cette carte est de la fournir au maximum 3 mois avant sa date d'expiration, ce qui oblige évidemment à revenir beaucoup plus souvent (quelquefois inutilement). De plus certains pays, pour accorder un visa depuis la France, exigent un titre de séjour valable au moins 6 mois : d'où l'impossibilité encore une fois d'assister à des colloques hors de France!

Certains collègues, comme M. Russo (alors MC à Marseille) se sont même vu délivrer leur carte 15 jours avant, voire même après qu'elle soit périmée. Cette même personne se plaint qu'on lui fasse faire des démarches qu'on déclare inutiles une fois faites, et cela en refusant de présenter la moindre excuse.

M. Samborski, russe, recruté comme professeur à Caen, se plaint de traitements semblables, ainsi que M. Klopotoski, MC à Villetanneuse (polonais).

Plusieurs collègues, malgré une demande en bonne et due forme, ont reçu une carte de séjour "étudiant" (et non "salarié") et après cela ont toutes les peines du monde à faire rectifier cette erreur : c'est le cas de M. Andjel, argentin recruté comme professeur à Marseille et de M. Phan Luong, MC titulaire à Marseille également.

Le cas de ce dernier est extrêmement pénible : d'après lui la préfecture lui refuse la carte de résident, faute d'une carte de séjour "salarié" et lui refuse la carte "salarié" faute d'une carte de résident! Par ailleurs cette situation lui a valu jusqu'à présent un refus de visa pour sa femme et son enfant.

Parmi les difficultés familiales, signalons enfin le cas de M. Samborski, déjà cité, qui a dû se battre désespérément pendant plus d'un an pour faire venir en France son épouse (ukrainienne).

En conclusion, il apparaît donc que les nouvelles mesures de contrôle, et parfois également la manière dont elles sont appliquées par les services officiels concernés, causent une gêne considérable aux indispensables échanges entre la communauté mathématique française et la communauté internationale; cela ne peut qu'être préjudiciable à l'image scientifique de la France dans le monde, et au développement même de la recherche en France. Il est à craindre que les meilleurs spécialistes étrangers, malgré le renom international actuel des mathématiques françaises, finissent par préférer se rendre dans des pays où ils risqueraient moins d'être confrontés à des situations aussi pénibles.

Recherchons informations sur...

La Gazette a reçu une demande d'informations sur les enseignements de mathématiques discrètes et de mathématiques pour l'informatique existant actuellement au niveau DEUG. Si vous organisez ou avez organisé récemment un tel enseignement, pouvez-vous contacter la rédaction ? Nous vous remercions par avance pour votre coopération ...

Informations

La 8ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques aura lieu du 22 au 31 août 1995 à Saint Sauves d'Auvergne. Elle est ouverte aux personnes : chercheurs, enseignants et formateurs, intéressés par les développements de la recherche en didactique des mathématiques et la transmission de ses résultats. Pour toute demande de renseignement, envoyer un courrier à l'adresse suivante :

8ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques
LADIST
Université de Bordeaux I
40, rue Lamartine
F 33400 Talence

COMPTES RENDUS

K.A.M. theory and Semiclassical Approximation to Eigenfunctions

V.F. Lazutkin

Springer Verlag 1993

Commencez avec une table de billard dont vous aurez choisi le bord suffisamment lisse, ou plutôt avec le fibré tangent de celle-ci, ôtez les vecteurs tangents au bord de la table, identifiez un vecteur tangent à la table en un point du bord avec le vecteur réfléchi, mettez sur le tout le flot défini de la manière suivante : un vecteur tangent se propage à vitesse constante dans la direction qu'il définit et se réfléchit sur le bord suivant les lois de l'optique géométrique. Vous venez d'inventer le jeu de billard. Remplaçant la métrique euclidienne par une métrique quelconque et ajoutant un potentiel, vous obtiendrez les flots géodésiques généralisés, sujet principal de ce livre. Ces flots hamiltoniens (passez à l'espace des phases, c'est-à-dire au cotangent dès que vous aurez compris la situation) généralisent les flots géodésiques des variétés riemanniennes (ni bord, ni potentiel), les systèmes mécaniques classiques (pas de bord), et les billards riemanniens (pas de potentiel).

On connaît les exemples classiques dans lesquels un tel flot est complètement intégrable : le flot géodésique d'une surface de révolution ou d'un ellipsoïde, le problème des deux corps (dans un repère tournant par rapport à un repère galiléen si l'on veut lever la dégénérescence qui vient de ce que chaque orbite d'énergie négative est périodique), le billard elliptique, ... La plus grande partie de l'espace des phases est alors feuilletée par des sous-variétés lagrangiennes invariantes qui, lorsqu'elles sont compactes, sont difféomorphes à des tores. De plus, il existe sur ces tores invariants des coordonnées dans lesquelles le flot devient linéaire (au revêtement universel), donc périodique ou quasi-périodique. Ce dernier cas est générique au sens de la mesure de Lebesgue.

Par une légère perturbation des exemples qui précèdent, on obtient les flots géodésiques sur une surface de révolution ou un ellipsoïde légèrement cabossés, le problème restreint des trois corps dans le cas lunaire, le billard presque elliptique. Pour ces nouveaux exemples, et plus généralement pour un flot hamiltonien suffisamment proche d'un flot complètement intégrable et vérifiant certaines hypothèses de non-dégénérescence, le théorème de Kolmogorov-Arnold-Moser (K.A.M.) montre qu'un ensemble de Cantor de tores lagrangiens invariants quasi-périodiques continue à exister. Cet ensemble de Cantor est d'autant plus gros au sens de la mesure que le flot considéré est plus proche d'un flot complètement intégrable. Dans les exemples, les solutions quasi-périodiques obtenues s'interprètent respectivement comme des géodésiques denses dans une région annulaire, des mouvements quasi-périodiques du corps de masse nulle

dans un repère tournant, des caustiques du billard.

Considérons donc les solutions quasi-périodiques "de type K.A.M." du flot "classique" de Hamiltonien $H(p, q) = 1/2\|p\|^2 + V(q)$. Le but de ce livre est d'attacher à l'ensemble de ces solutions des quasi-modes de l'opérateur de "Laplace-Beltrami-Schrödinger"

$$\mathcal{H}_h = -\frac{\hbar^2}{2}\Delta + V$$

agissant sur L^2 . La norme de p est prise dans une métrique sur les fibres du cotangent associée à la métrique sur la variété de configuration, Δ est le Laplacien pour cette métrique, V est un potentiel et agit dans \mathcal{H}_h comme opérateur de multiplication.

Les quasi-modes sont des solutions approchées de l'équation aux valeurs propres de l'opérateur, d'autant meilleures que "la constante de Planck \hbar est plus petite". Ils fournissent des valeurs propres approchées de l'opérateur et des quasi-fonctions propres qui approchent des combinaisons linéaires de "vraies" fonctions propres (sous-espaces quasi-invariants dans L^2) correspondant à un paquet de "vraies" valeurs propres dans un intervalle de l'ordre de la constante de Planck. En déduire des fonctions propres approchées est une autre histoire.

La méthode utilisée est la globalisation donnée par Maslov de la méthode B.K.W. (sorry, W.K.B. in english), pilier des résultats du type "approximation semi-classique". Elle consiste en la recherche de solutions asymptotiques de l'équation aux valeurs propres qui soient des fonctions oscillantes $ae^{(i/\hbar)S}$ dont l'amplitude a se calcule récursivement sous la forme d'un développement en puissances de \hbar . L'idée de Maslov est bien décrite dans l'introduction du livre de Maslov et Fedoriuk (1981), et rappelée succinctement dans l'introduction du présent livre : à l'ordre zéro, on trouve que la phase S , fonction sur l'espace de configuration, est solution de l'équation de Hamilton-Jacobi du système classique : le graphe de la dérivée de S doit être contenu dans une hypersurface d'énergie constante $H(\partial S/\partial q, q) = E$. La globalisation d'une telle solution est simplement une "solution géométrique" de la dite équation, c'est-à-dire une sous-variété lagrangienne L contenue dans ce niveau d'énergie. A l'ordre un, la solution des équations de transport s'interprète naturellement comme une demi-densité sur L invariante par le flot du champ hamiltonien. Il s'agit d'un objet sans singularité, ces dernières n'apparaissant que dans l'opération de projection de L sur l'espace de configuration (intensité lumineuse infinie sur la caustique).

A chaque sous-variété lagrangienne L de l'espace des phases contenue dans une hypersurface d'énergie constante est attaché un opérateur \mathcal{M}_L , l'opérateur de Maslov de quantification des demi-densités sur L , qui associe à une demi-densité a sur la sous-variété L une demi-densité $\mathcal{M}_L(a)$ sur l'espace de configuration Q . En fait, il n'y a pas de demi-densité dans le texte et l'opérateur est présenté comme agissant sur les fonctions une fois fixée une forme volume invariante sur L . Cet opérateur généralise la notion de fonction oscillante aux cas où la phase (ou

plutôt sa dérivée) est remplacée par la sous-variété lagrangienne L : en dehors de la "caustique", c'est-à-dire au voisinage d'un point où L se projette avec rang maximum sur Q , l'opérateur \mathcal{M}_L est simplement défini par

$$\mathcal{M}_L(a) = e^{(i/\hbar)S}(dS)^* a,$$

où S est une fonction génératrice de L , ce qui signifie que L est le graphe de la dérivée de S . Une telle fonction n'est bien définie qu'à une constante additive près. En un point de la caustique, plusieurs démarches sont possibles : on peut représenter L par une phase génératrice dépendant d'un certain nombre de paramètres auxiliaires ou bien, ce qui est fait ici, tourner la tête et l'écrire comme graphe de la dérivée d'une fonction génératrice dépendant d'un certain nombre de variables de configuration q et d'un certain nombre de variables conjuguées p . Au niveau de l'analyse, le remplacement de certaines variables q par les variables conjuguées p se traduit par une transformation de Fourier partielle, qui intervient dans la définition de l'opérateur de Maslov au voisinage d'un point de la caustique. Dans tous les cas, la fonction génératrice S n'est définie qu'à une constante arbitraire près, et l'opérateur local de quantification contient donc une phase arbitraire.

Le choix de phases locales compatibles est crucial pour le recollement de ces opérateurs locaux. Il est guidé par le fibré de Maslov attaché à L , issu comme l'avait vu Arnold à la fin des années soixante, de la topologie de la grassmannienne lagrangienne. Les conditions de recollement obtenues s'interprètent comme des conditions de quantification du type Bohr-Sommerfeld.

Les formules de commutation de l'opérateur de Maslov avec l'opérateur de Laplace-Beltrami-Schrodinger s'écrivent

$$\forall N, \quad \mathcal{H}_\hbar \circ \mathcal{M}_L(v) = \mathcal{M}_L \left(Ev + \sum_{s=1}^N (i\hbar)^s \alpha_s(v) \right) + O(\hbar^{N+1}).$$

La constante E est le niveau d'énergie contenant L , et les estimations sont uniformes par rapport à L variant dans l'ensemble des tores lagrangiens quasi-périodiques donnés par le théorème K.A.M. pourvu que v soit une fonction C^∞ au sens de Whitney sur cet ensemble. Ces formules permettent d'expliciter d'un seul coup les équations de transport que doivent vérifier les termes du développement asymptotique en puissances de \hbar de l'amplitude des quasi-modes attachés à un tel ensemble invariant du système classique. On cherche en effet ces quasi-modes comme fonctions oscillantes globales, c'est-à-dire de la forme $\mathcal{M}_L(v)$. Autrement dit, on cherche à résoudre l'équation

$$\forall N, \quad \mathcal{H}_\hbar(\mathcal{M}_L(v)) = E\mathcal{M}_L(v) + O(\hbar^{N+1}).$$

Il "suffit" manifestement de résoudre les équations $\alpha_s(v) = 0$, $s = 1, 2, \dots$

Le livre, qui comporte sept chapitres et un appendice, est divisé en deux parties. La première (chapitres 1 à 4, 220 pages) est consacrée d'une part à une introduction à la géométrie symplectique et aux systèmes hamiltoniens, en particulier la description des systèmes complètement intégrables et de leurs feuilletages en tores lagrangiens invariants, d'autre part à l'énoncé et la démonstration complète (chapitre 4) du théorème de K.A.M. qui assure la persistance d'un ensemble de Cantor de tores lagrangiens invariants lorsqu'on perturbe suffisamment peu le Hamiltonien dans une topologie C^r assez lisse. L'auteur a joint l'application qu'il a donnée de ce théorème à la démonstration de l'existence de caustiques au voisinage du bord d'un billard convexe suffisamment régulier ainsi qu'une description d'un certain nombre de résultats, dont les siens, sur la dynamique des "zones chaotiques", encore fort mal connue.

La démonstration du théorème K.A.M. qui est présentée est assez forte pour impliquer l'existence d'un feuilletage lisse en tores qui contienne l'ensemble de Cantor des tores invariants obtenus. Un tel feuilletage n'est bien entendu pas unique mais permet de contrôler la mesure de l'ensemble des tores invariants, contrôle qui s'avère fondamental dans la deuxième partie pour évaluer le nombre de quasi-modes fournis par la méthode. Cette démonstration est par nature très technique et il peut être utile au lecteur novice de consulter le Séminaire Bourbaki de J.B. Bost sur K.A.M. pour la replacer dans le cadre plus abstrait d'un théorème de fonctions implicites dans certains espaces de Fréchet.

La deuxième partie (chapitres 5,6,7), plus courte (85 pages) mais très dense, est consacrée à la construction de l'opérateur global de Maslov attaché à l'ensemble des tores invariants donnés par le théorème K.A.M. Après avoir rappelé les notions d'analyse nécessaires – opérateurs non bornés, spectres, quasi-modes – il donne un exposé rigoureux de la construction, au cours duquel la théorie des classes de Maslov est faite complètement, en partie à partir du livre de Guillemin-Sternberg *Geometric asymptotics* et d'un article de Turaev.

Un appendice de Schnirelman donne une interprétation du lien classique-quantique dans le cas, opposé au précédent, d'un flot ergodique. Les quasi-modes ne sont plus, comme on pouvait s'en douter, localisés sur des objets géométriques attachés au flot, mais "asymptotiquement uniformément distribués", dans le sens où la norme L^2 de leur restriction à un sous-ensemble tend vers la mesure relative du sous-ensemble lorsqu'on parcourt une suite bien choisie de valeurs propres. L'appendice étudie également les quasi-modes associés au complémentaire des sous-ensembles invariants donnés par K.A.M. dans le cas de systèmes à deux degrés de liberté (zones d'instabilité) et montre que le spectre est alors "asymptotiquement multiple".

Pour finir, un petit mot sur l'histoire. Lazutkin a été le premier à démontrer, dans le cas particulier des difféomorphismes symplectiques en dimension deux, la possibilité de plonger dans un feuilletage lisse l'ensemble de Cantor de tores invariants donnée par le théorème K.A.M. Ce résultat a été généralisé aux difféomorphismes symplectiques en dimension quelconque par Svanidze, et aux

flots hamiltoniens par Pöschel dans sa thèse. De même, Lazutkin a été le premier à prouver l'existence d'un ensemble de mesure positive de quasimodes, résultat généralisé par Colin de Verdières. Ce livre est donc l'œuvre d'un des pionniers du sujet. Il n'est pas facile à lire mais vaut l'effort qu'il demande.

N.B. Un grand nombre de coquilles subsistent dans le texte, c'est dommage.

P.S. Merci à Gaël Meigniez qui m'a aidé à rendre plus lisible ce compte-rendu.

Alain Chenciner
Université Paris 7

Algebraic Function Fields and Codes

H. Stichtenoth

Springer-Verlag, Universitext 1993 (260 pages)

H. Stichtenoth travaille dans le domaine de la géométrie algébrique et de ses applications aux codes correcteurs d'erreurs.

L'ouvrage dont on rend compte ici traite de ce sujet. Plus précisément l'auteur étudie les corps des fonctions algébriques d'une variable sur un corps K et les applications de cette théorie aux codes géométriques algébriques de Goppa. Bien évidemment, compte tenu des applications aux codes, le corps K n'est pas soumis à des conditions trop strictes; en particulier la théorie s'applique aux corps finis.

L'exposé est self content, très clair et très méticuleux. Les idées sont bien mises en évidence et on peut suivre leur développement grâce à un plan bien construit. Notons encore qu'on trouve dans cet ouvrage les résultats récents sur le sujet. Le choix d'un abord purement algébrique des corps de fonctions est particulièrement bien adapté. En effet il permet un

exposé complet, et cependant très abordable des éléments nécessaires aux applications en vue. Si l'aspect géométrique n'est pas au premier plan, on peut toutefois s'y référer grâce à une annexe qui explique les liens entre corps de fonctions algébriques d'une variable et courbes algébriques. D'autre part dans les divers exemples donnés (en particulier au chapitre VI) on voit bien se profiler l'aspect courbes algébriques.

Les deux premiers chapitres plantent le décor : le chapitre 1 met en place les éléments algébriques de base, c'est-à-dire la notion de corps de fonctions algébriques d'une variable, les places, les valuations, le genre, le théorème de Riemann Roch, les différentielles de Weil, tandis que le chapitre 2 introduit les rudiments sur les codes et utilise les notions algébriques précédentes pour expliquer ce que sont les codes de Goppa; à titre d'exemples on retrouve des codes classiques.

Les chapitres 3, 4, 5, 6 sont dans le prolongement du chapitre 1, plus précisément : les chapitres 3 et 4 développent la théorie des corps de fonctions (c'est en fait le chapitre central où les outils qui permettent de

travailler sur les corps de fonctions, d'en évaluer le genre, sont présentés), le chapitre 5 s'intéresse au cas où le corps de base est un corps fini (on y trouve exposées la notion de fonction Zeta d'un corps de fonctions algébriques ainsi que la borne de Hasse-Weil, établie par la méthode de Stepanov et Bombieri, et ses améliorations) et enfin le chapitre 6 donne des exemples qui non seulement éclairent la théorie mais aussi possèdent un fort intérêt en eux mêmes (sont étudiés en particulier les cas des corps elliptiques et hyperelliptiques). Les chapitres 7 et 8 quant à eux prolongent le chapitre 2 donnant précisions et exemples sur les codes géométriques. On y trouvera en particulier un algorithme de décodage des codes de Goppa. Là encore on voit fonctionner sur des cas concrets l'outillage général des corps de fonctions.

J'ai beaucoup apprécié la lecture de cet ouvrage qui me semble devoir devenir un livre de référence sur le sujet, à la fois par la clarté de l'exposé, par le point de vue adopté et par la richesse du contenu.

Robert Rolland
Marseille - Luminy
Labo. de Mathématiques Discrètes

200 % of nothing

A. K. Dewdney

édition Wiley and sons.

Les maths sont partout, et leur usage abusif plus encore, telle est la thèse de ce livre. Si vous connaissez quelqu'un qui ne sait pas encore que 5% d'inflation par an ne font pas 50%

au bout de dix ans et ne font pas non plus 5% de perte de pouvoir d'achat annuel, qui joue au loto et qui pense qu'il a bien de la chance d'habiter dans une des 4% de rues bien éclairées, vu que 88% des crimes ont lieu dans des rues mal éclairées, alors conseillez-lui ce livre.

Il s'agit donc de débusquer les innombrables "tromperies par les maths", ou plutôt "tromperies par l'apparence de maths" de la vie courante. Ces tromperies peuvent être délibérées ou résulter de l'ignorance de leur auteur. Le livre commence par une classification de différents types de tromperies mathématiques comme les faux calculs de pourcentages, les échantillons statistiques biaisés, l'insuffisance des données, les erreurs sur les très grands ou les très petits nombres, la présentations tendancieuse de données (choix d'échelles, lissage de courbes, forme des diagrammes), erreurs logiques. Puis nous voyons, chapitre par chapitre dans chaque situation de la vie courante ces tromperies à l'œuvre. Les domaines considérés sont les jeux de hasard, les finances et la politique, la publicité, les médias, le risque médical, la consommation ... Ces chapitres sont issus principalement du courrier envoyé à l'auteur alors qu'il tenait la rubrique "récréations mathématiques" du Scientific American par ce qu'il appelle des "math abuse detectives". Le livre se termine par deux chapitres où l'auteur réfléchit aux causes et propose des remèdes.

Principale cause envisagée : le niveau mathématique de l'enseignement (aux USA bien sûr!), et aussi la mode

anti-math chez les jeunes et chez certains intellectuels et la disjonction entre math scolaires et vie de tous les jours. Les remèdes proposés : évidemment lire ce livre! puis se persuader et persuader chacun que les maths sont partout, connaître quelques principes généraux (définition d'un pourcentage ou d'une probabilité par exemple) et savoir faire les hypothèses simplificatrices convenables permettant de faire une vérification rapide ("au dos de l'enveloppe").

Notons que le chapitre 11 contient

quelques réponses intéressantes à la question naïve "les maths qu'est-ce que c'est? ". En guise de conclusion l'auteur tente de nous persuader que les maths sont vraiment partout et même plus : ce serait l'essence de toute chose. Sans le suivre jusque là, le lecteur qui referme ce livre est fortement incité à devenir lui aussi un "détective des tromperies mathématiques".

*François Digne
Université de Picardie*

**BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ MATHÉMATIQUE DE FRANCE 1994
et son supplément les MÉMOIRES DE LA S.M.F.**

(4 fascicules par an auxquels s'ajoutent 4 à 5 suppléments)

Revue éditée par la Société Mathématique de France.

Publié avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique.

TOME 122, Fascicule 2

Prix public : 180 FF, Prix membres : 115 FF.

Sommaire :

AMOROSO (F.). — *Multiplicité et formes éliminantes.*

SAITO (M.). — *Microlocal b -function.*

WALLET (G.). — *Singularité analytique et perturbation singulière en dimension 2.*

ALEXOPOULOS (G.) et LOHOUÉ (N.). — *Riesz means on Lie groups and Riemannian manifolds of nonnegative curvature.*

SORGER (C.). — *La semi-caractéristique d'Euler-Poincaré des faisceaux w -quadratiques d'un schéma de Cohen-Macaulay.*

SHUSTIN (E.). — *Smoothness and irreducibility of varieties of plane curves with nodes and cusps.*

CAMPANA (F.). — *Remarques sur la revêtement universel des variétés Kählériennes compactes.*

BLOT (J.). — *Oscillations presque-périodiques forcées d'équations d'Euler-Lagrange.*

Mémoires :

supplément au Tome 122, fasc. 2 – Mémoire n° 57

ANDRONIKOF (E.). — *Microlocalisation tempérée.*

(176 pages, prix public : 170 FF ; prix membres SMF : 95 FF)

Dans la ligne des idées de Sato et de son école, nous construisons la théorie de la microlocalisation tempérée des distributions et des fonctions holomorphes. On obtient de nouveaux faisceaux de microfonctions et d'opérateurs microdifférentiels invariants par les transformations canoniques complexes. On applique ces nouveaux outils aux solutions distributions des systèmes linéaires, sur le modèle systématique qui avait été réalisé en théorie des hyperfonctions. La microlocalisation tempérée est également essentielle pour analyser la structure microlocale des D -modules réguliers.

ABONNEMENT 1994

Prix public Europe : 910 FF Hors Europe : 960 FF

Prix Membres Europe : 480 FF Hors Europe : 530 FF

DISTRIBUTION

Maison de la S.M.F., Case 916 - Luminy, 13288 Marseille Cedex 09

Gauthier-Villars, CDR, 11 rue Gossin, 92543 Montrouge Cedex

Offilib, 48 rue Gay-Lussac, 75240 Paris Cedex 05