

## Besoin de Docteurs

Monsieur le Directeur Général,  
Mesdames, Messieurs,  
Chers collègues,

121 jeunes scientifiques viennent donc de recevoir le titre de “Docteur de l’Ecole Polytechnique”.

C’est magnifique !

Dans cette maison dédiée par Napoléon à « la patrie, les sciences et la gloire », c’est un immense plaisir pour moi de célébrer avec vous cet événement. La présence de nombreux étrangers parmi ces nouveaux docteurs prouve en effet que la France est l’une des patries de la science ce qui lui donne un attrait incontestable. C’est aussi l’une des gloires de l’Ecole Polytechnique d’en être aujourd’hui le symbole. Mais c’est surtout bien sûr parce que nous célébrons la science aujourd’hui, sa grandeur, son intérêt et son utilité. Si vous le permettez, je souhaite insister sur la place qu’elle doit occuper, à l’Ecole Polytechnique comme ailleurs.

Je crois profondément à l’utilité de la science, en particulier de la recherche scientifique, mais pas nécessairement à son utilité immédiate.

Regardons un peu en arrière, par exemple les progrès accomplis par la Physique au vingtième siècle.

La découverte de la radioactivité nous a permis de déterminer l’âge de la Terre. Quelle fraction de la population française sait-elle que cet âge est 4,5 milliards d’années ? Ceux qui savent sont-ils plus heureux, ou plus riches, ou plus puissants que ceux qui ne savent pas ? Je vous laisse juges.

Mais continuons. Les progrès de l’optique et de la physique atomique nous ont appris que l’Univers a un âge lui aussi, 13,7 milliards d’années, 3 fois plus que la Terre. La même question se pose : combien de gens autour de nous savent-ils cela ? Combien de gens savent-ils comment et quand on en est arrivé à cette conclusion ? Ceux qui savent en tirent-ils un quelconque avantage ?

Je pourrais recommencer avec un exemple plus récent : combien de gens ont-ils une idée de ce qu’est la théorie du chaos, donc des raisons pour lesquelles il est impossible de faire des prédictions météorologiques plus de 15 jours à l’avance ? Si je vous demande si c’est utile, certains d’entre vous me diront peut-être qu’en étendant cette théorie à l’analyse des fluctuations des cours de la bourse on peut éviter d’y perdre toute sa fortune. Ceux-là sont très au courant des problèmes que se posent physiciens et économistes en 2007. Ils ont peut-être raison mais, en fait, cette extension étant actuellement controversée, je n’en suis pas sûr.

A un journaliste de France Inter qui me posait l’éternelle question de l’utilité de la science, j’ai répondu pas d’autres questions : et la poésie ? et la philosophie ? est-ce vraiment utile ? Ma réponse sera personnelle : de même que je préfère vivre en développant un minimum de culture littéraire ou philosophique, de même je trouve plus agréable de vivre en réfléchissant chaque jour à l’état de nos connaissances qu’en les ignorant.

Bien sûr, la science, la physique en particulier, a des applications qui nous rendent la vie plus agréable. Je ne parlerai pas de l'invention des antibiotiques ni des applications de la biologie moléculaire. Cela m'intéresse mais ce n'est pas mon domaine. Mais je citerai le laser, dont nous savons tous qu'il n'a pas été inventé en essayant d'améliorer les lampes à huile mais en tentant de comprendre les processus quantiques qui régissent l'interaction entre la matière et le rayonnement, les atomes et les photons. Or, sans lasers, ni la chirurgie des yeux, ni la lecture des disques compacts, ni la découpe des tôles et des tissus ne seraient ce qu'elles sont aujourd'hui. De même le transistor n'a pas été inventé parce qu'on cherchait à améliorer les lampes triodes mais parce qu'on cherchait à comprendre les propriétés, quantiques à nouveau, des semi-conducteurs. Inutile d'insister sur l'explosion de l'électronique et de l'informatique, donc des télécommunications, sans parler de l'imagerie et du diagnostic en médecine.

Ces arguments sont généralement employés par les défenseurs de la recherche fondamentale, afin de justifier un investissement à long terme dans la connaissance pure. Je les emploie parfois moi-même. Le problème est évidemment que la même science fondamentale a permis de fabriquer des armes de destruction massive. Hiroshima, Tchernobyl ou la menace d'une guerre bactériologique ont vite fait de rendre la science impopulaire, si ce n'est responsable des malheurs de l'humanité aux yeux d'une majorité de nos concitoyens.

Afin de sortir de ce débat classique, je voudrais me limiter à un plaidoyer en faveur de la recherche scientifique que viennent de pratiquer ces 121 jeunes docteurs, car je crois qu'elle constitue la meilleure formation possible et qu'ils représentent la force de réflexion et de travail dont notre société a besoin.

Faire des études brillantes, entrer par exemple comme élève à l'Ecole Polytechnique, n'est pas à la portée de tous. Il faut apprendre à travailler particulièrement vite et bien. Mais pour être un bon élève il n'est guère besoin d'avoir un esprit original, il suffit souvent de savoir résoudre rapidement un problème bien énoncé et dont la solution est connue par ceux qui ont bien posé le problème.

Devenir un bon chercheur, c'est une autre affaire ; c'est apprendre à se poser soi-même un problème qui ne l'a jamais été. C'est forger les outils techniques ou conceptuels qui vont permettre de le résoudre. C'est finalement aboutir à un résultat original qui vous appartient. Pour obtenir votre grade de Docteur vous avez dû soumettre vos travaux pour publication dans une revue scientifique internationale qui l'a acceptée, certifiant ainsi que votre travail était original. Votre nom est dessus. Cette publication, qui résume votre œuvre créatrice est la vôtre. Personne ne vous en contestera la propriété intellectuelle.

Voilà qui me rappelle 1994, l'année du bicentenaire de l'Ecole Polytechnique. A cette occasion, un prix fut créé pour récompenser d'anciens élèves, docteurs ou professeurs de l'Ecole Polytechnique, pour l'excellence de leurs travaux scientifiques. J'ai eu la chance de recevoir ce premier prix Dargelos en 1994. Ce fut l'occasion d'évoquer avec Madame Dargelos la mémoire de son mari, ingénieur en travaux publics dont l'œuvre dans l'Indochine française avait été ravagée par la guerre. Madame Dargelos a eu la générosité de faire une donation à l'Association des anciens élèves de l'Ecole Polytechnique, afin que ce prix soit accompagné d'un gros chèque. La première remise de ce prix était un moment émouvant, pour moi comme pour elle. En la remerciant je lui ai décrit la chance que j'ai : personne ne peut ni ne pourra jamais détruire les quelques travaux qui m'ont valu ce prix.

De quoi s'agissait-il, à propos ? J'avais, pour obtenir mon doctorat, découvert que l'évaporation d'un liquide quantique, l'hélium superfluide, était un phénomène analogue à l'effet photo-électrique. Découvert en 1887 par Hertz, l'effet photoélectrique ne fut compris qu'en 1905 par Einstein, dans l'une des fameuses publications de 1905 où il élabora la théorie quantique de la lumière, où il inventa les grains de lumière, les photons si vous

préférez. S'il est suffisamment énergétique, un photon incident sur une surface métallique, peut en éjecter un électron avec une énergie très précise. A mon niveau et presque un siècle plus tard, j'ai montré que la chaleur était elle aussi quantifiée dans l'hélium superfluide, et qu'un grain de chaleur incident sur sa surface libre pouvait évaporer un atome avec une énergie, donc une vitesse bien précises, 79 m/s, la vitesse de croisière d'un TGV. A quoi tout cela a-t-il servi ? Pour l'instant, à rien, bien qu'on utilise cette évaporation quantique pour construire aux Etats Unis un nouveau type de détecteurs de particules qui pourrait aider à mieux comprendre le Soleil. Mais cette période de formation à la recherche m'a appris à me poser des questions originales et à les résoudre. C'est ainsi qu'ensuite, je me suis demandé pourquoi les cristaux ont des facettes. Pourquoi cette forme de polyèdres plus ou moins arrondis selon les directions, la température et les conditions de croissance ? J'ai mis 15 ans, avec mes élèves à comprendre cela, et nous avons touché au cœur de ce qui définit vraiment la Physique et la distingue certainement de la Biologie, l'universalité. Car, comme le disait Jean Perrin, prix Nobel 1926 et fondateur du CNRS comme ministre du front populaire, la démarche de la Physique consiste « à rechercher de l'invisible simple derrière du visible compliqué ». Or nous avons démontré que la façon dont les cristaux changent de forme est une propriété universelle des changements d'état dans la nature, la même, aussi étrange que cela puisse paraître, que celle dont certains films conducteurs deviennent isolants ou dont certains films liquides deviennent solides. A quoi cela sert-il ? Une fois de plus j'ai envie de répondre « à rien », au moins pour l'instant, et bien que toute l'électronique exploite les propriétés des surfaces cristallines, celles dont j'étudiais l'ordre à travers la question de leurs formes.

Fort de ce que je considérais comme un nouveau succès, mon ambition est montée d'un cran, et nous étudions aujourd'hui, entre autres choses, la limite de rupture de l'eau pure. Nous tirons sur l'eau avec des ultrasons et nous nous demandons au-delà de quelle tension une bulle apparaît. Cette question d'apparence triviale est complexe et controversée, comme l'est la structure de l'eau que nous testons. Or, bien que cette cavitation soit d'une grande importance technologique pour la conception des hélices ou celle des machines hydrauliques, bien qu'elle soit à l'oeuvre dans les hôpitaux pour briser les calculs rénaux, ce qui nous motive en premier lieu est vraiment l'envie de comprendre.

Il y a de multiples façons de faire de la recherche. La liste des 121 sujets des thèses que nous récompensons aujourd'hui en est l'illustration évidente. Mais faire de la recherche, c'est toujours apprendre à penser et à travailler de manière autonome. C'est en ce sens que je crois qu'une thèse de doctorat est si formatrice, que ce diplôme a tant de valeur.

Or j'espère me tromper mais je ne crois pas que nos industries embauchent suffisamment de docteurs, ni que leurs directions du personnel considèrent qu'un doctorat a autant de valeur qu'un diplôme d'ingénieur, et je le regrette vivement.

Transformer les progrès de la connaissance en progrès industriels n'est pas simple. On le sait bien en France où la physique des cristaux liquides a été comprise grâce à Pierre Gilles de Gennes et ses collaborateurs dans les années 70. La France était en pointe dans ce domaine, mais les principaux brevets ont été pris ailleurs. Pierre Gilles de Gennes, qui trouvait tant de valeur à ses contacts industriels, tant d'inspiration dans ses contacts avec la science appliquée, en ressentait une certaine culpabilité.

Mais quelle est la solution ?

Il n'y en a pas qu'une. Je ne crois pas que c'est en dirigeant autoritairement la recherche fondamentale dans des directions considérées comme utiles que l'on progressera. Ce serait tuer la prospective à long terme. Par définition, les grandes découvertes qui font les grandes ruptures technologiques sont imprévisibles. Permettez-moi d'ajouter un autre exemple : qui

aurait pu croire que la Relativité Générale d'Einstein donnerait la précision nécessaire à nos systèmes de positionnement par satellite, nos GPS ? Mieux vaudrait donner liberté et abondance de moyens à des chercheurs soigneusement choisis et évalués.

Mais comment faire, là aussi ? Je propose de le faire comme en recherche scientifique : en lisant les œuvres et les projets, en réfléchissant à chaque cas particulier. Surtout pas en utilisant des mécanismes automatiques tels que les indices de citations qui manquent nettement, à mon avis, de la finesse nécessaire pour apprécier l'originalité d'un travail.

Et comment créer les liens avec l'industrie ? C'est là que j'attends beaucoup de l'Ecole Polytechnique et de ses docteurs. Car vous êtes à un carrefour stratégique. Avec ce double contact avec la recherche fondamentale et avec la plus prestigieuse des écoles d'ingénieurs en France, vous êtes, à mon avis, exactement ce dont l'innovation a besoin pour maintenir en France un potentiel de production de richesses à forte valeur technologique ajoutée. Je crains qu'en France on préfère embaucher des ingénieurs plus jeunes parce que plus malléables ; mais, faute d'avoir appris à se poser eux-mêmes des questions nouvelles, je crains que ces ingénieurs sans doctorat aient du mal à sortir des problèmes de gestion à court terme. Si, comme aux Etats-Unis, en Allemagne, au Japon, en Finlande, en Hollande et ailleurs, l'industrie française pouvait embaucher davantage de docteurs es sciences, si on vous embauchait de préférence à de jeunes ingénieurs fraîchement sortis si possible de la même école que celle des responsables de l'entreprise concernée, je crois que les entreprises françaises feraient davantage de R&D, que la collaboration entre chercheurs appliqués dans le privé et chercheurs fondamentaux dans le public se ferait spontanément. Les uns seraient et resteraient les camarades d'étude des autres, ayant été formés sur les mêmes paillasses.

Que l'Ecole Polytechnique ait décidé de donner cette importance à la remise des diplômes de docteurs me semble un excellent signe pour l'avenir. Que ce campus attire de grands organismes comme le CNRS ou l'INRIA, de grands laboratoires de recherche fondamentale en optique, en hydrodynamique, en matière condensée, en chimie, biologie, ou sciences humaines que je connais évidemment moins et je vous prie de m'en excuser, que ce mouvement s'amplifie, donne une importance à la recherche donc à la Science qui est beaucoup plus grande que ce que j'ai connu quand j'en étais l'élève, cela donne confiance en l'avenir.

Parlons donc de l'avenir, précisément, avant de conclure.

En 2005, pour célébrer l'année de la Physique et le centenaire des découvertes d'Einstein, j'ai pris avec Edouard Brézin et sous l'autorité de l'Académie des Sciences l'initiative de rédiger le livre « Demain la Physique ». Certains biologistes de l'Académie des Sciences nous avaient mis au défi de montrer que la Physique était toujours vivante, mieux : aussi active que la biologie actuelle. Nous avons relevé ce défi. Nous nous sommes rendu compte que chaque découverte et chaque problème résolu débouchaient sur de nouvelles questions. Plus un scientifique progresse, plus il ressent son ignorance.

C'est le moment de citer une fois de plus Victor Hugo. Dans son William Shakespeare, il disait :

« La science est l'asymptote de la vérité. Elle approche sans cesse, et ne touche jamais. Du reste, elle a la volonté, la précision, l'enthousiasme, l'attention profonde, la pénétration, la finesse, la force, la patience d'enchaînement, le guet permanent du phénomène, l'ardeur du progrès, et jusqu'à des accents de bravoure »

Eh bien Victor Hugo avait raison.

Je vous ai parlé de la découverte de l'âge de l'Univers et de celui de la Terre. Mais la mesure récente de l'expansion de cet Univers, qui prouve que cette expansion s'accélère, alliée à d'autres observations sur la rotation des galaxies, prouve qu'on ne connaît qu'une partie de la masse qui constitue cet Univers. La matière que nous connaissons n'en représente que quelques pourcents. Quelle est cette matière noire que nous ne connaissons pas ? Mystère. Pire encore, il semble bien qu'une force tire sur cette matière en expansion accélérée. Quelle est-elle ? C'est le mystère de l'énergie noire dont personne, à ce jour, ne connaît l'explication.

Quant à la Terre, nous avons appris non seulement son âge, mais ce qui provoque tremblements de Terre, volcanisme, érection des montagnes, etc., la tectonique des plaques. Nous avons appris l'origine du champ magnétique terrestre et ce qui fait que ce champ se renverse aléatoirement de temps en temps, et cette année, une collaboration entre les Ecoles Normales Supérieures de Paris et de Lyon une part, le CEA d'autre part, a réussi une première mondiale en reproduisant cette « dynamo terrestre » dans une cuve pleine de sodium liquide à Cadarache. Ce magnétisme semble nécessaire à la vie sur Terre, mais connaît-on vraiment les conditions nécessaires à l'apparition de la vie sur une planète ? La découverte de centaines de planètes extra solaires va-t-elle, dans les vingt ans à venir, nous apprendre l'existence d'une vie extra terrestre ? Personnellement je ne le crois pas, comme je le raconte, entre autres questions de science qui me plaisent, dans un autre livre, « La pomme et l'atome » paru l'an dernier aux éditions Odile Jacob ; mais n'est-ce pas une question fascinante ?

La gravité et la mécanique quantique sont incompatibles aux petites échelles. Que faire ? les théories des cordes dites « super symétriques » et auxquelles je dois vous avouer que je ne comprends pas grand chose, vont-elles résoudre ce problème majeur de la physique des hautes énergies ?

La construction du grand collisionneur de particules, le LHC du CERN qui contiendra 27 km de cet hélium superfluide que j'ai tant étudié, va-t-elle donner les premières preuves expérimentales de l'existence de nouvelles particules dites « super symétriques » ?

Et la turbulence dont la théorie n'est pas satisfaisante ? La science s'attaque à l'imprédictible, plus précisément aux limites possibles des prédictions dans des systèmes chaotiques. Va-t-on par exemple comprendre suffisamment les corrélations entre tremblements de terre pour les prédire un peu à l'avance ? les corrélations entre neurones pour comprendre les fluctuations de l'activité cérébrale ?

L'électronique se miniaturise sans cesse, mais on va arriver, là aussi, à une inévitable limite. Calculerons-nous bientôt avec des transistors à un seul électron ?

A propos d'électrons, un électron est quantique dans un transistor, mais un chat n'est pas quantique. Quelle est vraiment la frontière entre l'étrange quantique et l'habituel classique ? Est-il vraiment possible d'imaginer des méthodes de calcul beaucoup plus efficaces que les méthodes actuelles parce qu'elles utiliseraient l'intrication quantique de leurs éléments ?

Et l'eau que j'évoquais tout à l'heure ? N'est-il pas surprenant au 21<sup>ème</sup> siècle, qu'il n'y ait pas de théorie satisfaisante de l'eau, alors que c'est certes le liquide complexe par excellence mais tout de même le plus important d'entre eux ?

A propos de complexité, comment fonctionne le grand réseau de neurones multiplement connectés qui constitue le cerveau ? Ne serait-ce que la perception, comment fonctionne-t-elle ? On a l'habitude de croire ce que l'on voit, mais pourquoi l'œil, avec ses neurones derrière qui élaborent l'information visuelle, reconnaît-il les formes sans se tromper ?

Les exemples abondent de questions à résoudre pour lesquelles la science a besoin de vous, de votre intelligence. De votre puissance de travail aussi, car c'est difficile, la recherche, c'est

un métier qui se pratique à plein temps et ne s'accommode ni des horaires de bureau ni, a fortiori, de la semaine de 35 heures.

Je voudrais conclure sur un problème dont vous savez tous depuis quelque temps qu'il est à la fois d'une importance extrême et d'une urgence absolue.

Je veux parler du réchauffement de la Planète.

La Terre se réchauffe. Malgré les quelques objections fantaisistes de certains anciens responsables politiques, tous les spécialistes sont d'accord : ce réchauffement est dû à l'activité humaine, aux émissions de gaz à effet de serre, le gaz carbonique et le méthane principalement. Nous sommes au soleil derrière une vitre (l'atmosphère) qui filtre de plus en plus l'infrarouge, lequel ressort donc de moins en moins.

La surface des océans se dilate et les glaces continentales fondent, donc le niveau de l'eau monte, menaçant de submersion différentes îles mais surtout tous les deltas tellement peuplés des grands fleuves du monde. L'extinction progressive des sources glaciaires qui alimentent ces grands fleuves risque fort de priver d'eau potable de nombreuses régions du globe. D'autre part, la différence de température et de salinité entre les pôles et l'équateur évolue et l'on évoque désormais la possibilité que le Gulf Stream, cet immense courant marin qui connecte l'océan indien et l'atlantique en contournant l'Afrique puis en réchauffant l'ouest de l'Europe avant de refroidir l'est de l'Amérique du Nord, que le Gulf Stream donc s'arrête. Est-ce bien certain ? Je ne sais pas, mais il vaudrait mieux ne pas attendre pour voir, non ? Qu'en pensez-vous ? L'augmentation de l'évaporation des océans dans la région équatoriale intensifie tempêtes et typhons. Enfin, le permafrost, c'est-à-dire la terre gelée en permanence au nord de l'Asie et de l'Amérique est en train de fondre, ce qui dégage de telles quantités de gaz carbonique et de méthane que le climat risque fort de passer un point de non retour.

Dois-je insister ?

Notre avenir est compromis. Pour la première fois dans son histoire, l'homme se rend compte non seulement qu'il n'est qu'une péripétie tardive dans l'évolution de l'Univers, mais que cette péripétie a peut-être une fin proche.

Nous sommes comme à bord d'un énorme camion qui foncerait droit dans un mur. Il est urgent de sauter sur les freins. Je veux dire d'arrêter immédiatement de brûler du pétrole, du gaz et du charbon, sources principales du CO<sub>2</sub>.

Là aussi, comment faire ?

Qu'il faille économiser l'énergie est une évidence. Le gaspillage d'énergie dans les pays développés est ahurissant. Surtout aux Etats-Unis et en Australie, me direz-vous, où chaque habitant consomme environ 11 kW, mais aussi en France où l'on consomme 5 kW en moyenne. Il faudrait diminuer par deux les émissions de CO<sub>2</sub> aussi vite que possible, disons à l'horizon 2050. Mais la population augmente, et certains pays en voie de développement revendiquent à juste titre de consommer plus. Si la consommation double donc d'ici à 2050, c'est d'un facteur 4 qu'il faudrait diminuer la part des énergies fossiles dans l'énergie consommée en France et dans des pays semblables. Nous avons le devoir de donner l'exemple et ce sera très difficile.

Se passer du nucléaire dans ces conditions est impossible. Il faut au contraire améliorer la filière actuelle. Le réacteur EPR est une étape indispensable vers la quatrième génération qui aura le grand avantage de transformer tous ses déchets lourds en combustibles, et de devenir ainsi une source propre d'énergie pour des millénaires. La terrible ignorance dont nos récents candidats à l'élection présidentielle ont fait preuve sur cette question cruciale m'a fait peur.

Je crois que l'éolien n'est pas une bonne solution parce qu'il y a très peu d'énergie disponible dans le vent et parce que c'est une source intermittente. L'énergie solaire est beaucoup plus abondante, mais pour produire de l'électricité, le solaire photovoltaïque est lui aussi intermittent. Tant qu'on n'aura pas sensiblement amélioré les méthodes de stockage de l'électricité, même le solaire photovoltaïque n'a que peu d'avenir. Je sais que l'équipe de Michel Rosso travaille à l'optimisation des batteries, et je souhaite évidemment qu'il nous aide à progresser rapidement.

Il faut s'attaquer aux émissions de CO<sub>2</sub> dans les transports et dans l'habitat. Il faut développer les transports en communs, arrêter de prendre l'avion pour faire des sauts de puce, construire des voitures électriques légères. Il faut isoler les habitations, y utiliser le solaire thermique, développer les pompes à chaleur, etc.

Il faut apprendre à capter puis à séquestrer le carbone émis par toutes nos installations industrielles.

Il faut peut-être développer les biocarburants, mais attention à la pollution par les engrais et au nombre d'hectares disponibles pour de telles cultures, le rendement de la photosynthèse n'est que de 0,5%, et les machines agricoles consomment elles aussi !

Il faudrait aussi réserver le pétrole, le gaz naturel et le charbon à l'industrie chimique, surtout pas le brûler.

Comme vous le voyez, tout cela est très difficile et nécessitera une volonté politique aussi éclairée que courageuse, beaucoup de recherche et d'innovation, et ceci non seulement en Physique, Chimie, Science des matériaux, mais aussi en Informatique pour de cruciales questions d'optimisation, ainsi qu'en Sciences humaines car changer nos habitudes de vie demandera une fine connaissance de la sociologie et de la psychologie de chacun.

Il y a donc beaucoup de travail pour vous, jeunes docteurs de l'Ecole Polytechnique.

Que vous soyez plus attirés par la recherche fondamentale ou par la recherche appliquée, en sciences dures ou en sciences dites molles, notre avenir est entre vos mains.

Sébastien Balibar,

Ecole Polytechnique, 28 juin 2007.