

9.

L'économie de la recherche

Par définition, la recherche fondamentale n'a pas de finalité économique directe. Après une recherche quasi artisanale au XIX^e siècle, la big science a mobilisé de lourds crédits publics au XX^e siècle. Au-delà des publications scientifiques, sur quels critères sélectionner les projets? Alors que l'on considère souvent la recherche fondamentale comme un coût, un déficit de recherche a aujourd'hui des conséquences sur la croissance potentielle. Mais du fait des tensions sur les finances publiques, ne faut-il pas réfléchir aux complémentarités entre États, à l'image du modèle du CERN? Si l'on peut douter de l'intérêt des entreprises à financer une rentabilité lointaine, la recherche ne peut-elle qu'être financée par des fonds publics? Existe-t-il un marché pour mettre en relation sciences et investissement? Il est indispensable de construire les partenariats qui permettront aux découvertes sur les phénomènes physiques et naturels de trouver des applications industrielles. C'est alors qu'apparaît le difficile équilibre de la propriété intellectuelle. Quid de l'impact de la tertiarisation de l'économie sur le volume de recherche?

Introduction du Cercle des économistes

Christian Stoffaës

Contributions

Patrick Errard • Marion Guillou • Didier Lombard • Luc Montagnier
RYU Jin Roy • Marcos Prado Troyjo • Cédric Villani

Modération

Jean-Marc Vittori

Que devient, au XXI^e siècle l'économie de la recherche ?

 Christian Stoffaës

Une mise en perspective est utile. Le XX^e siècle a vu l'institutionnalisation de la recherche : les instituts de recherche rendus autonomes des universités, tel le CNRS ; les grands programmes d'État, tels le programme nucléaire ou l'espace ; l'émergence de la figure du chercheur, distincte du professeur et de l'ingénieur. Au XIX^e siècle existaient d'autres notions – ainsi les inventeurs, les découvertes, le progrès technique... L'entreprise, elle aussi, s'est transformée et a su identifier l'investissement dans l'innovation comme facteur décisif de profit et de succès dans la compétition.

La recherche est un investissement immatériel, dont la valeur est complexe à mesurer mais décisive. Il est désormais largement admis que le vrai moteur de la croissance est l'innovation, c'est-à-dire les produits et services nouveaux répondant aux besoins du marché et les nouveaux procédés rendant la production plus efficace. À distinguer des innovations de perfectionnement, les innovations de rupture engendrent les révolutions industrielles qui transforment les infrastructures de l'économie et la société toute entière sur des cycles de deux ou trois décennies. Ainsi la machine à vapeur, le chemin de fer et la manufacture, puis le moteur à combustion interne et l'automobile, l'électricité et ses innombrables applications, l'aviation, la chimie organique, les molécules pharmaceutiques. Le paradigme est encore d'actualité, comme on le constate avec la saga de la Silicon Valley : une génération s'est écoulée entre le transistor et le microprocesseur, une autre pour l'Internet généralisé et la révolution numérique. À l'évidence, c'est la question centrale : comment maintenir ou accélérer le flux des innovations de rupture ?

Mais si l'innovation puise dans le potentiel accumulé des connaissances scientifiques, elle ne se confond pas avec la recherche. Le lien entre ces

notions, que l'on confond parfois, n'est pas si évident: l'innovation est une démarche industrielle et commerciale, une affaire d'ingénieurs, de vendeurs et d'entrepreneurs. La science est une démarche intellectuelle, améliorant la compréhension des phénomènes et augmentant les connaissances, véhiculée par les enseignements et les publications scientifiques. Comment favoriser le transfert entre ces deux mondes demeurera la question centrale.

Pour mieux comprendre ce que devient demain l'économie de la recherche, quelques grandes questions sont à mettre au débat public.

1. Comment favoriser les transferts de technologies entre les centres de recherche et les entreprises? Par les transferts de personnels scientifiques, les contrats de recherche, l'essaimage, la création de *startups* par les chercheurs?

2. Pour qu'une valeur s'établisse, il faut au préalable protéger l'actif. C'est alors qu'apparaît l'équilibre délicat entre protection des investisseurs et ouverture. Comment protéger l'investissement de recherche par la propriété intellectuelle? Comment la valoriser? À quelle valeur comptable la mesurer? Des conventions, tels Frascati ou la comptabilisation des incitations fiscales, tel le crédit d'impôt-recherche, définissent des normes comptables: faut-il les améliorer? À quel niveau faut-il proportionner l'investissement de recherche? Une quasi norme internationale s'est instaurée entre les grands pays pour définir la part du PNB consacrée aux dépenses de recherche et aux parts respectives de la recherche fondamentale et de la recherche appliquée, de la recherche publique et de la recherche en entreprises. Comment cette part du PNB évoluera-t-elle?

3. Par définition, la science et la recherche fondamentale n'ont pas de finalité économique directe. Si l'innovation est pilotée par les attentes du marché, comment seront pilotés les budgets de la recherche publique?

4. La *big science* a mobilisé de lourds crédits publics au XX^e siècle. Après le *Manhattan Project*¹ il y eut la succession des grands projets mobilisateurs. Voit-on se profiler le relais des grands programmes? Dans quels secteurs? Autour de quelles technologies?

5. La défense sera-t-elle encore le puissant accélérateur qui, grâce aux crédits gouvernementaux, fera sortir des laboratoires les prototypes qui amorceront le cercle vertueux de la courbe d'expérience pour les acheminer vers la production de masse. Quels autres grands moteurs mobilisateurs peut-on identifier? La santé et la protection contre les épidémies? Le vieillissement? Le développement des pays émergents? La protection de l'environnement qui a déjà fait éclore les énergies renouvelables? Au-delà des publications scientifiques, sur quels critères sélectionner les projets?

1. Le Projet Manhattan est le nom de code du projet de recherche qui produisit la première bombe atomique durant la Seconde Guerre mondiale. Il fut mené par les États-Unis avec la participation du Royaume-Uni et du Canada. (Wikipedia)

6. Du fait des tensions sur les finances publiques, il faudra conférer une nouvelle impulsion au partage international, aux complémentarités entre États, à l'image du modèle du CERN ou du programme mondial sur le génôme humain. Il y eut dans le passé une ère impérialiste de la recherche, où les États se disputaient la paternité des inventions, où la recherche sur les sujets sensibles était couverte par le secret. Alors que la science est sans frontières, existe-t-il encore une concurrence entre les États sur la paternité des découvertes scientifiques? Aujourd'hui il y a l'espionnage industriel, l'intelligence économique, la prédation des *startups* prometteuses.

7. Si l'on peut douter de l'intérêt du secteur privé à financer une rentabilité lointaine, la recherche ne peut-elle être financée que par des fonds publics? Existe-t-il un marché pour mettre en relation les sciences et l'investissement? Quel financement – capital-risque, *business angels* – pour les *start-ups*?

La recherche n'est pas un luxe

Luc Montagnier

Prix Nobel de physiologie et médecine

La recherche au XXI^e siècle n'est pas un luxe pour une société. C'est une nécessité. Je suis d'ailleurs content que les pays traditionnellement à la pointe de la recherche, comme l'Europe et les États-Unis, soient maintenant rattrapés par des pays émergents qui ont eux aussi compris que la recherche est très importante.

Cette recherche fait face à des problèmes, les problèmes de notre temps. Le premier est l'énorme expansion démographique, en grande partie liée aux progrès de la médecine, de l'hygiène, du bien-être, etc. Nous avons à faire face à l'énorme problème de faire vivre 9 milliards de personnes sur notre planète, et pas seulement une minorité.

Le deuxième problème est le vieillissement des populations, lié au fait que la durée de vie moyenne a considérablement augmenté. Depuis 1850, l'augmentation de la durée de vie forme une sorte de droite linéaire, malgré l'énorme boucherie des guerres du XX^e siècle, accidents qui n'empêchent pas la montée de la courbe. Cette courbe va bien entendu s'arrêter: notre programme génétique fait que nous ne sommes pas immortels. Notre programme de vieillissement nous fait disparaître dans de mauvaises conditions: le nombre de maladies augmente, notamment les maladies chroniques, les maladies neuro-dégénératives, les cancers. Ceci est probablement lié aussi à des facteurs environnementaux. Par l'énorme activité que nous déployons sur la planète, nous avons beaucoup augmenté les facteurs nocifs d'environnement. Vous les connaissez: l'alimentation par l'agriculture industrielle, les pesticides, etc.

Je voudrais aussi insister sur le fait que nous sommes dans un brouillard électromagnétique. Jusqu'ici, cela ne semble pas avoir de conséquences;

mais si un astronome de Sirius qui aurait les moyens de détecter l'émission de radiations électromagnétiques, notamment les radiations hertziennes de courte longueur d'onde, regardait la terre, il verrait la planète devenir extrêmement brillante. C'est un phénomène tout à fait nouveau dont nous ne connaissons pas les conséquences à long terme. La recherche devrait se pencher là-dessus.

Voilà donc les grands problèmes.

► **Interdisciplinarité et liberté**

Nous attendons beaucoup de résolutions de la part de la médecine, et la médecine dépend beaucoup de la recherche. Cette recherche est appliquée, orientée, focalisée; mais elle doit aussi être libre. La curiosité scientifique est le moteur principal de la recherche fondamentale et doit le demeurer. Ceci ne nécessite pas forcément de grands instituts, mais un esprit ouvert. En biologie, elle nécessite surtout l'interdisciplinarité. Je m'ouvre moi-même, actuellement, par une éducation bien sûre assez sommaire dans ce domaine, vers la physique quantique.

Je terminerai par ce qui est un blasphème pour certains: la biologie numérique, développée d'abord par Jacques Benveniste, entre dans sa concrétisation, dans la science. Ce n'est pas du charlatanisme. On peut transmettre des structures de l'ADN par l'enregistrement de signaux électromagnétiques produits dans l'eau, afin de les faire passer dans des cellules vivantes et d'avoir des effets biologiques induits par cet ADN. Nous entrons ici dans un nouveau paradigme qui va être extrêmement fécond, comme l'a été la biologie moléculaire depuis que Watson l'a théorisée en 1953.

The Age of Resilient Innovation

Marcos Prado Troyjo

Columbia University

My contribution to this panel will be in the form of trying to relate research and the economics of research to the notion of geopolitics and the distribution of power, prosperity and influence in the world today. We could perhaps begin by realizing that anthropologists, sociologists, political scientists, economists and historians are always trying to put names on things. They are always trying to label things. In the past, we have tried to picture this age we are living in as the age of knowledge. Then I think back to the second half of the 1960s when 25% of the world's population of scientists were living in the Soviet Union –and the Soviet Union would indeed send a rocket to outer space, but it would not produce an alarm clock that would ring on time or a stove that would heat up food well.

► **Are we living in the age of education?**

Others would say that we are living in the age of education. Education is the single most important driver of our society. I had myself the experience of living in Cuba, which has some of Latin America's most impressive levels of education investment. One of the people I related to at the Brazilian Embassy in Havana when I was working there was a naval engineer, and then I realized he was a naval engineer by studying the handbooks of naval engineering coming from the Soviet Union of the 1920s and 1930s. He would take pride in saying that he had the capacity to build ships with a very strong structure in order to break ice. He had that expertise because he studied with Russian professors, and in Cuba, as you know, you do not break ice for anything unless you are producing a Mojito or a Daiquiri, so it is very problematic to call it the “age” of education.

► **Are we living in the age of information?**

Others would say that we are living in the age of information, in the age of the news media, which I think is also wrong, given the fact that very likely, between now and 2020, Google will probably buy both *The New York Times* and *Le Figaro* for a handful of dollars. What is the age we are living in? I will come back to the issue of the title of the session. I think a pretty good name to brand this time is that we are living in the age of resilient innovation. As a matter of fact, if you remember nothing of what I said this morning, remember this –we are living in the age of resilient innovation.

► **Creative adaptation or creative destruction?**

You may call it discovery, but it is just another name when you are talking about research to the destination of every single effort we put in research. It is innovation. It is producing something new. Now, as far as the geo-economic dimension of innovation is concerned, this age of resilience is showing that we have at least two major models, and that is perhaps the second thing I would like you to carry with you today. Innovation today is either pursued by creative adaptation or by creative destruction. 15 years ago, for those of you who go to the eye-doctor, the most important company producing equipment that resembled the periscopes of submarines in which you put your eyes and then the eye-doctor experimented with different shades of light and different distances to determine whether you are shortsighted. 15 years ago, that piece was produced by a company in Belgium at an average market price of USD 5,000. Today that same machine is produced in Shenzhen just out of Hong Kong for USD 800. That was innovation by creative adaptation. The Chinese innovated by creative adaptation on top of what people in Belgium were doing.

Then there is this new research in MIT that allows you to get your iPhone to read the geography of your eye and tells you the shortsightedness or the astigmatic problem that you have. What is that going to do to the machine produced in Shenzhen for USD 800 since this innovation is going to be brought to market for USD 1? That is creative destruction. Why is it so important to bear that in mind? It is because for those companies and countries that are organizing their strategies for the future, it is very important to know that the next 25 years, either innovation through creative adaptation, which essentially means doing the same for less money or at a faster speed, or by creative destruction, which means resilient innovation by bringing something that is completely new up to the surface, is going to be affected by three very important drivers.

The first driver is in the next 25 years, we will see the strengthening and the consolidation of global production networks in terms of companies

–I do not use production here only in the manufacturing sense– in terms of knowledge centers, in terms of universities. The second very important driver is China 2.0. That China we once knew was producing very cheap commodities with cheap label prices. That is gone. China 2.0 is a change of DNA in China. It is making China invest nearly 1.5% of its GDP in research and development. By the time China overtakes the US as the world's largest commodity, China will have converged to the level of OECD investment of 2.3% of GDP in research and development.

The third, and in my opinion the most important factor, is the new technological tools that we have at our disposal, which create for us the dawn of a new age of talent, in which that very old dilemma of researchers between being an expert or a specialist if you want, or a generalist is being vanished away so that those who are “nexialist”, who are able to build connections, are the most important professions of the future and therefore the most important commodity their countries will be able to count on for the future.

Peut-on donner des objectifs à la recherche ?

Marion Guillou

Agreenium

En ce qui concerne la recherche dite « finalisée », comme l'est par exemple la recherche agronomique, on peut donner des objectifs à la recherche. Elle mobilise à la fois des équipes et des outils lourds, et met en œuvre des programmes. Comment est-elle organisée ?

Nous avons besoin de centres de recherche parce que nous avons besoin d'outils expérimentaux et de personnes compétentes, sur des temps souvent longs. Lorsque certains travaillent sur les aliments et leurs effets, il faut qu'ils puissent contrôler le contenu de l'appareil digestif de rats pour comprendre comment fonctionnent les cocktails de microbes et comment ils contribuent à l'alimentation. Quand nous parlons de nouvelles variétés de plantes, nous avons besoin de serres et de parcelles expérimentales. Les agri-sciences s'organisent donc autour de centres. La nouveauté est que nous avons désormais besoin pour aborder la plupart des questions qui se posent de mobiliser plusieurs types de spécialistes ensemble ; ainsi lorsque nous nous interrogeons sur l'adaptation des forêts au changement climatique, seule la collaboration de météorologues, de spécialistes de la physique des flux, et de forestiers sera en mesure de proposer les modèles de sylviculture du futur.

Sur la base de mon expérience nationale et internationale, je vais vous illustrer comment les programmes sont sélectionnés dans notre secteur de recherche agricole, alimentaire et environnemental.

Les équipes de chercheurs ont beaucoup d'idées et proposent parfois le lancement de programmes nouveaux qui impliquent la mobilisation de moyens significatifs. Au-delà de l'examen de la qualité scientifique des propositions par des pairs, afin de faire des choix, nous leur demandons d'explicitier quels en sont les objectifs. Lors de la soumission du projet, ils peuvent difficilement

préciser les résultats attendus mais ils peuvent donner ces éléments. La recherche, par définition, est un processus risqué et doit le rester.

En outre, l'expérience montre que dans notre domaine pour qu'il y ait impact sur le terrain, il faut compter à peu près vingt ans, même si le rythme s'accélère – ainsi, la mise en pratique de méthodes très nouvelles de sélection des bovins n'a pris que quelques années. L'exploration de nos deux ou trois kilos de microbes digestifs a permis d'ores et déjà de découvrir que les microbiotes des gens obèses sont différents de ceux des gens qui sont en bonne santé.

La recherche s'accélère, mais il faut toujours du temps pour juger de l'impact. Il faut donc un processus continu entre l'identification des objectifs et de l'impact potentiel, présentée lors du choix d'un programme, et l'évaluation a posteriori de l'impact effectif. Nos collègues australiens ont ainsi étudié les effets de la recherche et du développement sur la productivité totale de l'agriculture dans leur pays sur cinquante années. Globalement, la R&D a été à l'origine des deux tiers de l'augmentation de productivité. Et, fait intéressant, ce sont les programmes de long terme qui ont été les plus efficaces en rendu final. C'est une indication à prendre en compte pour l'avenir.

Au sein du réseau international des centres de recherche agricole, les donateurs auxquels nous demandons de l'argent veulent savoir quel sera l'impact de nos recherches, à quoi elles vont servir concrètement. Nous ne pouvons pas leur répondre immédiatement, mais nous demandons aux chercheurs d'exprimer les objectifs visés par leurs programmes. Par exemple, réduire le déficit en vitamine A dont souffrent des millions d'enfants dans telle zone d'Afrique grâce à tel nouveau système alimentaire à préciser, réduire l'érosion des sols de surfaces de telle importance par telles pratiques innovantes. C'est extrêmement ambitieux, mais cela présente un avantage : les chercheurs doivent prendre contact avec les utilisateurs potentiels de leurs recherches afin de travailler la question posée avec eux dès la conception du projet.

Nous nous efforçons de tirer des leçons de ces pratiques au sein du Conseil stratégique de la Recherche, dont Cédric Villani et moi sommes membres. Pour donner un avis sur les actions proposées – les champs de recherche sur lesquels les chercheurs français peuvent travailler sont très vastes –, pour aider au choix de priorités, il faut avoir une idée des forces et des faiblesses de la France ; et, lorsqu'il s'agit de répondre à des défis sociaux et économiques par des recherches finalisées, il est nécessaire d'explicitier les impacts potentiels, de mettre en place des méthodes de suivi, puis des méthodes d'évaluation par rapport aux objectifs qu'avaient fixés les chercheurs lors de la proposition de leurs programmes, tout en leur conservant une liberté totale sur la manière d'y arriver.

Précision importante : la recherche fondamentale se traite évidemment différemment et elle ne doit pas être oubliée.

Inventer un modèle d'attractivité pour la science

Patrick Errard

Le Leem

On qualifie souvent à tort la recherche fondamentale de sans objet. En réalité, la recherche fondamentale a depuis la nuit des temps un objet, et pas des moindres : comprendre. Ainsi, le noyau 6 APA de la pénicilline a été trouvé par deux chimistes, Florey et Chain, qui ont d'ailleurs reçu le prix Nobel pour cette découverte. Au début des années 1950, la recherche fondamentale, ou du moins la compréhension chimique de ce qu'on découvrait, était déjà un élément qui présidait au développement du médicament. C'est encore le cas aujourd'hui : une partie de la médecine dite « personnalisée » repose sur ce qu'on appelle la pharmaco-génomique, c'est-à-dire la capacité d'identifier dans nos génomes la réponse prédictive aux médicaments. C'est une discipline qu'on doit à la découverte de l'ADN il y a plus de trente ans.

La recherche fondamentale a donc pour objet la compréhension des phénomènes qui permettent de découvrir et d'appliquer ce qu'on découvre. Ce qui est nouveau, c'est l'interactivité entre la recherche fondamentale et le développement clinique, c'est-à-dire l'application médicale de ce qu'on trouve. Nous sommes passés d'un mode analytique séquencé à un mode holistique continu. Je m'explique. La complexité des phénomènes présidant à la découverte de médicaments nouveaux fait intervenir toute une série de mécanismes qui ne relèvent pas purement de la branche médicale. La génomique et la biologie cellulaire jouent un rôle dans la recherche médicale, la physique aussi, l'informatique et la robotique, dont un des applicatifs sont les nanotechnologies, ces tout petits éléments physiques qui permettent de véhiculer des médicaments ou des éléments curatifs. L'éthique et les

sciences sociales sont également impliquées, car aujourd'hui l'éthique est indissociable de la recherche.

► **Inventer un modèle collaboratif de recherche**

La question fondamentale est donc : quel mode collaboratif imaginer pour que ces compétences, ces talents et ces éléments de la recherche collaborent ensemble et disposent des investissements nécessaires ? Il s'agit non seulement de mutualiser les moyens, mais aussi les investissements. Quelques exemples donnent une piste de réponse. Ainsi, l'Aviesan, l'alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé, regroupe la recherche, l'université et l'hôpital. De même, au sein de l'initiative européenne IMI, la collaboration des différents talents et la mutualisation des moyens permettent d'accélérer le passage du fondamentalisme à l'applicatif. Alors que dans le passé, l'espace-temps était relativement étiré, il est aujourd'hui considérablement raccourci par le mode intégratif de ces différentes disciplines.

L'autre point intéressant est que nous expérimentons, grâce aux nouveaux médicaments, quelque chose de nouveau dans le séquençage de l'intégration de la recherche fondamentale. Celle-ci se faisait auparavant soit en amont, soit en aval : en amont pour expliquer un phénomène physiologique, trouver le moyen de traiter chimiquement une maladie ; en aval pour expliquer les mécanismes d'action d'un médicament qu'on avait chimiquement découvert. Désormais, avec les sciences du vivant, on sait que la médecine de demain sera à 80% faite par des médecines du vivant issues du vivant pour les besoins thérapeutiques aujourd'hui non couverts. C'est un séquençage intéressant : c'est la compréhension de ce que nous avons dans notre corps qui permet de produire le médicament qui sera lui-même issu de notre corps.

Les anticorps monoclonaux en sont l'exemple typique. Il s'agit d'une émanation produite par notre corps pour aller se fixer sur certains récepteurs cellulaires, notamment lorsqu'ils sont atteints d'un cancer. Ces récepteurs ont une anomalie particulière qui fait que lorsque l'anticorps se fixe dessus, soit il véhicule un médicament, soit il détruit les cellules cancéreuses sans abimer les autres. La compréhension de ce qu'il y a d'anormal dans une cellule cancéreuse, relevant de la science du vivant, est ainsi traitée par une production d'anticorps, c'est-à-dire de mécanismes délétères eux-mêmes issus du vivant.

Cet exemple futuriste, mais déjà réel, nous amène au cœur de mon propos. Nous devons inventer, particulièrement en France, un modèle d'attractivité réunissant les compétences de la compréhension du vivant et celles, industrielles, de l'application de ces thérapeutiques issues du vivant.

9. L'économie de la recherche

Nous ne savons pas encore faire cela correctement, pour deux grandes raisons. D'abord, nous ne savons pas retenir nos chercheurs; il faut donc donner de l'attractivité et de la compétitivité à la recherche fondamentale en France. Deuxièmement, nous manquons de compétitivité sur le plan industriel. Fatalement, le lien à établir entre les deux domaines s'opère à l'étranger, notamment aux États-Unis, plutôt qu'en France. La clé de la solution du problème de l'économie de la recherche est là : bâtir un modèle collectif transversal, attractif et économiquement viable.

La recherche en mode bazar

Didier Lombard

STMicroelectronics

En Europe, les ressources naturelles, énergie et minerais par exemple, ne sont pas légion. Pour nous différencier, il faut tabler sur l'innovation et donc avoir recours à la R&D. STMicroelectronics a ainsi des programmes majeurs de recherche et d'innovation. Je m'occupe aussi de Technicolor, qui a un grand nombre de chercheurs en Bretagne, absolument essentiels à la poursuite de l'activité. Il n'y a pas de débat: il faut maintenir en Europe des capacités importantes de recherche et de développement.

Mais convient-il que nous investissions dans la recherche fondamentale, ou nos forces de développement suffisent-elles? Je suis convaincu que nous devons maintenir des forces de recherche fondamentale, et l'histoire me donne raison: les principales innovations avec lesquelles nous vivons actuellement ont été inventées à partir de travaux fondamentaux qui datent d'il y a longtemps. La quatrième génération des mobiles (4G), par exemple, a été inventée du fait qu'il y a trente ans, on s'est demandé quelle était la limite théorique qu'on pouvait atteindre en matière de vitesse de transmission par des modulations alors impossibles à réaliser à l'époque de Shannon. Il s'agissait des travaux de traitement du signal effectués avec l'université de San Diego. Les études sont parvenues à déterminer une limite théorique, et maintenant nous sommes à *epsilon* en dessous de cette limite. Nous n'aurions pas pu faire cela si nous n'avions pas fait ces travaux de recherche il y a trente ans.

Deuxième point: la physique. Quand j'étais l'un des responsables du centre de recherche des télécommunications (CNET), nous disposions d'un laboratoire commun avec l'ENS, dont les physiciens étaient exceptionnels. Un jour, ils m'ont annoncé qu'ils allaient faire des travaux sur le «transistor

à zéro dimension», un nom poétique pour me convaincre de donner mon accord pour ces recherches. Il s'agissait en fait de travaux de physique quantique qui permettaient d'étudier comment densifier les circuits. C'est grâce à ces travaux que ST et d'autres, produisent aujourd'hui des circuits dont la densité est infinie – il y a des millions de fonctions logiques sur une puce microscopique. Tout cela n'aurait pas été possible si nous n'avions pas laissé ces chercheurs travailler tranquillement.

On pourrait démontrer que presque tous les objets dont nous disposons aujourd'hui n'existeraient pas sans la recherche fondamentale qui les a précédés. Il est donc essentiel de la maintenir, et il est crucial que les industriels la financent.

► **Comment s'organiser ?**

Auparavant, la recherche était organisée selon un mode que Christian Stoffaes nomme « forteresse » et que j'appelle « cathédrale ». Tout devait être fait dans un ensemble fermé, sans communication ni échange avec l'extérieur. Or, nous sommes dans une société où tout communique. Le *networking* est infini. Notre mode de recherche est désormais celui du type « bazar », c'est-à-dire que toutes les équipes se connaissent autour de la planète et échangent en permanence. C'est ainsi que l'on irrigue très rapidement les innovations en préparation, avec pour conséquence immédiate l'accélération du cycle de sortie de produits nouveaux.

C'est le mode dans lequel nous sommes désormais. Il faut l'amplifier et il convient que les entreprises y jouent un rôle. C'est ce que nous essayons de faire dans les entreprises dont je m'occupe.

► **Comment les questions de budget de recherche sont-elles gérées en conseil d'administration ?**

L'ennemi, c'est le tableur ! Le directeur général doit faire en sorte que les cases du tableur ne tuent pas l'espoir de financer la recherche. Si vous isolez son budget sur une ligne et que vous tentez de mettre en regard le produit de cette recherche, comme cela prendra trente ans à se concrétiser, vous n'arriverez pas à justifier l'investissement dans la recherche. C'est donc une affaire de conviction et d'habileté. Il faut qu'à la tête de l'entreprise, il y ait quelqu'un qui comprenne cela et arrange les choses pour que la place faite à la recherche soit absorbable par un conseil d'administration.

R&D in South Korea

RYU Jin Roy

Poongsan Corporation

Investing in the future and in research and development is also a very important part of corporate responsibility. Companies must invest in the future, come out with new ideas, as well as create new products to sustain growth and to survive in this very competitive world. At the time of World War I and World War II, national governments were taking the lead in research and development, and in many cases, nationalizing private companies, as they needed to win the war. Thank God it was America that came up with the first nuclear bomb and not the enemy.

Today, most of the important technologies and inventions are made by private companies and institutions, with national governments taking backup roles, such as providing tax breaks or setting goals and objectives to the private sectors. It is companies like Apple and Samsung that are coming out with smart phones, with new ideas and technologies, even though they are suing each other on who came up with the technologies and ideas first. I would like to talk about how my country Korea and my company Poongsan deal with the challenges of research and development and new inventions in these very competitive times.

► **The role of the Korean government**

The Korean government under the leadership of President Park has launched what we call a creative economy initiative, whose three major goals are to create new jobs and markets through creativity and innovations. Secondly, to strengthen Korea's global leadership through a creative economy, and finally to create a society where creativity is respected and manifested.

To achieve this, the Korean government will take several steps and I would like to mention just a few. First, they will boost R&D support for small and medium-size companies to 18% of its total R&D spending, up from 13% a couple of years ago. Secondly, to promote the sharing and strengthening of technologies owned by private companies. The government will also offer a 50% reduction on both corporate and income taxes on transfers of patented technologies owned by small and medium-sized businesses. The Korean government has pledged to revive entrepreneurship by spending almost USD 4 billion over the next three years to encourage venture start-ups and create an environment that promotes new ideas.

In the private sector, Korean companies already invest robustly in research and development. Recently this R&D money has been concentrated on the electronics sector, which accounted for almost 40% of total R&D spending. In contrast, levels of investment in other high tech industries such as aerospace technologies, pharmaceuticals and machinery have lagged behind at 0.2%, 2.3%, and 2.4% respectively.

► **Increasing investment in R&D**

Going forward, surveys show that Korean companies are likely to increase their investment in R&D to the tune of almost USD 9.5 billion this year, which is almost 8% more compared to last year. In my company, we are investing about USD 30 million this year in R&D, up by 23% from last year, in two major areas –commercial products and defense products. We supply most of all the ammunition for our military, as well as export to our allies around the world. We do research on how to kill as many people as we can, how to destroy as much as we can with our bombs and ammunitions. It is a very cruel and inhuman business, but somebody has to do it. After all, we have a very dangerous neighbor in North Korea and we always have to prepare for the worst. If the North Koreans are developing nuclear weapons, we need to develop weapons that will destroy them before they are launched against us, so in our case, R&D is not just about survival for my company, but also linked in some ways to the survival of our country. Yes, I feel guilty about being in the killing business, but I am also very proud to be in the business of protecting my country. Of course, in this business, we have to keep our secrets, as we need to stay ahead of our enemies.

On the other hand, our main business is the fabrication of non-ferrous metal, such as making metal strips for electronics and connectors. A lot of our metal goes into smart phones and TVs by Samsung and Apple. We are also the biggest suppliers of coin blanks around the world and the euro coins that you have in your pocket are mostly made by my company. In this case, there are no secrets or patents and whoever comes out with the product is encouraged to share it with others as government mints would

like to have multiple suppliers so they are not tied to just one. For example, I have passed out new US dollar coins. Please take them. We did not make the metals, but we are one of the two suppliers for the metal to the US mint. Unfortunately, they did not get rid of the dollar bills, so not many people use these coins. Hopefully some day we will replace the dollar coin as the US government can save hundreds of billions of dollars by using the coin instead of the dollars.

As you can see from these two examples in my company, one area of R&D is totally secretive as it is tied to our national interest, and another area is totally shared with others to encourage more usage of our products. In closing, in the case of Samsung and Apple, they spend over USD 1 billion each year suing each other. Imagine if they decided to share all their patents together instead of suing each other. They would be so far ahead of others in product development and technology. I believe the future winners in R&D will be companies that can throw out their egos and pride and collaborate with their competitors or else they will fall behind others who collaborate together with their strengths.

Au début était l'École...

Cédric Villani

Institut Henri-Poincaré

Je vais partir d'une anecdote personnelle. Un jour d'été 1998, peu de temps après la soutenance de ma thèse, où j'étais occupé à lire un article de synthèse écrit par un chercheur toulousain qui m'avait été recommandé, je tourne une page et je me dis: «Tiens...» Beaucoup de choses en recherche commencent ainsi: «Tiens, c'est bizarre.» En l'occurrence, c'était à propos d'un théorème. Je me suis dit: «On dirait que c'est lié à l'exposé de ce chercheur allemand que j'ai entendu à Foljuif il y a quelques mois.» Ce jour-là, j'avais pu faire la connexion entre deux sources différentes et c'est la base de l'un de mes articles de recherche les plus influents, établissant le lien entre certaines questions de géométrie, d'optimisation, de théorie des équations et de dérivées partielles. Je l'ai écrit en collaboration avec ce collègue allemand, Félix Otto, en un temps record, et l'article a été accepté le lendemain de la soumission. C'est devenu mon article le plus cité. C'était le démarrage de tout un pan de recherche aujourd'hui florissant.

Que pouvons-nous retenir de cette histoire?

1. Une découverte dépend en grande partie des coïncidences et de la chance.
2. Il est toujours bon de garder un œil ouvert et curieux. Cet article, je le lisais sans but, si ce n'est par curiosité et désir de comprendre quelque chose qui était peut-être lié aux thèmes qui m'intéressaient.
3. Le succès d'une entreprise de recherche n'est pas toujours proportionnel à la somme des efforts que vous y mettez.
4. Une découverte n'est pas nécessairement une nouvelle théorie, ni de nouveaux résultats. Il se trouve que l'article proposait aussi de nouveaux

résultats, mais ce qui était important, et ce qu'on a montré par la suite, c'était le regard nouveau, la connexion établie qui renouvelait le point de vue.

5. nous avons publié la découverte alors que nous n'en avons pas tiré toutes les conséquences. C'était encore à moitié cuit, comme on dit, mais le sujet a ainsi pu se développer très vite et cela a été profitable à tous.

Toutes ces caractéristiques sont vraies à l'échelle d'un chercheur, mais aussi à l'échelle d'une institution, d'une politique de recherche, publique ou privée.

Tout l'écosystème de la recherche et de l'innovation, même lorsque vous disposez d'investissements par centaines de millions, de départements de recherche et de développement, repose sur le fait qu'il y a quelqu'un, quelque part dans le labo, qui va se dire : «Tiens, c'est curieux» et qui aura une petite étincelle. L'étincelle dépend de multiples paramètres insaisissables : environnement, culture, état d'esprit, formation, confiance, etc.

La curiosité et la recherche gratuite sont indispensables aussi à l'échelle d'un système entier. Les inventions sont souvent découvertes par «sérendipité²», depuis la pénicilline, le rayon X, en passant par le post-it et la dynamite. Le problème du chercheur, un problème majeur, est d'être l'ami du hasard. Cela veut dire aussi qu'il faut entretenir des directions de recherche à un niveau national, international, même lorsqu'elles ne semblent pas avoir d'application.

Il faut avouer que gouvernement après gouvernement, on a échoué dans le but impossible de faire une correspondance qui fonctionne entre les thèmes de recherche et les défis correspondant aux applications. Je pense à titre personnel que c'était une erreur de reprendre par exemple la classification des défis sociétaux d'Horizon 2020 dans notre stratégie nationale. Au Conseil Stratégique de la Recherche, nous faisons tout, avec Marion Guillou notamment, pour que cela reste un ensemble cohérent et pour rattraper cette erreur.

En recherche comme en innovation, les résultats ne sont pas uniquement une question de moyens. On le constate pour des pays, des programmes d'investissements publics ou privés. Parfois, des investissements énormes aboutissent à des résultats minables ; parfois, c'est le contraire.

Une innovation n'est pas nécessairement une nouvelle technologie. Cela peut aussi être seulement une manière de voir les choses. Prenons un exemple dans l'actualité, et qu'on a étudié récemment dans un groupe de travail sur l'innovation : Uber³. Aucun progrès technologique, mais

2. Serendipité : origine, Horace Walpole, *The Three Princes of Serendip.*, désigne spécifiquement le fait de trouver quelque chose d'autre que ce qu'on cherchait et à ce titre peut s'inscrire dans une démarche de recherche.

3. Application d'origine américaine qui permet à des particuliers propriétaires d'une voiture de faire le taxi, en facilitant l'appel, en pré-calculant et en automatisant le montant de la course, en permettant la notation du chauffeur, etc.

une nouvelle vision, un nouveau modèle et désormais, une valorisation de 18 milliards de dollars contredisant toutes les prédictions faites par les analystes américains il y a seulement deux ans.

Le partage est important pour le progrès d'ensemble. Le protectionnisme des idées peut être un fléau. Un jour, le responsable des effets spéciaux d'un grand studio hollywoodien nous a dit, devant un parterre de mathématiciens : « On devrait tous vous payer des royalties chaque fois qu'il y a un blockbuster qui sort à Hollywood tellement les recherches mathématiques sont importantes pour faire les effets spéciaux et, finalement, la réussite de nos films. » Nous, on ne disait pas non à ces royalties, surtout par les temps qui courent... mais nous avons conscience que dans notre domaine, ce serait impossible et nuisible. Les brevets n'ont pas été créés pour protéger les inventeurs, mais pour favoriser l'émergence de projets à gros investissement en temps ou en recherche. Dans certains domaines, ce n'est pas le cas, et certains acteurs majeurs de l'innovation en ont pris conscience, comme le montre l'annonce spectaculaire de Tesla automobile, de partager tous ses brevets de manière libre.

Dernier point : lorsqu'on cherche, on se retrouve à explorer des sujets qu'on n'avait pas prévus et pour lesquels on n'a pas été formé. Il en va de même en innovation. Une étude récente estime que deux tiers des diplômés américains occuperont plus tard un emploi qui n'existe pas encore. Comment former les innovateurs, les chercheurs dans ces conditions ? La question est cruciale. Ce n'est pas seulement une question d'enseignement supérieur, mais aussi d'école secondaire.

► Apprendre à réfléchir

La réponse est qu'il faut insister sur le savoir-faire plus que sur les savoirs. Je dois dire à ce point de vue que l'enseignement scientifique que j'ai reçu à l'école il y a vingt-cinq ans a finalement été parfaitement adapté à ma carrière. Au collège et au lycée, je me suis passionné pour des sujets ringards comme la géométrie du triangle – c'était d'ailleurs un des sujets préférés d'Abraham Lincoln, il racontait que c'était dans *Les Éléments* d'Euclide qu'il avait appris à raisonner logiquement, et que cela lui avait été utile partout. J'ai aussi appris à programmer dans des langages qui maintenant sont tout aussi ringards. Peu importe ! Dans les cours de sciences, j'ai appris à réfléchir, à me casser la tête, à chercher, à me concentrer, à faire des raisonnements logiques et à les exprimer, puis à programmer. Tout le reste, ce sont des détails. Plus tard, on s'adapte.

Si vous me demandez ce qui me fait le plus peur dans notre système français concernant l'avenir de notre recherche, ce n'est pas tel classement de Shanghai ou du *Times Higher Education*. En premier lieu, ce qui m'empêche

de dormir, c'est l'état lamentable de notre éducation nationale. Longue liste de maux qui sont : la perte de confiance généralisée à tous les niveaux ; la dévalorisation de l'acteur principal, l'enseignant, à la fois géré de manière archaïque et accablé de critiques ; la baisse des horaires de sciences, dont les effets commencent à se faire sentir dans le supérieur ; l'incapacité à mettre en place un enseignement de programmation pour tous ; la baisse des exigences intellectuelles. Il y a quelques mois, lors de la dernière session de CAPES des mathématiques, un poste sur deux est resté vacant. Si plus personne ne veut enseigner à nos enfants comment faire des raisonnements logiques, qu'allons-nous faire ? Allons-nous importer massivement des enseignants étrangers ? Allons-nous laisser tomber l'enseignement des mathématiques, et importer massivement des chercheurs étrangers ? Dans ce domaine, nous ne ferons jamais aussi bien que nos voisins américains en termes d'importation....

Échanges

Nicolas Neiditch, *lauréat du concours «La Parole aux étudiants»*

La recherche est-elle un mot fourre-tout, une conception restreinte?

A priori, le lien entre recherche et économie se fait par la notion de brevet. Pourquoi cela ne concerne-t-il que les sciences dures, la physique, les sciences naturelles? Pourquoi n'existe-t-il pas des brevets et des applications pour les sciences humaines? Pourquoi cette différence?

Cédric Villani

Le but, c'est l'ouverture sur les idées, qui permet de faire progresser les choses de manière efficace et dans une démarche de progrès. Il y a cependant des sujets sur lesquels, s'il n'y a pas la possibilité d'un retour sur investissement, les projets ne se feront pas. S'il vous faut monter toute une équipe de recherche avec des investissements considérables sur la durée et qu'il n'y a pas d'espoir de retour sur l'investissement, vous ne réussirez pas à monter le projet.

À l'échelle des sciences humaines ou à mon échelle de mathématicien, le projet se fera de toute façon. Dans un contexte où les équipes sont plus petites, où les projets se font, le brevet n'est pas utile pour favoriser l'idée. On ne brevète pas, par exemple, les méthodes d'une équation mathématique afin que l'industrie hollywoodienne nous reverse des dividendes, puisque la recherche se fait de toute façon.

Il ne faut pas considérer le brevet comme une démarche de justice, de protection des idées. C'est simplement quelque chose qui permet à certains gros projets de se mettre en place. Sinon, ils ne se feraient pas.

Luc Montagnier

De toute façon, une recherche fondamentale peut échouer. Il faut que les investisseurs gardent bien à l'esprit qu'elle réussit une fois sur dix, et que neuf fois sur dix, elle échoue. Ce n'est pas gaspiller de l'argent. Toutes les idées ne mènent pas nécessairement à des résultats concrets où elles sont toujours justes.

Elles peuvent être fausses. Les brevets servent surtout à protéger des sociétés, des industries déjà en cours; elles ne servent pas pour toutes les innovations nouvelles, celles qui vont avoir un effet dans vingt ou trente ans. Celles-là vont être trouvées par différents groupes, par convergence. C'est une question de compétition entre sociétés qui existent déjà.

Jean-Marc Vittori, *Les Echos*

On le voit bien avec Samsung et Apple qui se livrent une bataille juridique terrible à propos de la détention de brevets. Ce qui étonne de la part d'Apple c'est le fait que cette entreprise a fait très peu de recherche. Elle fonctionne sur des brevets qu'elle a achetés et ce, uniquement dans une logique défensive, pas dans celle d'encourager la recherche.

Question du public

Étant donné l'enjeu du renouvellement du tissu productif, qui n'a pas du tout été pris en compte dans la dernière période et qui va s'accélérer, étant donné le changement de modèle qui est en train de s'opérer, la question de fond n'est-elle pas la nature du changement? Quelle part de nos vieux instruments doit être revisitée et optimisée? Et quelle est la part d'un changement général de culture, c'est-à-dire de l'approche de l'ensemble des acteurs?

Marcos Prado Troyjo

If we break down the molecule of innovation and try to figure out the constituent elements of it, we see four.

– There is obviously research and development, therefore an element of knowledge.

– There is an element of capital. There has to be for funding the investment. That is an essential.

– There has to be an element of entrepreneurship and perhaps that is where your question touches, because there has to be either a coach of change or a coach of deepening towards the entrepreneurial drive.

– Sometimes, people play down the importance of the fourth element: the holding environment, the institutional framework or sometimes even the geographical, the physical space within which the first three elements interplay with each other. For example, Amartya Sen from Harvard University came up with a very interesting concept, called the technology achievement index, in which he creates a geography of research and innovation around the world and identifies those geographical spots in which those four elements are brought together. There is also a very important work by Daron Acemoglu, called Why Nations Fail, in which the entrepreneurial element is shown as essential to the success of innovation.

Patrick Errard

Votre question est remarquablement pertinente. Je vais donner un exemple d'actualité. Le modèle qui sert à financer le système de soins en France, qui a été bâti au lendemain de la guerre, n'est absolument pas capable d'apporter une solution à l'innovation de rupture en matière de santé. Nous essayons modestement, dans le médicament, d'en apporter la démonstration et d'inciter les autorités – ce n'est pas dû à un gouvernement plus qu'un autre, c'est un problème récurrent – à changer le *business model* qui finance notre système de santé et d'assurer l'innovation de rupture. Nous en sommes malheureusement tout à fait incapables.

Il suffit de regarder comment se font les plans de lois de finance de la sécurité sociale. Ils sont simplement comptables, c'est-à-dire qu'on fait entrer des crédits et on fait partir des débits. Ce sont des additions et des soustractions qui ne peuvent absolument pas tenir compte de réformes structurelles nécessaires pour porter l'efficacité des innovations de rupture, et surtout pour absorber dans le temps et la durée la portée de ces innovations de rupture.

Vous verrez malheureusement que si l'on ne fait pas de réformes structurelles dans ce pays, il y a un moment où ça va buter. Nous serons totalement incapables de financer ces innovations qui sont en train de s'accélérer à un rythme considérable.

Marion Guillou

En vous écoutant, je pensais à un exemple passionnant que j'ai vécu. L'idée d'étudier les milliards de microbes que chacun de nous héberge dans son tube digestif est venue à un chercheur de l'INRA en 2004. Dans son laboratoire de microbiologie, il avait constitué une équipe très originale, avec des écologues, des mathématiciens, et très internationale; un milieu stimulant de scientifiques qui se lancent tout le temps des défis. Il a fait le pari que ce milieu microbien complexe pourrait être étudié grâce à son «méta-génome»; il en a convaincu ses collègues du centre national de séquençage, sa direction pour obtenir les moyens nécessaires, et cela a été le début d'une série de découvertes importantes sur les liens entre ce milieu microbien, l'alimentation et la santé. Pour que ce pari réussisse, il a fallu d'abord une hypothèse faite par une équipe qui pense en-dehors des sentiers battus puis un savoir-faire expérimental extraordinaire, enfin des moyens octroyés par une institution qui a accepté de prendre le risque de ce programme ambitieux. Maintenant, nous construisons le lien avec le monde médical, qui au début ne s'intéressait pas à notre affaire parce qu'il préférerait l'inféctiologie (un microbe = une maladie); aujourd'hui, il se rend compte que le tube digestif est un lieu essentiel où se jouent les défenses. C'est un cocktail compliqué, qui demande quand même des investissements.

Question du public

En France, nous avons une bonne recherche publique, mais l'investissement dans la recherche par les entreprises est insuffisant. Est-il important que le secteur privé finance la recherche, et que faudrait-il faire pour que cela se fasse davantage?

Didier Lombard

Oui, l'investissement privé est important, parce qu'un financement venant uniquement de l'État est complètement déséquilibré.

Par ailleurs, on ne parle plus à l'échelle de l'hexagone aujourd'hui, cependant que l'Europe existe à peine. Si je pense aux recherches dans les domaines qui m'intéressent, elles font toutes le tour de la planète. Nous avons des partenaires coréens, américains. Aucune recherche n'est faite par une équipe toute seule quelque part dans l'hexagone. Les seuls qui ont une assise suffisamment large pour financer la recherche sont les grands groupes –et encore, pas tout seuls: ils s'appuient souvent sur une coopération définie à l'avance, de façon à se partager les sujets.

Il est donc essentiel que les entreprises participent. En ce moment, un combat titanesque se déroule pour savoir qui va gagner entre Apple, Google, Samsung... Il est clair que les alliances que nous passons avec ces acteurs sont essentiels, et que tout dépend de l'innovation: nous nous différencierons si nous avons un produit qui provoque un décalage. On commence à avoir des associations internationales financées par les groupes.

Cédric Villani

Nous rejoignons ici la question précédente, celle de la culture. L'expérience montre que changer une culture prend beaucoup plus de temps que de changer une technologie, et les changements de culture viennent très souvent du brassage des gens. La rencontre des idées vient de la rencontre des personnes. Jean Therme a présenté, lors d'une réunion du Conseil stratégique de recherche, une statistique intéressante sur le mixage entre universitaires et hommes d'affaires dans les conseils d'administration de grands groupes privés. On y constatait que côté allemand, par exemple, il y avait une mixité bien plus importante qu'en France. Cela ne veut pas dire que ces universitaires vont directement prendre des décisions, agir; mais le simple fait de discuter peut faire changer votre point de vue et vous amener, pour partie consciemment, et pour partie inconsciemment, à changer la politique d'ensemble de votre entreprise.

Christian Stoffaës

Malgré l'extrême diversité des intervenants et de leurs secteurs professionnels, je crois que ce débat a permis de dégager des convergences. Grande convergence d'abord pour dire que la recherche n'est pas finie. On pourrait croire qu'il n'y

9. L'économie de la recherche

a plus grand-chose à trouver; pas du tout. Il y a de plus en plus de recherches, de plus en plus décisives.

Deuxième leçon, il n'y a pas de tarissement, c'est la recherche qui change. Les grandes structures élaborées au XX^e siècle, d'où est née la recherche d'aujourd'hui, les grands programmes, les grands laboratoires, la recherche des grandes entreprises, tout cela mérite de changer.

Le maître mot, répété plusieurs fois, est l'ouverture, aussi bien dans la recherche de base, scientifique, que dans la recherche orientée vers l'innovation. «Essaimage», dit Didier Lombard. Il faut passer des forteresses au *networking* et à la recherche «de bazar», où on échange sans règles.

Autre leçon: le chercheur est l'ami du hasard. Il faut laisser les chercheurs chercher sans trop se préoccuper de rendement. La recherche donne des résultats contrastés, qui quelquefois sont minables, quelquefois entraînent des ruptures majeures pour la société. Il faut donc composer avec le hasard. C'est également vrai dans les entreprises, où les dirigeants doivent protéger en permanence leurs secteurs de recherche de la tyrannie des comptables.

Conclusion générale: je crois que nous sommes en voie de réconcilier l'économie et la recherche. Traditionnellement, la recherche n'est pas traitée comme un objet économique, car elle obéit à des finalités supérieures. L'amélioration des connaissances est de l'ordre du sacré, et puis les chercheurs n'aiment pas beaucoup le mot «économie»: lorsqu'on le prononce, ils voient immédiatement la menace de restrictions de crédits. Notre réflexion montre au contraire qu'on peut tout à fait concilier l'économie et la recherche.