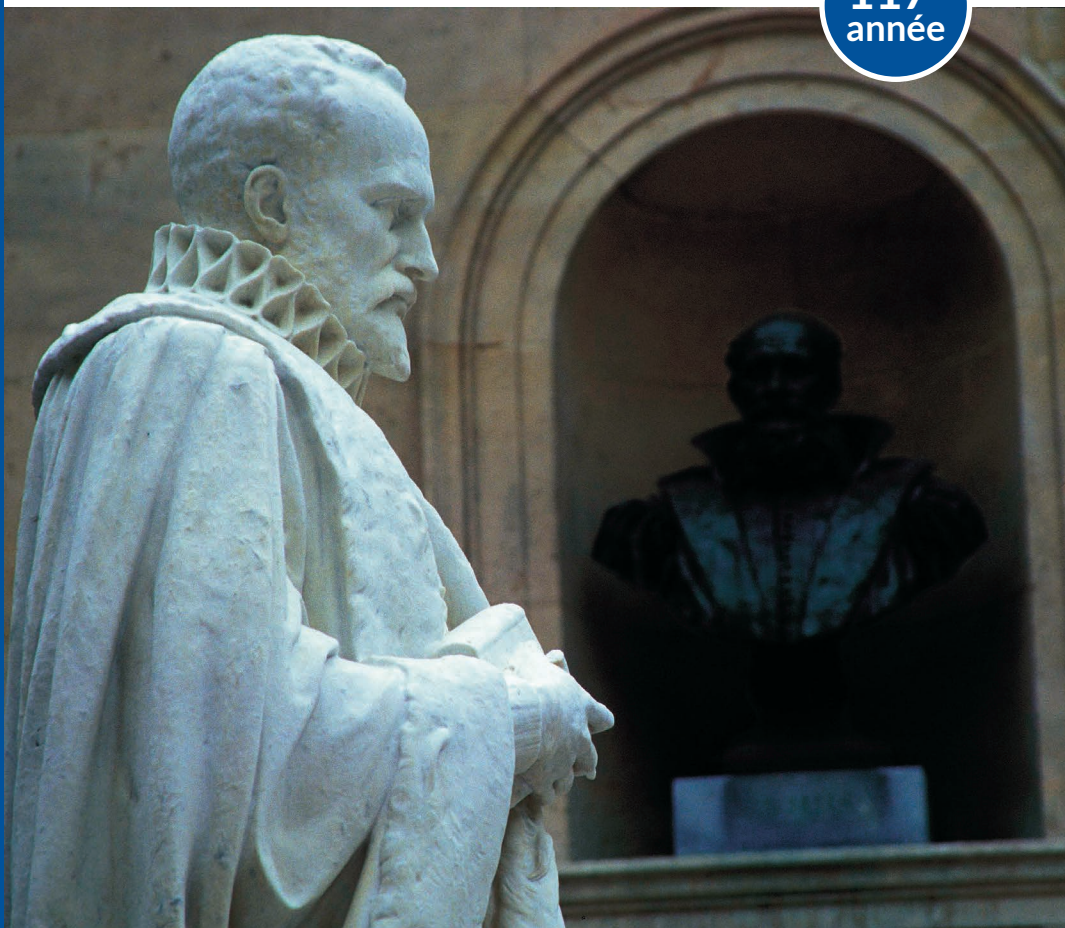


ANNUAIRE du **COLLÈGE DE FRANCE** 2016 - 2017

Résumé des cours et travaux

117^e
année



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

INNOVATION TECHNOLOGIQUE LILIANE BETTENCOURT

Didier ROUX

Membre de l'Institut (Académie des sciences),
membre de l'Académie des technologies,
professeur invité au Collège de France

Mots-clés : découverte, invention, innovation, recherche fondamentale, numérique, énergie

La série de cours et séminaires « Découverte fondamentale, invention technologique, innovation : un voyage scientifique » est disponible, en audio et/ou en vidéo, sur le site internet du Collège de France (<https://www.college-de-france.fr/site/didier-roux/course-2016-2017.htm>), ainsi que la leçon inaugurale « Recherche fondamentale, inventions et innovations » (https://www.college-de-france.fr/site/didier-roux/_inaugural-lecture.htm) et le colloque « Autour de l'innovation par des "jeunes pousses" » (<https://www.college-de-france.fr/site/didier-roux/symposium-2016-2017.htm>). La leçon inaugurale a été publiée sous forme imprimée (Collège de France/Fayard) et numérique (Collège de France).

ENSEIGNEMENT

COURS ET SÉMINAIRES – DÉCOUVERTE FONDAMENTALE, INVENTION TECHNOLOGIQUE,
INNOVATION : UN VOYAGE SCIENTIFIQUE

Leçon inaugurale – Recherche fondamentale, inventions et innovations

Différents aspects des problématiques qui relient la recherche fondamentale, les inventions et les innovations sont abordés. En nous fondant sur l'expérience personnelle de l'auteur mais aussi sur un grand sujet qui a marqué notre époque – les ordinateurs et le numérique – nous avons fait ressortir la diversité et la richesse des approches. L'histoire de l'informatique, de l'électronique et du digital montre des aller-retours multiples entre découvertes, inventions et innovations. On retrouve cette même interaction riche et complexe dans les problématiques de la recherche moderne. Ceci est illustré par l'exemple de la physique statistique de la matière

condensée et en particulier par le lien entre récupération assistée du pétrole, microémulsion et la physique statistique d'objets bidimensionnels fluctuants.

Nous montrons que loin d'être un processus linéaire, ces approches (découvertes, inventions, innovations) s'enrichissent les unes les autres et qu'il n'existe pas de processus bien définis conduisant aux innovations.

Cours 1 – La saga du numérique : de la machine à calculer à l'invention du transistor

Nous avons retracé les grandes avancées de progrès scientifiques et technologiques ayant conduit aux ordinateurs d'aujourd'hui. Les premières étapes qui ont permis de développer la notion d'ordinateur ont été détaillées. L'invention du transistor a été un élément disruptif qui a permis le développement spectaculaire des ordinateurs modernes. Nous avons plus particulièrement insisté sur le lien entre recherche fondamentale en physique du solide et invention technologique pour montrer que les innovations finales qui en résultent passent par une rencontre avec des besoins au moment où elles émergent.

Séminaire 1 – De la science fondamentale à l'innovation : progrès récents et futurs de nos ordinateurs

Albert Fert (prix Nobel de physique, Palaiseau et université Paris-Sud, Orsay, UMR CNRS/Thales), le 24 mars 2017

Comment la recherche fondamentale mène-t-elle à l'innovation ? Par quelques exemples simples, Albert Fert a montré comment de nombreux progrès récents des technologies de l'information et de la communication (ordinateurs, téléphones, etc.) sont venus d'avancées de pure physique fondamentale. Il a également évoqué les possibles futurs de notre informatique que pourraient amener, soit les skyrmions qui sont des nano-billes mobiles d'aimantation issues de l'exploitation de concepts de topologie, soit des ordinateurs dont les composants seront inspirés des neurones et synapses de notre cerveau.

Cours 2 – La saga du numérique : de l'ordinateur à la prolifération du digital

Nous avons retracé les grandes avancées de progrès scientifiques et technologiques ayant conduit aux ordinateurs et à la société « connectée » d'aujourd'hui. Nous avons vu comment de l'ordinateur collectif puis individuel a émergé l'explosion d'Internet et du digital. Ont été ainsi retrouvés des aspects intéressants décrivant le lien entre sciences fondamentales et déploiement rapide d'innovations.

Séminaire 2 – Mécanismes de l'innovation à l'ère digitale. Une étude de cas

Jean-Marie Hullot (Fondation Iris), le 31 mars 2017

Avec l'arrivée du numérique, c'est toute une accélération du processus d'innovation qui s'est mise en place. Le passage d'une idée à sa réalisation logicielle, au moins sous forme de prototype, ne nécessite plus des mois, sinon des années, mais quelques semaines, sinon quelques jours ou quelques heures. Une nouvelle

approche hautement itérative est devenue la norme, approche où les échecs sont aussi riches en enseignements que les réussites. À travers son parcours personnel, qui l'a emmené des laboratoires de recherche de l'INRIA, au temps où les ordinateurs étaient encore de « grosses machines » dans une salle de calcul, jusqu'au cœur de l'innovation technologique dans la Silicon Valley, où il joua un rôle décisif dans la grande aventure qui amena à la sortie de l'iPhone, Jean-Marie Hullot a mis en avant quelques moments décisifs illustrant les mécanismes de l'innovation à l'ère digitale.

Cours 3 – L'énergie solaire : l'énergie du futur ?

Nous avons montré comment et pourquoi l'énergie solaire a vocation à se développer, tout en insistant sur les innovations passées et celles à venir nécessaires à son développement. Le développement rapide de cette énergie depuis quelques années résulte d'une conjonction entre des pays volontaristes voulant développer cette technologie et des capacités de production en accroissement fort. La baisse spectaculaire du coût des panneaux solaires laisse un terrain profondément différent à celui qui s'était dessiné quelques années auparavant.

Séminaire 3 – L'énergie solaire : l'énergie du futur ?

Daniel Lincot (IRDEP, directeur de recherche au CNRS), le 21 avril 2017

Il y a dix ans, le développement industriel du photovoltaïque en était à ses balbutiements. Dix ans après, l'énergie photovoltaïque a connu un développement exceptionnel avec près de 300 GW de capacité mondiale cumulée installée, dont 70 en 2016. Aujourd'hui, les projections tablent sur un développement à très grande échelle dans les prochaines décennies. Au cours de ce séminaire, nous avons analysé quelques avancées scientifiques et technologiques remarquables qui ont permis d'atteindre le niveau actuel ainsi que certaines découvertes récentes, comme par exemple les cellules perovskites, qui vont profondément modifier le paysage des technologies photovoltaïques dans les années à venir. Nous avons ensuite examiné, à lumière de celles-ci, les perspectives en matière d'augmentation du rendement de conversion, de nouveaux matériaux et de nouvelles architectures, qui caractériseront les cellules solaires du futur.

Cours 4 – L'habitat du futur

À partir des enjeux énergétiques et environnementaux auxquels nos sociétés sont confrontées, nous avons décrit l'intérêt de l'énergie solaire. À partir des inventions et des innovations liées à la physique des matériaux, en passant par la recherche fondamentale permettant de rendre cette technologie innovante, nous avons montré quel chemin a été choisi et où se trouvent les progrès technologiques.

Séminaire 4 – Énergie et économie

Jean-Marc Jancovici (Carbone 4), le 28 avril 2017

L'énergie est un élément-clé du développement de nos sociétés. Le lien entre économie et énergie est profond et illustre comment les évolutions de la société sont établies sur la capacité d'accéder de façon durable à cette énergie. Sa production et sa transformation dans différentes utilisations illustrent parfaitement ce lien.

Cours 5 – La saga du verre : un matériau toujours innovant

Partant de la découverte du verre, nous avons vu que ce matériau recèle des capacités infinies d'innovations et de problématiques scientifiques. Alors que son utilisation dans la vie pratique de nombreuses nations a été en augmentant au fil du temps, la compréhension et la capacité d'élaboration de nouvelles applications sont arrivées plutôt tardivement.

Séminaire 5 – Vitrimères, une nouvelle classe de matériaux organiques

Ludwik Leibler (ESPCI), le 5 mai 2017

En observant le souffleur de verre, nous réalisons à quel point sa matière, travaillée à la flamme, sans régulation de température et sans moule, est particulière : la silice amorphe, l'archétype de verre, passe d'un état liquide à un état solide de façon très progressive. Tous les composés organiques sans exception présentent, au contraire, au voisinage de la transition vitreuse, une viscosité qui diminue brusquement avec la température. De plus la silice est insoluble. Peut-on concevoir un matériau organique qui se comporte comme la silice amorphe ? Nous avons imaginé une transition vitreuse par le figeage de la topologie d'un réseau moléculaire et introduit les vitrimères, des réseaux moléculaires capables par des réactions d'échanges de se réorganiser sans changement du nombre des liens. Les vitrimères constituent une nouvelle classe de matériaux polymères : ils sont insolubles comme les résines thermodurcissables ou caoutchouc, mais malléables à chaud comme des thermoplastiques. Ces propriétés exceptionnelles dans le monde des matériaux semblent offrir de nombreuses perspectives industrielles dans des secteurs aussi divers que l'électronique, l'automobile, la construction ou l'aéronautique, d'autant plus que des nouvelles réactions d'échanges permettent d'utiliser des ingrédients et des procédés de mise en œuvre largement présents dans ces industries.

Cours 6 – La saga du verre : les procédés de fabrication

Nous avons illustré, à travers la mise en forme et l'élaboration du verre, comment l'innovation est au cœur des procédés industriels, en lien étroit avec les inventions et la compréhension scientifique. En effet, grâce à ces progrès technologiques sur les procédés, le verre a pu permettre le développement de nombreux produits dans différents domaines.

Séminaire 6 – Comment on dépasse les propriétés optiques du verre

Hervé Arribat (ESPCI), le 12 mai 2017

Il avait fallu des millénaires pour devenir capable, par des innovations successives sur les matériaux et sur les procédés de fabrication, de produire du verre suffisamment transparent pour être utilisé dans les vitrages et dans les instruments optiques. Mais, dans la seconde moitié du ^{xx}e siècle, deux procédés radicalement nouveaux ont permis de dépasser les propriétés optiques de ce matériau. L'introduction des fibres optiques a révolutionné le secteur des télécommunications et provoqué les transformations que l'on connaît dans la téléphonie et la télévision et permis le développement d'Internet. Les procédés de dépôt de couches minces sur le

verre ont permis de modifier à la demande ses propriétés optiques dans le visible et dans l'infrarouge, rendant possible le développement de vitrages thermiquement isolants pour le bâtiment, et de nombreuses autres applications qui ont transformé l'industrie même du verre. Les innovations qui ont conduit à ces transformations industrielles majeures se sont faites suivant des modes très différents, qui ont été comparés dans ce séminaire. L'interrelation entre science et technologie dans chacun de ces deux cas a également été discutée.

Cours 7 – Conclusions : découvreurs, inventeurs, innovateurs

Nous avons illustré la richesse des approches allant de la recherche fondamentale à l'innovation en passant par l'invention, puis nous avons tenté d'expliquer le rôle du besoin des marchés et celui des apports des sciences et des technologies. En s'appuyant sur des parcours personnels (Léonard de Vinci, Steve Jobs, etc.), nous avons essayé de dégager quelques principes de personnalités et de comportement conduisant à des innovations spectaculaires.

Séminaire 7 – Innovation et rationalité créative

Joëlle Forest (INSA de Lyon), le 19 mai 2017

Cette conférence part d'une question relativement simple : comment passer de l'injonction à innover à une capacité effective à innover ? Afin d'apporter des éléments de réponse à cette question, Joëlle Forest nous propose de considérer la relation des modèles d'innovation à l'action. Un constat s'impose alors : tandis que nous parlons d'innovation, nous paraissions peu à même d'innover dans notre façon de penser l'innovation. Joëlle Forest nous explique cependant que, si l'on accepte de penser l'innovation à partir de la conception, on est conduit à développer une forme de pensée refoulée par l'histoire, à savoir la rationalité créative, une forme de pensée qui invite à une transgression aventureuse. Chemin faisant cette conférence s'interroge sur la capacité de notre système éducatif à préparer à cette transgression aventureuse.

COLLOQUE – AUTOUR DE L'INNOVATION PAR DES « JEUNES POUSSÉS »

Lors de ce colloque, organisé le 8 juin 2017 au Collège de France, plusieurs jeunes pousses créées à partir de recherches fondamentales ont été présentées. Des sujets très divers ont été abordés en biologie, physique et mathématiques. Ce fut l'occasion de montrer à la fois comment des connaissances fondamentales débouchent sur des cas concrets d'applications dans de nombreux domaines industriels mais aussi comment les problématiques d'applications motivent des progrès en sciences fondamentales.

- Didier Roux (Collège de France) : ouverture du colloque et introduction
- Marc Potters (CFM) : « CFM : de la physique statistique à la gestion de portefeuille »
- Jeremy Bercoff (Supersonic Imagine) : « Du retournement temporel au diagnostic de pathologies : l'aventure scientifique, technologique et industrielle d'une onde ultrasonore »
- Cyrille Deranlot (Daumet) : « Un pont d'or entre fondamental et innovation »

- Pascale Bouillé (Vectalys) : « 20 ans après la découverte du VIH : du virus au médicament, du laboratoire à l'industrie ! »
- Valérie Castellani (Oncofactory) : « L'embryon aviaire, exploitation d'un modèle phare de la recherche fondamentale en biologie du développement pour la conception de répliques de tumeurs de patients »
- Bruno Berge (Laclarée) : « Optique adaptative et liquides : du laboratoire au marché »

PUBLICATIONS

ROUX D., *Découvertes, inventions et innovations*, Paris, Collège de France/Fayard, coll. « Leçons Inaugurales », n° 268, 2017.