

INNOVATION TECHNOLOGIQUE

Thierry Rayna
thierry.rayna@polytechnique.edu

Thomas Clausen
thomas.clausen@polytechnique.edu

Contexte et objectifs

L'innovation est le vecteur qui permet aux découvertes scientifiques d'avoir un impact durable sur notre environnement, nos sociétés, nos vies. Sans innovation, ces découvertes, aussi majeures soient-elles, resteraient confinées au monde de la recherche et de l'enseignement. Mais le chemin qui mène de la découverte scientifique à une application pratique, vecteur de progrès dans notre vie de tous les jours, est long et tortueux, et rempli d'inconnu et d'inattendu. Ceci est notamment le cas parce que l'idée initiale que l'on se fait de l'utilisation pratique de connaissances scientifiques est souvent à mille lieues de l'usage final qui en sera finalement fait : qui aurait pu penser que les lasers ne serviraient ni à couper ni à brûler, mais à lire des disques optiques ? Que la théorie de relativité permettrait la synchronisation des satellites GPS ? Que les vaccins à ARN messenger serviraient à combattre un coronavirus avant de traiter les cancers comme on le pensait destiné ? L'approche « techno-push » généralement (par nécessité) adoptée par les inventeurs, qu'ils soient au sein de startups ou de grands groupes, se heurte souvent aux difficultés

de la compréhension et de l'anticipation des usages et à la nécessaire construction de connaissances sur des mécanismes humains et sociaux clés dans l'adoption et la diffusion d'une technologie.

Or, c'est de cette adoption et diffusion large que dépend l'impact d'une découverte scientifique. La mauvaise compréhension de ces facteurs humains et sociaux, outre le risque d'échec pur et simple de l'innovation qui ne trouverait pas « preneur », a conduit également à des résistances à l'innovation qui peuvent être extrêmement fortes ou à des innovations technologiques « de niche », visant prioritairement des marchés aisés, et ne conduisant qu'à un impact incrémental ou marginal. Ainsi, les récentes controverses autour d'innovations technologiques telles que la 5G ou les compteurs Linky sont illustratives de ce type de phénomènes. Parallèlement, des avancées technologiques ont été mises à profit de manière à pouvoir satisfaire le besoin d'un plus grand nombre : outre l'exemple de Napster qui a détourné des technologies de compression et de réseaux des premiers usages envi-



sagés pour donner accès à la musique numérique au plus grand nombre, ouvrant par la même la voie au « streaming », c'est également le cas du projet Open Source Hardware « RepRap » qui, grâce au travail assidu de passionnés procédant par ingénierie inverse, a permis de démocratiser l'impression 3D en la faisant sortir de sa « tour d'ivoire », en faisant passer le prix des imprimantes de plusieurs dizaines de milliers d'euros à à peine quelques centaines, donnant par la même naissance aux phénomènes des Fab Labs et makerspaces.

Mais surmonter les obstacles au succès d'innovations technologiques, et permettre à la science d'être véritablement porteuse d'impact et de progrès, requiert un double socle de compétences: sans compréhension des fondements scientifiques de la technologie, tout projet d'innovation n'est que science-fiction, sans compréhension des aspects humains et sociaux, tout projet d'innovation n'est que chimère.

Ainsi, l'objectif de ce PA est de développer des compétences technico-scientifiques avancées et une compréhension des phénomènes humains et sociaux liés à l'innovation. In fine, il s'agit de vous préparer à développer des innovations afin de permettre à la science d'être pleinement vecteur de progrès et de jouer un rôle clé dans la résolution des grands défis environnementaux et sociaux auxquels notre planète et l'humanité doivent faire face. Le PA-IT combine donc un approfondissement dans une spécialité technico-scientifique (Big Data et systèmes

d'information, Biomedical Engineering, Electrical Engineering, Énergies du XXI^e siècle, Matériaux innovants, Mechanical Engineering, Modélisation mathématique en ingénierie) et en management de l'innovation et entrepreneuriat.

Structure du PA Innovation Technologique

Le PA-IT propose un choix de 7 spécialisations scientifiques

- Big Data et systèmes d'information.
- Biomedical Engineering.
- Electrical Engineering.
- Matériaux innovants.
- Mechanical Engineering.
- Modélisation mathématique en ingénierie.
- Énergies du XXI^e siècle.

Ainsi, chaque étudiant du PA-IT est amené à choisir une spécialisation scientifique, ce qui lui permet de développer une double expertise en sciences « dures » et en management de l'innovation et des ruptures technologiques.

Débouchés

À l'international

- Un Master of Science d'approfondissement lié à la spécialisation scientifique choisie:
 - Par exemple, pour la spécialisation « Énergies du XXI^e siècle »: MSc Climate Change, Management and Finance à Imperial College London,

MSc Energy, Civil Infrastructure and Climate à UC Berkeley, MSc Sustainable Energy Futures à Imperial College London, MPhil Energy Technologies à l'Université de Cambridge. pour la spécialisation « Big Data/Systèmes d'info »: MSc Data Science à Columbia, UCL ou EPFL, Master of Information and Data Science à Berkeley, M.S. in Statistics: Data Science à Stanford, MSc Advanced Computing à Imperial College, MSc Business Analytics à Imperial College ou au MIT.

- Un Master en Sciences de l'Ingénieur, par exemple: MEng Industrial Engineering à UC Berkeley, MPhil Industrial Systems, Manufacture and Management à l'Université de Cambridge.
- Un Master of Science en Management de l'Innovation et/ou Entrepreneuriat:
 - Par exemple: MSc Innovation, Entrepreneurship and Management à Imperial College, Master Management, Technology and Entrepreneurship à l'EPFL, MSc Technology Entrepreneurship à UCL, MSc Management and Strategy à la LSE, MPhil Technology Policy à l'Université de Cambridge, Ms Management and Engineering à Columbia University.

En France

- Le Master Projet, Innovation, Conception (PIC) (présenté p. 98)
- Le Master « Transport et développement durable » (TraDD)
- Le Master « Industrie de réseaux et économie numérique » (IREN)

- Les programmes offerts par Mines ParisTech, Ponts ParisTech, ENSTA Paris, ISAE-Supaéro, IFP School, ENSAE ParisTech, HEC.

Organisation

Le PA-IT combine des cours de spécialisation scientifique avec des cours de management de l'innovation et entrepreneuriat. La répartition entre ces deux types de cours dépend essentiellement des débouchés envisagés:

- Les étudiants envisageant une **quatrième année en sciences « dures »** doivent choisir **cinq blocs** (cours ou EA) dans une **spécialisation scientifique** et **trois blocs** (cours ou EA) de **management de l'innovation et entrepreneuriat**.
- Les étudiants envisageant une **quatrième année** dans un **curriculum pluridisciplinaire** (de type management des technologies et de l'innovation, entrepreneuriat) peuvent choisir **quatre blocs** (cours ou EA) de **spécialisation scientifique** et **quatre blocs** (cours ou EA) de **management de l'innovation et entrepreneuriat**.
- Les étudiants qui le souhaitent peuvent également se construire une **double compétence** de type « double majeure » au moyen de cours supplémentaires en **spécialisation scientifique** ou **management de l'innovation et entrepreneuriat** (par exemple, cinq blocs de spécialisation scientifique et quatre blocs de management de l'innovation et entrepreneuriat, cinq blocs de chaque type, etc.).

Programme MIE

Le programme Management de l'innovation et entrepreneuriat (MIE) du PA Innovation Technologique a pour objectif de compléter et mettre à profit l'expertise acquise dans le cadre de la spécialisation scientifique choisie, afin que les étudiants sachent concevoir et mettre en pratique, au-delà des inévitables phénomènes de « hype » qui accompagnent les technologies dites émergentes, des stratégies et modes d'innovation porteurs d'impact, non seulement pour l'entreprise, mais pour l'écosystème et l'environnement dans lequel elle se situe.

À ce titre, ce programme s'adresse à la fois aux étudiants ayant pour objectif de travailler pour un grand groupe, à ceux ayant un projet entrepreneurial ou souhaitant rejoindre une startup, et à ceux souhaitant rejoindre une association ou une administration publique.

Pour ce faire, le programme MIE du PA-IT se base sur les principes suivants :

- Une approche « hands-on » et « problem-based » afin de stimuler l'apprentissage au moyen de cas d'entreprises réelles, notamment dans le cadre de projets réalisés en collaboration avec des entreprises en situation de rupture technologique.
- L'acquisition d'outils pratiques permettant de conduire un diagnostic des stratégies d'innovation et des « business models », et d'identifier les opportunités d'innovation, ainsi que leur impact au sens large (environnement, économie, société).
- L'apprentissage de méthodes d'exploration permettant d'anticiper les ruptures et changements radicaux pouvant survenir dans l'environnement de l'entreprise.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

Cours au choix

- MIE554** – Business Models for Impact in a Digital World*
- MIE555** – Fundamentals of Strategy & Innovation*
- MIE556** – Introduction to Marketing and Strategy*
- MIE557** – Corporate Finance for the Entrepreneur (P1)
- MIE577 [EA]** – Stratégie des organisations et développement durable

Période 2

Cours au choix

- MIE561** – Méthodologie d'exploration des domaines d'innovation : application à des problématiques sociétale*
- MIE562** – Case Studies on Innovation*
- MIE563** – De l'idée au prototype - Fablab*
- MIE564** – Entrepreneurship: practical cases and research by sectorial immersions*
- MIE565** – Managing sustainable innovation*
- MIE567** – Corporate Finance for the Entrepreneur (P2)
- MIE568** – Entrepreneurship for Sustainability*

* Ces cours peuvent être comptabilisés comme EA.

Possibilité de suivre un cours Management de l'Innovation et Entrepreneuriat à la place d'un cours de spécialisation pour des débouchés en management de l'innovation et des technologies (voir explications ci-dessus)

Obligation de suivre un des séminaires MIE ci-dessous :

Un séminaire MIE de socle commun

- MIE511A – Digital Innovation and Transformation
- MIE512A – Théories et pratiques de la décision
- MIE512B – Stratégie, Innovation & Société : les nouvelles formes de concurrence
- MIE512C – Data marketing et expérience client
- MIE513B – Management de projet
- MIE514A – Financement des startups (X/HEC) (P1, lundi 18h15)
- MIE514B – Du résultat de la recherche à l'innovation : de Nature au Nasdaq
- MIE515A – Management de la transition énergétique
- MIE515C – Innovation et santé

Spécialisation Big Data et Systèmes d'Information

Thomas Clausen
thomas.clausen@polytechnique.edu

L'évolution récente des systèmes de traitement et le développement des infrastructures matérielles – avec les réseaux – et logicielles – avec le Web et le Cloud – a conduit à repenser fondamentalement l'organisation des systèmes informatiques des entreprises ainsi que la méthodologie de traitement des données. Un nouveau concept – le Big Data – s'est peu à peu imposé qui révolutionne la notion de système d'information.

Le traitement de ces données utilise les méthodes classiques d'optimisation, mais aussi fait appel à de nouveaux concepts comme l'apprentissage et la fouille de

données (supervised Learning, datamining, text mining, retrieval, etc.).

Prérequis conseillé

Un minimum de cours d'informatique en 2A semble nécessaire (un niveau équivalent à INF371/INF361 + INF411 est requis).

Choix de cours

La spécialisation « Big Data et Systèmes d'Information » offre deux options: « Réseau » et « Big Data »:

COMPOSITION DU PROGRAMME

OPTION BIG DATA

Période 1

Cours obligatoires

- INF557** – Introduction to Concurrent and Communicating Systems
- INF559** – Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation
- MAP553** – Foundation of Machine Learning

Cours supplémentaire optionnel

- INF553** – Database Management Systems

Période 2

Cours obligatoires

- INF566** – From Fundamentals to Reality: How the Internet Really Works, and How to Make it Better

Cours supplémentaire optionnel

- MAP583** – Data Camp

OPTION RÉSEAU

Période 1

Cours obligatoires

- INF557** – From the Internet to the IoT: Fundamentals of Modern Computer
- INF559** – Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation
- MAP553** – Foundation of Machine Learning

Cours supplémentaire optionnel

- INF558** – Introduction to Cryptology

Période 2

Cours obligatoires

- INF566** – From Fundamentals to Reality: How the Internet Really Works, and How to Make it Better

- INF586** – Network Security

Spécialisation Biomedical Engineering

Abdul Barakat

abdul.barakat@polytechnique.edu

Cette spécialisation scientifique combine la biologie avec la mécanique et/ou la physique, avec comme but final les technologies pour la santé, comme par exemple les implants et les organes artificiels, l'ingénierie tissulaire, ou les technologies de diagnostic médical.

Débouchés

Débouchés envisageables dans des masters de biophysique, biomécanique, biomédical engineering, micro-fluidique, ou micro/biotechnologies, en France ou à l'étranger.

Prérequis conseillé

Un ou plus des cours suivants:
MEC432 – Mécanique des fluides
BIO451 – La cellule unité du vivant.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

1 cours au choix

MEC550 – Biofluid Mechanics and Mass Transport

PHY557 – Soft Surfaces

PHY552B – Physique des objets biologiques : du nanomètre au micron

EA au choix

BIO571B – Travaux expérimentaux en imagerie quantitative

MEC574 – Biomimétique

Période 2

1 cours au choix

PHY565 – Physics of living systems : polymers, membranes and active matter

BIO565 – Biophotonique et applications

MEC569 – Mécanique cellulaire et subcellulaire

EA

MEC/BIO586 – Biomechanics in Health and Disease

Spécialisation Electrical Engineering

Yvan Bonnassieux

yvan.bonnassieux@polytechnique.edu

Cette spécialisation scientifique se propose de fournir à chaque élève une vision cohérente des champs de l'Electrical Engineering ainsi que les compétences et connaissances pour poursuivre sa formation en M2, que ce soit en France ou dans les meilleures universités mondiales.

Il vise également à donner les fondamentaux professionnels du métier d'ingénieur dans les grands domaines actuels et futurs des hautes technologies lié à la micro et nanoélectronique.

Pas de prérequis pour cette spécialisation scientifique

118

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

Cours obligatoires

PHY559A – Conception of numerical and analog integrated circuits

EA au choix

INF557 – Introduction to Concurrent and Communicating Systems

MAP555 – Signal processing from Fournie to Machine Learning

PHY559B – Power Electrical Engineering for renewable energy

PHY573A – Experimental conception of micro and nanoelectronic devices

Période 2

Cours obligatoires

PHY567 – Physics of semiconducting devices

EA au choix

PHY564A – Open Electronic : From Arduino, Raspberry Pi, to Internet of Things

PHY564B – Nanomaterials and electronics

PHY564C – Optoelectronics

PHY581C – EA Projets expérimentaux : microélectronique et nanotechnologie

INF567 – Wireless Networks: from Cellular to Connected Objects

119

Programme X2020

Spécialisation Matériaux Innovants

Thierry Gacoin

thierry.gacoin@polytechnique.edu

Ce parcours est destiné aux élèves intéressés par le domaine des matériaux et leurs applications, que ce soit dans le domaine des technologies avancées, pour le développement durable ou à l'interface avec la santé. Il vise à donner les compétences de base permettant de comprendre les tendances actuelles de ce domaine très actif, au centre de nombreuses problématiques liées à l'innovation.

Débouchés

Débouchés possibles en M2 innovation (IES), Master de Chimie en France ou à l'étranger.

Pas de prérequis pour cette spécialisation scientifique

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

1 cours au choix

CHI551 – Electrons and nuclei in modern chemistry
PHY552A – Quantum Physics of Electrons in Solids

Cours optionnels supplémentaires

CHI554 – Solid State Chemistry
PHY557 – Soft Surfaces

EA au choix

PHY570 – Materials design
MEC576 – Design des technologies innovantes

Période 2

1 cours au choix

CHI564 – Chemical Engineering
PHY563 – Materials for Energy Conversion & Storage

EA au choix

PHY582 – Current Trends in Materials Science
CHI583C – Experimental Project in Materials for Technology

Spécialisation Mechanical Engineering

Charles Baroud

charles.baroud@polytechnique.edu

Ce parcours est destiné aux élèves intéressés par le génie mécanique, par exemple pour la robotique, le « manufacturing », ou l'automobile. Débouchés possibles en M2 innovation (IES), Master de Mechanical Engineering à l'étranger, Master spécialisé en ingénierie.

Prérequis conseillé

Un cours de mécanique en année 2 (MEC431, MEC432, ou MEC434). Certains cours ont des prérequis spécifiques.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

2 cours au choix

MEC551 – Comportement des matériaux

MEC555 – Instabilities and Turbulence

MEC559 – Mechanics for Wind Energy

1 EA obligatoire

MEC576 – Design des technologies innovantes

Période 2

2 cours au choix

MEC560 – Propulsions

MEC561 – Interactions fluide-structure

MEC562 – Mécanique et couplages multiphysiques

MEC564 – Écoulements non inertiels et rhéologies complexes

MEC585 – Engineering computational solid mechanics

Spécialisation Modélisation mathématique en ingénierie

Erwan Le Pennec
erwan.le-pennec@polytechnique.edu

Cette spécialisation scientifique a pour but de donner aux étudiants un bagage suffisant et assez large dans des thématiques de mathématiques appliquées particulièrement utilisées dans l'industrie.

Ce parcours peut ensuite déboucher sur des formations de type Master 2 de mathématiques appliquées en lien avec le parcours suivi.

L'École polytechnique est cohabilitée avec plusieurs établissements proposant de telles formations.

Prérequis conseillé

Il est fortement conseillé d'avoir suivi certains cours pour cette spécialisation: MAP431 ou MAP411 pour un choix de cours plus « déterministe » et MAP432 ou MAP433 pour un choix de cours plus « aléatoire ».

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

2 cours au choix

MAP553 – Foundation of Machine Learning

MAP555 – Signal processing from Fournie to Machine Learning

MAP557 – Recherche opérationnelle : aspects mathématiques et applications

1 EA

MAP511 – EA initiation recherche P1

Période 2

1 cours au choix

MAP564 – Réseaux sociaux et de communication : modèles et algorithmes probabilistes

MAP566 – Statistics in action

MAP569 – Regression and classification

1 EA

MAP512 – EA initiation recherche P2

Spécialisation Énergies du XXI^e siècle

Christophe Josserand
christophe.josserand@polytechnique.edu

L'objectif de cette spécialisation est l'acquisition des concepts scientifiques essentiels dans le développement et la gestion des énergies, notamment dans le développement des énergies dites « non fossiles » comme par exemple l'énergie nucléaire ou les énergies renouvelables.

Elle est par nature pluridisciplinaire et combine des cours plus tournés vers la présentation générale des enjeux du secteur avec des cours et approfondissement plus orientés vers la production d'énergies non fossiles.

Pré requis conseillés

- MEC432 recommandé pour MEC559

126

COMPOSITION DU PROGRAMME

1 cours obligatoire au choix

PHY555 – Energy and environment (P1)

EC0564 – Economics of energy sectors (P2)

2 cours obligatoire au choix

PHY558B – Photovoltaics Solar Energy (P1)

MEC559 – Mécanique pour l'Eolien (P1)

MEC566 – Applications de la Mécanique des Fluides dans le domaine de l'énergie (P2)

PHY563 – Material Science for energy conversion and storage (P2)

1 EA obligatoire au choix

MEC573 – Potentiel éolien, solaire hydraulique (P1)

MEC574 – Biomimétique (P1)

PHY586 – Technology of nuclear reactors and nuclear fuel cycles (P2)

MEC583 – Projects in solar and wind energy (P2)

MEC585 – Engineering computational mechanics (P2)

127

Programme X2020

Programme IT

128

Stages de recherche

Les stages de recherche ont lieu en P3. Les étudiants suivants le PA-IT ont le choix entre les stages de recherche suivants :

Orientation Spécialisation scientifique

Big Data et Systèmes d'Information Option Big Data

- INF591 – Informatique

Option réseau

- INF591 – Informatique
- INF592 - Internship in Data Science

Biomedical Engineering

- BIO591 – Biologie et écologie
- MEC592 – Mécanique des matériaux et des structures

Electrical Engineering

- PHY593 – Semi-conducteurs et Composants
- INF591 – Informatique
- MAP591 – Signal et image

Matériaux Innovants

- CHI593 – Innovative Materials for Technology

Mechanical Engineering

- MEC592 – Mécanique des matériaux et des structures
- MEC593 – Matière molle, fluides complexes, biomécanique et MEMS
- MEC594 – Aérodynamique et hydrodynamique
- MEC595 – Génie civil et génie pétrolier
- MEC596 – Environnement, Terre, Océan, Atmosphère

Modélisation mathématique en ingénierie

- MAP594 – Modélisation probabiliste et statistique

Énergies du xx^e siècle

- MEC597 – Énergies
- PHY597 – Énergies

Orientation Management de l'innovation et entrepreneuriat

- MIE591 – Analyses de l'entreprise
- MIE592 – Stratégie d'innovation et conception.
- MIE594 – Startup Early Stage.

129

Master PIC Project, Innovation, Conception

Ce programme de Master 2, opéré par l'École polytechnique depuis 2001, a déjà formé plus de 400 professionnels, acteurs du monde de l'innovation dans le monde entier et dans l'ensemble des secteurs.

Que vous souhaitiez devenir consultant en stratégie dans les plus grands cabinets, chef de projet de R & D sur les sujets les plus pointus, fonder une entreprise technologique dans le développement durable... le master PIC vous enseignera les fondamentaux de l'organisation innovante, et vous amènera à pratiquer l'innovation directement en entreprise.

Ce programme est construit autour d'une formule éprouvée :

- L'alliance avec des institutions reconnues : Mines ParisTech, HEC, Télécom-ParisTech, l'ENSTA et l'Université de Paris Dauphine.
- Une professionnalisation continue : incarnée par les projets PIC en entreprise, qui sont la colonne vertébrale du cursus.

- Un accompagnement personnalisé : dont le tutorat bipartite (1 enseignant-chercheur + 1 tuteur opérationnel en entreprise).
- Des enseignements basés sur des études de cas.
- Des partenariats actifs avec plus de 30 entreprises chaque année

Pour plus d'information :
<http://masterpic.fr>

Programme X2020