

Bulletin d'Information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

n°23

juin 2018

«Servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»

Sa Majesté Le Roi Mohammed VI.

(Extrait du discours d'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, 18 mai 2006)

Périodique semestriel d'information et de communication de l'Académie

RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT, INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET INDUSTRIALISATION

Thème de la 13^{ème} session plénière solennelle
de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Bulletin d'Information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

n°23
juin 2018

«Servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»
Sa Majesté Le Roi Mohammed VI.
(Extrait du discours d'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, 18 mai 2006)

Périodique semestriel d'information et de communication de l'Académie

Publié par :

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Siège : Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers) - Rabat.
Tél : 0537 75 01 79 Fax : 0537 75 81 71 E-mail : acascitech@academiesciences.ma

Site internet : www.academiesciences.ma

Directeur de la publication : Omar FASSI-FEHRI

Rédacteur en Chef : Mohamed AIT KADI

Comité de rédaction:

Daoud AIT KADI (Collège de la Modélisation et de l'Information)
Omar ASSOBEI (Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer)
Mohamed BERRIANE (Collège des Etudes Stratégiques et Développement Economique)
Ali BOUKHARI (Collège d'Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique)
EI Mokhtar ESSASSI (Collège des Sciences Physiques et Chimiques)
Abdelkrim FILALI-MALTOUF (Collège des Sciences et Techniques du Vivant)

Dépôt légal : 2007 / 0067
ISSN : 2028 - 411X

Réalisation : AGRI-BYS S.A.R.L

Impression : Imprimerie LAWNE
11, rue Dakar, 10040 - Rabat



**Sa Majesté Le Roi Mohammed VI - que Dieu Le garde -
Protecteur de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques**

Sommaire

Editorial..... 9

Recherche-développement, innovation technologique et industrialisation..... 11

- Allocution du Secrétaire perpétuel à la séance d'ouverture de la 13^{ème} session plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques..... 13
- Science, Technological Innovation and Industry Integration, Harald Von KORFLESC..... 17
- L'industrialisation, un impératif pour le développement, Mohamed BERRADA..... 28
- IBIONEXT : exemple d'accélérateur de start-ups, Alexia PEROUSE..... 34
- Innovations dans l'industrie minière au Maroc et en Afrique, Ismaïl AKALAY..... 42
- Synthèse de la 13^{ème} session plénière solennelle, Albert SASSON..... 54
- Compte-rendu du panel «De la recherche à l'innovation technologique : succès et défis», Mahfoud ZIYAD..... 64

12^{ème} session anniversaire de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques..... 71

- Présentation..... 73
- Allocution du Secrétaire perpétuel à l'ouverture de la 12^{ème} session anniversaire de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques..... 74

Biotechnologies environnementales : recherche, applications et défis pour le Maroc..... 77

- Objectifs et conclusions du 4^{ème} symposium international sur les biotechnologies, Ahmed EL HASSANI, Albert SASSON et Omar ASSOBBHEI..... 79
- Résumés des conférences..... 84

Activités de l'Académie..... 89

- Compte rendu de la 10^è session de l'école académique "Modélisation et prospective économique", Safae AKODAD..... 91
- Visite à l'Académie de membres de l'Académie chinoise des sciences..... 94

Les conférences de l'académie 97

- Renaissance et promesses actuelles de l'intelligence artificielle, Jean-Gabriel GANASCIA 99
- La communication scientifique et technique, hier et aujourd'hui, Arnaud BENEDETTI 117

Appui à la recherche scientifique et technique 121

- Impact des Changements Globaux sur les Vertébrés Semi-aquatiques le long d'un Gradient Méditerranéen à Pré-Saharien [ICGVSA], Tahar SLIMANI 123

Nouvelles des académiciens 133

- Contribution du Pr. Mohamed AIT KADI à un ouvrage collectif : Sécurité mondiale de l'eau - Leçons apprises et implications à long terme..... 135

Editorial

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a consacré sa treizième Session plénière solennelle annuelle 2018 au thème «**Recherche, développement, innovation technologique et industrialisation**», l'objectif étant de mieux préciser le rôle de la recherche scientifique dans la dynamique de l'innovation et du développement.

Aujourd'hui, l'innovation est considérée non seulement comme un facteur essentiel du développement économique mais aussi comme une composante majeure de la réponse aux défis sociétaux et environnementaux, tels que le changement climatique et la raréfaction des ressources. Elle est devenue un déterminant important de compétitivité. En effet, la compétitivité n'est plus uniquement une question de prix et de coûts de production mais aussi et surtout de créativité, d'innovation et de qualité.

Les pays qui ont opté pour l'intégration de leur économie dans l'économie mondiale donnent une priorité absolue au développement de la recherche scientifique, de la recherche-développement et de l'innovation d'une part et, d'autre part, à la construction d'écosystèmes cohérents, structurés et efficaces répondant aux besoins sociétaux et à l'écoute du monde socioéconomique et industriel. L'ambition qui préside à l'édification d'une société du savoir est fondée sur la conviction que le savoir peut être un instrument décisif de développement.

La recherche scientifique est à la source d'innovations majeures qui stimulent le développement d'activités économiques entièrement nouvelles. Elle est, en outre, nécessaire au développement des capacités d'absorption des connaissances et à l'aboutissement d'innovations dans de nombreux domaines. Enfin, elle contribue, à travers ses interactions avec l'enseignement supérieur, au développement des compétences et de la créativité de ceux qui animent les systèmes d'innovation contemporains.

Les communications présentées lors de la Session plénière, portant sur les expériences nationales et internationales, ont montré que les politiques publiques en faveur de l'innovation se sont fortement développées, bénéficiant de ressources croissantes et déployant un arsenal diversifié d'instruments financiers et institutionnels pour couvrir l'ensemble des activités et des facteurs qui concourent aux processus d'innovation. Les débats ont traité de ces communications mais ils en ont nettement élargi le contexte en les replaçant dans le cadre des visions d'avenir qui pourront orienter les programmes et les contenus des réformes nécessaires pour accélérer la transition du Maroc vers le haut de la frontière technologique mondiale afin de mieux se positionner dans les chaînes de valeur mondiales et de se préparer à affronter la concurrence sur les marchés internationaux de biens et services à forte intensité d'intrants technologiques.

La Rédaction



Recherche-développement, innovation technologique et industrialisation

**Allocution du Secrétaire perpétuel à la séance d'ouverture
de la 13^{ème} session plénière solennelle de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques**



**Messieurs les Conseillers de Sa Majesté,
Messieurs les Ministres,
Excellences, Distingués invités,
Honorables Académiciens,
Mesdames et Messieurs, chers amis**

Comme vous pouvez vous en douter la tenue de la session plénière solennelle annuelle de notre Académie est un moment privilégié dans la vie de notre Institution qui permet de réunir l'ensemble de ses membres dans l'objectif de développer la concertation et l'échange entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale sur des questions majeures qui préoccupent notre société et d'apporter un éclairage renouvelé sur l'évolution du savoir scientifique dans le monde.

Avec la Haute Bénédiction de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI -que Dieu Le garde- le thème scientifique général de la session porte sur "Recherche & Développement, Innovation technologique et Industrialisation". Qu'il me soit permis au nom de tous les Académiciens de présenter à Sa Majesté Le Roi -que Dieu Le protège- l'expression de notre profonde reconnaissance et notre déférente gratitude pour Sa Bienveillante Sollicitude, Ses Précieux Encouragements et Sa Protection Tutélaire.

Excellences,

Mesdames, Messieurs,

Le thème scientifique général de la session, s'insère parfaitement dans la préoccupation qui conditionne, aujourd'hui, notre capacité à nous saisir de l'avenir; à savoir notre rapport aux sciences et à la technologie, notamment à la convergence des sciences et technologies numériques, nanométriques, biologiques et cognitives, sur lesquelles se concentrent aujourd'hui les efforts mondiaux en matière de recherche et d'innovation.

Les progrès technologiques que nous vivons ont transformé la majeure partie du travail créateur de richesses d'une base "physique" à une base "connaissance". Technologie et savoir sont aujourd'hui les facteurs clés de production des richesses et d'amélioration de la qualité de vie.

Les pays qui ont opté pour l'intégration de leur économie dans l'économie mondiale donnent une priorité absolue d'une part au développement de la recherche scientifique, de la recherche-développement et de l'innovation et d'autre part à la construction d'écosystèmes cohérents, structurés et efficaces répondant aux besoins sociétaux et à l'écoute du monde socio-économique et industriel. L'ambition qui préside à l'édification d'une société du savoir est fondée sur la conviction que le savoir peut être un instrument décisif de développement.

Dans une société du savoir, le système éducatif et le système de recherche-innovation se doivent d'être performants, capables de favoriser le bien être économique et social et de mettre au diapason les impératifs de progrès et la création de richesses.

Dans ce sens, nous rappelons, ici, les orientations éclairées extraites du Discours de Sa Majesté le

Roi Mohammed VI, que Dieu L'assiste, prononcé à l'occasion de le Fête du Trône, le 30 juillet 2009. Je cite S.M. «La réforme judicieuse du système d'éducation et de formation est la voie essentielle à emprunter pour relever les défis du développement, car il faut bien reconnaître qu'il ne s'agit pas d'une simple réforme sectorielle, mais d'un combat salutaire face à un défi d'une grande ampleur. Or, pour y parvenir, nous n'avons d'autre choix que de promouvoir la recherche et l'innovation, et d'assurer la mise à niveau de nos ressources humaines, qui représentent notre principal atout».

Excellences,

Mesdames, Messieurs,

Notre pays connaît ces dernières années des mutations profondes touchant presque tous les secteurs socioéconomiques et traduisant la volonté de mettre le pays sur les rails du développement durable. Plusieurs chantiers engagés témoignent de la volonté de doter le pays d'infrastructures de base et de plateformes logistiques et industrielles intégrées et équipées capables d'induire un développement qui se veut global, durable, harmonieux, équitable et non exclusif. Le lancement de ces différents chantiers et la réalisation effective de plusieurs de ces grands travaux d'infrastructure (ports – aéroports – autoroutes – plans nationaux sectoriels : énergie, agriculture, industrie ...) sont en passe de changer radicalement la structure de l'économie marocaine et d'accroître considérablement son potentiel de croissance, son attractivité, sa compétitivité et sa capacité à contribuer au développement humain.

En l'espace de trois décennies, le Maroc a vu son PIB tripler, il est estimé aujourd'hui à 110 milliards de dollars, ses infrastructures renforcées et son insertion mondiale accélérée. Le pays compte aujourd'hui quelques 38 ports, 24 aéroports, un réseau autoroutier ayant atteint 1800 km à fin 2016, un réseau de lignes ferroviaires de 2200km et une ligne de grande vitesse LGV Tanger-Casablanca. Le Maroc a également gagné en attractivité.

Nul ne peut nier l'essor qu'a connu le Maroc ces dernières années. A ce titre, le pays est devenu un exemple pour bon nombre de peuples. Mais si le Maroc a réalisé des progrès manifestes, le modèle de développement national, en revanche, s'est essouffé au fil des ans. Il n'est plus adapté et peine à répondre à toutes les attentes des citoyens, à satisfaire leurs besoins croissants, à réduire les disparités sociales et les écarts territoriaux et à réaliser la justice sociale.

C'est pourquoi Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde, dans son Discours prononcé à l'occasion de la rentrée parlementaire de 2017, a invité les forces vives de la Nation et même l'ensemble du pays, ses institutions et ses instances, chacun dans son domaine de compétence "à reconsidérer notre modèle de développement pour le mettre en phase avec les évolutions que connaît le pays".

A cet égard, la pertinence de la recherche-développement et de l'innovation technologique dans le développement de notre pays est bien ce que l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a établi à travers les deux documents publiés sur l'état de la science au Maroc : le premier paru en 2009 sous le thème "Pour une relance de la recherche scientifique et technique au service du développement du Maroc", le deuxième en 2012 sur le thème "Développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité".

Un troisième document sur le même sujet est en cours de préparation par l'Académie; la session actuelle nous aidera à mieux cerner les contours d'une politique scientifique et technologique novatrice qui accompagne un nouveau modèle de développement, notamment sur le plan industriel.

L'étude en préparation donnera en particulier un état des lieux en matière scientifique et technologique; à cet égard donnons au moins deux indicateurs significatifs que nous avons obtenus et qui sont caractéristiques; le premier concerne la DIRD (Dépense intérieure Brute de recherche-développement, elle représente en 2016 -0.75%

du PIB-; ce qui représente une stagnation par rapport à 2010 (0.73%); l'objectif était d'atteindre 1% en 2010; le deuxième indicateur concerne la production scientifique marocaine; grâce à un travail réalisé par notre collègue Mme Nadia El Kissi on a des données sur la situation; dans la base de données WOS (Web Of Science – la plus importante) en 2016, la production scientifique s'élève à 2093 articles indexés dont les auteurs sont des chercheurs exerçant au Maroc contre 1367 en 2010; cela représente 0.162% de la production mondiale ce qui reste faible même si nous occupons le 58^{ème} rang mondial; les choses ont beaucoup mieux évolué en effectifs étudiants; le nombre d'étudiants du supérieur s'élevant en 2016 à 973485 contre 450000 en 2010, ce qui pose aussi de nouveaux défis en particulier celui de la massification.

Devant cette situation de stagnation relative, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques considère que la question du développement du pays est principalement liée à la question des ressources humaines et d'abord à la question de leur formation. Elle préconise :

- L'élaboration d'une stratégie de formation d'une nouvelle génération de chercheurs, et de mobilisation des cadres et compétences pour accroître la production scientifique et en garantir la qualité,
- Une réforme profonde du système national de recherche pour le rendre capable d'accompagner les plans de développement sectoriel,
- La qualité de l'enseignement des sciences et des techniques dans tout le cursus scolaire, en encourageant particulièrement l'observation, l'expérimentation et le raisonnement afin d'obtenir une bonne assimilation du savoir; l'objectif étant certes d'apprendre à l'élève à lire, écrire et compter mais aussi à raisonner

Tout cela en vue de préparer la société du savoir et de la connaissance, sachant que «le savoir que l'on ne complète pas chaque jour, diminue tous les jours».

Excellences,

Mes chers confrères,

Mesdames, Messieurs,

Nous sommes, aujourd'hui, particulièrement honorés de la présence parmi nous à cette cérémonie d'ouverture de toutes les personnalités qui ont bien voulu répondre à notre invitation. Je présente mes vifs remerciements à toutes ces personnalités pour leur présence et leur souhaite la bienvenue.

A cette session plénière solennelle participent plusieurs éminentes personnalités scientifiques venant du Maroc et de l'étranger (France, Allemagne, Espagne, Suède, Cameroun, Portugal, Benin, Brésil) et qui ont bien voulu accepter de donner des conférences à l'occasion de cette session permettant ainsi d'animer la discussion et le débat sur la thématique adoptée, je les remercie tous très sincèrement.

Nous sommes aussi particulièrement honorés de la présence parmi nous du Pr. Harald Von Korfflesch, Vice Président de l'Université Koblenz-Landau en Allemagne, et dont nous aurons le plaisir d'écouter dans quelques instants la conférence inaugurale sur le thème «Science, innovation technologique et intégration industrielle»; je le remercie chaleureusement pour avoir bien voulu répondre à notre invitation.

Nous adressons nos vifs remerciements aux Présidents des Universités marocaines qui nous honorent aujourd'hui de leur présence parmi nous.

Nous sommes particulièrement heureux de retrouver à cette occasions nos collègues associés présents avec nous et qui contribuent de manière active et riche à nos activités; merci chers collègues.

Nos remerciements s'adressent également aux différentes Institutions nationales qui ont répondu

à notre invitation et plus particulièrement le Groupe OCP, MANAGEM, l'IAV Hassan II, ONHYM, ESITH, IRESEN et COPAG.

Au cours de cette session, trois séances et un panel de présentation d'exposés, de discussion et de débat seront focalisés surtout sur la recherche-développement, l'innovation et l'intégration industrielle, sur quelques exemples de réussite de l'innovation technologique ainsi que sur les succès et défis de la R&D et l'Innovation technologique au Maroc et dans quelques pays africains. Seront également discutés les thématiques comme la coopération et le couplage université-industrie...

J'espère que la tenue de cette session plénière permettra d'approfondir le débat sur l'importance de la recherche-développement et le rôle de l'innovation technologique dans toute politique d'industrialisation.

Je voudrais à la fin de cette allocution remercier tout particulièrement mon ami le Professeur Abdeljalil Lahjomri, Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume et l'ensemble de son personnel pour

l'aide qu'ils nous apportent, comme d'habitude, dans l'organisation matérielle de notre session plénière.

Mes remerciements vont également aux membres du Conseil d'Académie, de la Commission des Travaux, des Collèges scientifiques, à tous les membres de l'Académie associés, résidents et correspondants, et à son équipe administrative pour leur contribution à la préparation de cette session; souhaitons-lui tout le succès qu'elle mérite.

Permettez-moi enfin d'avoir une pensée émue pour notre regretté collègue le Pr. Driss Aboutajdine, ancien Directeur du CNRST et du Laboratoire de Recherche en Informatique et Télécommunications de l'Université Mohammed V, que nous avons perdu depuis la dernière session plénière solennelle; Prions pour le repos de son âme. A sa famille et ses collègues nous renouvelons nos sincères condoléances.

Je vous remercie pour votre attention.

Science, Technological Innovation, and Industry Integration

Prof. Dr. Harald VON KORFLESCH

*University of Koblenz-Landau
Zentral Institute for Scientific Entrepreneurship and International Transfer
(www.zifet.de), Germany*



Abstract

Societies are faced with “grand challenges” that demand scientific research and development, technological innovations, and industry integration. Against this background it is no surprise that governmental investments in research and companies’ research & development expenditures are progressively increasing. The path from science to industry is known as a process of technology and knowledge transfer. Today, the governance structure for these processes are knowledge networks between universities, research institutions, companies, but also the state. Looking at different transfer mechanisms, a direct transfer of the knowledge or technology can be differentiated from an indirect transfer via the knowledge carrier. An important role for the success of technology and knowledge transfer plays the absorptive capacity of the industry, as well as of universities and research institutions. Strategic transfer choices can be distinguished by the dimensions of transfer potential and transfer activity. And the strategies themselves can be supported by dedicated transfer methods. One important method is design thinking. This methodology can be integrated with systems thinking to systemic design, as it is done at the “School of Entrepreneurial Design Thinking®” of the University of Koblenz-Landau.

Content Overview

- Grand Societal Challenges
- The Role of Science
- Knowledge and Technology Transfer
- Entrepreneurial Design Thinking

Grand Societal Challenges

Grand Societal Challenges have redirected the orientation for science complementing the approach of promoting basic research as a driver of progress and of supporting innovation processes.¹ Accordingly, the notion of Grand Societal Challenges influences the strategic orientation of science-policy interventions and resource needs of scientific institutions and organizations. It also signals that certain science-relevant topics have a large societal impact, and will **require special scientific efforts** in order to provide answers to these challenges.

Grand Societal Challenges come along with a **high degree of uncertainty**. The affected systems are exceptionally complex, the relevant processes are non-linear and either the procedures for the integration of knowledge from various sources have not yet been tested or else experimental testing is not possible under controlled conditions. In addition, new knowledge needs to be generated and applied in many cases, but this knowledge has not yet been scientifically tested and proven to a sufficient extent.² Therefore, they need a specific new orientation for scientific processes in order to deal with them (see further below).

The Grand Challenges concept became popular in 2003 when **Bill Gates** announced his Grand Challenges in Global Health program to fund research on diseases affecting people in the developing world.³ He presented the Grand Challenges idea as based on a century-old model referring to the famous 1900 speech by German mathematician David Hilbert, in which he

- (1) See https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/4594-15_engl.pdf, p. 28; in the following, we quiet often quote literally from this paper without using quotation marks in order not to disturb the reading flow.
- (2) In this context, the literature talks about so-called “wicked problems”; see, e.g. Brown, V. A., Harris, J. A., Russell, J. Y. (Ed.) (2010): Tackling wicked problems: through the transdisciplinary imagination. London; Washington, DC.
- (3) <http://era.ideasononeurope.eu/2017/06/06/grand-societal-global-challenges-fashion-paradigm-shift-knowledge-policies/>; In the following, we quiet often quote literally from this paper without using quotation marks in order not to disturb the reading flow.

formulated 23 unresolved mathematical problems that influenced mathematical research in the 20th century. Soon after the Gates announcement, the idea of Grand Challenges started to spread globally being taken up by governments, universities and scientific societies in particular in the United States, Canada and the United Kingdom. Mainly, the idea was used to increase legitimacy and impact of science, technology and innovation and present them as **sources of future sustainable growth and wellbeing**.

More recently similar ideas can be found in the so-called **Mode 2** approach focusing on scientific knowledge production in the context of application, transdisciplinarity, heterogeneity, reflexivity, social accountability and quality control, overcoming the strict differentiation between the science system and society.⁴ Another closely related idea is about the **third mission** of universities arguing that in addition to the two traditional missions of teaching and research universities also have to contribute to social innovation and economic development.

Finally, the so-called **Quadruple Helix** approach adds the “civil societal perspective” to the well-known Triple Helix Models.⁵ Traditional protagonists of the Triple Helix Models are university, industry,

and government. Civil society is the additional sphere included in the Quadruple Helix Approach. Civil society not only uses and applies knowledge, and demands for innovation in the form of goods and services, but also becomes an active partner of the (to be opened) innovation system.

Europe is a very visible example where the Grand Societal Challenges play an important role. Correspondingly, the **European Union (EU)** has identified seven priority challenges where targeted investment in research and innovation shall have a real impact benefitting the citizen⁶:

- Health, demographic change and wellbeing
- Food security, sustainable agriculture and forestry, marine and maritime and inland water research and the bio-economy
- Secure, clean and efficient energy
- Smart, green and integrated transport
- Climate action, environment, resource efficiency and raw materials
- Europe in a changing world - inclusive, innovative and reflective societies
- Secure societies - protecting freedom and security of Europe and its citizens.

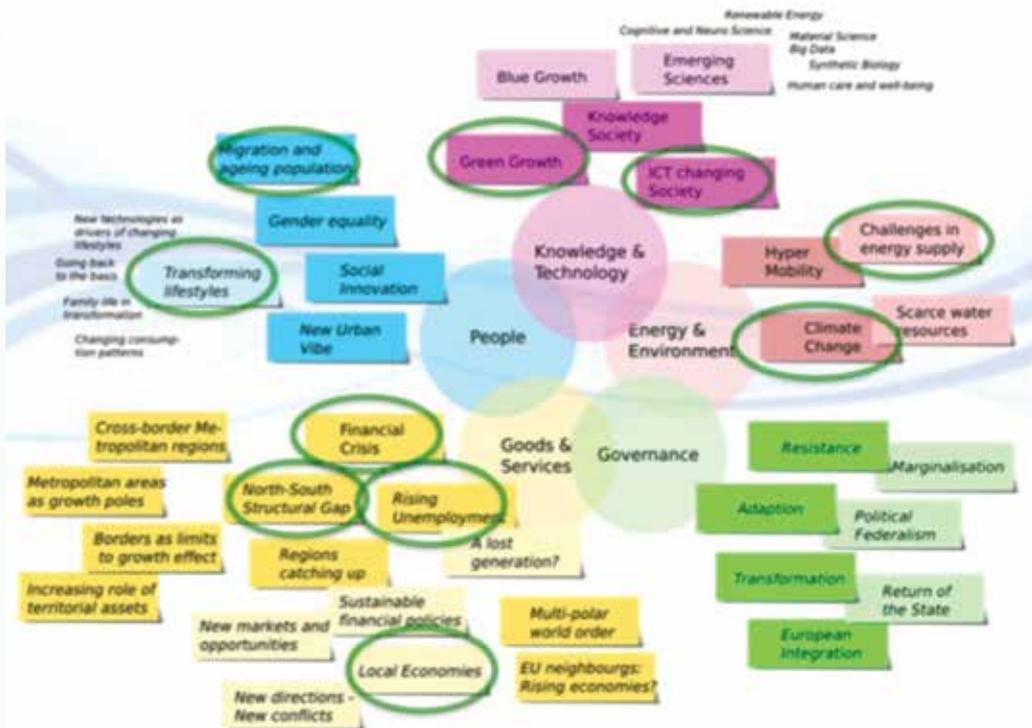


Grand Societal Challenges

(4) See Nowotny, H. et al.: Mode 2 revisited: The New Production of Knowledge. In: Minerva. 41, 2003, 179–194.

(5) Carayannis, E. G.; Campbell, D.F.J. (2009): “Mode 3” and “Quadruple Helix”: Toward a 21st century fractal innovation ecosystem. In: International Journal of Technology Management, 46 (3/4), 201-234.

(6) <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/societal-challenges>. The following text is almost taken literally from <http://www.ncpwallonie.be/en/project-horizon2020-challenges> without using quotation marks in order not to disturb the reading flow.



Challenges and more

Health and wellbeing

Everyone wants a long, happy and healthy life, and scientists are doing their best to make this possible. They are tackling some of the major current health issues as well as emerging threats such as the increasing impact of Alzheimer’s disease, diabetes and antibiotic-resistant ‘superbugs’.

Investment in health research and innovation will help us stay active, develop new, safer and more effective treatments and help keep our health and care systems viable. It will give doctors the tools they need for more personalized medicine, and it will step up prevention and treatment of chronic and infectious diseases.

Food security, sustainable agriculture and forestry, marine and maritime and inland water

With the world population set to reach 9 billion by 2050 we need to find ways to radically change our approach to production, consumption, processing, storage, recycling and waste disposal while minimising the environmental impact.

This will include balancing the use of renewable and non-renewable resources from land, seas

and oceans, transforming waste into valuable resources, and the sustainable production of food, feedstuffs, bio-based products and bioenergy.

In the EU, agriculture and forestry and the food and bio-based industry sectors altogether employ 22 million people and play a key role in rural development and the management of Europe’s natural heritage.

Sustainable energy

Energy drives the modern economy but even just maintaining our standard of living requires a huge amount of energy. As the world’s second-largest economy, Europe is over-dependent on the rest of the globe for its energy – energy derived from fossil fuels that accelerate climate change.

The EU has, therefore, set itself ambitious climate and energy targets. EU funding through Horizon 2020 will play a key role in achieving these goals.

Green, integrated mobility

Mobility drives employment, economic growth, prosperity and global trade. It also provides vital links between people and communities.

However, today's transport systems and the way we use them are unsustainable. We rely too heavily on shrinking stocks of oil, which makes us less energy secure. And transport-related problems – congestion, road safety, atmospheric pollution – impact on our daily lives and health.

To address these issues Horizon 2020 is contributing to the creation of a sustainable transport system that is fit for a modern, competitive Europe.

Climate action, environment, resources efficiency and raw materials

The era of never-ending cheap resources is coming to an end: access to raw materials and clean water can no longer be taken for granted. Biodiversity and ecosystems are also under pressure. The solution is to invest now in innovation to support a green economy – an economy that is in sync with the natural environment. Dealing with climate change is a cross-cutting priority in Horizon 2020 and accounts for 35% of the overall budget across the programme.

Waste and water are particular priorities. Waste is currently responsible for 2% of the EU's greenhouse gas emissions, while boosting growth in the water industry by just 1% could create up to 20 000 new jobs.

Inclusive, innovative and reflective societies

In 2011 around 80 million people were at risk of poverty in Europe. Significant numbers of young people – on whom our future depends – are not in education, work or training.

These are just two examples of challenges that threaten the future of Europe and individuals in large sectors of society. Research and innovation can help, which is why Horizon 2020 is funding research on new strategies and governance structures to overcome prevailing economic instability and ensure Europe is resilient to future downturns, demographic change and migration patterns.

Funding also supports new forms of innovation such as open innovation, business model innovation, public sector and social innovation to meet social needs. By supporting research and innovation on European heritage, identity, history, culture and Europe's role in the world, the EU is also building 'reflective societies' – in which shared values and their contribution to our joint future are explored.

Secure societies - protecting freedom and security of Europe and its citizens

Today, keeping citizens safe means fighting crime and terrorism, protecting communities from natural and man-made disasters, thwarting cyber-attacks and guarding against illegal trafficking in people, drugs and counterfeit goods.

EU research and innovation is developing new technologies to protect our societies, while respecting privacy and upholding fundamental rights – two core values at the heart of EU security research. These technologies have a significant potential to stimulate economic activity through new products and services and create jobs.



Based upon Rittel and Webber (1973)

Wicked Problems

In order to overcome the above mentioned challenges, a new understanding of the role of science might be needed. The following paragraph will elaborate on this perspective.

The Role of Science

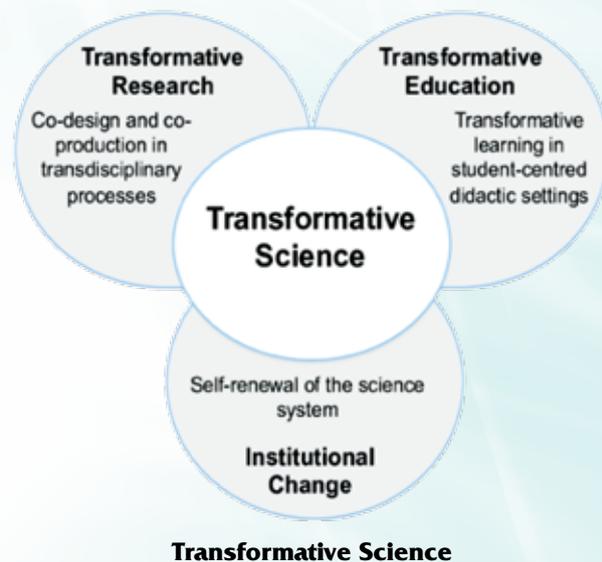
If we look at the content, „Grand Societal Challenges are characterized by the fact that **societal problems are turned into scientific challenges**. Science has always contributed to the solution of society's problems. In parallel, science policy has always regarded it as its task to promote scientific contributions to the tackling of societal problems and to communicate these to the public.”⁷ As it was mentioned before and will be highlighted further below, tackling Grand Challenges request boundary spanning collaborations across different

(7) https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/4594-15_engl.pdf, P.16; emphasis by the author.

scientific disciplines, sectors and countries involving heterogeneous partners from research, engineering, business, policy-making and civil society.⁸

This development turns science into what some people call a “transformative science”: **Transformative science** is a science that promotes “transformation processes through specific innovations. It supports transformation processes concretely through the development of solutions as well as technical and social innovations; this includes dissemination processes in the economy and society as well as the possibilities for their acceleration and requires systemic approaches as well as inter- and transdisciplinary approaches, including the participation of “stakeholders” at least in parts.”⁹

A transformative science can be traced back to some guiding principles, some of which have already been mentioned in this paper before, like involvement of stakeholders in the scientific process, transdisciplinarity, a new kind of societal responsibility of researchers, and real-life experiments for real-life problems. Following the German Science Council,¹⁰ these principles can be broadened according to the following list:



Open and Pluralistic

Future Grand Societal Challenges should be identified in open-ended discourses where access is structured in as open a manner as possible so as to ensure the participation of a plurality of stakeholders and positions.

Systemic and Multi-Perspective

Knowledge relating to the ecological, technological, social, cultural and economic aspects of a given transformation process must be bundled and recombined in a flexible manner in order to identify and cope with Grand Societal Challenges.

Dialogic and Communicative

The aim should be to support the various participating stakeholders from the fields of politics, industry and the media and citizens too in entering into a dialogue about the understanding and evaluation of Grand Societal Challenges and about the various strategies for tackling these challenges; the aim should also be to help these parties engage in this dialogue in an informed and considered manner.

Agile and Self-Organizing

Scientific contributions to the tackling of Grand Societal Challenges are generally not based on clearly delineated task descriptions, which means that conventional planning and project-management instruments are either poorly suited or not at all suited for this work. The agile development model, however advocates adaptive planning, evolutionary development, early delivery, and continuous improvement, and it encourages rapid and flexible response to change.¹¹

Reflective and Learning-Oriented

Science must improve its self-monitoring and self-correcting capabilities and thus also its collective ability to learn in order to react successfully to the

(8) <http://era.ideasoneturope.eu/2017/06/06/grand-societal-global-challenges-fashion-paradigm-shift-knowledge-policies/>, no page specification.
 (9) Schneidewind, U.; Singer-Brodowski, M. (2013): Transformative Wissenschaft. Klimawandel im deutschen Wissenschafts- und Hochschulsystem, Marburg, p. 69, translated from German with www.DeepL.com/Translator.
 (10) https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/4594-15_engl.pdf; the following quotes are taken almost literally from this source without using quotation marks in order not to disturb the reading flow.
 (11) Moran, A. (2014): Agile Risk Management. Springer.

major complexity and diverse uncertainties that are involved here.

Participative and Experimental

In the context of the complexity and range of Grand Societal Challenges, all potentials for the development and implementation of innovative solutions should be used and – alongside industry – other non-scientific societal stakeholders should also be involved in research and innovation activities and the initiation of these activities by for example citizens' dialogues, citizen science and real world laboratories.

Global and Intercultural

Grand Societal Challenges often have a global character and affect stakeholders across national and geographical boundaries and across social and cultural differences. Global social and ecological challenges such as climate change, energy supply and ageing societies can only be addressed by cross-border cooperations and on the basis of scientific expertise; in this regard, they also touch upon important issues in global governance.

Against the background of a transformative science, the meaning of knowledge and technology transfer becomes very obvious and shall be elaborated in more detail in the following paragraph.

Knowledge and Technology Transfer

The term knowledge and technology transfer (KTT) comprises in its most general meaning the **dissemination of knowledge and technology between partners**. More specifically, transferring successful methods and research results to especially industry is not a new phenomenon for research institutions. However, the goals of KTT have changed over time. While in the past KTT was mostly related to the transfer of knowledge and technologies from developed to development countries' industries, today it

refers to intra- and interorganizational transfer in the sense of collaboration and cooperation in knowledge- and technology-intensive fields.¹² In this respect, lately the term KTT has been more explicitly related to innovation than before.

Practical and scholarly contributions have developed a considerable body of knowledge on KTT. Authors have identified varieties of motives, transfer channels, barriers, influencing factors, qualitative and quantitative dimensions and determinants, and characteristics of transfer activities. For instance, with respect to the technology transfer in universities, they have identified economic interests, qualification of human capital, know-how acquisition, and scientific dialogue as motives for transfer activities on provider and receiver side alike. Regarding distinguished forms of transfer interaction, information transfer, personal transfer, and goods (or product) transfer are distinguished. Others highlight that KTT is hindered especially by information asymmetry between the scientific and the industrial sector, followed by the scarcity of resources for implementing and maintaining transfer structures in universities and/or industry. Additional barriers are the cultural differences between science and industry perspectives and the administrative effort during transfer interactions especially with respect to fixed organizational structures on university side.

Defining technology and knowledge transfer has been (and still is) difficult in academia. The following definitions show that technology transfer and knowledge transfer are often closely related. On the one hand Meissner and Sultanian (2007) define technology transfer as the "targeted transfer of technological or technology-oriented know-how between transfer partners" such as individuals, organization or firms.¹³ On the other hand, Argote et al. (2000) define knowledge transfer as "the process through which one unit (e.g., group, department, or division) is affected by the experience of another".¹⁴ According to Bozeman (2000) separate definitions have led to confusion for a long time in scholarly discussions.¹⁵

(12) Meissner, D.; Sultanian, E. (2007): Wissens-und Technologietransfer: Grundlagen und Diskussion von Studien und Beispielen. CEST, Zentrum für Wissenschafts-und Technologiestudien.

(13) Ibidem, p. 21.

(14) Argote L., Ingram P., Levine J.M., Moreland R.L. (2000): Knowledge transfer in organizations: Learning from the experience of others. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 82 (1), 1–8, p. 1.

(15) Bozeman, B. (2000): Technology transfer and public policy: a review of research and theory. *Research Policy*, 29 (4), 627–655.

Combining both definitions, however seems to solve this confusion since “focusing on the product is not sufficient to the study of transfer and diffusion of technology; it is not merely the product that is transferred but also knowledge of its use and application”.¹⁶ Still, a more detailed consideration of KTT is needed in order to really understand what KTT is all about.

From a theory perspective, due to the strategic relevance of resources and knowledge exchange, the **resource- or knowledge-based view of the firm** provides a first and important theoretical lens for KTT. The special concern of KTT is adaptation procedures which demand the capability to yield knowledge with regard to potentially identified problems and to absorb knowledge with regard to possible solutions. In so far, the concepts of

over time to support KTT. In the following, Entrepreneurial Design Thinking® is presented as a methodology which covers the characteristics of a transformative science and integrates the ambitions of KTT.

Entrepreneurial Design Thinking

According to Romme (2003), design can be understood as an ideal-typical mode of engaging in scientific research and as an alternative to a natural sciences-based mode and a humanities-based mode. Especially, *design science* involves inquiry into systems that do not yet exist, it is based on contributing to the so-called “relevance gap” between theory and practice by finding out about if systems will work (epistemological notion of pragmatism), and it draws on “design causality”



What does this mean for industry integration?

dynamic capabilities and **absorptive capacity** can be used in order to detail the consideration of KTT.¹⁷ A third theoretical stream, the **relational view**, can be considered because the above mentioned processes and procedures encompass the characteristic of networks between transfer providers and recipients.¹⁸

From a more **practical point of view**, diverse instruments and methods have developed

in order to produce scientific knowledge which is actionable and also open to validation.¹⁹

Against this background, *design thinking* is the basic methodology in order to “build up” ideas as the outcome of creative processes. According to Simon (1969), this process has seven stages (define, research, ideate, prototype, choose, implement, and learn), which can occur simultaneously and can be passed through repeatedly.²⁰ Similar stage

(16) Ibidem, p. 151.

(17) For an overview see Bertram, M. (2016) The strategic role of software-customization: Managing customizing-enabled software product development. SpringerGabler, Berlin.

(18) Dyer, J.H.; Singh, H. (1998): The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. In: Academy of Management Review, 23(4), 660–679.

(19) Romme, A.G.L. (2003): Making a difference: organization as design. Organization Science, Vol. 14, No. 5, 558-573.

(20) Simon, H. (1969): The Sciences of the Artificial. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1st edition, p. 55.

models have been developed by institutions like “Hasso Plattner Institute of Design at Stanford University” (dschool.stanford.edu), the “DesignWorks Strategy Innovation Lab” at the Rotman School of Management of the University of Toronto (www.rotmandesignworks.ca), the “Design Thinking and Business Innovation” group of the University of St. Gallen (designthinking.iwi.unisg.ch), the “HPI School of Design Thinking” at Hasso-Plattner-Institute in Potsdam (www.hpi.uni-potsdam.de/d-school/home.html) or most recently, the “**School of Entrepreneurial Design Thinking® – The ED-School**” at the University of Koblenz-Landau in Koblenz (www.ed-school.com).

Although design thinking becomes more and more attractive for business management, it has not yet been discussed in the context of entrepreneurship, i.e. our notion of *entrepreneurial design thinking®*, and especially not in the context of scientific entrepreneurship. It is worth to be mentioned that the elaborated underlying design thinking assumptions, like the “creation of meaning”, of “systems that will work” in the sense of implemented prototypes et cetera provide a direct link to Schumpeter’s well known notion of “creative destruction” as being a central characteristic of an entrepreneurial activity. However, still there seems to be a gap between the design focus on creativity and invention on the one side and the entrepreneurial innovation and market implementation focus on the other side. Following, we intend to overcome this gap by introducing the notion and concept of entrepreneurial design thinking®.

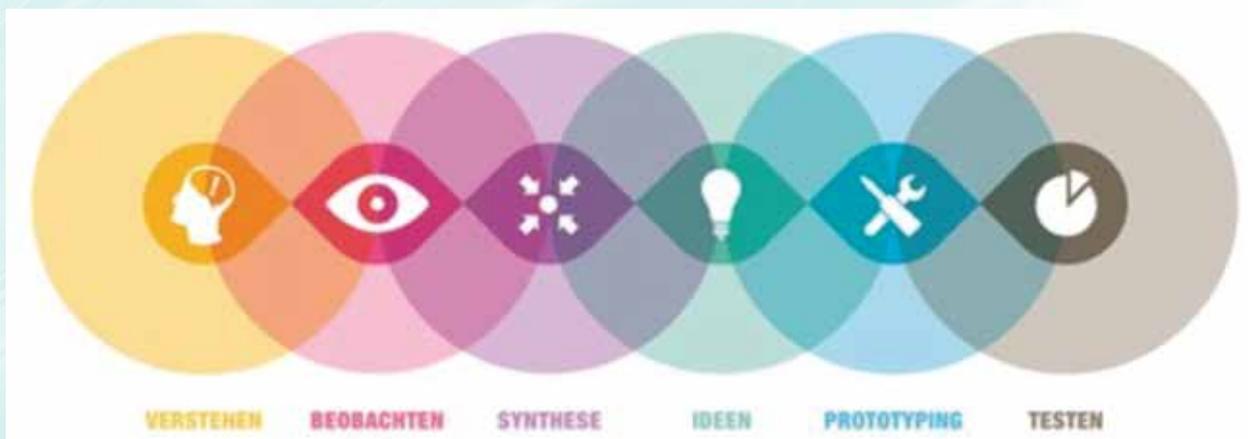
Based on the body of knowledge concerning design science and design thinking, we demarcate **entrepreneurial design thinking®** as a team-diversity-based approach for treating

user-centered problems as entrepreneurial opportunities within an iterative process supported by the use of creativity fostering tools.

The demand of *diverse teams* in entrepreneurial design thinking is promoted due its nature dealing with “wicked problems” or “Knightian uncertainty” future entrepreneurs have to face. Throughout the entrepreneurship literature the terms interdisciplinarity and team diversity have been used several times for describing and researching the multidisciplinary phenomenon in startup teams. Even ‘demographic heterogeneity’ as a form of team diversity has been analyzed and validated as a success factor.

Entrepreneurial design thinking® enables entrepreneurship researchers to analyze team diversity in front of a new scope of impact: sustainability. Design thinking claims that the generated solutions to user-oriented problems take place within the spaces of technical feasibility, financial viability and users’ desirability and therefore offer sustainable opportunities as basis for new venture creation.

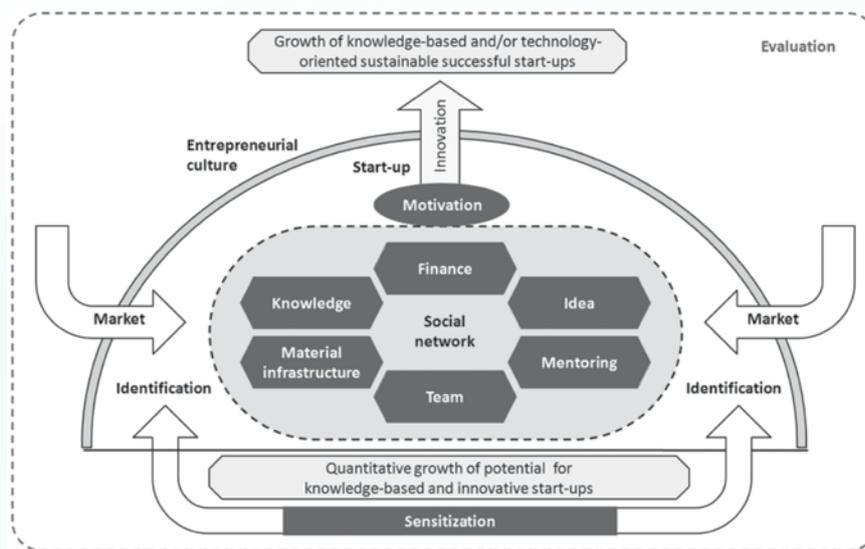
The principle of *user-centricity* is strongly promoted through design thinking literature. Especially for entrepreneurial design thinking® this means the generation of a wider understanding: innovation-driven outputs from researchers as the beginning of a possible venture creation process should be considered no longer acceptable. The entrepreneurial opportunity begins with the observation of a real-life problem and continues with its scientific solution through innovation. Therefore future research on the scope of entrepreneurship would benefit from considering user-centricity.



Entrepreneurial Design Thinking® – 6+1 distinct steps

User-centered problems as the trigger for new venture creation have to be analyzed in reference to their qualification as *entrepreneurial opportunities*.

Europe.²¹ This framework includes 13 action fields which then allow to put respective methods and tools in place in order to support entrepreneurship.



Integrative approach to entrepreneurship

On this aspect the role of entrepreneurial alertness is crucial for entrepreneurial design thinking®. Entrepreneurial design thinking® can help to understand the discussion between opportunity identification and opportunity creation on another level: by observation of problems opportunities are firstly identified, secondly by processing them they are (re-)created. Entrepreneurial design thinking® can help to formulate a stage-model of entrepreneurial opportunity and better distinguish between external (user-driven) and internal (process- or innovation-driven) opportunities.

Entrepreneurial design thinking® promotes a *creativity-supporting process*, which has a non-linear, circular bodywork which helps the progress of trial-and-error as well as of generate-and-test routines. Entrepreneurial teams are able to develop and test ideas faster and with less expend by applying these processes and using prototyping.

To enable improvements in the direction of getting an in-depth access to certain potential fields of action, it is necessary to integrate these perspectives in a single framework. Magin & von Kortzfleisch (2008) propose such an integrative framework (see figure), validated on the basis of a qualitative text analysis of the self-description of more than 120 initiatives in German-speaking

Sensitizing students or researchers for entrepreneurship is widely accepted as a strategic need for universities and other schools of higher education or research institutions, supported by respective political will and initiatives. In a broader sense, these initiatives suggest the establishment of what they call an **entrepreneurship culture** in order to foster the positive values and believes of entrepreneurship and to make it visible also for the purpose of sensitization. Entrepreneurial design thinking® conceptually supports sensitization and thus the creation of an entrepreneurship culture by putting the participants into situations of every days problems. During our workshops it was possible to especially sensitize for the “streets which are paved with gold”, as one of our doctoral students from the pedagogics faculty expressed it.

With regard to **identification**, there is an obvious need for systematically identifying potential ideas which might become a business success. Normally, so-called idea scouts follow a strict sequence of activities, starting with personally talking to students or researchers with the aim to detect and discuss potent ideas, than involving experts like patent attorneys if necessary, than involving technology transfer departments and further specialists with technology or branch expertise, and finally integrating other network resources

(21) Magin, P., von Kortzfleisch, H.F.O. (2008): Methoden und Instrumente des Scientific Entrepreneurship Engineering. Lohmar, Köln, Josef Eul Verlag.

which can support the entrepreneurial process. From the entrepreneurial design thinking point of view, we found out that this procedure should be more agile and incremental allowing for circular rebounds and more version-oriented acting instead of planning. Also it became obvious how important it is that the idea owners themselves should be motivated and enabled to “freely talk” (as one of our interview partners expressed it) about their ideas by providing a very tolerant atmosphere as it is the case in our entrepreneurial design thinking workshop.

Potent **ideas** are based on the creativity of students and researchers within a field of tensions between degree of innovation and market risk. Normally, especially researchers have to be creative and innovative considering their topics because otherwise they do not get any additional resource funding to work on their hypothesis or they have no possibility to publish their scientific insights as being unique. Typically, they are working in an ivory tower which guarantees their absolute expertise. Here, we saw a lot of potential to open this working attitude towards true interdisciplinary research within our entrepreneurial design thinking setting. Especially, it includes an open discussion of the **innovation** potentials and leads to a more reflective appraisal of market success.

Sound **teams** are the basis for successful start-ups. Most often, potential team member use well established contacts in order to build a team accrue from stable friendship-based relationships or family connections. Without questioning the positive effects of trust-based close relationships, we like to recommend a more open perspective also here because we see a huge gap between what is used as contacts and what could be used. Entrepreneurial design thinking not only opens-up the perspective for other disciplines and related problem-solving perspectives but also for potentially completely new team members.

Social networks are open by definition. As we all know, everybody has his or her own private or business social network connecting people by mutual personal characteristics or interests. Also, there are many Web 2.0-based platforms on the internet which facilitate potential social communication and network access and

extension, like facebook, or XING just to name a few. What is missing, however are dedicated open networks for entrepreneurship. Again, entrepreneurship related networks do exist but they are either informal or very much specialized, e.g. on business plan competitions, venture capitalists or alike. Entrepreneurial design thinking brings together like-minded people and can be a very effective platform for social networking in the context of scientific entrepreneurship. This includes also the necessary task of **mentoring** or coaching, respectively.

Looking at necessary **competencies** in order to start companies brings with it the need to provide platforms for education and training. Many universities or other institutions of higher education have these platform for scientific entrepreneurship in place because it is part of their business. What is also observable is that content and tools which are offered are very similar and that a high degree of redundancy can be found with regard to institutions and regions. Entrepreneurial design thinking definitely offers an alternative scenario in order to get entrepreneurial competences. Also, it includes the possibility of an self-**evaluation** of the measures provided during the entrepreneurial design thinking workshop.

What was written about necessary competencies holds also true for access to **financial resources** as another absolute condition in order to act entrepreneurial and also for access to **rooms**.

From a behavioral perspective, **motivation** is the absolute condition in order to start companies. Especially, the process of purposive striving which is called volition is a particular challenge for entrepreneurs always facing uncertainty and with it potential failure. In order to keep the level of willpower or commitment high, several psychological instruments can be used like negative and positive emotional control or cognitive control. These instruments allow for crossing the threshold of uncertainty which impedes the necessary entrepreneurial course of action. The commitments to these courses of action are even more important with regard to successful entrepreneurship in comparison to the traceable wish for uncertainty reduction as the theory of effectuation clearly points out.²². Since all of the above mentioned

(22) Sarasvathy, S.D. (2004). Making it happen: beyond theories of the firm to theories of firm design. *Entrepreneurship Theory and Practice*, Vol. 28, Issue 6, 519-531.

behavioral concepts, i.e. motivation, volition and effectuation are strongly related to sensitization and entrepreneurship culture our respective conclusion with regard to entrepreneurial design thinking® is that it helps also here.

Conclusion

If the Grand Societal Challenges are taken serious, obviously there is the need for a new understanding of science which can be related to the concept of “transformative science”. In order to turn this new understanding into a practice mode, Entrepreneurial Design Thinking® can be regarded as a methodology which encompasses the characteristics which stand for the needed transformation.

References

- Argote L., Ingram P., Levine J.M., Moreland R.L. (2000): Knowledge transfer in organizations: Learning from the experience of others. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 82 (1), 1–8.
- Bertram, M. (2016) The strategic role of software-customization: Managing customizing-enabled software product development. SpringerGabler, Berlin.
- Bozeman, B. (2000): Technology transfer and public policy: A review of research and theory. *Research Policy*, 29 (4), 627–655.
- Brown, V. A., Harris, J. A., Russell, J. Y. (Ed.) (2010): Tackling wicked problems: through the transdisciplinary imagination. London; Washington, DC.
- Carayannis, E. G.; Campbell, D.F.J. (2009): “Mode 3” and “Quadruple Helix”: Toward a 21st century fractal innovation ecosystem. In: *International Journal of Technology Management*, 46 (3/4), 201-234.
- Dyer, J.H.; Singh, H. (1998): The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. In: *Academy of Management Review*, 23 (4), 660–679.
- Magin, P., von Kotzfleisch, H.F.O. (2008): *Methoden und Instrumente des Scientific Entrepreneurship Engineering*. Lohmar, Köln, Josef Eul Verlag.
- Meissner, D.; Sultanian, E. (2007): *Wissens- und Technologietransfer: Grundlagen und Diskussion von Studien und Beispielen*. CEST, Zentrum für Wissenschafts- und Technologiestudien.
- Moran, A. (2014): *Agile Risk Management*. Springer.
- Nowotny, H. et al.: Mode 2 revisited: The new production of knowledge. In: *Minerva*. 41, 2003, 179–194.
- Schneidewind, U.; Singer-Brodowski, M. (2013): *Transformative Wissenschaft. Klimawandel im deutschen Wissenschafts- und Hochschulsystem*, Marburg.
- Romme, A.G.L. (2003): Making a difference: Organization as design. *Organization Science*, Vol. 14, No. 5, 558-573.
- Sarasvathy, S.D. (2004). Making it happen: beyond theories of the firm to theories of firm design. *Entrepreneurship Theory and Practice*, Vol. 28, Issue 6, 519-531.
- Simon, H. (1969): *The Sciences of the Artificial*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1st edition, p. 55.

Web Links

- <http://era.ideason europe.eu/2017/06/06/grand-societal-global-challenges-fashion-paradigm-shift-knowledge-policies/>
- <http://www.ncpwallonie.be/en/project-horizon2020-challenges>
- <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/societal-challenges>
- https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/4594-15_engl.pdf

L'industrialisation, un impératif pour le développement

Mohamed BERRADA

Professeur émérite de l'Université Hassan II de Casablanca - Maroc



Mesdames, messieurs,

Pourquoi l'industrialisation est-elle un impératif pour notre développement?

Son action sur le développement est multiforme. Permettez moi de retenir ici un indicateur majeur de tout développement : sa capacité de créer des emplois et donc des revenus. Effectivement, le secteur industriel est le plus important secteur créateur d'emplois directs et indirects. Or notre modèle économique actuel ne répond pas à nos besoins de création d'emplois et donc de développement. Notre économie souffre d'un niveau de chômage élevé.

Comment ce secteur pourrait-il donc jouer un rôle stratégique pour créer davantage d'emplois?

C'est une question complexe. Car la politique industrielle ne peut être perçue de manière isolée. Sa dynamique est reliée à celle des autres secteurs. Elle est reliée aux réformes économiques, politiques, sociales, institutionnelles, humaines et culturelles. Elle est reliée à l'existence d'une élite d'entrepreneurs et d'un esprit industriel qui caractérise la société. Mais surtout, elle est reliée au niveau d'éducation de la population.

Il s'agit donc, dans mon exposé, de fragmenter les secteurs tout en les reliant, en recherchant en permanence une cohésion de l'ensemble, afin de mettre en évidence les leviers fondamentaux de la compétitivité du processus industriel. Un processus qui semble d'ailleurs traverser trois phases successives : une phase d'industrialisation au lendemain de l'indépendance suivie d'une phase de désindustrialisation avec aujourd'hui un processus de néo-industrialisation dans une perspective différente.

I. Quels sont d'abord les facteurs historiques du processus d'industrialisation?

Le Maroc, après indépendance, a mis en place une politique d'industrialisation par substitution

d'importation soutenue par des mécanismes de protection commerciale, des barrières douanières, et par des incitations financières et fiscales. Cette stratégie a contribué à l'émergence d'une élite d'entrepreneurs, issus des milieux traditionnels du commerce et de l'agriculture qui ont constitué la première forme du capitalisme industriel marocain. On a assisté ainsi à la création au cours des années 60-70 d'une multitude d'entreprises manufacturières : textile, agro-industrie, plastique, sidérurgie, caoutchouc, mécanique, raffinage, montages automobiles, etc. Mais l'État a également profité de ces incitations et a investi massivement dans ces secteurs à travers ses filiales, privatisés par la suite, pour renforcer le secteur privé.

La crise de la dette découlant des dérapages budgétaires des années 70 a conduit l'État, au cours des années 80 et début 90, à mettre en place en liaison avec le FMI et la BANQUE MONDIALE un plan d'ajustement accompagné de réformes structurelles importantes. L'objectif était de stabiliser le cadre macroéconomique pour asseoir les bases d'une croissance saine et durable. Cette politique a aussi permis de relancer les capacités entrepreneuriales du pays dans la mesure où de nouvelles générations d'entrepreneurs, stimulés par une concurrence plus agressive, ont commencé à émerger et à remplacer l'élite traditionnelle précédente, qui s'était peu à peu endormie dans une situation de rente, découlant de l'excès de protectionnisme.

Il faut reconnaître que depuis la fin des années 90, le Maroc a réalisé des avancées incontestables, tant sur les plans économique et social que sur les plans des libertés individuelles et des droits civiques et politiques : réforme du code de la famille en 2004, réforme de la constitution, projet de régionalisation avancée, réforme de la loi organique des finances. Il a réussi à accélérer son rythme de croissance après deux décennies de croissance relativement faible, permettant ainsi de quasiment doubler son PIB par habitant, éradiquer

la pauvreté extrême, augmenter l'espérance de vie, avec un meilleur accès aux services publics de base, y compris un accès universel à l'éducation primaire.

De grands projets structurants ont été réalisés ou sont en cours de réalisation, parmi lesquels on peut citer le port de Tanger-Med, le réseau autoroutier, et un réseau d'écosystèmes s'articulant autour de projets industriels intégrés : parcs éoliens et photovoltaïques pour parvenir à un mix en énergie renouvelable de 42% dans 2 ans, valorisation de l'exploitation du phosphate, de l'agroalimentaire, de l'industrie pharmaceutique, de l'automobile, de l'aéronautique, du TGV, et des autres nouveaux métiers mondiaux du Maroc, alors que des secteurs comme celui des finances, des assurances, du transport aérien, du bâtiment, ou des télécoms s'appliquent à investir et à conquérir le marché africain.

Les investissements ont-ils été créateurs de croissance et d'emplois?

Le Maroc, incontestablement, fait figure d'exception dans une région du monde en proie à de très grandes difficultés politiques, économiques et sociales. De grandes avancées ont été accomplies dans une multitude de domaines, avec beaucoup d'investissements d'infrastructure réalisés par l'Etat et les entreprises publiques. Ce sont les éléments de l'actif de notre modèle économique.

La question qui se pose maintenant est la suivante: ces investissements ont-ils été créateurs de croissance et d'emplois?

II. Alors quelles sont maintenant les fragilités de notre modèle économique?

Comme dans tout corps humain, il y a ce qu'on voit et ce qu'on ne voit pas, qui dort et qui risque de se réveiller plus tard.....

On sait qu'un tremblement de terre se passe en surface. Or la théorie des mouvements des plaques l'explique par des mouvements profonds. C'est à ce niveau qu'on doit orienter nos recherches.

Quelles sont les sources de cette fragilité?

Tout d'abord, le problème de l'emploi et de l'insertion des jeunes dans la société, qui constituent le défi majeur qui se pose à nous pour éviter une dislocation du contrat social. Alors que

le taux de chômage moyen est passé de 9.40% à 10.20%, 1.700.000 jeunes âgés de 15-24 ans n'ont actuellement aucun travail, ne suivent aucune formation, ne fréquentent aucune école, et en majorité, ce sont des femmes. Bien plus, le taux de chômage des diplômés du supérieur délivrés par les facultés est de 25.30%, celui des diplômés de qualification professionnelle de 22%, celui de l'enseignement secondaire de 19%, et les sans diplômes : 4.10% !!! Tout cela donne à croire que la détention d'un diplôme augmente paradoxalement le risque de se retrouver au chômage. Actuellement 854.000 diplômés n'arrivent pas à trouver de travail, alors que seuls 251.000 sans diplôme sont au chômage.

Manifestement, notre système éducatif est en crise...

Que traduit cette situation à un moment où on fait l'éloge de l'économie de la connaissance en tant que ressort de notre développement?

On entendra dire que notre système de formation et d'éducation est inadapté par rapport aux besoins des entreprises. Manifestement, notre système éducatif est en crise. On le sait. Les réformes se suivent et se ressemblent. Sans progrès notable. 99% des enfants de 6-7 ans entrent en primaire, mais 30% l'abandonnent au cours des 3 premières années, renforçant ainsi notre armée d'analphabètes.

Une des raisons : la rareté du préscolaire pour les couches populaires et la faiblesse de motivation des parents. Or le préscolaire est essentiel pour éveiller l'intelligence de l'enfant dès le plus jeune âge, la créativité, l'esprit d'entreprise et faire aimer l'école par la suite. Il détermine la réussite scolaire et universitaire.

Au niveau des couches populaires, l'enfant reste à la maison et souvent sous la soumission de parents analphabètes. On comprend par la suite les difficultés de son intégration. Mais bien plus grave, cette situation conduit à une aggravation des inégalités, face aux enfants qui n'ont pas pu bénéficier d'un préscolaire adéquat.

Ces inégalités vont se poursuivre au niveau des études primaires, secondaires et supérieures par le biais de la différenciation des établissements à accès ouvert avec ceux à accès avec concours ou accès payant.

Mais notre système éducatif n'est pas seul en cause! C'est notre modèle de croissance qui est devenu inadapté, dépassé. Il explique notre fragilité.

...mais notre modèle de croissance est aussi devenu inadapté

1. D'abord, nous ne maîtrisons pas notre croissance, qui reste largement dépendante de facteurs exogènes comme le climat ou la situation économique de nos partenaires européens : volatile, fluctuante, insuffisamment inclusive et mal répartie.

Elle fluctue d'année en année!

- 2.70% en 2014
- 1.20% en 2016
- 4.50% en 2017
- 2.80% en 2018

Thomas Piketty, dans son livre sur «**Le capital au 21^{ème} siècle**», a démontré que les taux de croissance dans le monde, en dehors de certains pays asiatiques comme la Chine ou l'Inde, ont fortement baissé, dû en partie à la baisse de la fécondité, ce qui ralentit aussi notre croissance. Mais cette baisse de la croissance se traduit par une aggravation des inégalités.

Piketty constate que les inégalités augmentent lorsque le taux de rendement du capital est supérieur au taux de croissance. Cela implique que les détenteurs de capital s'enrichissent plus rapidement que le reste de la population, lorsque la croissance baisse. Il constate que les inégalités s'accroissent un peu partout... Ce qui est aussi malheureusement le cas de notre économie. Or on le sait, l'aggravation des inégalités est source d'instabilité, et de dislocation du lien social. Et le lien social constitue l'ossature d'une nation.

2. Ensuite, la croissance observée ne crée pas suffisamment d'emplois. Le nombre de créations d'emplois nets ne cesse de baisser depuis 2000.

- Entre 2000-2008 : 168.000
- Entre 2009-2012 : 80.000
- Entre 2013-2016 : 56.000

Alors que nous avons besoin d'une création nette de 160.000 emplois par an pour maintenir le taux de chômage à son niveau actuel.

La théorie keynésienne lie la croissance à l'investissement. Pourtant, notre taux d'investissement

par rapport au PIB a atteint un niveau exceptionnel, soit 30%. On investit beaucoup sans que cela se traduise par de la croissance et des emplois. Cette situation s'explique par le fait que la plus grande partie des investissements sont des investissements publics et d'infrastructures. Des investissements considérables en capital fixe. Ils sont essentiels pour la rentabilité sur le long terme des secteurs productifs, mais ils ne sont pas créateurs d'emplois permanents.

Le secteur informel s'installe de manière durable

Devant cette situation de rareté d'emploi, on ne doit pas s'étonner de voir le secteur informel s'installer de manière durable. Bien souvent, l'informel vient corriger et combler les incohérences des politiques économiques qui cherchent à décréter par le haut les règles du capitalisme moderne. Nous oublions souvent que 32% de la population ne sait pas lire et écrire, bien que le taux de scolarisation se soit amélioré au cours de ces dernières années.

Les gouvernements cherchent à lutter contre l'informel, car il constitue selon eux une concurrence déloyale au secteur formel. Mais ne constitue-t-il pas aussi une soupape de sécurité sur le plan des équilibres sociaux? Un indicateur de ce qui ne marche pas? Sans le secteur informel, le taux de chômage serait bien plus élevé! Je ne dis pas qu'il faut l'encourager ou le protéger. Non. Mais c'est juste une réalité dont il faut tenir compte. Il se réduira de lui-même par le jeu d'un facteur essentiel : l'éducation et une stratégie économique orientée sur l'industrie.

3. Enfin, le caractère hétéroclite de notre modèle économique et les méthodes d'analyse utilisées ne sont plus d'actualité face aux incertitudes et aux changements rapides qui s'opèrent dans l'environnement international.

Tout cela pour dire aussi que les théories économiques qu'on enseigne dans nos universités montrent leurs limites devant la complexité du monde économique, où libéralisme et keynésianisme se croisent dans un tumulte de contradictions.

Ces contradictions laissent les marchés financiers libres arbitres des politiques économiques, en sanctionnant à leur guise le manque d'austérité des uns et l'absence de soutien à la croissance des autres.

La conséquence de cette évolution est que la souveraineté nationale n'est plus entre les mains de l'État, mais entre les mains des marchés financiers, du FMI, de la banque mondiale ou des agences de notation. Nous ne sommes pas maîtres de la définition de notre politique. Nous devons tenir compte de ces contraintes.

Ainsi, notre modèle économique obéit à une logique avec un soubassement keynésien. Plus on dépense plus on produit, plus on crée des revenus, plus on consomme, plus on produit... et le moteur économique tournerait à merveille. Mais le problème est que notre moteur a des fuites. C'est que l'ouverture commerciale accélérée, découlant des différents accords commerciaux qui ont été signés depuis la fin des années 90, fait que toute dépense susceptible de booster la croissance s'adresse en bonne partie à des entreprises étrangères sous forme d'importations, et non pas à des entreprises marocaines, aggravant par là même le déficit de la balance commerciale. Plus on dépense, plus le déficit commercial s'aggrave!

Manifestement, quand on regarde l'évolution de la structure de nos importations, on importe de tout et de plus en plus des produits de consommation y compris des produits alimentaires. Le niveau bas de l'inflation – moins de 1% – s'explique en partie par le niveau bas des prix des produits importés, et non pas par les fruits de notre compétitivité.

Le libre-échange est bien, mais il a ses règles et ses limites. Et l'économie, comme le corps humain, n'aime pas les excès!

Pourtant, Keynes conditionnait l'efficacité de son modèle de croissance à une situation maîtrisée du libre-échange où la priorité est donnée à la production nationale.

Plus récemment, en 2006, Paul Anthony Samuelson, prix Nobel d'économie en 1970, a constaté que les pays du sud acquièrent très vite les qualifications humaines et techniques exigées, et que les avantages de la division internationale du travail ne sont plus d'actualité.

La Chine ou la Corée du sud sont devenus aujourd'hui des pays qui copient de moins en moins et qui innovent de plus en plus.

4. Le résultat de cette situation est que la part du secteur industriel dans le PIB a beaucoup baissé au

cours des 20 dernières années. Les importations massives de pays comme la Chine, la Turquie ou l'Égypte à des prix compétitifs ont entraîné la fermeture d'une multitude d'entreprises industrielles traditionnelles qui se sont déployées par la suite dans les nouveaux secteurs de rente, l'immobilier et le commerce.

Les services sont devenus les premiers pourvoyeurs d'emploi alors que c'est l'industrie qui constitue la base principale de création d'emplois directs et indirects

L'analyse sectorielle de la structure du PIB fait apparaître une tertiarisation croissante du tissu productif national : 55% pour les services, contre 30% pour le secteur secondaire et 15% pour le secteur primaire. Et au niveau du secteur secondaire, la moitié appartient au secteur industriel.

Les services sont devenus les premiers pourvoyeurs d'emploi, avec la précarité qui les caractérise... réparation, commerce... étalage de marchandises chinoises sur les trottoirs... gardiennage...

Or c'est l'industrie qui constitue la base principale de création d'emplois directs et indirects.

III. Que faire? Comment la politique industrielle peut-elle améliorer la qualité de notre croissance économique?

La qualité de croissance ne réside pas dans des taux élevés, mais dans sa régularité et dans son caractère inclusif.

1. La régularité découle d'un processus de diversification que notre pays a déjà engagé et doit accélérer, aussi bien sur le plan des produits que des marchés, et où le secteur industriel est appelé à jouer un rôle central.

2. La qualité de la croissance réside aussi dans son inclusivité, c'est-à-dire une croissance générée plus par l'imbrication des secteurs entre eux que par le rôle d'un secteur particulier.

Manifestement, on assiste à l'émergence de nouveaux métiers industriels comme l'industrie automobile ou aéronautique. Il faut s'en féliciter : leur développement est rapide! Mais c'est aussi le signal d'un effet de levier prometteur pour l'avenir de notre industrie. Car ces nouveaux métiers ne doivent pas constituer des îlots sans relation avec

le reste de l'économie. La croissance économique se définit par la création de valeur ajoutée qui découle du degré d'intégration à l'intérieur de chaque secteur et entre les secteurs. Il s'agit de faire en sorte que ces nouveaux secteurs puissent devenir des locomotives pour les autres secteurs industriels traditionnels existants, qui emploient beaucoup de monde et qui vivent des difficultés face à la concurrence internationale.

3. Protéger notre industrie contre le dumping. Le pays a besoin d'un minimum de patriotisme économique. Donner la priorité à la production nationale. «Maroc d'abord!».

Entre le libre-échange tout azimut et protectionnisme tout azimut, il y a des espaces de précaution où des actions sont nécessaires pour renforcer la compétitivité de notre industrie, tout en respectant nos accords.

Partout dans le monde, à l'exception de notre pays, le débat entre libres échangistes et protectionnistes, entre souverainistes et mondialistes est ouvert.

On le voit par exemple avec le Brexit, les annonces de Donald Trump concernant les importations de Chine, d'Allemagne ou du Mexique.

Les pays qui défendent le plus le libre-échange sont souvent ceux qui installent des barrières magiques à l'entrée.

4. Mais surtout, il faudrait renforcer la compétitivité de notre secteur industriel.

Le concept de compétitivité est complexe, il dépend d'une multitude d'éléments : le coût des facteurs, le coût de l'énergie, les procédures administratives, la politique fiscale, le coût du financement, le coût du foncier, mais aussi de la politique monétaire et de la politique des taux de change.

La Chine est devenue l'atelier du monde grâce en particulier à un «yuan» largement sous-estimé, ce qui lui permet aujourd'hui d'augmenter ses salaires et de réorienter sa stratégie sur le marché local après avoir réduit au silence une multitude d'entreprises industrielles dans le monde.

Mais ce n'est pas tout!

Il faut stimuler la productivité mais aussi investir en capital immatériel

La production ne dépend pas seulement de l'existence des deux facteurs classiques : travail/capital-Ils existent en abondance- mais de leur combinaison, ce qui s'exprime en termes de productivité, qui dépend elle-même des progrès techniques réalisés. Certains diront que les progrès techniques sont destructeurs d'emploi. Dans notre pays, ce n'est pas le cas : un niveau de chômage élevé cohabite avec un faible degré de progrès techniques. Je considère donc que l'introduction de nouvelles technologies dans le domaine industriel sera de nature à booster la productivité, baisser les coûts, améliorer la qualité des produits et services, gagner des parts de marché, créer de la croissance et donc des emplois.

La productivité n'a pas évolué depuis plusieurs années.

Comment donc stimuler la productivité des facteurs pour renforcer notre compétitivité?

Le capital fixe seul ne suffit pas. On peut acheter des machines performantes mais elles ne produiront rien si on n'a pas le savoir-faire pour les faire marcher.

Il faut avoir aussi du capital immatériel. Le génie. Et c'est à ce niveau que se trouve notre faiblesse. Nous devons investir en capital immatériel, une notion qui renvoie à la fois :

- à la qualité du capital institutionnel, à la réforme de l'administration, à la lutte contre la corruption,
- à la qualité du capital social du pays, marqué par le renforcement de la cohésion sociale,
- mais surtout à la qualité du capital humain où l'éducation reste naturellement le pilier de toute stratégie. Il est clair que tous les autres secteurs dépendent des avancées dans ce domaine. Il est le facteur clé de la compétitivité industrielle.

Je voudrais, pour terminer, formuler deux réflexions à ce propos. Nous vivons dans un monde où le matérialisme et la finance dominant. Une conséquence de la révolution industrielle. Mais ce qui est bien plus triste, c'est que notre système d'enseignement est devenu le reflet de cette situation!

Ma première réflexion : on assiste, depuis le 17^{ème} siècle, à un processus de spécialisations qui a enrichi la science tout en l'appauvrissant. Edgar Morin

explique dans son dernier livre «*Connaissance, ignorance, mystère*» que notre angoisse découle de notre vision parcellaire de la connaissance. La connaissance des problèmes fondamentaux et globaux nécessite de relier des connaissances séparées, cloisonnées, compartimentées, dispersées. Or notre enseignement nous apprend à séparer les connaissances et non pas à les relier. C'est pourquoi nous devons réduire la dichotomie de nos universités, renforcer les liens entre les facultés, entre les disciplines, et ouvrir plus nos universités sur leur environnement! Car c'est par leurs contacts que les sciences s'enrichissent mutuellement.

Ma deuxième réflexion : conséquence de cette évolution, c'est que nous formons aujourd'hui des jeunes non pas pour eux-mêmes et pour leur épanouissement personnel, mais pour répondre aux besoins du modèle économique actuel basé sur la compétitivité et la recherche du profit à tout prix !

Nous formatons les jeunes. Des robots. On assiste ainsi à la lente disparition de disciplines de culture générale qui ouvrent l'esprit pour la compréhension de l'environnement, comme la philosophie, la sociologie, l'histoire, la littérature,

la poésie, la musique, le chant ou le théâtre, et même le sport pour laisser la place aux matières quantitatives dont les seuls objectifs sont la performance économique et financière de nos entreprises. Or ces disciplines visent l'épanouissement de l'individu et donc agissent indirectement sur la productivité industrielle. On produit mieux quand on est épanoui!

Et c'est là où l'action majeure du gouvernement doit être orientée dans notre pays. Orienter la stratégie sur l'homme, sur le savoir-faire, sur le savoir être, sur la connaissance qui est par définition infinie.

Adosser la croissance sur la connaissance devrait donner lieu théoriquement à une croissance infinie!

Il suffit juste de regarder la situation de pays comme le Japon ou la Corée du sud qui n'ont ni matière première, ni pétrole à l'opposé de celle d'autres pays qui disposent en abondance de ces ressources.

Je vous remercie pour votre attention

IBIONEXT : exemple d'accélérateur de start-ups

Alexia PEROUSE

Co-fondatrice et Directrice générale,
Ibionext Growth, Paris, France



La santé de demain se construit : comment créer un modèle vertueux pour construire des PME innovantes ?

L'innovation disruptive dans la santé (biotechnologies, dispositifs médicaux, prévention et suivi des patients) est indispensable pour transformer des projets académiques en startups.

Comment favoriser un écosystème opérationnel et entrepreneurial afin de permettre aux technologies d'arriver jusqu'à leur marché ?

Quelles valeurs clés : l'innovation, le capital humain et le financement.

Comment innover aussi en financement ?

iBionext, modèle européen inédit de croissance sous forme de start-up studio et de financement

A. Comment construire la santé de demain alors qu'elle est elle-même en train de s'embarquer dans une transformation unique?

1/ Les coûts, qualité et accessibilité mettent les payeurs sous pression dans les pays industrialisés. De nouvelles mesures s'imposent pour rendre les systèmes actuels plus efficaces, avec de nouveaux modèles de livraison et de paiement basés sur le revenu, ainsi qu'une transparence croissante des informations de qualité, prix et autres mesures qui permettent aux patients entre autres, de prendre de meilleures décisions.

2/ De nombreux besoins de santé publique sont encore insatisfaits mondialement. Avec les échanges internationaux et l'évolution climatique, des infections endémiques (paludisme, chikungunya, dengue...) se propagent. Certaines épidémies (cancers, maladies cardiovasculaires, diabète...) se mondialisent du fait de l'universalisation de l'alimentation, des changements de modes de vie, du vieillissement des populations. Le progrès transforme de nombreuses infections en pathologie chronique qui nécessitent des prises en charge des patients de plus en plus longues. Alors comment gérer la croissance des besoins de santé et des ressources de plus en plus limitées? Comment faire mieux avec moins?

3/ Dans le même temps, la médecine 4P: préventive, prédictive, personnalisée et participative s'impose progressivement. Le numérique, en plein essor, représente un «vrai changement dans la gestion de données (R&D, épidémiologie, génomique...), la connaissance et l'approche en santé». Il peut également permettre d'implanter des réseaux de soins dans des régions en manque de structures (médecins, hôpital). Les solutions de santé mobiles et connectées explosent avec plus de 20 000 applications santé sur smartphone déjà disponibles, et plus encore



à venir... La santé mobile globale et le marché du fitness connecté ont atteint 40% de taux de croissance annuel entre 2013 et 2018.

Les données médicales vont atteindre 2.3 exabits (2.3 B gigabits) d'ici 2020, augmentant de 48% par an et surpassant l'augmentation de l'ensemble des «big data». Cette révolution technologique entraîne une révolution d'usages en permettant :

- la transparence des informations,
- de connecter patients et médecins,
- de contrôler la santé des patients,
- des données et interventions en temps réel,
- de gérer sa santé grâce aux outils médicaux portables, connectés et/ou implantés.

4/ La santé est entrée dans l'ère du big data. Le flux des données peut être utilisé pour :

- repérer rapidement des erreurs dans la recherche;
- monter des essais cliniques plus rationalisés;
- accélérer la découverte et l'approbation de nouveaux traitements.



Les analyses des données sur la génétique, le phénotype, les prescriptions, les résultats cliniques, la population et autres types de données, garantiront le succès final de

la santé prédictive et préventive. Les données de santé sont partout : dossiers électroniques, technologies de santé mobiles, données pharmaceutiques, outils médicaux connectés...

5/ La médecine personnalisée se met au goût du jour. Le prix du séquençage du génome est tombé sous les 1000 dollars. L'intelligence artificielle analyse la santé des patients par des capteurs (outils médicaux connectés) tandis que le marché des diagnostics personnalisés a un taux de croissance à deux chiffres depuis ces dernières années. L'augmentation des données de santé va créer de nouvelles opportunités et de nouveaux défis pour les entreprises en quête de ces informations à traiter et interpréter.

6/ De nouveaux venus de secteurs non traditionnels entrent en compétition avec les acteurs existants :

- les entreprises télécoms développent leur approche pour permettre aux patients de gérer leur santé;
- les entreprises informatiques s'attaquent au défi de l'analyse des données;
- les revendeurs et fabricants alimentaires expérimentent des aliments plus sains et pourraient accompagner des comportements plus sains;
- les entreprises du jeu se tournent vers les «jeux sérieux» pour la gestion du bien-être et de la santé;
- les développeurs immobiliers et acteris d'infrastructures telles que les maisons de retraite sont prêts à offrir de nouveaux services de santé à leurs patients.

Ces nouveaux venus créent des opportunités de partenariats intersectoriels de rupture pour les acteurs traditionnels de la santé.

B. Comment identifier l'innovation de rupture qui continuera de porter ces bouleversements?

1/ Innovation de rupture. Dans ce contexte, l'enjeu est de trouver la vraie innovation de rupture qui crée ou bouscule un marché. Aller au-delà de l'innovation incrémentale qui améliore ou fait progresser un marché. L'innovation de rupture consiste en une nouveauté à l'interface de plusieurs domaines, et qui va changer la donne pour les patients.

C'est cette innovation de rupture que nous avons voulu adresser en créant l'initiative iBionext en 2012. Le postulat de base a été de se positionner au niveau du patient et de besoins cliniques totalement insatisfaits. En se posant les questions fondamentales la société doit encore travailler et trouver des solutions :

- comment restaurer la vision des patients aveugles et leur redonner de l'autonomie?
- comment remplacer les sutures chirurgicales et relever le défi d'une chirurgie minimalement invasive et plus accessible?
- comment stopper la neurodégénérescence et s'attaquer à la cause de destruction neuronale plutôt que ses effets?
- comment prédire les infarctus cardiaques et amener une solution de santé qui remette le patient au cœur de son suivi?
- comment s'inspirer du neuro-morphisme pour développer le premier calculateur neuronal massivement parallèle basé sur le fonctionnement du cerveau humain?

2/ Convergence des disciplines. Ces questions infiniment complexes ne seront résolues qu'en intégrant la convergence des disciplines : fini le temps où les équipes informatiques et santé travaillaient chacune dans leur coin.

Les grandes révolutions scientifiques de demain ne se feront plus dans un même département de physique ou de médecine, mais dans la convergence des disciplines. Avec un système nerveux qui intègre des composantes très diverses

(électricité, chimie, traitement des données...), les neurosciences sont sans doute le domaine le plus approprié pour cette convergence. C'est ainsi qu'est née la technologie Prima de la société Pixium Vision qui développe un implant photovoltaïque sous-rétinien miniaturisé et sans fil pour la Dégénérescence maculaire liée à l'âge.

La santé passe d'un secteur industriel traditionnel à un monde digital dans lequel les GAFAs (Google, Apple, Facebook, Amazon) sont en train de prendre une place prédominante grâce à leur accès à la data. Les acquéreurs sont dits 'GAFAnomics', asiatiques etc...

Dans le futur, les approches santé seront mixtes, croisées», et donc «complexes». Le potentiel d'innovation en santé est quasi-illimité. Ces bouleversements nécessitent une réflexion pour inventer les usages (organisation des soins...), faire évoluer la gouvernance et diversifier les financements.

3/ La convergence des savoir-faire. Les scientifiques sont encore dans leur tour d'ivoire. Dès qu'un entrepreneur s'en approche, il suscite la méfiance, on invoque un risque pour l'indépendance académique. Or la transformation de la science en quelque chose de tangible nécessite de rentrer en affaires. C'est pourquoi il faut un type de financement qui se place entre les fonds nationaux et l'industrie afin de permettre la création de jeunes entreprises ex-nihilo.

4/ Financer la création des entreprises innovantes. C'est là que le capital investissement et notamment sa branche dite capital-risque joue un rôle critique. Le capital-risque (Venture Capital – VC) consiste à financer de jeunes entreprises innovantes, sous une forme de participation au capital. Les investisseurs apportent du capital en fonds propres à une entreprise considérée comme étant innovante et/ou avec un fort potentiel de développement et de retour sur investissement.

Selon l'ampleur du projet, l'investissement peut varier de quelques dizaines de milliers d'euros à plusieurs millions d'euros. La notion de risque s'appréhende ici de façon bien spécifique; il n'est en effet pas question de danger. L'expression «capital-risque» renvoie à l'univers de l'entreprenariat et de l'action. Le risque est à assimiler aux notions suivantes : «futur, potentiel, émergent». Ainsi, le capital-risque est surtout un investissement qui a

pour ambition de voir émerger une technologie innovante générant un maximum de gains.

En France, le capital-risque a émergé grâce à l'action des pouvoirs publics à partir des années 1970. Après plusieurs cycles et crises financières incluant celle de 2009, la France est devenue un acteur majeur de l'innovation et du capital risque :

- 2^{ème} marché européen du VC en 2016 en nombre d'entreprises soutenues (Source Afic) avec 634 Start-ups / PME soit +28% par rapport à 2015;
- 1^{er} marché européen du VC en 2016 -en montants investis 874M€ (source Afic) -record historique depuis 10 ans...

Et pourtant le retour net sur investissement du capital-innovation mesurée à fin 2016 s'élève seulement à 1,4%... (source Afic). Les industries de la biotech et de la medtech peinent à produire des Entreprises de taille intermédiaire. La raison majeure est l'absence de financement de croissance qui poussent les sociétés à partir de France et être valorisées en dessous de leur valeur réelle d'innovation et d'entreprises.

C. iBionext

1/ Un concept nouveau

Fort des constats précédents, iBionext a été créé par des entrepreneurs dans l'âme après des années d'expériences opérationnelles en start-up ou capital-risque. L'idée était d'oser revisiter le modèle sans tabou et c'est ainsi qu'a émergé un modèle inédit de financement de l'innovation, celui du start-up studio. Innover jusqu'au bout...

iBionext est différent de toutes sociétés de gestion financières car il est créé dans une vision entrepreneuriale à laquelle s'ajoute la finance et non inversement. Il s'articule sur 3 piliers fondamentaux :

- le savoir-faire à créer et développer, grâce à un support continu et opérationnel d'experts de renommée internationale qui identifient, accompagnent et font fructifier des entreprises transformant des sciences disruptives en produits;
- la création d'un hub fonctionnel, le «Passage de l'Innovation», qui favorise la mutualisation des expertises, les échanges d'idées et la réduction des coûts de fonctionnement;

- un fonds d'investissement qui soutient et finance les sociétés dans des conditions optimales de déploiement, de leur création à leur croissance.

iBionext ose bouger les lignes du capital investissement et vise par son modèle opérationnel à recréer les conditions favorables à la croissance des HealthTechs en France. iBionext affine le

business model du venture en Europe, comme un réalisateur qui pense son film, le produit en choisissant les bons acteurs et assure son financement jusqu'à la production finale (cession ou produits sur le marché...).

2/ La méthode. Le modèle iBionext s'appuie sur une stratégie inédite et unique qui repose sur 3 phases :



SPOT

Cette étape repose d'abord sur une sélection des projets uniques, et disruptifs. Une fois identifiés, ils sont maturés et travaillés jusqu'à ce qu'ils deviennent des start-ups très prometteuses.

Chaque projet est d'abord basé sur une rupture technologique/scientifique. L'enjeu consiste ensuite à s'assurer du passage du stade scientifique/technologique, à un produit industrialisable.

Pour chaque projet, les due diligences sont menées par une équipe d'experts pluridisciplinaires de l'environnement iBionext. Tous les projets sont soigneusement étudiés avant de sélectionner ceux qui seront financés par iBionext.

La phase Spot peut durer jusqu'à 48 mois et se conclut (ou pas) par la constitution d'une équipe et d'un business plan. Cette phase est principalement financée par des subventions et autres aides non dilutives. iBionext se réserve le droit d'investir jusqu'à 500K€ au cours de cette phase si nécessaire.

BOOST

Après avoir passé les différentes étapes de maturation du projet lors de la phase Spot, le projet est transformé en société cofondée par iBionext Growth Fund.

Le fonds mène le premier tour de financement afin d'assurer les ressources nécessaires à l'atteinte de milestones créateurs de valeur.

L'objectif de cette phase Boost est de mettre en place une équipe, une gouvernance, d'implanter les processus opérationnels pertinents définis pendant la phase Spot etc. Grâce à la maturation préalable, l'investissement peut se focaliser sur un vrai enjeu préclinique, industriel ou clinique sur un temps mieux contrôlé. De fait, elle accélère son business plan et devient un acteur émergent de son secteur. La phase Boost s'étend sur 18-24 mois.

GROW

L'entreprise entre alors en phase Grow, activement financée par iBionext Growth Fund qui peut investir de 10 à 15M€ tout en ouvrant à d'autres investisseurs (internationaux, industriels...). 4 à 5 ans après sa création, l'entreprise sort du giron d'iBionext : si elle entre en Bourse, elle bénéficie d'une maturité inédite et d'une stabilité qui inspire plus confiance aux marchés. «Le succès du modèle iBionext réside dans la durée consacrée à la maturation des projets et la mise en perspective industrielle et stratégique de l'entreprise avant sa création, avec l'intervention d'iBionext Growth Fund. Cette approche permet d'éviter les pièges inhérents au premier tour de financement et les retards dans la réalisation du business plan.

3/ Un démarrage à la hauteur de l'ambition

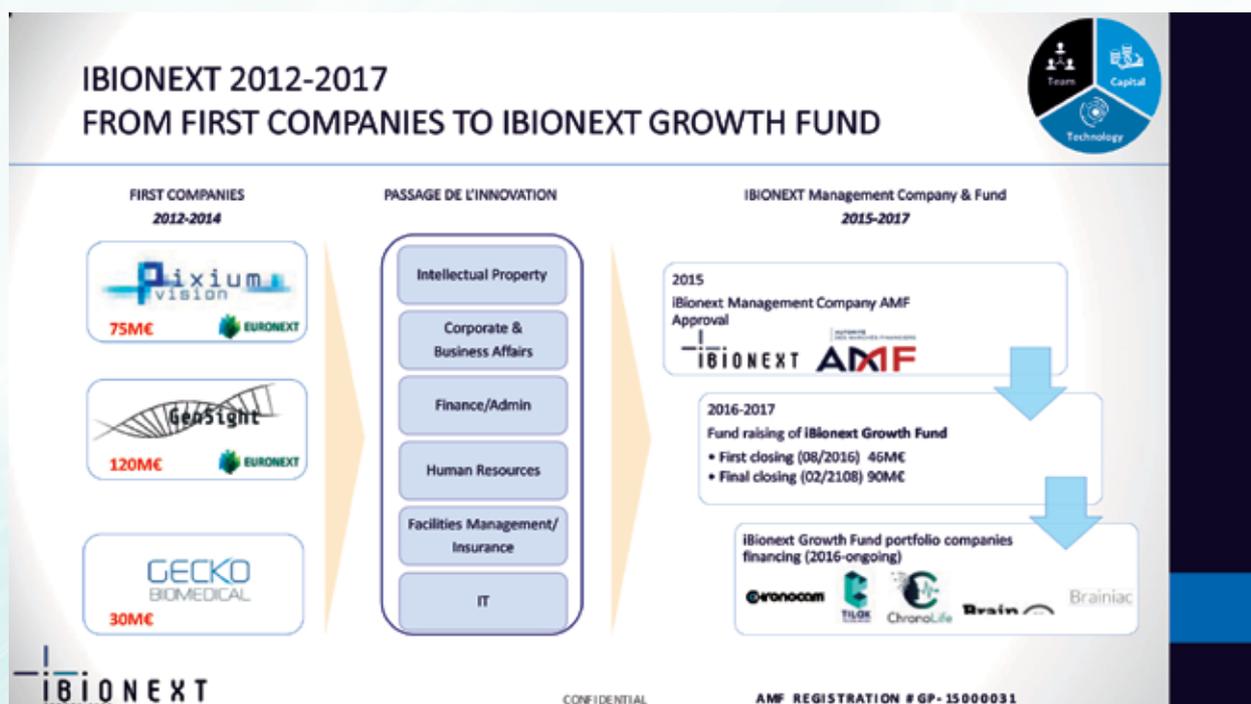
Lancé début 2016, le modèle iBionext start-up studio a finalisé un premier closing en Août 2016, à hauteur de 46M€, suscitant l'intérêt d'investisseurs internationaux de premier plan, de compagnies d'assurance et de family offices, aux

côtés du Fonds d'Accélération Biotech Santé (FABS) géré par Bpifrance dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA) piloté par le Commissariat Général à l'Investissement (CGI).

La force d'iBionext Growth Fund est de fondamentalement se différencier des autres fonds d'investissements : il investit dans un portefeuille de sociétés identifiées et travaillées en amont puis en aval, sur la base de technologies longuement validées par l'équipe et son réseau. Cette proximité opérationnelle et financière se prolonge grâce à la localisation du Fonds et des sociétés innovantes sur un même site, Passage de l'Innovation (Paris Bastille) avec un objectif commun : permettre aux équipes managériales de construire des sociétés sur des bases éprouvées, pour se focaliser sur la croissance. Ainsi, l'entreprise ayant bénéficié du soutien d'iBionext

Growth Fund inspire plus volontiers la confiance des marchés et des institutionnels dans les levées finales. Lever plus d'argent pour se développer plus vite, par exemple dans le cas des essais cliniques, est l'enjeu prioritaire d'iBionext Growth Fund. Les phases de développement des produits de santé étant habituellement longues et très coûteuses, dérisquer les projets en amont avant d'investir massivement dans la croissance laisse envisager un meilleur retour sur investissement pour les actionnaires.

Fort de son modèle industriel et opérationnel, iBionext Growth Fund bénéficie d'un ratio risque/accélération unique qui permet d'optimiser la création de valeur pouvant aller de 6 à 8 sociétés innovantes pour ce premier fonds d'investissement.



D. La concrétisation

iBionext a démarré son start-up studio en 2012 avec trois premières sociétés pour démontrer

la force de son modèle opérationnel avant de créer le Fonds iBionext Growth Fund pour aller jusqu'au bout de son modèle de croissance et de financement de son portefeuille de sociétés.

Start-up sudio iBionext : accélération inédite de la création de valeur industrielle, > 5 ans avant phase III ou marquage CE

- Pixium Vision

2012 : création de la société
 Juin 2014 : entrée en Bourse – levée de 34,5M€ sur Euronext Paris
 2016 : obtention du marquage CE d'IRIS II, premier système à 150 électrodes
 2017 : démarrage de l'essai clinique chez l'Homme de PRIMA
 2018 : Première activation mondiale réussie de son système de vision bionique PRIMA

- Gensight Biologics

2013 : création de la société
 2016 : entrée en Bourse – levée de 46m€ sur Euronext Paris
 2017 : levée de 22,5m€ auprès d'investisseurs américains et européens et phase III du premier produit
 2018 : Autorisation de démarrer la phase III de son second produit, en Grande-Bretagne, pour la rétinopathie pigmentaire

- Gecko Biomedical

2013 : création de la société
 2017 : obtention du marquage CE
 2018 : construction d'une usine de production à Roncq (Nord de la France)

Pixium Vision

La mission de Pixium Vision est de créer un monde de vision bionique pour permettre à ceux qui ont perdu la vue de récupérer une partie de leur perception visuelle et gagner en autonomie. Les systèmes de vision bionique de Pixium Vision sont associés à une intervention chirurgicale et à une période de rééducation. La société développe deux systèmes de vision bionique. IRIS®II, le premier système a obtenu le marquage CE en juillet 2016. En parallèle, Pixium Vision a récemment finalisé les phases d'études précliniques de PRIMA, un implant photovoltaïque sous-rétinien miniaturisé et sans fil, et prévoit de démarrer les premiers essais cliniques chez l'Homme. Pixium Vision travaille en étroite collaboration avec des partenaires académiques de renommée mondiale tels que l'Institut de la Vision à Paris, le Laboratoire de physique expérimentale Hansen à l'Université Stanford et le Moorfields Eye Hospital de Londres. La société est certifiée EN ISO 13485. Sa force est d'avoir su allier innovation disruptive, convergence des disciplines, marché non satisfait, financement supérieur à 50M€ pour passer rapidement en clinique et autorisation réglementaire.

GenSight Biologics

GenSight Biologics est une société biopharmaceutique dédiée à la découverte et au développement de thérapies géniques innovantes pour le traitement des maladies neurodégénératives de la rétine et du système nerveux central. Le portefeuille de recherche de GenSight Biologics s'appuie sur

deux plates-formes technologiques : le ciblage mitochondrial (Mitochondrial Targeting Sequence, ou MTS) et l'optogénétique, visant à préserver ou restaurer la vision chez les patients atteints de maladies neurodégénératives de la rétine. Le candidat médicament le plus avancé de GenSight Biologics, GS010, est en Phase III pour le traitement de la neuropathie optique héréditaire de Leber (NOHL), une maladie mitochondriale rare qui conduit à une perte irréversible de la vue chez les adolescents et les jeunes adultes. En utilisant son approche de thérapie génique, les candidats médicaments de GenSight Biologics sont destinés à offrir aux patients une récupération visuelle fonctionnelle durable après une seule injection intra-vitréenne dans chaque œil. Ses atouts sont notamment d'avoir une innovation de rupture bénéficiant du statut de médicament orphelin, financement supérieur à 50M€ pour couvrir la phase clinique III.

Gecko Biomedical

Gecko Biomedical est une société de dispositifs médicaux basée à Paris, en France, dédiée au développement rapide et à la commercialisation d'une plateforme unique de biopolymères. Le premier produit de Gecko SETALUM, est un polymère innovant pour la reconstruction tissulaire, ciblant la reconstruction cardiovasculaire comme indication initiale. La structure de SETALUM est réglable, permettant une personnalisation pour diverses applications et tissus. La plateforme de biopolymères de Gecko est entièrement industrialisée et très polyvalente avec de nouvelles

applications potentielles dans d'autres domaines comme la réparation de tissus ou l'administration locale de médicaments.

La plateforme de Gecko repose sur des biopolymères qui ont des propriétés chimiques et physiques uniques, notamment une viscosité élevée, une hydrophobie et une polymérisation «à la demande» rapide pour une application locale précise et une adhérence in situ.

Les technologies de la société proviennent de la recherche et de la propriété intellectuelle des laboratoires du Pr Robert Langer (MIT) et Pr Jeff Karp (Brigham and Women's Hospital). Gecko combine l'excellence de la recherche du MIT au savoir-faire d'iBionext pour en faire une société innovante à fort potentiel. Le transfert de cette technologie en France a de réelles retombées économiques avant même la commercialisation puisqu'une usine de production voit le jour en 2018.

A partir de 2016, les sociétés suivantes bénéficieront du fonds iBionext Growth Fund et ainsi d'un investisseur chef de file qui facilite les levées de fonds.

Chronocam

Les solutions de vision de Chronocam redéfinissent les standards en matière de performance de vision artificielle. Chronocam développe des capteurs et des systèmes de vision novateurs qui reproduisent le fonctionnement de l'œil humain. Ils résolvent les problèmes liés aux limites des capteurs de vision conventionnels en permettant la détection en temps réel du contexte dynamique pertinent et en n'acquérant que ce qui est nécessaire. En matière de de détection et de traitement de la vision, la technologie de Chronocam répond aux exigences des véhicules autonomes, des dispositifs connectés ainsi qu'à celles des systèmes de sécurité et de surveillance. Ils combinent une vitesse record, une gamme dynamique ainsi qu'une grande efficacité en matière de compression vidéo et de consommation d'énergie au niveau des capteurs. Basée à Paris, Chronocam est une entreprise soutenue par des investisseurs dont iBionext Growth Fund en tant que principal actionnaire ainsi que plusieurs industriels tels qu' Intel Capital, Renault-Nissan Group et Robert Bosch Venture Capital. Un exemple réussi d'applications industrielles très variées à partir d'une seule technologie issue du neuro-morphisme. En 2020, Chronocam pourrait employer 150 à 200 personnes et viser des dizaines de millions d'euros de chiffre d'affaires.

Tilak Healthcare

Co-fondée avec iBionext en mai 2016, la startup Tilak Healthcare est une des plus récentes entreprises de l'écosystème iBionext. Elle se spécialise dans la santé digitale et plus particulièrement dans le développement d'une plateforme technologique disruptive de jeux vidéo prescrits par les professionnels de santé, pour l'accompagnement de maladies chroniques. Une des premières applications cible l'ophtalmologie, avec les maculopathies - des pathologies en forte progression dans les sociétés occidentales vieillissantes - et l'amélioration de leur prise en charge dans le parcours de santé. Tilak Healthcare a une seul challenger aux Etats-Unis et se positionne de façon unique sur ses propres applications médicales. Elle a démarré les essais cliniques de son jeu Odysight moins d'une année après son financement par iBionext Growth Fund, témoignant de la rapidité opérationnelle du startup studio.

Chronolife

ChronoLife est une société développant une solution de surveillance de la santé qui réalise des prédictions basées sur l'analyse de mégadonnées (big data) en temps réel avec un algorithme appelé HOTS «Hiérarchie des surfaces temporelles basées sur l'évènement», un algorithme neuromorphique. La première cible de ChronoLife sont les patients souffrant d'insuffisance cardiaque. Le produit se présente sous la forme d'un T-shirt avec des capteurs électroniques intégrés qui enregistrent et analysent les paramètres physiologiques en temps réel. Si un changement significatif est détecté par l'algorithme, le patient et son médecin sont alertés immédiatement. La deuxième cible de ChronoLife est l'épilepsie pharmaco-résistante. Le produit de ChronoLife permettra de prévoir les crises à l'avance, et ainsi de se produire dans les meilleures conditions possibles pour le patient.

Le marché de Chronolife s'adresse aux pays industrialisés comme les pays en développement de par l'accessibilité de sa solution médicale de suivi du patient.

BrainEver

BrainEver a été cofondée par iBionext en mars 2015. La stratégie thérapeutique de la société est basée sur les travaux de recherche du Pr. Alain Prochiantz et ses équipes (Collège de France) sur le développement et la physiologie du cerveau. Ils ont démontré que les homéoprotéines, identifiées

pour la première fois comme des régulateurs de développement précoce, sont également actives tout au long de la vie et contrôlent plusieurs fonctions neuronales, y compris la stabilité épigénétique et le métabolisme.

BrainEver part du principe que chez les patients, l'administration de l'homéoprotéine pourrait modifier durablement la résistance physiologique des neurones survivants tout en augmentant leur activité, ce qui entraînerait l'amélioration des symptômes cliniques.

Les différentes homéoprotéines qui pourraient être importantes dans différentes pathologies neurodégénératives sont explorées, la plus avancée étant Engrailed 1 (BREN01) pour le traitement de la maladie de Parkinson.

BrainEver est un exemple réussi de transversalité entre la recherche fondamentale avec plus d'une quinzaine d'années de recherche pour résoudre un problème majeur des maladies neurodégénératives associées au vieillissement de la population.

Brainiac

Développement du premier calculateur neuronal massivement parallèle, basé sur le mécanisme de fonctionnement du cerveau humain. Brainiac est à l'avant-garde des derniers développements en intelligence artificielle avec le développement de cet ordinateur, ce qui augmentera la puissance et la vitesse des opérations (des milliers de MIPS), chaque neurone étant à la fois calculateur et mémoire. La société a été créée dans le cadre de l'écosystème iBionext à la fin de l'année 2016, et a obtenu un premier financement non dilutif de la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) pour financer le développement de la puce.

Cette société est le dernier exemple à la pointe de la recherche du neuromorphisme où la convergence des disciplines a permis d'imaginer l'ordinateur de demain pour résoudre le problème de capacité et de stockage critique des datas.

C. Et demain?

Au-delà du potentiel du portefeuille financé par le premier fonds, le start-up studio est un modèle unique pour un pays au niveau environnemental, sociétal et gouvernemental.

La mutualisation des expertises sur un même site permet bien de mettre à disposition des ressources tout en s'inscrivant dans une perspective de

développement durable au niveau des locaux, des déplacements. L'attrait du studio et ses start-ups, devenus label de qualité, permet d'attirer ou faire revenir les meilleurs talents en créant des emplois hautement qualifiés. Chacun des projets répond à un besoin clinique et donc à un patient. Enfin, la constitution d'un Fonds soutenant l'entreprise de la création à sa croissance lui permet d'avoir un vrai partenaire financier et visionnaire qui sera bien plus qu'un pari statistique de fonds dispatché sur des portefeuilles d'entreprises.

Fort d'une perspective de création de 200 à 250 emplois qualifiés d'ici 2020 dans les prochaines sociétés cibles d'iBionext Growth Fund et de la croissance continue des premières start-ups, le cumul potentiel des effectifs d'Ibionext serait de l'ordre de 350 à 400 emplois au total à horizon 2020. Ces emplois sont plus que doublés si l'on prend en compte les emplois indirects qui en découlent (organismes réglementaires, cliniques, productions etc...).

La médecine progresse car c'est une science qui s'est toujours nourrie et qui continue à se nourrir des dernières technologies. Prendre ces technologies dans un cadre opérationnel en créant un écosystème aguerri et donner les moyens aux meilleurs entreprises d'aller vite permettront de créer des leaders. La France a su favoriser l'émergence des start-ups mais peine encore à mettre en face les financements de croissance qui lui ont permis de faire émerger des leaders nationaux puis internationaux.

C'est dans ce contexte qu'iBionext a décidé d'ancrer son modèle opérationnel en réalisant des nouvelles levées de fonds qui accueilleront des investisseurs nationaux mais aussi de plus en plus internationaux. Ces investisseurs sont tous des potentiels co-investisseurs et partenaires pour allier les meilleures expertises opérationnelles et transversales qui soient. Car nombreuses sont les questions patient à résoudre : et si nous redonnions la capacité de bouger aux patients tétraplégiques? Et si nous pouvions stopper les métastases en oncologie? Et si nous pouvions effacer et remplacer les gènes défectueux de certaines pathologies graves? Et si nous pouvions empêcher les maladies cardiaques de devenir la première cause de mortalité mondiale? Et si nous pouvions traiter les maladies psychiatriques en comprenant et soignant leurs causes... Autant de questions qui nous restent à résoudre ou au moins essayer d'y contribuer.

Innovations dans l'industrie minière au Maroc et en Afrique

Ismail AKALAY

Managem

Directeur Général des activités minières et industrielles au Maroc



**Monsieur le Directeur des séances,
Mesdames et messieurs, chers amis**

Pour ceux qui ne nous connaissent pas, Managem est un groupe privé filiale de la SNI, coté à la bourse de Casablanca, qui réalise un CA de 5 milliards de Dirhams et emploie 5600 personnes. Malgré sa taille, Managem dispose d'un Centre de Recherche qui emploie 140 personnes dont on va présenter ici les résultats de leurs travaux.

Pour Managem, l'innovation consiste à valoriser les matières premières qui sont à sa disposition, remédier aux nuisances générées et protéger l'environnement en développant de nouveaux procédés, inventer pour promouvoir l'économie nationale et enfin innover socialement.

1.- VALORISER

Plusieurs procédés ont été développés au Centre de Recherche de Managem tels que:

1. Flottation des Cuivres Oxydés

Le cuivre a un avenir prometteur et sa consommation ne fait qu'augmenter (taux de croissance de la consommation mondiale de cuivre de l'ordre de 5%). Il se trouve que les minerais sont de plus en plus pauvres en cuivre : au lieu des minerais à 3 et 4% de cuivre avant, on se retrouve aujourd'hui avec des teneurs de l'ordre de 0,5 à 1% qu'aucun procédé économique ne permettait de valoriser. Il est en effet très difficile de valoriser des minerais

d'oxydes de cuivre lorsque la teneur en cuivre est inférieure à 2%.

Managem est le premier à l'échelle internationale à avoir développé un procédé pour pouvoir valoriser ses gisements au Maroc d'oxyde de cuivre. En effet, tout le monde sait traiter les sulfures de cuivres ou les oxydes de cuivre en lixiviation acide lorsque les teneurs sont supérieures à 3%, mais personne ne sait valoriser les oxydes de cuivres lorsque la teneur est de 1%.

Le centre de recherche a développé un procédé qui a été industrialisé :

- dans un premier temps à la mine de «Akka» (province de Tata) : l'or qu'elle produisait étant épuisé, il s'agissait d'éviter le recours à un plan social et de licencier 1200 personnes. Grâce à ce procédé de flottation (système extrêmement économique qui permet de rendre un minéral hydrophobe, le faire flotter et le récupérer par débordement), cette mine produit actuellement 50 000 T/an de concentré de cuivre;
- puis à la mine de «Bleïda» (province de Zagora). Cette mine, fermée en 1998, a été ré-ouverte grâce au lancement d'un projet d'une valeur de 400 millions de Dirhams. Elle permet d'employer quelques 500 personnes et de valoriser l'oxyde de cuivre en produisant 40 000T/an de concentré.



Carrière d'exploitation du minerai de cuivre oxydé :
Tazalakht



Usine de traitement AGM site Louriren



Malachite Akka, principal minéral de l'oxyde de cuivre



Photos de la flottation de la Malachite Akka



Minerai de Cuivre oxydé (Malachite) de la mine de Bleïda (Jbel Laassal)



Cellules de flottation

2. Extraction et raffinage du cobalt

Le métier de base de Managem est celui de mineur suivi d'une concentration de minerais, ce qui fait que toute la valeur ajoutée est exportée chez les fondeurs en Europe ou ailleurs, qui récupèrent une bonne partie de la valeur ajoutée sur ces produits. Grâce à la R&D, nous avons permis à Managem d'avoir un deuxième métier et d'aller vers le raffinage de nos métaux. Et là, vous avez l'exemple du Cobalt.

Le métier de l'Hydrométallurgie est le fruit de plusieurs années de recherche qui ont permis de développer un procédé de valorisation et

de raffinage du cobalt de la mine de Bou-Azzer (province de Ouarzazate). Ce procédé, qui traite le minerai (arséniures de cobalt) et les déchets miniers, a été breveté et permet de produire du cobalt de pureté de 99,8% par des mixers settler (mélangeurs-décanteurs) qui utilisent le procédé d'extraction liquide-liquide par solvant. Il est à signaler que le premier procédé d'extraction liquide-liquide qui a été utilisé dans le monde est celui de l'Uranium, suivi du cuivre alors que pour le Cobalt, nous n'avons introduit le procédé qu'à la fin des années 1990.

Une fois purifié, le cobalt est déposé dans des cellules d'électrolyse (photos)



Cathode de cobalt de 1mx1m, découpée et déchetée: les clients qui font des super-alliages pour l'aéronautique ou qui fabriquent des batteries pour téléphone portables, voitures électriques, etc.. ont besoin de ce type de métal



L'Extraction liquide-liquide par solvant n'a été introduite pour le cobalt qu'à la fin des années 1990



Cellules d'électrolyse où est déposé le cobalt une fois purifié

La mine de Bou-Azzer permet de produire 2000T/an de cobalt (ce qui représente 2% de la production mondiale) mais aussi de récupérer

l'arsenic (le Maroc est le second producteur mondial de trioxyde d'arsenic).



Le minerai qui alimente le complexe hydro-métallurgique de Marrakech est composé d'arséniures de cobalt grillés et traités par hydrométallurgie. La toxicité de l'arsenic produit n'a aucun effet de nuisance sur l'environnement



Complexe hydro-métallurgique construit en 2000, comprenant une dizaine d'usines développant chacune un produit donné et employant 3000 personnes

II.- REMEDIER

Notre activité crée de la nuisance et donc l'innovation consiste aussi à remédier autant que possible à toutes les nuisances que nous générons. Certains procédés ont été ainsi développés pour remédier aux nuisances des déchets et des effluents.

1. Traitement des déchets miniers de la Mine de Guemassa.

25 millions de tonnes de déchets miniers contenant essentiellement des sulfures de Fer

(Pyrrhotine) sont traités par une usine qui permet la production :

- d'acide sulfurique (pour les besoins de Managem mais aussi de l'OCP),
- d'oxyde de fer (vendu aux cimentiers),
- et d'énergie (car la réaction est exothermique) qui permet de réduire de 15% les besoins en énergie du complexe industriel.

L'usine par ailleurs ne dégage pas de CO₂ car ne faisant pas appel à des produits fossiles et aucun déchet n'est retrouvé à la fin du procédé.



Tuyau déversant les stériles d'une laverie de flottation à Guemassa conduit à la formation d'une «digue»



La «digue» représente 25 millions de tonnes de déchets miniers, essentiellement des sulfures de fer (pyrrhotine)

Digue de CMG



Usine de l'acide sulfurique

2. Traitement des déchets de Cobalt de Bou-Azzer

La mine de Bou-Azzer a été opérationnelle entre 1928 et 1983. Elle a été fermée faute de minerai et faute de procédé économique. Le département R&D de Managem a développé un procédé qui a été breveté et qui a permis de traiter tous les

déchets emmagasinés durant cette période (55 ans). La production du Cobalt dans un premier temps conduit à la formation d'un deuxième déchet qui est repris et traité avec un procédé économique (flottation de l'Or) ce qui donne au final une production de 350 kg/an d'Or.



Digue de Bou-Azzer, produit de 55 ans d'exploitation de la mine



Usine Hydro de Bou-Azzer : production de Cobalt mais aussi d'Or

3. Valorisations des effluents

Dans les usines hydro-métallurgiques, nous utilisons de l'acide et de la soude et nos effluents sont riches en sulfate de sodium. Le traitement de ces effluents permet :

- d'une part de récupérer le sulfate de sodium qui est un produit valorisant utilisé dans les détergents (Procter and Gamble est un de nos clients);
- d'autre part de recycler 500 m³ d'eau par jour.



Sulfate de Sodium



Usine de Sulfate de Sodium

III.- PROTEGER L'ENVIRONNEMENT

Dans le cadre de ses activités en Afrique, il fallait pour Managem développer des procédés qui protègent l'environnement ou diminuent les nuisances. Les deux exemples qui suivent montrent comment on peut éviter l'utilisation de produits toxiques (cyanure au Gabon et mercure au Soudan) avec des procédés artisanaux.

1. Traitement du minerai d'Or au Gabon sans utiliser le cyanure

La mine d'or «Bagoudou» exploitée au Gabon est localisée en pleine brousse à 800 km de Libreville. Il était alors difficile d'imaginer utiliser des réactifs chimiques tel le cyanure, qui est le réactif classique pour le traitement des minerais d'or. Nous avons alors développé un procédé purement gravimétrique, qui ne fait appel qu'à la densité d'or (le séparer du stérile) et c'est ainsi qu'on a pu concentrer l'or et le fusionner, le fondre sous forme de lingots.

Cette mine produit actuellement 1,2 T/an d'or.

Bakoudou (Province du Haut Ogooué)

- 800 km au Sud-Est de Libreville
- 100 km au Sud-Ouest de Moanda
- 54 km de la commune de Bakoumba

Etéké (Province de la Ngounié)

- 550 km au Sud Est de Libreville
- 130 km Nord-Est de Mouila
- 34 km du district d'Etéké

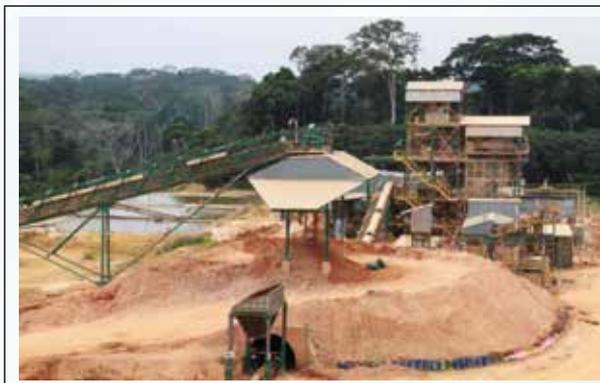
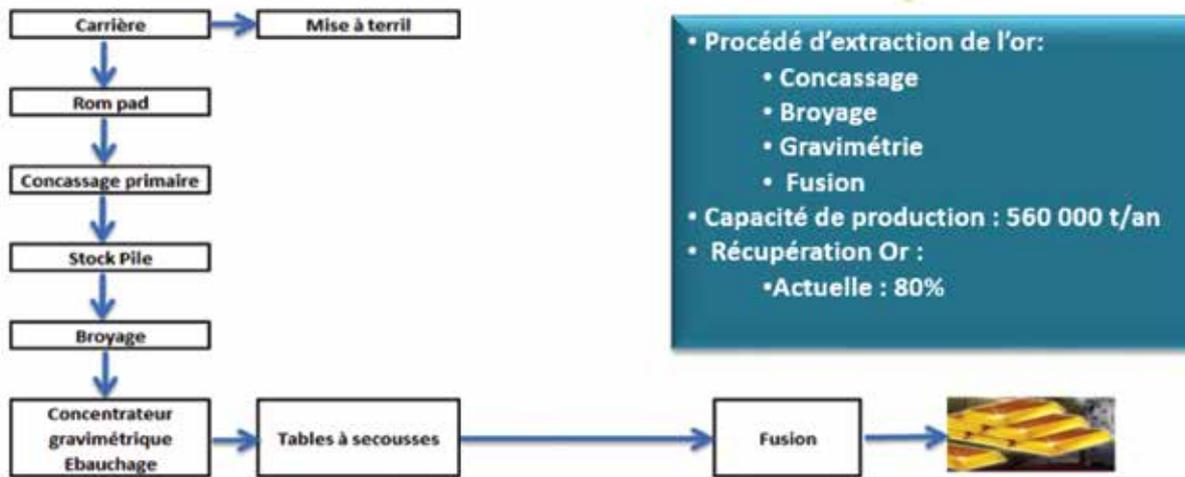


Situation géographique des activités actuelles du Groupe MANAGEM au Gabon



Mine de Bakoukou (Situation photo-aérienne panoramique de l'infrastructure du Site)

L'exploitation de «Bagoudou» est une carrière : le minerai est concassé, broyé et concentré par gravimétrie avant d'être monté pour permettre sa fusion.



CHIFFRES CLES A FIN 2016 :

- Démarrage de l'usine : avril 2012
- Procédé de Traitement : Gravimétrie
- Capacité de Traitement : 300 000 T/an
- Rendement Moyen Traitement : 50 T/H
- Taux de récupération : 80%

Politique QHSE et RSE de REG : mine certifiée en 2014 «Système de Management Intégré»

- **ISO 14001, qui est un certificat pour l'environnement;**
- **ISO 18001, qui est un certificat de la santé et de l'hygiène;**

- **vigeo, qui est une ONG qui donne le label de RSE de la CGEM attestant du respect de certains critères (droits de l'homme, environnement, respect des procédures, lutte contre la corruption).**



2. Industrialiser le traitement de l'or au Soudan pour remplacer les procédés artisanaux utilisant le Mercure.

Le Soudan exporte 70T/an et plus de 90% de cet or est produit par des artisans mineurs. Les artisans extraient le minerai avec des moyens

rudimentaires (risques environnementaux et sanitaires) et le stockent dans des sacs de 100kg pour son transport. Après broyage, lavage et amalgamation au mercure, l'évaporation du mercure par calcination permet de récupérer des billes en or qui sont mis à la vente.



Managem a monté cette usine (photo) en 2012, qui utilise le procédé de cyanuration en Pulpe (développé dans ses laboratoires) pour pouvoir industrialiser l'opération d'extraction de l'or sans utiliser le mercure. Cette usine produit 800 kg/

an d'or et maintenant que l'embargo est levé sur le Soudan, il devient plus facile d'investir et nous sommes en train d'augmenter les capacités de traitement pour parvenir à 2T/an.



Usine actuelle et travaux d'extension

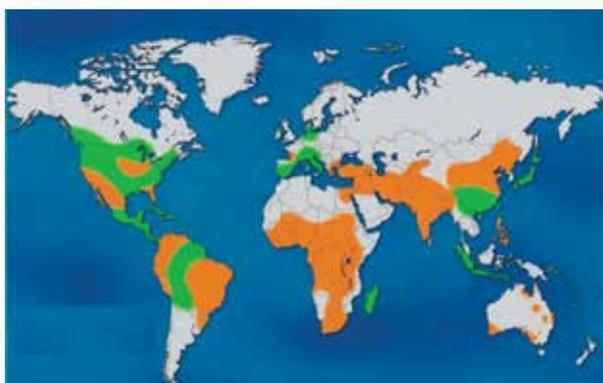
IV. INVENTER

Inventer fait aussi partie de notre processus de recherche et d'innovation. Nous présentons ci-après des inventions pour l'agriculture et l'industrie automobile et électronique

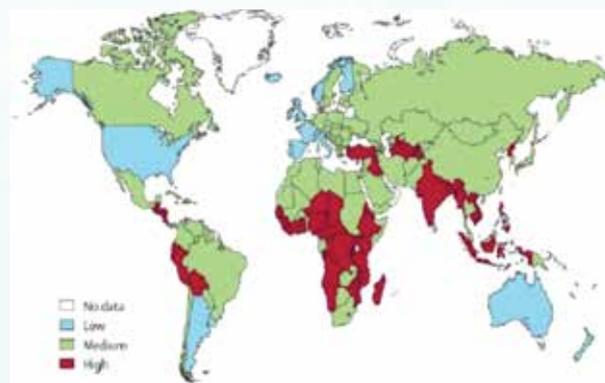
1. Oligo-éléments pour les engrais

La carence en zinc dans les sols est une problématique dans l'agriculture qui nécessite

un apport d'oligo-éléments. Le sulfate de zinc utilisé dans les engrais nécessitait des apports en grandes quantités car le lessivage par l'irrigation ne permettait à la plante d'en récupérer qu'une faible partie. Managem, qui est producteur de zinc, a innové en proposant à l'OCP de remplacer le sulfate de zinc par un oxyde de Zinc nanométrique qui ne se dissout pas en étant accessible à la plante.



SOLS



Humains

Carte mondiale de la déficience en Zinc

De même, nous travaillons avec l'Institut agronomique pour développer des types

d'engrais composés avec d'autres oligo-éléments (Magnésium, Cobalt, Cuivre,...).



MgSO₄,7H₂O



CoSO₄,7H₂O



CuSO₄,5H₂O



CoCO₃

Produits susceptibles d'être utilisés dans les engrais comme oligo-éléments

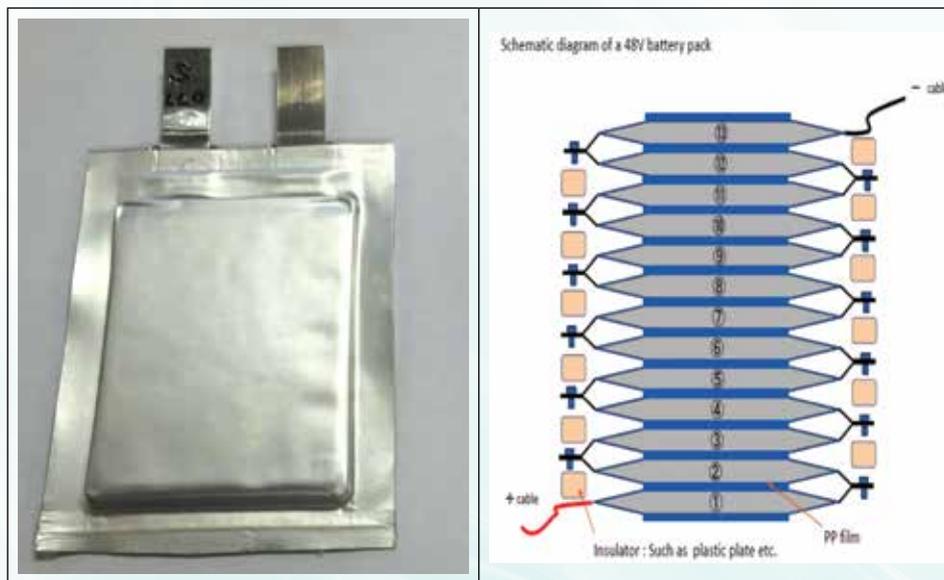
2. Batteries pour voitures et appareils électroniques

Managem a aussi inventé une batterie pour voitures électriques qui ne chauffe pas et

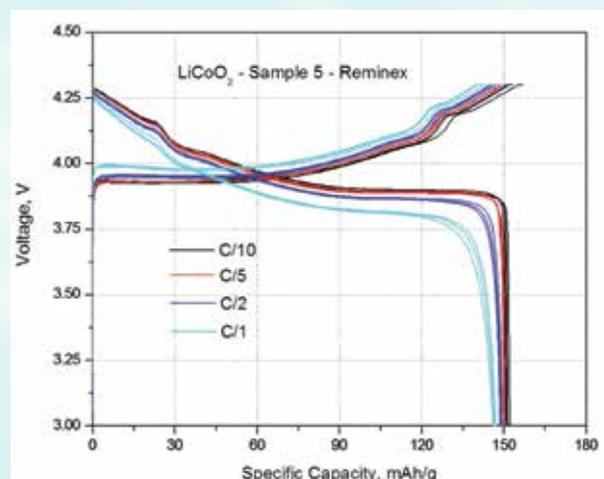
présente par conséquent des mesures de sécurité intéressantes.



Laboratoire d'électrochimie



Validation des performances de sécurité pour le module de batteries (48 V, 10 Ah)



Capacité spécifique de LiCoO₂

V. INNOVER SOCIALEMENT

La politique RSE de Managem est au service des riverains des Mines. Elle encourage le travail associatif et plusieurs expériences ont été menées tant au Maroc qu'au Gabon ou en République Démocratique du Congo

1. Travail associatif au Maroc (Association Tassourift Kasbah d'imiter, association Fiers et forts de Tamaslouht)

Parmi les principales réalisations, on peut citer la réhabilitation d'une kasbah, le montage d'un atelier de bijouteries, la construction d'un centre culturel pour encourager les enfants à la lecture ou encore le développement d'une ferme éducative pour enfants abandonnés.



2. Au Gabon: réfection d'écoles, don de kits scolaires,...



3. En République Démocratique du Congo : création de centre d'accueil pour enfants qui étaient récupérés par l'armée



CONCLUSION

Pour l'avenir de ce métier, nous avons à faire confiance aux algorithmes pour robotiser les tâches difficiles et dangereuses, pour avoir des moyens d'optimisation des ressources et de réduire voire éliminer les nuisances. L'intelligence artificielle devrait être mise au service des hommes et des femmes qui travaillent dans l'industrie minière.

La révolution schumpétérienne n'est pas finie, elle est déplacée dans le temps.

La gestion des risques et des incertitudes rendent notre métier passionnant.

Synthèse de la 13^{ème} session plénière solennelle

Pr. Albert SASSON

Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Mardi 20 février 2018

Allocution d'ouverture et présentation du thème général de la session

Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Dans son introduction, le Secrétaire perpétuel a souligné que les préoccupations des sociétés se situent à la convergence des sciences nouvelles et interdisciplinaires, comme l'informatique et la révolution numérique qu'elle induit, ou les biotechnologies qui intéressent tous les champs d'activité de l'homme. Tous ces progrès technologiques conduisent à l'émergence, voire la prééminence, d'une économie fondée sur les connaissances – *knowledge based economy*. La recherche-développement induit la création «d'écosystèmes» qui permettent d'organiser cette recherche de façon systémique dans des domaines précis. Il convient aussi de mettre au diapason le système éducatif et l'innovation, en vue de la création de nouvelles richesses. Notre souverain, Sa Majesté le Roi Mohammed VI, avait le 30 juillet 2009, proclamé que la réforme du système d'éducation nationale est la voie essentielle vers le développement. La mise à niveau de nos ressources humaines doit aussi conduire à un développement global, équitable, inclusif et respectueux de l'environnement et de nos ressources naturelles.

Par la suite, le Secrétaire perpétuel a résumé les progrès réalisés par le Maroc au cours des dernières décennies : grands travaux d'infrastructures et d'amélioration des moyens de transport (routes, transport ferroviaire, trains à grande vitesse, ports) ; le produit intérieur brut (PIB) de 110 milliards de dollars a triplé ; le Maroc a gagné en attractivité et pourrait être un exemple pour d'autres pays. Toutefois, en dépit de ces nombreux efforts, le développement national s'est

essoufflé, les inégalités ont tendance à s'aggraver, et c'est pourquoi en 2017, lors de la rentrée parlementaire, le Souverain a appelé à la recherche d'un nouveau modèle de développement, qui se fonde sur une croissance économique annuelle forte et qui réduirait les inégalités.

L'Académie, quant à elle, a commencé la rédaction d'un troisième document sur l'état de la recherche au Maroc et sur une politique d'innovation technologique, tandis que la 13^{ème} session plénière solennelle annuelle de l'Académie était consacrée au thème «Recherche-développement, innovation technologique et industrialisation». A cet égard, il convient de rappeler que la dépense intérieure brute de recherche-développement atteint seulement 0.75% du PIB national, alors que le niveau de 1% de ce PIB a été maintes fois réclamé. En 2017, la production scientifique marocaine atteignait 2.100 articles indexés dans la base wos; soit 0.062% de la production mondiale. Les universités qui comptent près d'un million d'étudiants sont soumises aux défis de la massification et, en même temps, le pays doit aussi faire face au déficit des ressources humaines à tous les niveaux.

Conférence introductive

1. Harald VON KORFLESCH, vice-président recherche, transfert, internationalisation et digitalisation de l'Université de Koblenz-Landau, République fédérale d'Allemagne

Science, innovation technologique et intégration industrielle

Le conférencier rappelle qu'il s'agit pour son université de créer une université entrepreneuriale, sous l'égide du ministère fédéral de l'économie et qui jouit du soutien de l'entreprise. Ce modèle tente d'être mis en œuvre au Kenya, en Tunisie (dans une moindre mesure) ainsi qu'à l'Université Euro-Méditerranéenne de Fès.

(*) Allocution d'ouverture et présentation du thème général de la session sur le thème : "Recherche-développement, innovation technologique et industrialisation", Rabat, 20 février 2018.

Harald Von Korflesch pose la question suivante : avons-nous besoin d'un nouvel entendement de la science (*do we need a new understanding of science*) ? Il estime que c'est le cas, ne serait-ce que parce que les sociétés mettent au défi les sciences. Par exemple, le programme de l'Union Européenne, mis en œuvre par la Commission européenne, Horizon 2020, vise à répondre à sept changements sociétaux qui concernent, entre autres, la santé, la sécurité, les effets du changement climatique, l'alimentation. De surcroît, il s'agit de changements ou de phénomènes mondiaux pour lesquels les sociétés réclament des solutions à la science. Outre le haut degré d'incertitude de ces changements sociaux, les problèmes sont intersectoriels, multi-causaux et reliés entre eux. Il s'agit donc d'aller vers une science ou une recherche qui vise à être transformative. C'est pourquoi ce nouvel entendement de la science signifie l'ouverture, le pluralisme, le dialogue, la communication, le fondement sur l'apprentissage.

Dans cet esprit, le transfert de connaissances et de technologie, ainsi que l'exigence d'une intégration de l'industrie ne fonctionnent plus selon le modèle reposant sur un fournisseur et receveur aux deux extrémités du modèle. Cela est bien plus complexe et des deux côtés on est intéressé par la création de valeur. Quant à la création industrielle, elle est soumise à des prérequis, comme les capacités dynamiques (qui font défaut dans plusieurs compagnies).

D'où la nécessité de concevoir un dessein entrepreneurial (*entrepreneurial design thinking*) et étudier son impact potentiel. Cela se traduit par un travail interdisciplinaire en équipe, la prise en compte de l'utilisation par l'homme, la création d'environnements et d'instruments pour promouvoir la créativité. Il faut pouvoir comprendre, observer, synthétiser, concevoir des prototypes, les tester très tôt et aboutir à un *business model* (plan d'affaires).

Mercredi 21 février 2018, matinée

2. Youssef FADIL, Ministère de l'industrie, du commerce, de l'investissement et de l'économie numérique

Intervention du Ministère de l'industrie, du commerce, de l'investissement et de l'économie numérique

Le plan d'accélération industrielle d'avril 2014 a pour but de donner un nouvel élan au développement

du secteur industriel au Maroc. L'instrument de ce nouvel élan est la construction d'écosystèmes industriels, avec des contrats de performance avec les industriels, comprenant la création d'emplois, de valeur ajoutée, ainsi que le renforcement des exportations des produits. L'état apporte à ces écosystèmes industriels plusieurs formes de soutien (primes, ressources humaines, etc.). Les nouveaux leviers sont ceux des investissements, des exportations et de la formation. L'innovation technologique est un objectif important de ce plan, puisque c'est cette innovation qui permet à l'industrie de s'adapter à long terme.

Pourquoi innovons-nous si peu au Maroc? Parce que nous n'avons pas achevé la mise en place d'un écosystème d'innovation (pour laquelle il faudra considérer les prérequis de toute nature). Quelles sont donc les initiatives récentes, qui impliquent les universités? Ce sont les *cités de l'innovation*, conçues à l'échelle régionale (pour les porteurs de projets) et comprenant : une composante de recherche-développement sur des thèmes précis (plate-formes); une composante d'incubateurs/startups; une composante de recherche-développement en coopération avec les entreprises étrangères; une composante de transfert d'innovation technologique qui implique le rapprochement entre universités et entreprises.

En 2018, sept projets de cités d'innovation ont été lancés, dont ceux de Settat, Marrakech et Rabat déjà prêts (et celui d'Agadir a aussi démarré récemment). Il est nécessaire d'arrêter le mode de gouvernance de ces cités, de préciser la nature de l'innovation attendue ainsi que l'objectif du taux d'intégration de l'innovation par rapport à l'industrie marocaine, c'est-à-dire le pourcentage de produits ou pièces fabriquées ou usinées sur place; par exemple, dans l'industrie automobile, le taux d'intégration est d'au moins 50%.

3. Mohamed BERRADA, professeur à l'Université Hassan II de Casablanca

L'industrialisation, un impératif pour le développement

Faisant écho à la présentation par le Secrétaire perpétuel du thème de la session plénière, Mohamed Berrada rappelle que le critère principal du développement est la création d'emplois. Notre économie nationale souffre du chômage, et comment y porter remède? L'effort à cet égard doit porter sur l'éducation (au sens le plus large) de la population. Il rappelle l'histoire récente

du développement : la crise de la dette, le plan d'ajustement structurel accompagné de mesures ayant pour but d'installer une croissance durable, les projets de développement sectoriels ou dits structurants (comme la construction du port Tanger Med, le plan de développement des sources d'énergie renouvelables). Le Maroc a même fait exception dans une région connaissant une situation difficile à plusieurs égards.

Mais où en est la création d'emplois?

Il faut noter que les investissements massifs consentis n'ont pas donné des résultats significatifs en matière d'emplois (indispensables pour éviter la dislocation du tissu social). Le chômage des diplômés surtout en milieu féminin, reste grave : 850.000 nouveaux diplômés n'arrivent pas à trouver un emploi; et cela alors qu'on fait l'éloge de l'économie basée sur la connaissance. La réforme de l'éducation s'impose, mais en dépit d'un investissement de l'ordre de 25% du budget national dans l'éducation nationale, les résultats restent faibles. C'est depuis le niveau préscolaire que se détériore la réussite de l'élève. Les inégalités s'aggravent. C'est notre modèle de croissance qui est en cause; celle-ci dépend de facteurs exogènes, elle est de ce fait fluctuante 2% à 3% de croissance économique annuelle – contre 6% à 7% ou parfois plus en Inde et en Chine.

La croissance observée ne crée donc pas assez d'emplois (une centaine de milliers en 2017 alors qu'il en faut 500.000). On investit beaucoup, mais on ne crée pas assez d'emplois (par exemple dans les travaux d'infrastructures, mais leur impact reste faible en matière de création d'emplois). Le secteur informel s'installe durablement (c'est un indicateur de ce qui ne marche pas); il est une soupape de sécurité, mais il est appelé à se réduire grâce à l'éducation et à l'industrialisation.

Nous ne sommes plus maîtres de notre politique économique. Les importations augmentent et le déficit de la balance commerciale tend à s'aggraver. Plus on dépense, plus on importe, mais nos entreprises n'en profitent pas. La part du secteur industriel dans le PIB du Maroc a diminué ; la part des services, de l'ordre de 57% du PIB, sont les premiers pourvoyeurs d'emplois; 15% du PIB pour le secteur primaire.

Or, c'est l'industrie qui est le secteur créateur d'emplois. La qualité de la croissance est d'être

inclusive, «les nouveaux métiers du Maroc» ne peuvent constituer des îlots isolés, ils doivent être les locomotives d'autres secteurs. Il convient de protéger l'industrie nationale contre les effets du dumping, de donner la priorité à la compétition nationale, de naviguer avec succès entre le libre-échange et le protectionnisme. La productivité dépend des progrès techniques réalisés, et pour cela il faut investir dans le capital immatériel, le capital humain, qui est un facteur clé de la compétitivité industrielle. C'est à ce prix, et aussi grâce à la justice sociale, qu'on peut assurer la cohésion sociale.

Mohamed Berrada se réfère, en matière de formation des cadres, mais aussi plus largement des élèves et des étudiants, au philosophe et sociologue français Edgar Morin. Il faut en effet réfléchir davantage à la connectivité des connaissances. Nous formatons trop les jeunes vers le quantitatif, au détriment des humanités, des arts et de l'expression artistique, qui sont pourtant importants pour l'épanouissement des jeunes dans la société.

4. Armand HATCHUEL, Mines Paris-Tech, membre du Conseil économique, social et environnemental du Maroc,

Margareta Norell Bergendahl, professeur à l'Institut Royal de Technologie (KTH) de l'Université de Stockholm, Suède

La coopération université-industrie come moteur de croissance : quelques enseignements du modèle suédois

En Suède, 3% du PIB sont consacrés à la recherche scientifique. Margareta Norell précise qu'il existe trois sources principales pour la recherche-développement et l'innovation (et la formation qui y est attachée) : le financement par le gouvernement (20-30%), par les fondations et par le secteur privé (70-78%). En 2001, a été créée Vinnova, l'Agence suédoise pour l'innovation (270 millions d'euros en 2016), qui s'efforce de créer la «triple hélice» entre le monde académique, l'industrie et le gouvernement.

En Suède, il s'agit de favoriser la recherche qui répond aux défis de la société (*challenge-driven research*). Le rôle de l'Université change, elle doit développer la créativité, les aptitudes scientifiques et techniques ; elle doit aussi envisager d'autres modes de collaboration.

La Vision 2017 de l'Institut Royal de Technologie (KTH) – cet institut a eu cent ans d'existence en 2017 – envisage des formes de coopération avec l'Afrique (Namibie). Quelques exemples de ses réalisations par les équipes compétentes sont l'*Integral Transport Research Laboratory KTH*, chargé d'étudier et d'améliorer les transports ; l'*Open Lab*, qui examine les changements sociaux, travaille avec les universités de Stockholm et inclut des habitants des faubourgs de la capitale suédoise; le *Digital Demo Stockholm*, ainsi que le *Global Development Hub*, qui développe des coopérations avec des universités africaines et qui promeut les échanges d'étudiants dans les deux sens (Éthiopie, Rwanda, Kenya, Tanzanie, Botswana).

Quant à Armand Hatchuel, qui a séjourné plusieurs années en Suède et a participé au développement du modèle suédois de recherche-développement et d'innovation technologique, il a signalé la création d'un programme doctoral en gestion de recherche-développement *Fenix* (1999-2006); ce dernier a pour objet d'inclure des personnes «senior» dans des programmes de Ph.D, en vue de former de nouveaux porteurs de projets et de faciliter le travail en équipe. Il a mentionné aussi un programme collaboratif en manufacture et recherche technologique, *ProViking*, de 2002 à 2013. Un tel programme a pour objet de trouver la bonne science pour la Suède, c'est-à-dire celle qui convient le mieux à ses besoins et à ses capacités. Enfin le programme LARP qui unit l'université de Linköping à l'industriel Saab, a pour objet le renouveau industriel grâce aux partenariats entre l'industrie et les universités. En d'autres termes, si on définit les questions stratégiques et la science qui doit y répondre, on peut alors concevoir les collaborations nécessaires entre les divers acteurs et ainsi co-envisager l'avenir.

Lors de la discussion qui a suivi, Malik Ghallab a insisté sur la nécessité de mener de front des projets sur le long terme (10 ans) pour la formation (lutter contre le chômage) et la construction à court et moyen termes des liens entre l'industrie et l'université («je ne comprends que ce que je peux construire»). Des mécanismes de médiation sont nécessaires, pour encourager surtout les petites et moyennes entreprises (PME). Quant aux actions en faveur de l'université, elles doivent encourager et valoriser les chercheurs, tout en orientant certains vers le développement industriel.

Un autre message fort qui est ressorti de cette discussion est qu'il ne faut pas rendre l'éducation responsable de tous les maux du développement. Il faut s'efforcer de créer le cercle vertueux en dehors de l'éducation.

Mercredi 21 février 2018, fin de matinée

5. Antonio BRANDO MONIZ, Nouvelle Université de Lisbonne, Portugal

Recherche-développement, innovation et intégration industrielle au Portugal : quelques exemples de réussite

Le professeur Antonio Brando Moniz s'est efforcé de comparer le développement du Portugal et du Maroc, l'investissement en recherche-développement dans les deux pays ainsi que l'indice d'innovation. Il conclut à une certaine similitude jusqu'aux récents efforts déployés par le Portugal pour créer les «clusters» d'innovation : en matière de santé, à partir de 2008 (exportation de nombreux produits); en aéronautique et avionique (moins d'exportations que le pôle de santé); l'ICT, le cluster en électronique.

L'objectif est, comme ailleurs, de promouvoir la triple hélice, entre le monde académique, le gouvernement et l'entreprise; de créer la confiance, de favoriser une politique d'orientation pertinente et de tenir compte des questions sociales soulevées par un tel développement.

Il est de fait que les exportations des PME portugaises se sont accrues récemment, créant ainsi des richesses qui ont amené le gouvernement à augmenter les retraites et à en finir avec l'austérité prévalente. Ce sont ces PME qui innovent, non seulement dans les domaines cités plus haut, mais aussi, par exemple, dans l'utilisation de mélanges de liège et de latex pour l'insonorisation des espaces, ou encore dans la vente de sardines au goût des consommateurs japonais.

6. Carlos MARTÍNEZ ALONSO, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Biotechnologies en Espagne : brève revue et deux études de cas

M. le Professeur C. Martínez Alonso aime à rappeler une citation d'un biologiste moléculaire et biotechnologiste, Sydney Brenner, prix Nobel

de médecine ou physiologie, à savoir qu'il est crucial de porter l'information à l'application; mais aussi la remarque de l'ancien Directeur général de l'UNESCO, le professeur Frederico Mayor Zaragoza, sur l'urgente nécessité de promouvoir la thérapeutique au chevet du malade, car il y a souvent trop de diagnostics. En Espagne, des efforts réussis, dans le domaine des biotechnologies médicales, ont permis de sortir d'un tel dilemme. Il convient de rappeler que l'Espagne est le 15^{ème} pays de l'Union Européenne, la septième puissance en matière du pourcentage du PIB consacré à la recherche (1.19%), la neuvième en matière de production scientifique (publications) et la 1^{ème} sur le tableau de l'innovation (*innovation score board*).

Sur le plan politique il s'agit de développer la recherche-développement pour répondre aux défis sociaux (sociétaux) et de renforcer la transdisciplinarité entre les champs des savoirs et des techniques. En biotechnologie, le pourcentage dans le PIB national est de 10.4%, comparé à 10.9% pour le tourisme. Ce domaine emploie 170.000 personnes. La santé humaine est le thème déterminant pour l'application, directe ou indirecte, de la biotechnologie.

A cet égard, C. Martínez Alonso a mis l'accent sur deux startups en biotechnologie appliquée à la santé humaine. La première, qui emploie 350 personnes et qui se trouve au pays basque, le Grupo Biotech Institute, est considéré comme le premier groupe sur le plan de la production scientifique de toute la biotechnologie espagnole. Une de ses lignes de recherche est la mise au point de nouveaux types d'implants dentaires, accompagnée de radiographie 3D. Un produit breveté a été découvert, qui favorise la régénération osseuse en l'espace de cinq semaines et qui peut être utilisé en chirurgie orale, mais aussi en dermatologie. Plus surprenantes sont son utilisation dans le traitement de l'ulcère diabétique (en six semaines), de la dessiccation des yeux (action au niveau de la rétine). Ce groupe possède un réseau de distribution mondiale pour ses produits.

Le second exemple est celui du groupe Genetrix, qui a pris naissance dans un environnement universitaire (CSIC, Conseil supérieur de la recherche scientifique), en particulier dans la sphère de l'immunologie. L'objectif principal du groupe est de produire des médicaments, «du laboratoire

au lit du patient». Genetrix est subdivisée en six compagnies, dont Cellerix qui se spécialise dans le traitement de l'inflammation et de maladies auto-immunes. Cette production se fait à partir de cellules souches dérivées de cellules de tissus adipeux. Un de ces produits est particulièrement efficace dans le traitement des fistules périanales ou encore de la maladie de Crohn (inflammation du tube digestif, au niveau du côlon) : il s'agit du produit Cx601. La compagnie TiGenix a un parcours similaire, elle fusionne avec Celleris pour devenir une entreprise des plus réputées dans la thérapie cellulaire. En 2016, TiGenix s'associe à la compagnie pharmaceutique japonaise Takeda. Puis, l'année suivante, le produit cx601 est licencié à Takeda pour le traitement des fistules périanales. Cela précédait l'étape d'absorption de TiGenix par Takeda. C'est là souvent le destin d'une startup ayant réussi (c'est-à-dire ayant un ou plusieurs produits thérapeutiques), que d'être rachetée par une société multinationale.

7. Alexia PÉROUSE, Directrice générale de Ibionext Growth, Paris, France

Ibionext : exemple d'accélérateur de startups

Ibionext emploie 160 personnes, il a commencé à se développer voilà 5 ans, mais a connu une croissance notable depuis 2 ans (2016). Il s'insère dans une évolution récente de la santé, la médecine personnalisée, et s'efforce d'exploiter les énormes banques de données disponibles (*big data*). Il faut aussi tenir compte de nouveaux acteurs et concurrents comme les GAFA (Google, Apple, Facebook, Amazone, Microsoft) qui détiennent une grande partie de ces données. Enfin, il s'agit de se poser la question fondamentale : que peut-on faire pour les patients, pour certaines maladies encore incurables (cécité, maladies dégénératives du système nerveux central, pathologies cardiaques, par exemple).

Alexia Pérouse propose des solutions : *relier* les disciplines et les compétences, rechercher beaucoup plus de mixité, faire appel aux sciences cognitives, à l'intelligence artificielle, faire converger les savoirs. En définitive, il faut favoriser la création de sociétés ou d'entreprises qui ont ces caractéristiques et qui peuvent attirer les talents. Ces entreprises doivent reposer sur trois piliers : le travail en équipe, le capital ou le financement et les bonnes technologies.

Le financement doit être à la hauteur des ambitions; pour cela il faut trouver du capital-risque, de vrais partenaires financiers, et créer des «écosystèmes» vertueux. Il faut, par exemple, pouvoir lever 50 à 100 millions d'euros pour pouvoir devenir un leader national ou international. Le but est d'innover, non pas de façon incrémentale (innovation à la marge), mais de façon tranchée (*innovation de rupture*). Tout cela doit se faire dans un même lieu, avec des équipes au même endroit et en échangeant les bonnes pratiques. «On est des fabricants d'entreprises», déclare Alexia Pérouse.

Ibionext cherche à lever des fonds de l'ordre de 15 à 20 millions d'euros par entreprise. En réalité, il faut trouver quelque 50 millions d'euros pour créer des «champions» (il faut des fonds d'amorçage, puis il faut passer au bilan et à l'étape suivante, c'est-à-dire trouver des fonds de croissance).

En 2017, quelque 90 millions d'euros ont été levés pour créer cinq «pépites», toutes dans le domaine de la biotechnologie biomédicale.

8. Carlos AMÉRICO PACHECO, Président-Directeur du Conseil administratif et technique de l'Institut de recherche de Sao Paulo, Brésil

Recherche-développement, innovation technologique et intégration industrielle au Brésil : l'aéronautique comme exemple

L'aventure aéronautique du Brésil commence en 1906 avec Santos Dumont, qui a laissé son nom à l'un des aéroports de Rio-de-Janeiro. En 1935, on vise le marché local (brésilien) et on note quelques tentatives de fabrication de petits avions. En 1946, est publié le Smith Plan, et en 1947 l'Institut technologique de l'aéronautique (ITA) s'associe au MIT (*Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA*). Se créent aussi le Centre de Technologie Aéronautique (CTA), puis un *cluster* ou groupement de compétences de recherche-développement, autour de Sao Paulo.

En mai 1950, les premiers étudiants sont admis à l'ITA, qui reçoit depuis 120 étudiants par an : c'est en fait une petite école d'ingénieurs de haut niveau. Il va aboutir progressivement à la création d'EMBRAER. Banderantes est le premier avion

fabriqué par Embraer, dont l'activité a beaucoup dépendu de la défense nationale brésilienne. Créé en 1946, privatisé en 1994, Embraer est aujourd'hui le troisième ou le quatrième fabricant d'avions dans le monde. Il a connu des hauts et des bas, mais il produit en 1970 l'avion Xavantes, puis en 1981 l'AMX (en coopération avec l'Italie). Ces développements marquent le fait qu'Embraer s'est tourné vers les marchés extérieurs (dont les États-Unis en premier lieu). Cette ouverture vers les États-Unis a été, par exemple, marquée par la création d'une usine pour fabriquer l'avion Banderantes.

La crise économique des années 1990 dans le monde a conduit Embraer près de la banqueroute, mais à partir de sa privatisation en 1994 Embraer a entamé une nouvelle phase de développement et a construit une nouvelle famille d'avions (ERS 145), les meilleurs pour les marchés extérieurs. En résumé, nous avons affaire à une vision à long terme, appuyée sur d'excellentes équipes d'ingénieurs (5 à 6000 dans le monde), car Embraer est avant tout une entreprise d'ingénierie.

La discussion qui a suivi cette session a mis en relief les réussites qu'ont pu connaître des efforts d'innovation technologique en biotechnologies biomédicales, dont certaines (en matière de diagnostic et de prévention) sont à la portée du Maroc. Valeriano Ruiz, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, spécialiste de l'utilisation des sources d'énergie renouvelables (Séville), a tenu à affirmer qu'en ce début du 21^{ème} siècle, chacun devrait pouvoir produire sous une forme ou une autre l'énergie, et la stocker pour une utilisation future. C'est, selon lui, la réelle révolution énergétique dans laquelle il faudra bien s'inscrire. Quant à l'aéronautique et à l'exemple brésilien assez spectaculaire, on a rappelé qu'il existe bien une «industrie» aéronautique au Maroc : sous la forme de sous-traitants des grandes compagnies dans ce domaine et de fabrication de composants pour l'exportation. Comment se rapprocher d'une industrialisation qui profite au Maroc, grâce à l'innovation technologique reste un défi; comme c'est d'ailleurs le cas pour l'industrie automobile.

Mercredi 21 février 2018, après-midi

9. Abdelkrim RAMZI, Vice-président production minière, groupe OCP, Maroc

Abdellatif AÏT LAHCEN, Chef du département achats, groupe OCP, Maroc

Innovation et industrialisation dans l'exploitation phosphatière au Maroc

Les deux orateurs représentants du conglomérat industriel public, groupe OCP, ont décrit le nouveau mode de transport des phosphates de la mine de Khouribga jusqu'à Jorf Lasfar, lieu de leur transformation chimique en engrais. Il s'agit de transporter par un pipeline long de 235 km de la «pulpe» de phosphate, contenant 40% d'eau. Ce pipeline, le plus grand du monde dans ce domaine, a été construit en 24 mois et fonctionne depuis 2014. Sa capacité est de 38 millions de tonnes par an. Ce mode de transport a mis fin à celui qui se faisait par voie ferrée, avec des avantages d'économie d'énergie et de prise en compte des contraintes environnementales. Plus de 250 emplois permanents ont été créés par le fonctionnement et l'entretien du pipeline (points de contrôle de ce dernier). Les deux orateurs ont particulièrement insisté sur les changements de mentalité parmi tous ceux qui ont participé à la construction du pipeline et à son fonctionnement. Les collaborations avec la recherche universitaire font partie de la politique d'industrialisation du groupe OCP. En particulier, le processus d'innovation a pu être défini; cela implique un état d'esprit qui comprend ténacité, opiniâtreté et la tolérance de l'erreur. Il convient aussi de former les compétences indispensables : c'est l'objet du complexe polytechnique universitaire Mohammed VI à Benguéir. En Juillet 2018 sera organisé un séminaire sur l'innovation, avec 180 participants. Il y a également sept projets innovants, comme la conduite automatique de bulldozers, la conduite autonome des stockeurs, la digitalisation de beaucoup de processus industriels.

10. Ismaïl AKALAY, MANAGEM, Maroc

Innovations dans l'industrie minière au Maroc et en Afrique

Entreprise privée du groupe SNI, cotée en bourse, MANAGEM emploie 5.500 personnes. Elle exploite au Maroc du minerai de cuivre, produisant 50.000 tonnes et 40.000 tonnes par an respectivement de deux mines. Un deuxième métier de MANAGEM consiste à extraire et à raffiner le cobalt, afin d'obtenir un haut degré de pureté de ce métal. La production est de l'ordre de 2.000 tonnes par an (la République Démocratique du Congo produit 60% du cobalt commercialisé au niveau mondial). D'autres procédés d'extraction et de concentration sont utilisés par MANAGEM pour produire de l'arsenic servant à préserver le bois et trouvant un grand marché aux États-Unis ; pour traiter du sulfure de fer et les déchets miniers qui contiennent ces sulfures afin de produire de l'acide sulfurique (destiné au groupe OCP), de l'oxyde de fer destinés aux cimentiers et de l'énergie dégagée par le processus de transformation chimique.

MANAGEM s'efforce de se rapprocher de l'objectif «zéro déchets» (*zero waste*) dans la plupart de ses processus d'extraction et de transformation des minerais et ainsi s'inscrire dans la charte environnementale du Maroc.

C'est aussi cette politique qui est suivie pour l'exploitation d'une mine d'or au Gabon sise à 800km de Libreville, en pleine forêt primaire. Au lieu d'utiliser le cyanure, MANAGEM a mis au point un procédé gravimétrique et de fusion de l'or. L'agence de notation Vigéo a attesté le respect des critères environnementaux dans l'extraction du métal précieux par MANAGEM. Au Soudan, l'exploitation du minerai d'or est faite à 90% par des artisans mineurs. Le mercure est généralement utilisé pour extraire l'or (après évaporation du vif-argent). MANAGEM a mis au point un procédé industriel qui n'a pas recours au mercure et qui produit 800 kg d'or par an. Cette production pourrait atteindre 2 tonnes par an.

MANAGEM produit aussi de l'oxyde de zinc qui est livré au groupe OCP pour être incorporé dans les engrais (ce métal joue un rôle important dans la croissance des plantes en tant qu'oligoélément ; sur le plan de la physiologie humaine, il joue aussi un rôle essentiel).

L'innovation ne se borne pas à l'amélioration des procédés industriels, mais elle est aussi de nature sociale : par exemple, à Tinéghir, le travail des bijoux associe pleinement les femmes, y compris dans la conception des parures ; assurant ainsi leur promotion sociale.

Quant à l'avenir des exploitations minières de MANAGEM, il est prévu la robotisation de certains procédés, l'élimination complète de certaines nuisances encore présentes sur les sites miniers, la mise en route de machines téléguidées.

11. Omar CHERKAOUI, Directeur de recherche-développement à l'Ecole Supérieure de l'Industrie du Textile et de l'Habillement (ESITH), Casablanca, Maroc

Recherche-développement et innovation dans l'industrie du textile et de l'habillement

L'ESITH est une grande école d'ingénieurs, gérée par une entreprise privée, à Casablanca, sous l'égide du Ministère de l'éducation nationale, de la formation professionnelle, de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, ainsi que du Ministère de l'industrie, du commerce, de l'investissement et de l'économie numérique. L'industrie du textile emploie 160.000 personnes et représente 24% des exportations du Maroc et 5% de la production industrielle nationale. En 2017, les exportations de produits textiles ont rapporté quelque 37 milliards de dirhams.

Dans le cadre du plan d'accélération industrielle, six «écosystèmes» ont été créés et qui concernent: le design, la *fast fashion*, la maille, le textile maison et le textile à usage technique. L'orateur donne les détails sur les caractéristiques des textiles à usage technique, dont le marché en 2015 représentait plus d'un milliard de dollars. Quarante-neuf projets ont été mis en place et l'ESITH organise un événement annuel ouvert à plusieurs partenaires en vue de suivre ces projets et introduire de l'innovation.

12. Mohamed HORANI, Président-Directeur général de HPS, Casablanca, Maroc

HPS, l'innovation et l'agilité au service de l'industrie de paiement

HPS est une compagnie qui fournit des produits et services innovants en matière de paiement mobile. Elle comptait en 2018, 350 clients dans 85 pays (par exemple, le Crédit Agricole, le Japon). HPS s'inscrit dans un contexte mondial où le paiement électronique connaît une croissance à deux chiffres et qui peut menacer les banques. Apple compte 500 millions de cartes Apple B, tandis que le *block chain* représente 500 millions de paiement mobile. Il est vrai que, selon le rapport annuel (2018) Gartner, le monde connaît une digitalisation accélérée ainsi qu'une pénétration de plus en plus marquée de l'intelligence artificielle, avec une interconnexion entre les deux systèmes.

HPS entend devenir l'un des cinq premiers du monde dans sa catégorie, grâce à une croissance durable et à l'innovation. Elle emploie 500 collaborateurs, dont 450 ingénieurs. Elle a des filiales à Dubai, à Maurice, Singapour, Bahrain et aux USA. La *Power Card* de HPS est une suite de logiciels couvrant toute la chaîne de valeur; ce système est capable de résister à la fluctuation du flux de paiement et de supporter de gros volumes de transactions (20 millions). Le développement de HPS a commencé durant la période 1996-2000, puis une industrialisation s'est faite durant 2001-2003. L'expansion de HPS s'est faite durant 2004-2016. En 2017, il s'agissait de consolider et de diversifier la compagnie. Quelque 18% du chiffre d'affaires total sont investis dans la recherche-développement.

Dans la discussion qui a suivi cette session, des commentaires ont été faits sur les nuisances causées par l'exploitation minière ; MANAGEM a répondu qu'il n'était pas question de nier leur existence, mais que l'objectif, qui a été atteint dans plusieurs, reste celui de *zero waste*. D'autres observations ont porté sur le modèle de recherche-développement-innovation de l'ESITH ainsi que sur les avantages compétitifs des produits textiles marocains sur les marchés d'exportation. On a mis l'accent sur la conception (*design*), car le Maroc possède des talents dans ce domaine. Par ailleurs, le Maroc, contrairement à la Turquie, ne maîtrise pas toute la chaîne de valeur (en particulier la production primaire et la filature), et cela constitue sans doute un handicap (il doit en effet importer les textiles de base).

Mercredi 21 février 2018. Fin d'après-midi

13. John OUMA MUGABE, Université de Pretoria, Afrique du Sud,

Mesures stratégiques efficaces en science, technologie et innovation en Afrique : leçons d'Afrique du Sud

L'orateur observe que le plus souvent en Afrique on réduit la politique de science, technologie et innovation (STI) à la politique de recherche-développement ou plus simplement encore à la politique de la science. Or la STI doit permettre de se concentrer sur les défis sociaux (ou sociétaux), de réduire les risques et l'incertitude dans l'évolution sociale. En 2017, 43 pays africains avaient une politique explicite de STI. Dans le cas de l'Afrique du Sud, malgré des progrès dans plusieurs filières industrielles (notamment dans l'exploitation minière), John Ouma Mugabe estime qu'il manque un véritable leadership politique et que la gouvernance dans le domaine de la STI est déficiente. Il en appelle aux académies nationales des sciences et techniques de prendre ce leadership et d'améliorer la situation en Afrique en matière d'innovation technologique.

14. Abdelrhafour TANTAOUI ELARAKI, section agro-industrie, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

Agro-industrie au Maroc : innovations fondatrices

L'agro-industrie au Maroc a aujourd'hui cent ans d'existence : en 1918, étaient ouverts les Moulins du Maghreb; en 1953, la Centrale Laitière. Elle représente 29% de la production industrielle nationale, 5% du PIB national. L'agro-industrie est à la fois tournée vers l'exportation et vers le marché local. Dans ce dernier cas, les PME représentent l'écrasante majorité des acteurs économiques. Parmi les secteurs de l'agro-industrie, la transformation des céréales et la conserve de poissons représentent 56% du chiffre d'affaires annuel de l'agro-industrie marocaine.

A. Tantaoui ELARAKI met en exergue deux innovations technologiques dans cette agro-industrie. La première concerne la mise au point d'un fongicide destiné à la protection des

agrumes contre des moisissures fréquentes (*Penicillium*, *Candida* spp.). Les pertes dues à ces moisissures sont évaluées à 175 millions de dirhams par an. Il faut rappeler que la production d'agrumes varie entre 400.000 et 600.000 tonnes par an, en majorité exportée. Cet additif naturel est ajouté à la pellicule de cire qui entoure les fruits et a l'avantage de ne pas utiliser de fongicides chimiques, souvent rémanents dans l'environnement.

La seconde innovation concerne également un additif naturel, incorporé à l'alimentation des volailles. Le Maroc produit 600.000 tonnes de poulet et 80.000 tonnes de dinde, avec 7.4% d'accroissement par an. Cette production, essentiellement destinée au marché local, représente 55% de la consommation de viande, soit 18 kg par habitant et par an. Les volailles élevées sont très sensibles aux maladies infectieuses. Le traitement de ces dernières est généralement fait par l'addition d'antibiotiques (l'usage de ceux-ci est souvent anarchique et excessif, et cela développe des résistances chez les microbes infectieux); des résidus d'antibiotiques sont souvent détectés dans la volaille consommée. L'additif alimentaire est constitué d'huiles essentielles, d'un composé non dévoilé et d'argile marocaine. Il est protégé par un brevet, déposé par le groupe de recherche responsable des investigations et des expérimentations (Remal et al.). Ce groupe de recherche se trouve à l'Université de Fès.

A. Tantaoui Elaraki insiste sur l'originalité de cette innovation et sur l'impact qu'elle pourrait avoir sur l'aviculture au Maroc. Il reconnaît toutefois que s'agissant d'huiles essentielles, on a affaire à un mélange complexe de molécules, dont une ou plusieurs ont l'effet anti-infectieux recherché. A l'inverse, on connaît beaucoup mieux les molécules d'antibiotiques efficaces, dont il faut éviter l'usage excessif ou anarchique.

15. Sathyanathan INBANATHAN, co-founder of MyAfricanStartUp, Cameroun

MyAfricaStartUp : un accélérateur de startups en Afrique

Le conférencier a commencé par donner les atouts naturels du continent africain en matière

principalement de ses ressources humaines; l'Afrique est un continent jeune, plus de 60% de sa population (1.1 milliard) a un âge moyen de 16 ans. La révolution africaine en matière de création de startups a commencé en 2010. Le premier espace collaboratif à l'échelle africaine a été créé à Nairobi, au Kenya, appelé *Ihub* ; aujourd'hui, il existe plus de 300 hubs à travers le continent. Gearbox (Nairobi) met à la disposition des entrepreneurs africains et locaux les dernières technologies, pour transformer les idées en prototypes et en produits de haute technologie *made in Africa*.

Aujourd'hui, 0.1% de produits de haute technologie sont fabriqués en Afrique. L'Afrique dispose aussi d'écoles supérieures de très haut niveau. Le rêve sera bientôt réalité de voir des produits de haute technologie fabriqués en Afrique et exportés dans les marchés globaux. Le PIB de l'Afrique croît à un taux moyen de 4% et plus par an, et certains pays ont des croissances à deux chiffres comme l'Éthiopie et la Côte d'Ivoire. Le Nigeria et le Rwanda sont parmi les pays les plus innovants d'Afrique. A titre d'exemple au Rwanda, «appelé la Suisse d'Afrique», il est possible de mettre en place une startup ou une entreprise à l'aide de son smartphone, le gouvernement met à la disposition des entrepreneurs un fonds de 100 millions de dollars.

Outre les problèmes de compétences, de modèle économique, d'étude de marché et de *business plan*, la principale difficulté que rencontrent les startups, durant les cinq premières années de leur existence, est le financement. Le prérequis est l'identification des startups potentiellement prometteuses, les aider à accélérer leur croissance et les incuber dans un environnement adéquat. L'orateur cite Mark Zuckerberg qui, lors de sa visite à Nairobi, a déclaré «le futur du monde est en cours de construction en Afrique».

La vision de MyAfricanStartUp est d'aider le secteur privé en Afrique, en soutenant des startups innovantes, qui créent des emplois durables et ayant une visibilité par rapport aux investisseurs, les médias et le public. Pour atteindre ces objectifs, MyAfricanStartUp a mis en place les mécanismes suivants :

- a. la mise à disposition d'une plate-forme digitale, *cococo.myafricanstartup.com*, où les inventeurs peuvent inscrire leurs projets en ligne, ce qui permet à MyAfricanStartUp de les introduire auprès des médias et des investisseurs potentiels;
- b. un événement annuel (le premier a lieu à Abidjan, en Côte d'Ivoire) qui a sélectionné 40 entrepreneurs de différents pays d'Afrique, qui ont fait le voyage en bus à travers cinq pays d'Afrique, de Lagos en passant par Accra (Ghana), pour arriver à Abidjan; grâce à ce voyage les entrepreneurs ont pu échanger et développer leurs idées en affaires (*businesses*) devant les médias et les investisseurs; deux startups ont pu trouver des investisseurs;
- c. pour améliorer la visibilité des startups et les aider à trouver des investisseurs potentiels, un magazine nommé «**100 African startups pour investir**» est publié annuellement, ainsi qu'un programme de télévision de 52 épisodes, destiné aux investisseurs et au public. Grâce à ce magazine, il a été possible d'attirer 3.5 millions d'euros pour 17 startups.

Compte-rendu du panel "De la recherche à l'innovation technologique : succès et défis"

Mahfoud ZIYAD

Membre résident de l'Académie Hassan II des sciences et Techniques



Après une présentation des animateurs invités (voir annexe p. 69), le professeur M. Bousmina, chancelier de l'Académie, a précisé que le but du panel intitulé «De la recherche à l'innovation : succès et défis» est d'**aboutir à des recommandations sur les moyens d'accélérer l'industrialisation du Maroc. Evidemment, ces recommandations doivent préconiser des solutions susceptibles de développer la R&D et d'améliorer le taux d'intégration industrielle afin de résorber le taux trop élevé du chômage.**

L'état actuel de l'industrialisation du pays n'est pas totalement satisfaisant du fait qu'à part les délocalisations d'usines étrangères, il n'y a pas une création suffisante de postes de travail par les sociétés locales malgré tous les efforts d'investissements et les encouragements financiers consentis par l'Etat.

Un benchmark à l'échelle internationale montre en effet qu'uniquement 16% du PIB marocain proviennent de l'industrie alors qu'il faudrait, pour ambitionner un développement harmonieux, atteindre les 25%. Pour cela, il est nécessaire de lutter contre tout ce qui fragilise la création de richesses comme l'économie de rente. Parallèlement, il faut mettre en place des incitations financières qui favorisent les initiatives et encouragent la création d'unités industrielles innovantes. L'esprit entrepreneurial ne se décrète pas mais se forge dès le plus jeune âge par l'éducation et la pratique. Pour être novateur, il faut pouvoir réfléchir de manière rationnelle et 'out of the box'. C'est à ce prix qu'on accède au développement. Une industrie innovante est un maillon nécessaire pour intégrer la compétition internationale et créer de nouvelles richesses.

Un enseignement compétitif et de grande qualité est également essentiel dans l'acquisition des connaissances. C'est le savoir qui permet de produire des idées innovantes, de créer des startups, des postes de travail et une industrialisation réfléchie. Nous devons trouver

le modèle adéquat pour accroître le 'Made in Morocco': c'est là le sujet de nos préoccupations d'aujourd'hui.

Par la suite, les questionnements du modérateur M. Bousmina ont permis tour à tour à chaque membre du panel de présenter les actions menées par l'organisme ou l'institution qu'il représente et de conclure par des recommandations.

1) Comment s'y prendre pour accroître et développer la création de start-ups dans le domaine des sources d'énergie renouvelables? Cas de IRESEN.

Après avoir évoqué toutes les actions développées par IRESEN depuis sa création en 2011 et rappelé son dévouement au soutien de la recherche dans les domaines des sources d'énergie renouvelables et énergies nouvelles, M. Badr Ikken, son directeur général, a particulièrement insisté sur le rôle que jouent les relations qui se sont établies entre les universités et des entreprises par l'intermédiaire de projets communs. Ces relations sont utiles aux deux parties. L'entreprise s'enrichit du savoir scientifique de l'université et inversement l'université acquiert une expérience pratique en se frottant aux exigences du monde entrepreneurial. Les universités découvrent le rôle joué par le temps dans la compétitivité des entreprises. Les industriels ont besoin de résultats concrets dans des temps raisonnables. Cette compréhension des exigences et impératifs des uns et des autres ne peut être atteinte que par des échanges de ressources humaines compétentes. Elles sont le moyen le plus efficace pour vaincre les entraves qui gênent l'établissement de partenariats entreprises/universités utiles à la recherche et à son financement.

IRESEN en tant qu'agence de moyens dispose actuellement de deux instruments qui lui permettent de concrétiser sa politique de développement de la recherche sur les énergies propres. Il s'agit :

- des projets collaboratifs qui ont été conçus pour accompagner la stratégie nationale dans le domaine des sources d'énergie renouvelables. Leur objectif essentiel est d'assurer le transfert de technologie et des résultats de la recherche des laboratoires vers l'industrie. L'ambition derrière ces projets est de transformer le Maroc en un hub technologique dans le domaine des énergies renouvelables grâce à la mise en place de centres d'excellence et de groupes de recherche performants;
- de la plateforme de recherche, de test et de formation sur les sources d'énergie renouvelables (Green Energy Park) qui a été aménagée à Benguerir à proximité de l'université Mohammed VI polytechnique. Cette plate-forme comprend aussi des laboratoires de recherche, installés dans les bâtiments annexes à la plate-forme. Ils ont pour mission d'étudier les matériaux et leurs performances dans les dispositifs de conversion des énergies renouvelables. Cette plate-forme est un espace qui a principalement pour objectif de mutualiser les moyens et de fédérer les efforts de tous les acteurs du secteur.

Le directeur général de IRESEN a également évoqué durant son intervention le rôle important que joue l'adhésion de l'OCP (Office Chérifien des Phosphates) à tous les programmes développés par IRESEN en finançant la recherche et l'innovation. IRESEN jouit également du soutien du Ministère de l'énergie, de l'eau et de l'environnement. Le modèle d'action qui a inspiré IRESEN est celui des Instituts Fraunhofer adapté aux exigences et possibilités du Maroc.

Les recommandations qu'a proposées *Monsieur Badr Ikken* concernent :

- *Les rencontres sur les TRL (Technology Readiness Level) qu'a initié l'Académie sont importantes pour la structuration de la recherche parce qu'elles permettent de déterminer l'état de maturité technologique d'une recherche. Elles permettent également de limiter les risques de surestimation et donc de non-aboutissement des projets. Tous les chercheurs doivent y être sensibilisés afin d'évaluer correctement le degré de maturité de leurs recherches.*
- *Il faut également que le soutien qui est apporté à toutes les structures de recherche existantes se pérennise pour que des traditions se créent et*

qu'un environnement favorable à la recherche se perpétue. Dans cette perspective, MASciR (Moroccan Fondation for Advanced Science, Innovation & Recherche) -qui a été créé en 2007 et qui a pour but la promotion de la recherche, le développement technologique et la formation de chercheurs de haut niveau- doit continuer à prospérer et recevoir un soutien.

- *Les institutions de recherche doivent avoir des programmes qui s'étalent sur le long terme. Ceci est important à cause de la visibilité dans les actions à mener et la politique qu'il faut suivre. A ce titre, IRESEN a un programme sur 10 ans.*

2) Comment transformer la science et la technologie dispensées par les établissements d'enseignement en un moteur de développement?

Dans ce cadre le professeur *T. Bounahmidi* a rappelé les principales missions de l'université qui sont :

- En premier lieu l'enseignement, qui inculque aux apprenants les principes de base de la science. Cet apprentissage est indispensable mais insuffisant car lorsque la qualité des apprenants ou celle des enseignants n'est pas de bon niveau, les objectifs attendus du système ne seront évidemment pas atteints;
- La recherche scientifique et technologique ensuite, qui va permettre l'insertion des lauréat(e)s dans le tissu socioéconomique lorsqu'il est apte à les recevoir. Ce flux de connaissances de l'université vers l'entreprise (et inversement) est nécessaire au développement de l'innovation;
- La R&D et l'innovation en troisième lieu, composante bien trop souvent oubliée et probablement la plus importante. C'est d'elle qu'il faut partir pour bâtir un enseignement de qualité et une recherche de haut niveau, ce qui n'est malheureusement pas encore le cas.

Les échanges université/entreprise restent des cas particuliers et c'est probablement l'une des raisons qui justifient l'incapacité de la majorité des entreprises à trouver le chemin de l'innovation et du succès.

Plusieurs tentatives ont été faites pour mettre la recherche et les universités à la place qui devraient être la leur. A titre d'exemple, la création du compte hors budget en 1993 qui, hélas, n'existe

plus aujourd'hui. Des incitations financières importantes ont aussi été mises en place ainsi que des appels à projets correctement financés. Malheureusement, tout cela n'a pas donné les résultats escomptés. En 1997, R&D Maroc a été créée. La loi 01-00 comporte un article concernant l'encouragement des Universités à se gérer comme des entreprises et à se constituer en société pour la commercialisation de biens ou services dans les domaines scientifiques et technologiques (Loi 01-00 article 7 '*Dans le cadre des missions qui leurs sont dévolues par la présente loi, les universités peuvent assurer par voie de convention, des prestations de services à titre onéreux, créer des incubateurs d'entreprises innovantes, exploiter des brevets et licences et commercialiser les produits de leurs activités...*'). Aucune de ces mesures n'a réellement abouti à des résultats concrets. Le seul bienfait de toutes les mesures promulguées est qu'aujourd'hui, tout le monde est sensibilisé aux difficultés et entraves qui freinent le développement d'une recherche productive et créatrice de richesse.

Le professeur T. Bounahmidi a conclu son intervention par les deux recommandations suivantes:

- *Institutionnaliser toutes les chaînes de valeurs décrites précédemment et inciter les universités à créer des activités entrepreneuriales afin de transformer, quand cela est faisable, leur production scientifique en innovation.*
- *Mettre en place un prix récompensant la créativité et l'innovation dans les universités afin qu'elles se constituent en moteur de développement.*

3) Comment pourrait-on, au vu de notre situation actuelle, créer des liens entre l'université et les entreprises? Devons-nous d'abord trouver le modèle adéquat pour résoudre cette problématique?

En tant que représentant de la CGEM, Monsieur A. Iraqui a évoqué dans ce cadre les contraintes auxquelles sont soumises aussi bien les entreprises que les universités et qui ne facilitent pas l'établissement de liens ni de dialogue :

- Les universités ont besoin de plus de ressources humaines efficaces et compétentes.
- Les charges horaires sont actuellement trop lourdes et il conviendrait de les aménager de manière à laisser plus de place aux activités de recherche.

- Le management des universités devrait être soumis à de fréquentes évaluations objectives qui leur permettraient d'améliorer leurs rendements et la qualité de leurs prestations.

Il convient également signaler que le niveau des connaissances des jeunes bacheliers sortant de notre système d'éducation est trop bas. Cela entraîne automatiquement une baisse du niveau étudiant et par suite de presque toutes les activités universitaires. On assiste à un nivellement par le bas qui a des conséquences néfastes sur toute la chaîne de valeurs. Cette nette cassure entre le niveau que devrait avoir les universités et celui constaté aujourd'hui handicape fortement la recherche et l'innovation. Tout ceci a fini par produire une perte de confiance dans l'enseignement d'une manière générale.

Les entreprises quant à elles ont des programmes qu'elles doivent respecter et boucler dans les normes et en un temps déterminé. Cette contrainte n'existe probablement pas dans les universités qui s'inscrivent souvent dans le long terme. Cette différence de langage et de dimension temporelle complique le dialogue.

Monsieur A. Iraqui a conclu son intervention par les recommandations suivantes :

- *Il faut réactiver les interfaces entreprise/université qui permettraient d'instaurer un dialogue et des échanges entre les institutions de recherche et le monde économique. Cet outil de communication existe déjà, il suffit juste de le réactiver en lui juxtaposant un système d'évaluation objectif des résultats.*
- *Les clusters sont aussi un outil utile à mettre en valeur car ils sont sources d'innovation (exemple de l'imprimante 3D).*
- *Il faut également accorder plus de crédit aux stages effectués en entreprise par les étudiants. C'est un moment fort dans leur cursus. Ces stages permettent de mettre en pratique les concepts appris à l'université. A l'heure où nous voyons presque partout une diminution, sinon la disparition totale et malheureuse des Travaux Pratiques, il est vital de garder aux stages toute leur signification.*
- *Les mécanismes à mettre en place pour avoir une recherche de qualité et une R&D indispensable à l'industrialisation sont évidemment multiples. Les échanges entre l'université et les entreprises sont probablement le meilleur outil de transfert du savoir entre ces institutions.*

- *Il faudrait peut-être aussi instaurer des cours sur société au sein des universités afin d'accroître la sensibilisation des étudiants à la recherche et à ses applications.*

4) Que faut-il faire pour créer une dynamique qui favoriserait l'émergence d'un écosystème durable et efficace dans l'apparition de jeunes entrepreneurs innovants?

En réponse à cette question, Monsieur L. Zniber, a exposé sa compréhension et son analyse des diverses entraves qui freinent la créativité et l'innovation au Maroc. L'innovation est une culture et non une technologie. Cette culture a un langage spécifique. Pour aborder l'innovation, il faut tout d'abord se mettre dans cette culture et en finir avec les mythes qui circulent à ce sujet. A titre d'exemple, on peut citer la COPAG qui réussit parce qu'elle développe et s'appuie sur des actions sociales fortes, elle développe une culture d'entreprise. Pour innover, il faut brasser et croiser les idées. Si nous restons uniquement entre nous, autant que nous sommes ici, nous ne pourrions pas innover. Par ailleurs, innover est aujourd'hui une obligation grandissante pour les entreprises. Celles qui n'innovent pas risquent tout simplement la disparition. Il faut aussi signaler que les conditions et le mode de fonctionnement des grandes entreprises a souvent un temps de réponse trop long par rapport aux changements de l'environnement. Par contre les startups, de par leur taille et constitution, peuvent rapidement sans grand coût innover et s'adapter aux exigences des marchés. De ceci il résulte qu'une association entre grandes entreprises et startups ne peut qu'être bénéfique aux deux structures.

Notre action en tant qu'association qui développe les moyens d'accélération d'émergence de jeunes startups efficaces à fort potentiel de croissance consiste en leur accompagnement. Nous intervenons au début pour la formation et l'engagement des jeunes aspirants entrepreneurs. Nous nous efforçons à faire évoluer les mentalités et nous jouons le rôle d'interface entre les jeunes startups et les bailleurs de fonds.

Recommandations suggérées :

- *Développer des politiques capables d'attirer les talents qui étudient et restent à l'étranger. Des compétences formées au Maroc le quittent pour aller en Europe et ailleurs (brain drain). Il faut*

déployer tous les moyens pour rendre le Maroc plus attractifs.

- *Communiquer, sensibiliser, améliorer les formations en ouvrant toutes les infrastructures aux entrepreneurs. L'innovation s'alimente de concret.*
- *Collaborer dans des cadres bien définis avec ceux qui innovent. On ne peut pas tout faire tout seul. La collaboration et les partenariats sont essentiels dans ce domaine.*
- *Ne pas réinventer la roue. L'innovation s'alimente d'idées nouvelles.*

Le professeur M. Bousmina a repris la parole en répliquant qu'on ne communique jamais assez et qu'on a absolument besoin de technologies pour se développer. Il a cité l'exemple de la Silicon Valley créée par la prestigieuse université Stanford (Frederick Terman) qui est un siège et un pôle de startups et compagnies de haute technologie (Apple, Google ...).

5) Monsieur A. Belfakir a par la suite présenté la COPAG (Coopérative Agricole Marocaine) qu'il représente et dont la principale mission est la mise en place de conditions de pérennisation d'une agriculture créatrice de valeurs et efficace. Son objectif est aussi l'intégration de toute la chaîne de valeur du métier. Comme pour toutes les coopératives qui œuvrent dans le domaine agricole, le PIB de COPAG dépend des couleurs du ciel. Cependant, pour rester créatifs et compétitifs, il y a un investissement continu dans les infrastructures, la technologie et la formation.

La COPAG a été créée en 1987. Actuellement, elle emploie environ 6000 personnes, regroupe 72 coopératives dont 3 féminines et a un chiffre d'affaire qui avoisine les 4 milliards de dirhams. Ses principales activités sont concentrées sur la production:

- de lait (deuxième producteur de lait au Maroc),
- de la viande rouge de boucherie,
- le maraichage.
- et les jus de fruits.

La clef du succès de la COPAG est l'innovation, aussi bien en amont qu'en aval de toutes les productions. La pratique de la veille technologique dans les domaines de ses activités, la multiplication de partenariats avec d'autres coopératives étrangères, l'importation de toutes

les technologies nouvelles nécessaires, la pratique d'une économie verte et l'appel aux énergies vertes autant que possible, l'irrigation faite de manière localisée et pilotée par un réseau de stations météorologiques, le recyclage des eaux usées industrielles sont des exemples de cette innovation.

La COPAG investit également dans les énergies renouvelables et a des projets dans le pompage solaire, le photovoltaïque, le biogaz et le chauffage thermo-solaire.

La COPAG œuvre aussi dans le domaine social. Elle a créé une association qui profite à ses employés et leurs enfants. Cette association accompagne le personnel dans ses moments de joie et de difficultés.

6) *ASK ME Digital Maroc* est une agence spécialisée dans les solutions interactives (bornes interactives). L'agence a été fondée il y a sept ans et a à son actif le plus grand écran tactile d'Afrique. Monsieur S. Chaoui, son directeur général aspire à l'émergence, dans son domaine, d'une industrie marocaine et insiste sur les constats suivants :

- Difficultés dans le domaine du numérique à recruter des collaborateurs compétents,
- Le Maroc aurait dû prendre l'exemple de l'Inde qui possède aujourd'hui une industrie qui réussit (modèle de l'innovation frugale),
- Difficultés de formation de compétences sûres car les formateurs eux même ne sont pas efficaces,
- Manque d'information et les échanges restent insuffisants sur plusieurs niveaux. Les choses doivent changer doucement mais sûrement,
- Le marché marocain est petit. Nous avons besoin de l'extérieur,
- Il est urgent d'équiper les universités en technologies récentes pour qu'elles puissent exercer correctement leur mission et former des lauréats compétents.

Les interventions de l'audience.

Suite aux exposés faits par les invités au panel, le modérateur s'est adressé à l'audience pour recueillir ses observations, ses recommandations sur les moyens à mettre en œuvre pour accélérer le développement de l'innovation et de l'employabilité dans le pays. Les principaux points et recommandations évoqués concernent :

- *Monsieur Taïeb Chkili, membre résident de l'Académie*

- Il ne faut pas s'étonner que les relations entreprises/universités soient des exceptions. La loi 01-00 est claire mais n'a jamais été correctement appliquée. L'autonomie des universités doit être économique, administrative et de gestion.
- Le monde syndical a probablement une large responsabilité dans la non application de cette loi 01-00.
- Le plan d'urgence, à sa mise en place, a apporté un souffle d'espoir aux universités dans l'accomplissement de leur mission. Malheureusement, il a été arrêté, sans justification, au bout de deux ans.

- *Monsieur Philippe Tanguy, membre associé de l'Académie*

- Les TRL semblent permettre une structuration de la recherche, cependant, elles ne fournissent pas de modèle.
- Pour développer une recherche qui débouche sur des applications et une création de startups innovantes il est important d'avoir :
 - ✓ des talents,
 - ✓ un capital,
 - ✓ des outils adéquats,
 - ✓ une gestion du risque associée au capital. Aux USA, par exemple, il existe une culture du risque. Se reporter toujours à l'Etat n'est pas une solution, en plus cela ne marche pas.

- *Monsieur R. Benmokhtar Benabdellah, membre résident de l'Académie*

- la problématique abordée était d'ordre culturel et qu'il faut induire des réflexes qui accordent plus de liberté aux individus. A ce titre, il a cité plusieurs exemples de réussite parmi lesquelles celle de Toyota qui recueille auprès de ses ouvriers 90% des innovations à introduire dans les automobiles qu'elle commercialise.
- dans l'enseignement, qui évidemment est à la base de tout développement, il faut changer de paradigme. Il faut donner plus de liberté d'action aux enseignants.

- *Monsieur M. Ghallab, membre résident de l'Académie*

- les statuts sont un paramètre important au même titre de les conditions sociales, et les conditions académiques. Ils assurent la qualité et l'efficacité des acteurs du développement.
 - le politique n'est pas en reste dans cette problématique. Il lui est dévolu d'élaborer une politique claire et une vision qui favorise l'innovation.
- *Monsieur M. Smani*, membre correspondant de l'Académie et directeur de R&D Maroc, a signalé que le plan d'amorçage a été mis en place sans aboutir à des résultats positifs. Il a émis les recommandations suivantes :
- Rétablir le compte hors-budget,
 - Renforcer et institutionnaliser les structures (incubateurs),
 - Favoriser le recrutement de postdoctorants.
- *Monsieur A. Kousir du Groupe OCP*
- S'inspirer de l'expérience indienne, c'est-à-dire de l'innovation frugale, qui consiste à répondre à un besoin de manière efficace en utilisant un minimum de moyens (solution de qualité à bas coût).
 - Pour améliorer la communication et la sensibilisation, il serait peut-être intéressant que l'Académie mette en œuvre une caravane de l'innovation.
- *Monsieur A. El Manira, membre résident de l'Académie*
- Il est important que tous les enfants du pays aient les mêmes opportunités. On élargit ainsi les chances d'avoir des innovateurs en plus grand nombre,
 - La sensibilisation à tous les niveaux est un paramètre important,
 - La proximité avec les centres de prise de décision est importante pour les chercheurs,
 - Encourager les créateurs de savoir et de connaissance. L'Etat ne doit forcément décider de tous les axes de recherche explorés. La liberté est source de développement de l'intelligence.

Par ailleurs, *Monsieur Houmy Karim, professeur à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II* nous a communiqué par écrit les recommandations suivantes :

- La première concerne les ressources humaines en enseignants-chercheurs. En effet, il y a

actuellement des départs massifs à la retraite alors que le renouvellement reste assez timide. Il est important qu'il y ait une vision claire de la gestion des ressources humaines qui sont à la base de la production du savoir.

- La deuxième recommandation concerne le rôle des médias et surtout de la télévision. Il est ressorti des discussions que l'innovation reste un état d'esprit et une culture que les jeunes doivent développer. Dans cette perspective, le rôle de la télévision est incontournable à l'image de ce qui se fait dans les pays développés. A titre d'exemple, au Japon il y a une chaîne de télévision dédiée uniquement à l'innovation. Il serait utile d'organiser des émissions de télévision sur l'innovation en impliquant des chercheurs et des industriels.

Pour *Monsieur M. Kabbaj, membre résident de l'Académie*, les problèmes de la recherche et de l'innovation technologique sont complexes. Il n'existe probablement pas une solution unique. C'est une combinaison de plusieurs exigences et conditions qui finissent par aboutir à un modèle qui donne des résultats.

Suite à cette discussion et recommandations, le professeur M. Bousmina a clôturé le panel en remerciant l'assistance pour les commentaires et suggestions avancées.

- Annexe -

Le panel a été modéré par le professeur M. Bousmina, chancelier de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques du Maroc et Président de l'Université Euro-Méditerranéenne de Fès. Les animateurs invités au panel sont :

Badr Ikken : directeur général de l'Institut de Recherche en Energie Solaire et Energies Nouvelles (IRESEN).

Pr. Tijani Bounahmidi : membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, vice-président chargé des affaires administratives et juridiques de l'Université Euromed de Fès.

Abdelmajid Iraqui : représentant de la Confédération Générale des Entreprises du Maroc (CGEM).

Ahmed Belfakir : représentant de la Coopérative Agricole Marocaine (COPAG).

Leyth Zniber : entrepreneur, fondateur de *Impact Lab* et directeur de *NUMA-Casablanca*.

Saad Chaoui : directeur général - *ASK ME Digital Maroc*.



12^{ème} session anniversaire de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Présentation

Dans le cadre de la Célébration du 12^{ème} anniversaire de son installation par Sa Majesté le Roi que Dieu L'assiste, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a tenu en son siège une session ordinaire le 10 mai 2018. A cette occasion, les points suivants ont été étudiés:

1. Préparation de la session plénière solennelle annuelle 2019

Conformément aux décisions des instances de l'Académie, le projet de thématique scientifique de la quatorzième session plénière solennelle proposée est «Ingénierie et Médecine». La coordonnatrice du comité préparatoire, le professeur Wafa Skalli, a présenté les détails du projet de thématique ainsi que l'avant-projet de programme. L'accent est mis sur quatre domaines : cancer, musculo-squelettique, sciences neurologiques et cardiovasculaires, permettant ainsi de couvrir les disciplines suivantes : la biomécanique et les biomatériaux, le numérique et l'intelligence artificielle, la biophysique et l'instrumentation médicale, l'ingénierie tissulaire, la biophysique et l'imagerie médicale, la thérapie par rayonnements ionisants, ...

Les dates proposées sont les 26, 27 et 28 février 2019 et le projet de programme finalisé suivra les procédures habituelles en vue de son adoption définitive.

2. Présentation du canevas du document recherche

Le Secrétaire perpétuel a présenté le canevas du projet de document sur l'état de la recherche au Maroc, qui fait suite aux deux documents de 2009 et de 2012 intitulés respectivement: «Pour une relance de la recherche scientifique et technique au service du développement du Maroc» et «Développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité – un état des lieux et des recommandations clés».

3. Propositions de thématique de la Session plénière solennelle annuelle 2020

Deux propositions ont été présentées pour la Session plénière solennelle 2020 :

- La première proposition présentée par le Collège des sciences physiques et chimiques est : «Science et Technologie : des Concepts Fondamentaux aux Réalités Industrielles»;
- La deuxième, présentée par le Collège des sciences et techniques de l'environnement, de la terre et de la mer est : «Préservation du patrimoine naturel et développement durable au Maroc».

Les deux projets de thématique, après leur finalisation par les Collèges concernés, seront soumis aux instances de l'Académie.

Allocution du Pr. Omar FASSI-FEHRI Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques*



**Chers collègues académiciens,
Mesdames et Messieurs,**

Cette année nous organisons un peu plutôt la session ordinaire commémorative de l'anniversaire de l'installation solennelle de notre Académie par Sa Majesté Le Roi Mohammed VI –que Dieu le Garde–, qui a eu lieu, il y a douze ans, le jeudi 18 mai 2006, où nous avons eu l'insigne honneur d'être reçu par Sa Majesté le Roi au Palais Royal d'Agadir.

La solennité avec laquelle il a été procédé à l'installation de notre institution, la sollicitude royale qui a entouré sa mise en place, le Soutien de Sa Majesté à toutes nos activités et Sa bienveillance, traduisent la volonté de Sa Majesté le Roi Mohammed VI –que Dieu Le garde– de voir notre Académie s'acquitter de sa mission et de poursuivre les objectifs qui lui sont assignés. Qu'il me soit permis de nouveau au nom de l'ensemble des académiciens de présenter à Sa Majesté le Roi l'expression de notre profonde reconnaissance et de notre déférente gratitude, en priant le Tout puissant de nous aider à être dignes de la confiance Royale et de Sa bienveillance.

**Chers collègues académiciens,
Mesdames et Messieurs,**

Le premier point inscrit dans l'ordre de jour de cette session ordinaire commémorative est la réflexion et la discussion préliminaires du thème scientifique général de la session plénière solennelle 2019.

Comme vous le saviez, une des plus importantes activités de notre prestigieuse Institution, est la session plénière solennelle. C'est un rendez-vous annuel qui permet celle réunir de façon régulière l'ensemble des membres de l'Académie, pour développer les échanges et la communication entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale, sur un thème scientifique général, aux fins de contribuer à l'accroissement et à la diffusion du savoir scientifique et d'accompagner le modèle de développement de notre pays.

La Commission des Travaux propose le thème «ingénierie et médecine» comme thème scientifique général pour la session plénière prochaine. Cette session serait une session plénière interdisciplinaire par excellence car elle permettra la participation de plusieurs spécialistes de différentes disciplines tels que des cliniciens, des chercheurs en sciences de la vie, des chercheurs en mathématiques, en physique, en sciences de l'ingénieur ainsi que des industriels. Cette session permettra aussi de renforcer les liens de collaboration entre ces différents intervenants. Le choix de ce thème a été dicté aussi par l'importance de l'ingénierie et de médecine dans le développement de notre pays.

A la fin de cette intervention, nous aurons l'honneur d'écouter Mme le Professeur Wafa Skalli qui va nous présenter l'objectif et les grandes lignes de la session plénière prochaine.

(*) Allocution donnée à l'occasion du douzième anniversaire de l'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques - 10 mai 2018 -

Le deuxième point inscrit dans l'ordre du jour de cette session ordinaire commémorative est à l'adoption du sommaire et de canevas général pour l'édition d'un nouveau document se rapportant à la recherche scientifique et à l'innovation technologique dans notre pays.

Six ans après l'édition du document intitulé «Développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité», qui donne un aperçu sur l'état de la science au Maroc (données 2010), analyse la situation de la recherche dans notre pays et enfin préconise un certain nombre de recommandations clés pour corriger les faiblesses et renforcer les aspects considérés encourageants, une nouvelle étude s'impose pour voir comment les choses ont évolué durant ces dernières années. Le projet que nous souhaitons éditer aujourd'hui à la lumière des données actualisées, essaye d'expliquer que même si la situation n'a pas empiré, la «relance» préconisée et souhaitée n'a pas encore réellement commencée.

L'intérêt de cet exercice auquel l'Académie se consacre avec sérieux, et comme stipulé par son Dahir de création, réside bien sûr dans le souci naturel de toute communauté scientifique de connaître où elle en est et à quel niveau se situe-t-elle, mais il est justifié encore plus par le fait, aujourd'hui bien reconnu, que malgré les progrès manifestes réalisés, le modèle du développement économique, social et culturel de notre pays s'est essouffé au fil des ans. Il n'est plus adapté et peine à répondre à toutes les attentes des citoyens, à satisfaire leurs besoins croissants, à réduire les disparités sociales et les écarts territoriaux et à réaliser la justice sociale.

C'est pourquoi Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde, dans son Discours prononcé à l'occasion de la rentrée parlementaire de 2017, a invité les forces vives de la Nation et même l'ensemble du pays, ses institutions et ses instances, chacun dans son domaine de compétence "à reconsidérer notre modèle de développement pour le mettre en phase avec les évolutions que connaît le pays".

A cet égard, la pertinence de la recherche-développement et de l'innovation technologique dans le développement de notre pays est bien ce que l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a établi à travers les deux documents déjà publiés et ce qu'il compte faire à propos de ce troisième document dans le but de cerner les contours d'une politique scientifique et technologique novatrice qui accompagne un nouveau modèle de développement pour notre pays.

Joyeux anniversaire à notre Compagnie et puisse Dieu couronner de succès nos actions et de nous aider à mériter la confiance de Sa Majesté le Roi Mohammed VI et être digne de Sa bienveillance.

Je vous remercie pour votre attention.



**Biotechnologies environnementales :
recherche, applications et défis
pour le Maroc**

Objectifs et conclusions du 4^{ème} symposium international sur les biotechnologies



A. SASSON



O. ASSOBEI



A. EL HASSANI

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Université Sidi Mohammed Ben Abdellah de Fès ont organisé, du 13 au 14 février 2018, à la Faculté de médecine et de pharmacie de cette université, le second symposium international sur les «biotechnologies environnementales», le précédent s'étant tenu à l'Université Chouaib Doukkali d'El Jadida en 2009. Ce symposium fut aussi le 4^{ème} symposium international consacré aux biotechnologies à l'échelle du Maroc, placé sous l'égide de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

A ce symposium étaient invités des académiciens, des enseignants-chercheurs, des doctorants et des étudiants de l'USMBA en grande majorité. Le symposium a bénéficié en outre de l'expertise d'invités du Portugal (Mme Maria Salomé-Pais, Secrétaire perpétuelle de l'Académie de Lisbonne), des Pays-Bas et d'Espagne (Universités d'Almeria et de Granada).



Ouverture du 4^{ème} Symposium International sur les Biotechnologies à Fès

Objectifs

Les biotechnologies environnementales ont recours à l'action intégrée des sciences de la vie et des sciences de l'ingénieur pour exploiter la grande diversité biochimique et génétique des micro-organismes et des végétaux dans la réhabilitation

et la préservation de l'environnement ainsi que dans la gestion durable des ressources naturelles.

Des procédés biotechnologiques ont déjà été utilisés et de façon efficace dans la protection de l'environnement depuis fort longtemps (par exemple dans les installations municipales

d'épuration des eaux usées ou pour purifier le gaz de ville). Le progrès des connaissances a été rapide dans le traitement des déchets; le développement de produits et de procédés moins polluants et utilisant moins de ressources non renouvelables et moins d'énergie; la détection des polluants ; la surveillance de la qualité de l'environnement et la prévention de sa dégradation. Les biotechnologies appliquées à l'environnement ne concernent pas seulement la biorémediation, mais aussi la production d'enzymes utilisées dans les industries alimentaires, textiles, la fabrication de détergents ou le tannage des cuirs, la synthèse de bioplastiques à partir de polymères d'origine végétale et microbienne; la production d'agrocarburants à partir d'huiles végétales ou d'éthanol provenant de la fermentation d'amidon de maïs ou de sucre de canne. Dans tous ces procédés, les microorganismes (bactéries, actinomycètes, levures, champignons, micro-algues) jouent un rôle prépondérant; ce qui a conduit à employer l'expression «la révolution invisible» pour désigner l'impact des biotechnologies industrielles et environnementales. Les végétaux peuvent aussi contribuer au traitement des effluents domestiques, industriels et à l'élimination de polluants (phytorémediation).

L'usage de ces biotechnologies nécessite la mise en place de réglementations appropriées, conformes aux objectifs d'un développement durable et à des normes de biosécurité adéquates.

Le 4^{ème} SIB, qui sera organisé à Fès en février 2018 conjointement par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, portera sur les méthodes de diagnostic (analyse, surveillance et contrôle de la qualité de l'eau, de l'air, du sol, etc.), la biorémediation (décontamination de l'air, de l'eau et du sol), le traitement et l'élimination des déchets (liquides et solides). Il soulignera également l'amélioration des procédés biotechnologiques appliqués dans les principaux secteurs de l'industrie chimique et préservant l'environnement.

L'importante urbanisation et la croissance économique que connaît le Maroc ont eu pour effet d'augmenter les effluents et les déchets aussi bien liquides, solides que gazeux. Ces rejets, souvent non traités, amplifient les déséquilibres environnementaux à la périphérie des villes et menacent la qualité de vie, l'assainissement des effluents et déchets liquides et solides accusent

des retards importants. Les technologies de traitement des eaux usées utilisées au Maroc sont généralement de type biologique dont les performances épuratrices restent limitées et montrent souvent de graves dysfonctionnements de leurs habitats. Malgré les efforts faits jusqu'ici, la maîtrise et le développement de technologies de biorémediation efficaces, aussi bien de l'eau, des sols que de l'air sont donc indispensables pour préserver la santé publique, la qualité de l'environnement et des paysages. En conséquence, les domaines suivants des biotechnologies environnementales sera traité au cours de ce symposium :

- biorémediation appliquée au traitement des pollutions de l'eau (biopotabilisation de l'eau, traitement des eaux usées et des effluents industriels) et du sol (bioenrichissement, biostimulation, compostage, bioréhabilitation, phytoremediation) ;
- détection et suivi des substances polluantes et suivi de leurs concentrations ainsi que de leurs effets environnementaux (bioindicateurs, biomarqueurs ou biodétecteurs) ;
- perception publique et réglementation : un large débat public et une réglementation adéquate sont toujours indispensables pour garantir la sécurité des biotechnologies environnementales et pour s'assurer de leur acceptation par la société.

CONCLUSIONS

1. La conférence introductive du symposium, présentée par Albert Sasson, membre résident de l'Académie Hassan II des sciences et techniques, a souligné la haute priorité qu'il convient d'accorder au traitement des eaux usées, des effluents industriels et de toutes sortes de liquides chargés de divers polluants, afin de récupérer et recycler un produit devenu de plus en plus rare, l'eau. Celle-ci peut être utilisée à des fins diverses (agriculture, industrie et même eau de boisson selon la sophistication des processus de décontamination). Les divers processus de bioremediation, qui le plus souvent font appel à l'action de divers microorganismes, en aérobiose ou en anaérobiose (par exemple pour éliminer les nitrates, très graves polluants issus des activités d'élevage. Le Maroc, en raison de l'aridification de son climat, depuis des décennies, d'une pluviométrie devenue encore plus aléatoire, d'événements climatiques

erratiques, doit attacher la plus grande importance à l'optimisation de ses ressources en eau. Le traitement, de plus en plus complet, des eaux usées et des effluents industriels contribue à ces efforts d'économie. De fait, il existe des plans d'assainissement des eaux, comme des déchets

solides organiques. Il convient de réaliser ces plans avec précision, de porter la plus grande attention à la réparation et au fonctionnement des usines de traitement (qu'il s'agisse surtout de lagunage naturel ou aéré, mais aussi de nouvelles usines pour traiter les boues résiduelles de ce traitement).



Conférence d'ouverture du Pr Albert SASSON

Il existe de bonnes pratiques dans le monde, que le Maroc peut adopter ou adapter, comme il est nécessaire de renforcer la recherche sur les microorganismes impliqués dans la biorémédiation des eaux. Il ne faut pas non plus oublier une règle d'or qui est celle de la déconcentration des usines de traitement en petites unités bien réparties sur le territoire, faciles à gérer et à réparer, et construites avec des matériaux locaux et robustes.

Le Maroc connaît aussi une augmentation régulière de toutes sortes de déchets : construction, déchets organiques des ménages, déchets industriels, déchets de produits électroniques et micropolluants nouveaux (par exemple les substances pharmaceutiques, médicaments, hormones). Le contrôle des décharges s'impose, comme le compostage des déchets organiques par diverses techniques visant à produire un engrais et un amendement, qui enrichit les sols et qui en améliore la structure.

La phytoremédiation, enfin, utilise des plantes pour fixer les déchets de mines ou de scories de diverses

industries, les plantes pouvant aussi absorber dans leurs tissus de grandes concentrations de métaux lourds. La récupération de ceux-ci pour divers usages (catalyse, alliages) nécessite l'incinération d'une partie des plantes... Des espèces natives de plantes peuvent être très utiles à la fois pour la fixation des sols et l'absorption de métaux lourds.

Omar Assobhei (Président de l'Université Sidi Mohammed Ben Abdellah de Fès et membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, intervenant à l'ouverture de cette rencontre internationale, a indiqué que ce symposium propose pour le débat des thèmes liés aux biotechnologies, notamment le traitement des eaux usées et des déchets solides. Soulignant l'importance des biotechnologies dans la lutte contre le phénomène de la pollution sous toutes ses formes, il a précisé aussi que cette rencontre est l'occasion pour les experts, les chercheurs et les acteurs socio-professionnels d'approfondir la réflexion et d'échanger les expériences, avec pour but la promotion de ce type de technologies.



Les professeurs Ahmed EL HASSANI, Omar ASSOBBHEI et Maria SALOMÉ

Pour sa part, Ahmed El Hassani, membre résident et directeur du « Collège des sciences et techniques de l'environnement, de la terre et de la mer » de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, représentant son Secrétaire Perpétuel le professeur Omar fassi-Fehri, a qualifié l'excellente opportunité pour la communauté scientifique de débattre des possibilités offertes par les biotechnologies environnementales pour le développement du Maroc. Il a ajouté que cette rencontre est l'occasion d'évaluer les progrès réalisés en matière de biotechnologies environnementales, de discuter des réglementations appropriées, de définir l'évolution de la recherche scientifique dans ce domaine et identifier les axes prioritaire pour le Royaume.

2. Les communications présentées au titre de la biorémédiation des eaux usées et des effluents industriels, ont mis l'accent sur l'importance des efforts du Maroc à ce sujet, tout en reconnaissant encore des difficultés dues à la mise au point des procédés, à l'accroissement parfois anarchique des effluents, à des entraves administratives ou encore à la résolution de problèmes de techniques d'épuration ou de choix entre celles-ci. Tous ces efforts, on l'a souligné, contribuent directement ou indirectement aux objectifs du développement durable, que le Maroc a inscrit dans des textes réglementaires ou législatifs, ou parce qu'il a souscrit aux conventions internationales dans ce domaine. Le recyclage de certains déchets, comme les matières plastiques, est sans doute partie d'une économie « plus verte » et de la dépollution des paysages et des sols. Le Maroc est appelé à renforcer les efforts déployés dans ce sens.

3. La recherche universitaire, la nécessaire alliance entre les travaux effectués à ce titre avec les bonnes pratiques des ingénieurs chargés des usines ou des procédés d'épuration, ont été signalés. En particulier, un mode de traitement des eaux usées, mis au point à l'Université Chouaib Doukkali d'El Jadida par Omar Assobhei et ses collègues, connu sous le nom de Ralbi, et soutenu par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, mérite d'être signalé : robuste et bien adapté aux conditions locales, il serait en passe d'être adopté pour équiper une agglomération de 2000 habitants (à Dar Chaoui, dans le Rif central). Le souhait demeure que ce procédé soit rétabli à l'Université d'El Jadida, puis qu'il soit diffusé dans des établissements humains de petite taille, où il peut rendre de grands et précieux services.

4. Outre les microbes hétérotrophes, qui se développent à l'obscurité, consomment et dégradent des substances organiques, des plus complexes aux plus simples, les micro-algues photosynthétiques, notamment certaines espèces (*Chlorella*, *Scenedesmus*, ...), peuvent servir à décontaminer les eaux en les débarrassant de substances minérales et en séquestrant le gaz carbonique de l'air pollué par ce gaz ou non. La biomasse engendrée peut être utilisée comme aliment d'animaux d'élevage, au lieu d'être convertie en biodiesel (peu économique) ou simplement incinérée après séchage. Il y a aussi dans cette biomasse des substances utiles (pigments, colorants, antioxydants, etc.). Les micro-algues n'étaient pas le sujet principal de la biorémédiation, mais elles méritaient d'être traitées en raison de leur rôle dans beaucoup d'environnements aquatiques, à la fois sur le plan

de la biorémédiation et de la nutrition ultérieure d'animaux (pisciculture, aviculture, etc.).

5. Un domaine peu étudié de la biorémédiation est celle réalisée par les champignons et les moisissures. Il s'agit d'un monde microbien et végétal peu exploré et qui peut être particulièrement efficace dans la dégradation de composés complexes (par exemple médicaments, substances polymères ou composés aromatiques). E. Aranda de l'Université de Grenade a développé ce point, alors que par ailleurs des recherches particulièrement actives intéressent plusieurs souches de champignons, dont on extrait des enzymes utilisées dans les lessives (Novozymes, par exemple, recherche des cellulases ou des enzymes du même type pour les introduire dans des lessives, qui seront utilisées à plus basse température et feront faire une grosse économie d'énergie; d'où «économie verte»).

6. Ces champignons, moisissures et autres microorganismes sont souvent impossibles à cultiver au laboratoire, sur les milieux synthétiques habituels. La métagénomique permet de les détecter grâce à de leur ADN, séquencé par des machines de haut débit. M. Ettayebi de l'USMBA a exposé les techniques utilisées pour déceler ces groupes de microbes, et au delà, leur rôle dans la biorémédiation (mais pas uniquement).

7. Quant au traitement des déchets organiques, il convient de signaler toutes les variantes techniques du compostage; ce dernier est particulièrement recommandé au Maroc, où les sols doivent être enrichis en matière organique et être ameublés (amélioration de leur structure). Une collaboration s'avère indispensable entre la recherche universitaire et les stations de traitement

des déchets solides ou semi-solides, afin de mettre au point à grande échelle les techniques de traitement ainsi que pour vérifier leur efficacité. Il convient de toujours tenir compte de la nécessité de déconcentrer les stations de traitement, afin de gérer des unités de dimension raisonnable et de les entretenir de façon durable.

8. Deux collègues invités de l'Université de Grenade et d'Almeria ont respectivement exposé des techniques d'épuration des eaux superficielles polluées par des hydrocarbures, en utilisant des biofilms, ainsi que la production de biofertilisants (ou biostimulants) à partir de micro-algues cultivées dans des eaux usées.

Enfin, un collègue néerlandais de l'Institut de Delft a résumé comment les techniques de traitement des eaux usées, des déchets solides ou de la biolixiviation des minerais par voie microbiologique (biomining) pourraient contribuer à la biotechnologie environnementale et au développement durable; l'ensemble fonctionnant en cycle court, à petite échelle et impliquant divers acteurs (épurateurs, agriculteurs biologiques, recycleurs des déchets, personnel en charge de l'entretien des décharges contrôlées et de méthanisation).

9. Un procédé, peut-être source d'innovation, est celui développé par Mme S. El Abed (USMBA) et qui concerne les piles à combustibles microbiennes et leur utilisation dans le traitement des eaux usées, en vue de produire de l'électricité. Selon l'enseignante-chercheuse de l'USMBA, des travaux de recherche assez significatifs sont menés sur ce sujet dans le monde et une startup a été créée pour développer le procédé et le diffuser.



Les conférenciers du 4^{ème} symposium international sur les biotechnologies

Résumés des conférences

Programme National d'Assainissement Liquide -Bilan des réalisations de l'ONEE-

Abdelaziz STILI
ONEE, Maroc

STILI ABDELAZIZ

SEFROU

Email : astili@onee.ma

Le programme ambitieux de l'ONEE en matière d'assainissement liquide consiste à contribuer dans le cadre du Programme National d'Assainissement Liquide (PNA) à la réduction de la pollution engendrée par les eaux usées d'au moins 60% et à l'amélioration du taux de raccordement à l'assainissement pour atteindre 80% en milieu urbain. Ainsi, l'Office a pu réaliser dans le cadre de ce programme, à la fin de 2016, un parc de 93 stations d'épuration (STEP) totalisant une capacité de dépollution des eaux usées urbaines d'environ 353 225 m³/j, permettant ainsi l'amélioration des conditions environnementales en général et du milieu récepteur de ces eaux usées en particulier. Il a été aussi réalisé en matière de réseau d'assainissement environ 9 000 Km de collecteurs.

Les investissements réalisés par l'ONEE en matière d'assainissement à la fin de 2016 s'élèvent à 10,9 milliards de Dirhams et ont permis d'atteindre les résultats suivants :

- Linéaire de réseau posé : environ 5 000 km
- Nombre de STEP réalisées : 93 STEP
- Capacité d'épuration : 353 225 m³/j
- Centres d'intervention en assainissement : 112 centres
- Population bénéficiaire : 4,63 millions habitants.

Pour la concrétisation de ces programmes, des études d'impact sur l'environnement, respectant les normes et les pratiques nationales et internationales

les plus strictes, sont systématiquement réalisées avant le lancement de tout projet d'équipement ou d'extension. Ces études sont examinées et validées, conformément à la réglementation en vigueur, par le Comité des Etudes d'Impact. Le processus de validation regroupe les experts des différentes administrations et les autorités locales et fait intervenir la société civile et les populations concernées.

A noter que l'ONEE est accompagné dans ses actions par des institutions internationales telles que les banques de développement, qui font de la sauvegarde de l'environnement un préalable à tout octroi de financement aux projets de l'Office.

Par ailleurs, soucieux du rôle de la société civile et du citoyen, l'ONEE participe activement dans les actions de sensibilisation et dans les programmes de la Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement, à savoir, «Plages Propres» en partenariat avec plusieurs Communes, «Eco-école», «Compensation Carbone» et «clef verte».

Gestion intégrée et durable des ressources en eau pour un développement harmonieux au niveau du bassin du Sebou

Samira EL HOUAT

Agence du Bassin Hydraulique du Sebou



Suite à la loi sur l'Eau de 1995, le Maroc a mis en place une gestion décentralisée et intégrée des ressources en eau au moyen de la création des Agences de Bassins Hydrauliques. L'agence du Bassin du Sebou, qui compte parmi les plus importantes, jouit d'un potentiel en ressources en eau aussi bien superficielle que souterraine, relativement important permettant d'accompagner le développement socio-économique au niveau de tout le bassin.

Toutefois, et en raison des impacts des changements climatiques conjugués à un développement accéléré dans tous les domaines, les ressources en eau deviennent de plus en plus vulnérables et imposent une gestion rationnelle et une préservation contre tout type d'altération en quantité ou en qualité.

Parmi les contraintes, la pollution requiert une attention particulière au niveau du bassin du Sebou. Un programme de dépollution a été alors élaboré et mis en œuvre progressivement par l'ensemble des intervenants. Néanmoins, il est nécessaire de mobiliser les moyens nécessaires, et de mutualiser les efforts de toutes les parties prenantes, en plus des actions de sensibilisation et cela en vue de la préservation des ressources en eau et de garantir un développement durable et inclusif à travers tout le bassin du Sebou.

Traitement des eaux usées au Maroc: apports de la recherche marocaine

Omar ASSOBBEI

USMBA et Académie Hassan II des Sciences et Techniques



La biodénitrification ou dénitrification biologique est un processus enzymatique de transformation des nitrates. L'élimination des nitrates (substance minérale oxygénée) en anaérobie est le résultat de l'utilisation de l'oxygène de cette molécule comme accepteur final des électrons dans les réactions d'oxydation des substrats organiques via l'enzyme nitrate réductase, en fin de chaîne du transport électronique lors de la respiration anaérobie.

Ce processus, qui se produit essentiellement en anaérobiose, a souvent été utilisé pour éliminer les nitrates contenus dans les eaux souterraines destinées à la consommation humaine afin de préserver la santé des enfants et des personnes âgées contre les effets nocifs de ces composés. La dénitrification biologique est aussi utilisée dans les filières de traitement des eaux usées pour réduire les teneurs en nitrates; souvent en traitement de

finition ou en traitement principal dans le cas des eaux usées de certaines industries riches en ces composés.

La biodénitrification a été expérimentée dans le cadre du projet RALBI (réacteur anaérobie à lit bactérien immergé) pour le traitement principal des eaux usées domestiques (traitement secondaire). La principale motivation de cette démarche réside dans le fait que ce processus permet une oxydation complète des substrats organiques en anaérobiose permettant des économies considérables dans le traitement des eaux usées.

La biodénitrification anaérobie des eaux riches en matières organiques se rapproche davantage des procédés de biodégradation de ces matières par voie aérobie consommatrices d'oxygène moléculaire et donc d'énergie (agitation et/ou d'aération). Mais aussi en termes d'efficacité métabolique et de vitesse de croissance des microorganismes dénitrifiants.

Le procédé RALBI optimisé, associé à d'autres améliorations techniques a été adopté pour constituer une filière de traitement robuste et économique; et cela afin de répondre à un besoin du Maroc en technologies adaptées aux conditions économiques et techniques des collectivités locales et des secteurs industriels et touristiques qui souffrent d'un manque d'infrastructures d'épuration.

Le projet RALBI a pour objectif de contribuer à combler ce déficit par la mise en œuvre d'une approche biotechnologique originale caractérisée par son efficacité de traitement des eaux usées, l'absence des mauvaises odeurs, la réduction des boues et des temps de séjour, la faible occupation de sol et le faible coût des ouvrages.

Dans le cadre du projet RALBI, une unité pilote a été mise en place au sein de l'Université Chouaib Doukkali d'El Jadida. Elle permet de traiter les rejets du campus universitaire entre autres. Les eaux traitées serviront pour arroser les jardins et pelouses de l'Université. Le projet RALBI, servira également de plateforme de démonstration, de formation par la recherche et d'expérimentation de nouveaux procédés de traitement des eaux usées.

Fungal bioremediation: from bioprospecting to real application

Elizabet ARANDA
Université de Grenade



Micropollutants are persistent contaminants widely distributed. Fungi represent the most abundant biomass in soils and possess versatile bioremediation features that make them suitable

microorganisms for soil recovery and polluted water. However, the potential and its capability to remove recalcitrant compounds have been poorly studied, in particular fungi colonizing polluted environments. Extreme environmental conditions have made them able to develop strategies to counteract and resist the presence of different contaminants. In this study, a bioprospection of fungi dwelling polluted environments has been performed and different species have been selected for bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons and emerging contaminants. The proteomic study and the scaling up to bioreactor indicate a high potential of these microorganisms to be applied in real waste-water treatment plants.

Metagenomics, Microbial Biodiversity and Applications in Biotechnology

El Mohamed ETTAYEBI
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

The rapid developments of bioinformatics and new generation sequencing technologies have recently stimulated a revolution in the field of genomics. New scientific branches are quickly transforming our understanding of biological processes. These include pharmacogenomics, chemical genomics and metagenomics. Metagenomics is allowing us to uncover all microorganisms living in a specific environmental niche; the richness, complexity and evolution of microbial biodiversity as well as the discovery of new genes and new metabolic pathways. In fact, culture independent methods

are important for the analysis of the structure and function of whole microbial communities. Moreover, metagenomics is being applied to various biotechnologies ranging from analyzing the symbiosis and dysbiosis of human microbiome in relation with different human diseases, to environmental quality control and discovery of novel bioactive compounds. Both functional and targeted metagenomics strategies are employed in the discovery of novel natural products to develop bioenergy, improve environment monitoring, and meet the needs of bio-industries. Some of the applications of metagenomics will be discussed as well as some propositions for promoting these technologies in Morocco.

Treatment of hydrocarbon polluted water by biofilms formed on the surface of hydrophobic sorbents

Concepción CALVO
Université de Grenade



Hydrocarbon polluted waters is an environmental problem which causes serious ecological damage having a negative effect on different areas as health, agriculture, fishing etc. For this reason, it attracts interest and

is a matter of concern not only in the scientific community, but also at social and political levels.

The aim of this research was the treatment of hydrocarbon polluted waters using sorbent carrier and the development of the experimental design, from the laboratory to a pilot plant. Effectiveness of the process was evaluated by monitoring heterotrophic and degrading bacterial growth, the biofilm formation by scanning electron microscopy, and the evolution of hydrocarbon content by gravimetric and gas chromatography/mass spectrometry analyses.

According to the results obtained, the effectiveness of a system which uses bio-absorbent materials for the treatment of hydrocarbon polluted waters, has been confirmed.

Biofertilisers for the valorisation of microalgae biomass via wastewater treatment strategy

Joaquin POZO DENGRA
 BIORIZON BIOTECH, Almería



Background: conventional activated sludge processes transform wastewater contaminants into non-valuable products as N₂ and CO₂, while consuming large amounts of energy. Using microalgae-bacteria consortia for wastewater treatment, it

is possible to : reduce power consumption to 0.10kWh/m³ versus 0.50kWh/m³ of conventional systems; recover nitrogen from wastewater (nitrogen fertilizer production requires 10-15kWh/m³); alleviate phosphorus depletion by recovering it from wastewater; minimize CO₂ emissions from conventional wastewater treatment systems; and produce valuable products such as biofertilizers for food production.

Objectives: the aim of this study was the evaluation of microalgae biomass from a wastewater treatment process as suitable raw material for the valorization into valuable biofertilisers for agriculture by enzymatic hydrolysis.

Methods: the wastewater treatment with microalgae-bacteria was carried out in two race-way system (32m², 9.6m³) (Aqualia). Absorbance measurement was used to determine the cell growth by means of culture's optical density (550nm) using spectrophotometer (UNICAM, Helios b). Harvested biomass was treated by enzymatic hydrolysis with an enzymatic cocktail, optimised for this purpose, in a bioreactor specifically designed. Hydrolysis process was evaluated by measuring the released amino-acids using 9-Fluorenylmethyl Chloroformate (FMOC-Cl) method. Then, hydrolysed product was formulated to obtain a microalgae-based biofertilisers. Biofertiliser was evaluated versus a conventional mineral fertilisation during a spring tomato crop cycle, developed under greenhouse conditions in the southeast of Spain.

Conclusions: microalgae biomass obtained from a wastewater process is fully suitable to be used as biofertilisers, thus increasing the profitability of the wastewater treatment process.

Environmental Biotechnology for sustainable development: waste to energy, green mining and wastewater reuse in the city of the future

Piet LENS
 IHE Delft Institute for Water Education-Pays-Bas



The world is facing formidable challenges in meeting the rising demands of potable water and consumer products. The health and welfare of people are closely connected to the availability of adequate, safe and affordable

water supplies. Also cost-effective recovery methods of chemicals and resources from waste and wastewater play an increasing role in sustaining human civilisation on Earth.

Energy and feedstock materials for the industry are in increasing demand. With constraints related to availability and use of oil, the energy and chemical industry are undergoing considerable changes.

The need for the use of cheaper and widely available feedstocks, and the development of sustainable and environment-friendly chemical processes is rapidly growing under both economical and public pressure. Therefore, treatment of wastewaters, waste gas and solid waste need to be gradually integrated into process design. Instead of discharging their waste into the environment, industries need to become increasingly self-sufficient and recover compounds from their own wastestreams; or use (upgraded) wastestreams of neighbouring industries as raw materials.

Sustainable waste-treatment concepts are under development with environmental biotechnology as key component, and can lead to the recovery of useful by-products, like chemicals in the form of e.g. fertilizers (ammonia, phosphates), raw materials (elemental sulfur and selenium, sulfuric acid,...) or energy (biogas, hydrogen or electricity). This presentation will give several examples related to waste treatment for the production of energy, to "green mining" and wastewater reuse.

Etude comparative du compostage des boues et des déchets verts au Maroc : quelle approche pour un développement durable ?

Mohammed RIHANI

Université Chouaib Doukkali - El Jadida



Les systèmes de purification adoptés au Maroc pour le traitement des eaux usées génèrent annuellement des quantités considérables de boues qui devraient atteindre 300 000 tonnes d'ici 2025.

Plusieurs études de compostage de ces boues mélangées à des déchets verts ont été proposées comme des approches biotechnologiques de traitement : en bioréacteurs, en andains et à l'échelle semi-industrielle, en tenant compte du climat et des conditions socio-économiques du pays.

Si la valorisation agricole des boues par compostage est d'un grand intérêt, en particulier pour les sols du Maroc à faible teneur en matière organique, d'autres filières de valorisation énergétique ou de bioremédiation des polluants organiques et métalliques des sols peuvent être adoptées et avoir pour objectif un développement durable.

Piles à combustible microbiennes : nouvelle technologie de traitement des eaux usées et production d'électricité

Soumya EL ABED

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah



L'exploitation de nouvelles sources d'énergie constitue un enjeu essentiel au niveau mondial. De plus en plus, on cherche à développer des filières de production d'énergies propres et renouvelables qui permettront de fournir de l'énergie tout en diminuant les impacts négatifs sur l'environnement. Au cœur de cette problématique figure le traitement des effluents, tant urbains qu'industriels, par les stations d'épuration. La technologie des piles à combustible microbiennes (PCMs) se situe à l'interface de ces deux problématiques énergétiques et environnementales. En étant susceptible d'utiliser toute sorte de matières organiques comme combustible, elle présente le double avantage de produire de l'énergie électrique et d'intensifier les procédés de traitement des eaux usées.

Cette présentation donnera le principe de base de la technologie des PCMs et l'état actuel de la recherche. Différents exemples d'utilisation de la technologie des piles à combustible microbiennes pour le traitement des eaux usées seront présentés. Les différents facteurs affectant les performances des PCMS seront également discutés.



Activités de l'Académie

Compte rendu de la 10^e session de l'école académique Modélisation et prospective économique

Sfae AKODAD

Université Mohammed V de Rabat

Le Collège «Études stratégiques et développement économique» (Académie Hassan II des Sciences et Techniques) a organisé la dixième session de l'École Académique «Modélisation et prospective économique» le samedi 28 avril 2018 à Rabat. Spécialisée en économie mathématique, modélisation, économétrie, économie expérimentale et prospective, l'école académique s'est déroulée en deux séquences : une séquence «conférences» et une séquence «présentation et discussion de travaux de thèses».

Conférences

Après l'allocution introductive du professeur Nouredine El Aoufi, trois conférences ont été données.

La problématique du développement, qui constitue pour l'école académique une thématique fédératrice, a fait l'objet de l'intervention de Rédouane Taouil (Université de Grenoble Alpes et membre de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques). En effet, selon le conférencier, à se pencher sur le consensus de Washington, qui incarne la tradition de recherche dominante en économie de développement, on s'aperçoit que cette catégorie n'est plus représentative de l'objet et de l'identité d'une discipline à part. Dans cette disposition, l'économie du développement n'est plus une discipline dotée d'un objet propre, mais un terrain d'exploration des problématiques et modèles de l'économie de la croissance endogène, de la macro-économie de l'équilibre, de la micro-économie de la concurrence imparfaite, de l'économie institutionnelle.

La seconde conférence de Mohamed Soual (Groupe OCP et Centre d'études et de recherche de Grenoble) a porté sur le thème de l'expérimentation par assignation aléatoire. L'orateur se situe dans le cadre de l'analyse causale de données d'expériences (les traitements sont

affectés à chaque unité expérimentale par tirage au sort). A partir de travaux récents qui reposent sur une approche contrefactuelle invoquant des résultats potentiels de l'inférence causale, M. Soual précise que l'inférence causale permet de tirer des conclusions sur des relations de cause à effet à l'aide d'observations empiriques.

A l'aide d'un estimateur VI normalisé, Mohamed Doukkali (Centre inter-universitaire de recherche en économie quantitative, Montréal, Canada), a tenté d'analyser l'estimation efficace d'un paramètre de dimension finie dans un modèle linéaire où le nombre d'instruments peut être très grand. Cependant, en échantillons finis, l'utilisation d'un grand nombre de conditions de moments accroît le biais des estimateurs VI. Cette situation pourrait s'aggraver en présence d'instruments faibles. Ainsi, M. Doukkali propose une version régularisée de l'estimateur Jackknife (RJIVE) basée sur trois méthodes de régularisation différentes, Tikhonov, Landweber Fridman et composantes principales, qui réduisent le biais. Les résultats obtenus, à partir de l'étude de l'impact de l'éducation (mesurée par le nombre des années de scolarité) sur les salaires aux Etats-Unis en se basant sur un échantillon de 325.509 individus, montrent qu'une année supplémentaire de scolarité augmente le salaire des individus de 10%.

Travaux de thèse

Huit travaux ont été exposés par des doctorants faisant appel à des approches théoriques et empiriques variées et éprouvées selon les standards internationaux.

Dans une première communication, Hamid Bouguendou s'est intéressé à l'impact des chocs de croissance sur la dette publique au Maroc à travers l'étude d'un ensemble de tests économétriques et un modèle VAR structurel (SVAR). En effet, après la crise de 2007 et la hausse

des déficits et de la dette publique dans plusieurs pays, de nombreuses études empiriques se sont attelées à montrer la relation entre la dette et la croissance économique. Bien que le débat actuel mette l'accent sur l'impact de la dette publique sur la croissance économique, Bouguendou essaye d'explorer l'évolution de la dette publique au Maroc en réaction à un choc de croissance.

Sur le même thème, Ouïem Ouahhabi fait une analyse de la soutenabilité de la dette publique au Maroc à partir d'approches rétrospectives et prospectives. Elle commence par une analyse des faits stylisés qui retracent l'évolution de la dette publique au Maroc depuis les années 70 jusqu'à aujourd'hui, suivie par un survol de la structure de la dette publique (par instrument, par maturité initiale, par terme résiduel, par taux d'intérêt, par devises).

Ensuite, O. Ouahhabi cherche à déterminer un seuil de soutenabilité en utilisant une modélisation en panel à effet de seuil à l'aide d'un modèle à transition lisse, afin de mettre en place une règle budgétaire flexible compatible avec le contexte économique et social de l'économie marocaine.

Poursuivant sur la problématique de la croissance, le travail de thèse de Omar Chafik a pour objectif d'estimer la croissance potentielle de l'économie marocaine sur la période 1991-2016. Pour ce faire, trois méthodes ont été adoptées : le lissage statistique par le filtre HP, une approche structurelle basée sur la fonction de production et une méthode hybride exploitant les propriétés des filtres statistiques et les postulats de la théorie économique dans le cadre d'un modèle semi-structurel. Les résultats des estimations, en faisant la distinction entre les secteurs agricole et non agricole, s'accordent sur une baisse de la croissance potentielle au Maroc. Ainsi, le ralentissement constaté dans le secteur agricole est-il justifié par la contraction de la contribution du facteur travail dans la croissance potentielle. Tandis que la baisse enregistrée dans le secteur non agricole tiendrait davantage à l'atonie de la productivité et au fléchissement de l'investissement.

Cette baisse de la croissance potentielle implique un écart de production négatif, l'urgence est de redresser la demande tout en préservant les équilibres de long terme. Redresser la demande passe par une politique monétaire très accommodante. L'indépendance de la banque centrale permet d'éviter l'influence des pouvoirs politiques qui tendent plutôt à accorder plus d'importance aux résultats à court terme qu'à long terme, ce qui pourrait entraîner des effets inflationnistes et rendre la politique monétaire inefficace. Dans cette perspective, Moulay-Driss Saïkak s'interroge dans son travail sur le degré d'indépendance de la Banque centrale marocaine (Bank Al-Maghrib). En effet, la raison spécifique de l'indépendance de la Banque centrale tient à la divergence des objectifs politiques du gouvernement et ceux de l'efficacité économique. Dans sans exposé, M.-D. Saïkak interpelle la pertinence de pouvoir mesurer le degré d'indépendance afin d'apprécier la performance relative des différentes Banques centrales dans la conduite de la politique monétaire. Ainsi, à la lumière des travaux de certains économistes, l'orateur propose de mesurer cette indépendance à travers l'indice de Cukierman.

Par ailleurs, en étudiant les corrélations multifractales prix-volume de la bourse marocaine, Marwane El Alaoui montre que l'hypothèse de l'efficacité du marché boursier marocain est difficilement vérifiable. L'analyse empirique adoptée est basée sur des méthodes empruntées à la statistique physique, principalement, la méthode du *Multifractal Detrended Fluctuation Analysis* (MF-DFA). L'avantage de cette méthode est qu'elle est adaptée, simultanément, aux séries stationnaires et non stationnaires. De plus elle permet de détecter le comportement multifractal des séries financières aussi bien dans les marchés développés qu'émergents. Les résultats confirment que le marché boursier marocain est inter-corrélé, inefficace et présente des caractéristiques complexes, dynamiques et turbulentes.

Dans ce contexte d'incertitude et face à un environnement devenant de plus en plus difficile, hostile et exigeant, les entreprises au Maroc sont exposées au risque de défaillance.

Afin de bien comprendre les caractéristiques de la défaillance des PME au Maroc, Réda El Afi, propose d'identifier les déterminants de ce phénomène en s'appuyant sur les enseignements théoriques. Il en résulte une définition du concept de la défaillance selon trois approches : économique, juridique et financière. A travers l'analyse de ces différentes dimensions, il ressort que les facteurs de la défaillance des entreprises sont multiples et variés.

La question de la protection sociale a fait l'objet de deux communications. Dans sa présentation, Hajar Dahane a essayé, à travers un modèle d'équilibre général, d'étudier la possibilité d'appliquer un revenu de base inconditionnel au Maroc et de simuler les différents scénarios de financement. En effet, malgré les efforts déployés par les pouvoirs publics, la pauvreté et l'exclusion constituent toujours un défi freinant la cohésion, le développement et la paix sociale. Le processus de décompensation qui a été initié par le gouvernement n'a fait qu'aggraver davantage la situation des citoyens les plus pauvres. Les mesures de ciblage adoptées ont montré leurs limites et ne font que renforcer les écarts sociaux

et ancrer les sentiments de marginalisation et de discrimination. De ce fait, l'idée d'un revenu de base, universel et inconditionné se fonde sur le principe que chaque citoyen devrait disposer, sans contrepartie, d'un moyen de subsistance en espèces. Cette idée stimulante soulève d'emblée la question de sa faisabilité financière et de ses incidences sociétales.

Quant à Younes Ennaciri, son travail a pour objet l'analyse de la pension de retraite au Maroc. En effet, un système de pension inadapté pourrait causer un risque systémique dans le monde financier qui est de nature à déstabiliser le marché mondial. En se référant à la documentation relative au système de pension anglais, système qui est bien développé et réglementé, l'orateur fait appel à la finance islamique pour anticiper et prendre les précautions nécessaires, en développant des produits dérivés, permettant d'éviter le choc auquel le Maroc est en train de faire face. Le produit proposé fonctionne sur la base du «tabbarru'» (donation) dans la phase de contribution à l'accumulation de fonds et de «wa'ad iltezami» pour celle de «décumulation» lors du versement mensuel aux membres (qui remplace la rente).

Visite à l'Académie de membres de l'Académie chinoise des sciences

Le collège des sciences physiques et chimiques a reçu le 20 Mars 2018 au siège de l'Académie Hassan II messieurs M. Guoron Li et M. Jianhua Yang, professeurs à l'Institut de Céramique de Shanghai et membres de l'Académie Chinoise des Sciences. Le directeur du Collège, E.H Saïdi, a pris la parole en premier pour souhaiter la bienvenue aux hôtes chinois de l'Académie Hassan II et leur transmettre les salutations de Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie et son souhait de promouvoir les relations scientifiques et techniques avec la république populaire de Chine, en particulier dans leurs domaines d'expertise. Il a aussi présenté quelques récentes activités du CSPC ainsi que les grandes lignes du programme du collège pour l'année en cours. Ensuite, le directeur du CSPC a donné la parole aux participants à la réunion de travail selon le programme de la visite. Monsieur A. Benyoussef a présenté les principales missions de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques; il a aussi passé en revue quelques activités entreprises au sein des universités marocaines et des instituts scientifiques nationaux

dans le domaine des matériaux. Messieurs M. Yang et M. Li ont successivement pris la parole afin de présenter l'Institut de Céramique de Shanghai-Chine; et aussi pour donner à leur tour une idée sur la structuration et les missions de l'Académie Chinoise des Sciences. Les deux invités chinois ont passé brièvement en revue l'importance que joue l'Institut de Céramique de Shanghai en tant qu'établissement de l'enseignement supérieur mais aussi dans le domaine de la recherche scientifique et les applications industrielles.

Monsieur E.M Essassi, membre du collège, a présenté dans son intervention des activités de recherche scientifique nationales dans le domaine de la chimie des céramiques. Il a aussi souligné rôle des sciences physiques et chimiques comme un relais important pour le développement des échanges scientifiques et techniques. Les membres du collège présents et leurs hôtes chinois ont ensuite exploré des possibilités d'échange et de coopération scientifiques dans le domaine des matériaux avec des scientifiques marocains.



Séance de discussion des membres du collège avec M. Guoron Li et M. Jianhua Yang, professeurs à l'Institut de Céramique de Shanghai, République de Chine populaire.



Photo souvenir à l'entrée principale de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Les conférences de l'académie

Renaissance et promesses actuelles de l'intelligence artificielle

Jean-Gabriel GANASCIA

Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie - Paris
Président du comité d'éthique du CNRS - France



Merci de m'avoir invité à parler d'intelligence artificielle. Je vais commencer tout de suite mon exposé sur «la renaissance et les promesses actuelles de l'intelligence artificielle» et puis je parlerai ensuite des questions ouvertes, des questions de société liées au développement de l'intelligence artificielle.

«Je vais commencer par l'histoire de cette discipline et montrer que ce n'est pas une question neuve que celle que pose l'intelligence artificielle. C'est même une question qui a plusieurs siècles»

Il s'agit de savoir si une machine peut penser? C'est étrange mais même si l'on peut être troublé à l'idée qu'une machine pense, c'est pourtant une idée ancienne qui a été émise depuis longtemps par un certain nombre de philosophes. Plus exactement, il y a là la consécration de 2 hypothèses qui sont au départ toutes les deux problématiques et puis qui, au fil du temps, sont devenues de plus en plus naturelles :

- première hypothèse : «**est-ce qu'une machine peut faire des calculs?**»

Elle a été introduite très tôt d'abord avec la pascaline de Blaise Pascal au XVII^e siècle, puis au début du XIX^e siècle avec le moulin de Charles Babbage qui est l'ancêtre des ordinateurs actuels. Aujourd'hui, tout le monde en est convaincu mais cela ne semblait pas évident à l'époque et ça a mis un certain nombre de siècles à s'imposer.



Machine de Pascal

– deuxième hypothèse : «**est-ce que la pensée se réduit à un calcul?**»

Hypothèse philosophique plus ancienne encore, elle a été émise entre autres par Thomas Hobbes et par Leibniz pour qui tout se produit par calcul dans la nature, car Dieu est un calculateur prodige.



Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716)

Alors, qu'entend-on par calcul?

Il faut voir avec le terme de calcul l'idée de symbole. L'étymologie du terme de calcul, vous la connaissez, renvoie au caillou (certains d'entre nous le savent, une expérience douloureuse (rire)). Donc si la pensée se réduit à un calcul et si les calculs s'exécutent tous sur des machines, alors les machines peuvent reproduire la pensée.

Leibniz a imaginé qu'on pouvait fabriquer des machines pour calculer et qu'ensuite on pourrait reproduire la pensée sur ces machines qui calculent. Il n'a pas été le seul. Il y a eu, au XIX^e siècle, des gens qui ont imaginé des ordinateurs. J'ai cité Charles Babbage. Il convient maintenant de mentionner son assistante Lady Ada Lovelace. Je la cite parce qu'elle a été la première programmeuse de l'histoire et qu'elle a conçu des programmes pour cette machine qui n'a jamais été construite. Ce faisant, très vite, elle s'est dite que cette machine ne ferait peut-être pas uniquement des calculs mathématiques mais qu'elle pourrait aussi traiter des textes et de la musique,...



Lady Ada Lovelace, fille de Lord Byron.
(En son honneur, un langage de programmation important s'appelle l'ADA)

Cette question a été reprise quelques années après, dans la deuxième moitié du XIX^e siècle par un économiste anglais, Stanley Jevons, qui a repris l'algèbre de Boole pour fabriquer un piano mécanique qui simulait des raisonnements.



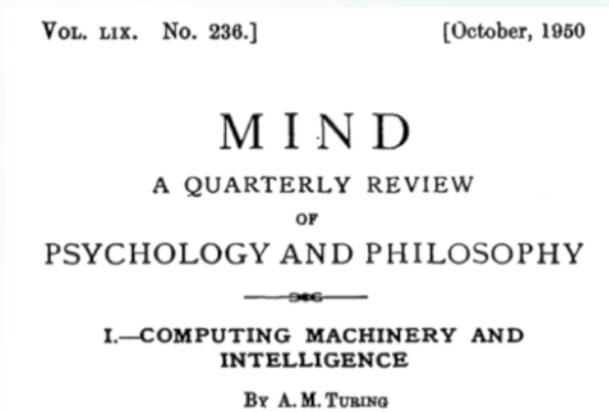
Stanley Jevons (1835-1882) et son piano

Une autre personnalité qui a joué un rôle majeur dans la genèse de l'intelligence artificielle est le très célèbre Alan Turing. Rappelons qu'il a eu une existence étonnante puisqu'il a commencé d'abord à poser les fondements théoriques de l'informatique avec les fameuses machines de Turing (il ne les avait pas appelé ainsi car c'était un homme très modeste), qui aidaient à mettre en évidence les limites de tous les automates à nombre fini d'états discrets.



Alan Turing (1912-1954)

Pendant la guerre, Turing a contribué à l'effort des alliés en aidant à décoder les messages allemands. Après la guerre, au moment où les premiers ordinateurs électroniques venaient d'être construits en 1947-48 (le premier a été construit en 1946), il s'est demandé si ces machines pouvaient penser et a écrit deux articles très remarquables sur ce sujet dont un en 1950 dans la revue MIND.



Dans cet article, Alan Turing se demande ce que pourrait signifier l'expression «une machine pense». Sans rentrer dans les détails de ces deux articles extrêmement riches qui prendraient beaucoup de temps à commenter, notons que le terme IA n'y est pas prononcé. Curieusement, alors que Turing est souvent vu comme l'un des précurseurs de l'IA, il n'en a jamais parlé.

«L'intelligence artificielle est née en 1955, lorsque 2 jeunes mathématiciens imaginent que les ordinateurs peuvent être utilisés pour mieux comprendre l'intelligence»

La discipline elle-même naît en 1955 et le terme est prononcé à ce moment là par 2 jeunes gens qui ont

28 ans à l'époque, qui sont des mathématiciens, et qui imaginent que ces nouveaux objets que sont les ordinateurs peuvent être utilisés pour mieux comprendre l'intelligence.



John McCarthy (1927-2011)



Marvin Minsky (1927-2016)

Il ne s'agit pas, bien sûr, de prendre le terme d'IA au sens littéral d'une intelligence qui serait produite juste par l'art des hommes mais au contraire de voir dans l'IA une discipline scientifique qui va permettre de mieux comprendre l'intelligence en la décomposant en fonctions cognitives élémentaires et en simulant ces fonctions cognitives.

J'ai mentionné ici (ci-dessous) le texte du projet écrit en 1955 par ces 2 jeunes gens qui le soumettent à la Fondation Rockefeller pour organiser une école d'été sur cette nouvelle discipline appelée IA.

We propose that a 2 month, 10 man study of artificial intelligence be carried out during the summer of 1956 at Dartmouth College in Hanover, New Hampshire. The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it.

Ils devaient être assez talentueux puisqu'ils ont réussi à convaincre 2 personnes, l'une étant le directeur scientifique de la société IBM et la seconde n'étant autre que le très grand Claude Shannon, l'homme de la théorie de l'information.

Ces 4 personnes cosignent ce projet et, en souligné dans le texte, ce qui est important repose sur une conjecture. Une conjecture est une proposition toujours avérée, mais dont la véracité n'a pas encore été démontrée. On va la poser et elle va jouer le rôle d'horizon régulateur pour cette science nouvelle qui naît. D'une certaine façon, cette conjecture joue le même rôle que, pour Galilée, la conjecture selon laquelle la nature s'écrit en termes mathématiques.

«L'intelligence artificielle est la discipline scientifique qui a le plus changé le monde ces 60 dernières années»

Ça signifie que toutes les composantes de l'intelligence pourraient être isolées et réduites à des modules si élémentaires qu'une machine pourrait être construite pour les simuler un à un. Vous voyez que cela ouvre un horizon, un champ de travail vraiment considérable. Je crois qu'il faut vraiment avoir cela en tête pour comprendre ce qu'est l'IA.

Dernièrement en France, nous avons eu beaucoup de débat puisqu'il y a eu d'une part la «stratégie Intelligence Artificielle» qui avait été lancée par Axel Lemaire il y a un an et ensuite, avec l'arrivée d'Emanuel Macron au pouvoir, la mission confiée à Cedric Vilani qui va restituer ses conclusions en fin de semaine. Et donc je crois que ce qui est très important, c'est de bien comprendre cette définition parce qu'il y avait beaucoup de malentendus même dans la communauté scientifique sur la définition de l'IA. Les gens n'ont pas tous en tête cette vue historique qui clarifie à mon sens le concept lui-même et qui montre qu'il

a une très grande extension. Et c'est ce que je vais démontrer. Avant cela, je voudrais montrer que l'IA a changé le monde.

L'intelligence artificielle est la discipline scientifique qui a le plus changé le monde ces 60 dernières années et ce n'est pas pour vanter ma propre discipline que je dis cela. Je vais vous le montrer objectivement à partir d'un certain nombre d'exemples :

- Le premier a changé la vie de tous les jours. C'est le web, qui est le couplage de réseaux de télécommunications qui ne sont pas à proprement parlé de l'IA, avec un modèle de mémoire qui s'appelle l'hypertexte. Vous savez très bien que le langage d'écriture des pages web c'est HTML (HyperText Markup Language) et le protocole de communication c'est HTTP (HyperText Transfer Protocol). Vous voyez donc que l'hypertexte est au centre du web. Or, l'hypertexte est une notion qui a été introduite en 1965 par un jeune homme de l'époque qui s'appelle Ted Nelson, qui l'a programmé avec des techniques d'IA et publié dans une conférence d'IA. C'est un modèle de mémoire qui est construit sur cette idée selon laquelle on peut avoir sur un texte des connexions entre les parties du texte. L'idée de Tim Berners-Lee lorsqu'il a conçu le web est que ces connexions ne sont pas limitées à une machine mais qu'elles peuvent s'étendre sur le réseau.
- Ensuite les robots, dont on entend beaucoup parler ces derniers temps. Les robots ne sont pas que de l'IA. Ce sont des capteurs (c'est de la physique) et des effecteurs (c'est de la physique et de la mécanique), mais l'IA est là pour interpréter les informations qui viennent des capteurs et pour arriver à décider des actions à accomplir et à mettre en œuvre les effecteurs. On y reviendra.
- Les robots virtuels (les bots) qui jouent un rôle important aujourd'hui dans la bourse par exemple, c'est de l'IA. De même que les véhicules autonomes (ce sont aussi des robots en vérité), la biométrie (reconnaissance d'empreintes digitales), la vision (reconnaissance des visages ou des vidéos), la reconnaissance vocale avec des systèmes comme SIRI, le traitement et la compréhension du langage naturel.

«Le schéma expérimental classique qui existe depuis le début de la science moderne est aujourd'hui mis en cause par l'intelligence artificielle»

- Je termine par les e-sciences. Vous savez que ces dernières années, il y a eu une révolution silencieuse dans le domaine scientifique. Si l'on reprend la démarche scientifique telle qu'elle a été inaugurée par Galilée, une démarche expérimentale qui part d'une hypothèse qui doit être validée par un dispositif matériel. Expérience, ça vient de péril : on va mettre en danger la théorie et pour ça, on va construire un dispositif matériel, recueillir des observations et les confronter avec ce qu'anticipe la théorie. Bien sûr s'il n'y a pas adéquation parfaite, on va revenir sur la théorie. Ce schéma, qui est le schéma expérimental classique depuis le début de la science moderne est aujourd'hui mis en cause par l'IA. Pourquoi? Parce que nous avons aujourd'hui des capteurs qui génèrent d'énormes quantités de données et on fait des expériences non pas dans le monde extérieur mais directement sur ces données. C'est ce qu'on appelle «les expériences in silico», qui donnent naissances «e-sciences» et qui sont directement lié à l'IA puisque grâce à l'IA l'on est en mesure de générer automatiquement des théories et de les tester sur d'immenses quantités de données.

Donc voilà quelques unes de ces transformations, récentes, qui sont liées à l'IA. Bien sûr, la physique a eu une très grande importance mais c'est plutôt la physique des années 30, peut-être un peu plus récemment bien sûr (voyez, le principe du laser est très ancien même s'il n'a été mis en œuvre que beaucoup plus tard). De même, la biologie est tout-à-fait centrale mais elle a eu beaucoup moins d'effets concrets. L'augmentation de l'espérance de vie est plus liée au progrès de l'hygiène qu'à la compréhension de mécanismes biologiques même si, heureusement, il y a eu de nouveaux médicaments qui sont liés aux progrès de la biologie.

Panorama général («IA at large»)

Pour essayer de comprendre le champ de l'IA dans toute son ampleur, je vais reprendre ce que j'ai dit avant : *l'IA essaie de reproduire les*

différentes fonctions cognitives et ensuite de les simuler. Pour mieux comprendre cela, je prends une décomposition des fonctions cognitives tout-à-fait classique dans le champ des sciences cognitives en 5 grandes catégories :

1. Les *fonctions réceptives* : elles autorisent l'acquisition, le traitement, la classification et l'intégration de l'information.
2. La *mémoire et l'apprentissage* permettant le stockage et le rappel de l'information.
3. Le *raisonnement, la pensée*. Cela concerne aussi l'organisation et la **réorganisation** mentale de l'information ainsi que son utilisation.
4. Les *fonctions expressives* qui rendent possible la communication.
5. Les *fonctions exécutives* de prise de décision et d'action.

«L'intelligence artificielle a été en mesure de simuler 5 grandes classes de fonctions cognitives»

Je vous propose qu'on les examine une à une, pour voir à quel point l'IA joue un rôle important dans la simulation et à quel point cela peut avoir des applications pratiques (puisque'il y a 2 objectifs dans l'IA : le premier : comprendre l'intelligence; le second : une fois qu'on a simulé la fonction cognitive, on peut avoir des applications pratiques qui sont liées à la mise en œuvre de cette simulation des fonctions cognitives):

- Les 3 premières catégories correspondent un tout petit peu à une vision classique qui a été introduite par Aristote sur l'âme (aujourd'hui on ne parle plus d'âme, on n'ose plus en parler). Ce n'est pas l'âme au sens spirituel mais au sens rationnel, au sens de ce qui anime. Qu'est-ce que cela veut dire? Que vous avez une entité abstraite, qui a des connaissances sur le monde, qui a ce que nous appelons pour nous des sensations, ou pour des robots des capteurs. Et donc la première étape c'est quoi? C'est interpréter les informations qui viennent de ces capteurs. Et pour cela qu'est-ce qu'il faut faire? Il faut simuler ce qu'on appelle la perception, les **fonctions réceptives**, et construire à partir de ces capteurs une représentation, c'est-à-dire construire en mémoire une trace, mais qui soit une reconstruction du monde extérieur,

qui nous présente le monde lorsqu'il n'est pas là autrement dit qu'il le re-présente, à savoir qu'il le présente en son absence. Voilà pour le premier point. Ensuite, pour construire cette représentation, il faut savoir comment organiser ces informations dans une **mémoire informatique**, qui est un dispositif de stockage d'informations. Or, dans notre tête, une mémoire c'est bien autre chose : ça nous permet de retrouver des éléments d'information avec une simple réminiscence, une association. Ça permet d'oublier, de généraliser, de construire des connaissances. Ce qu'on cherche à faire depuis longtemps en intelligence artificielle, c'est essayer de **simuler cette mémoire**. Nous avons vu que le web était une simulation de la mémoire. Il y a bien d'autres essais de simulation de la mémoire en intelligence artificielle et surtout qu'il y a des techniques d'**extraction de connaissances** à partir d'éléments en mémoire. Cela joue un rôle extrêmement important pour l'IA, si important aujourd'hui que l'on va s'appesantir un petit peu sur ce chapitre.

- Mais ces agents, ces âmes que j'ai mentionnées ici ne sont pas isolées. Pour être capable de bien comprendre comment elles communiquent entre elles, on essaye de simuler ces **fonctions expressives** ainsi que les fonctions d'analyse des échanges. C'est ce que l'on fait avec l'IA. On y reviendra.
- Enfin, dernier point : les fonctions exécutives qui permettent de prendre des décisions et ensuite d'agir.

«Je vais passer en revue ces 5 grandes classes de fonctions cognitives pour montrer que l'IA a été en mesure de les simuler et à quoi cela correspond en pratique.»

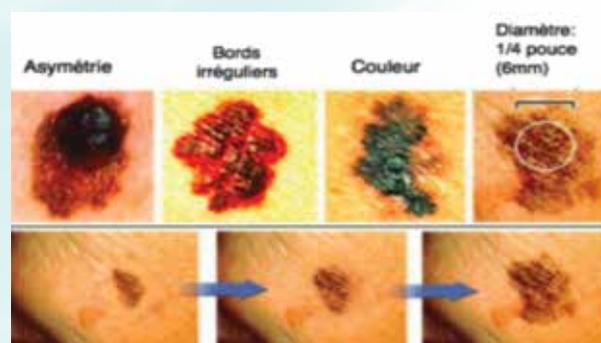
1- Fonctions réceptives

- Interprétation automatique d'images :
 - Reconnaissance des formes, reconnaissance des visages, identification d'objets, etc. On est capable aujourd'hui par exemple, à partir d'apprentissage machine, de construire un système qui fait de la reconnaissance des visages avec une performance de 99,63%

sur 8 millions d'identités différentes. Pour cela, on a besoin de beaucoup d'images/personne et on apprend avec 200 millions d'images. Ce sont là des performances étonnantes qui dépassent les nôtres: un individu moyen reconnaît 3 à 500 visages différents;

- Accès par le contenu dans des bases d'images. Par exemple vous cherchez une photo de Brigitte Bardot.
- Interprétation automatique vidéo :
 - Exemple : détection d'intentions (sur un quai de métro par exemple) ou de vortex en météorologie
- Traitement de la parole :
 - Reconnaissance pour la dictée automatique;
 - Reconnaissance de mots ou de thèmes;
 - Identification du locuteur, des accents et des langues.
- Analyse et fusion d'informations issues de capteurs :
 - Multi-modalités, *ex. désambiguïsation de l'image par le son.*
- Perception : construction d'une représentation.

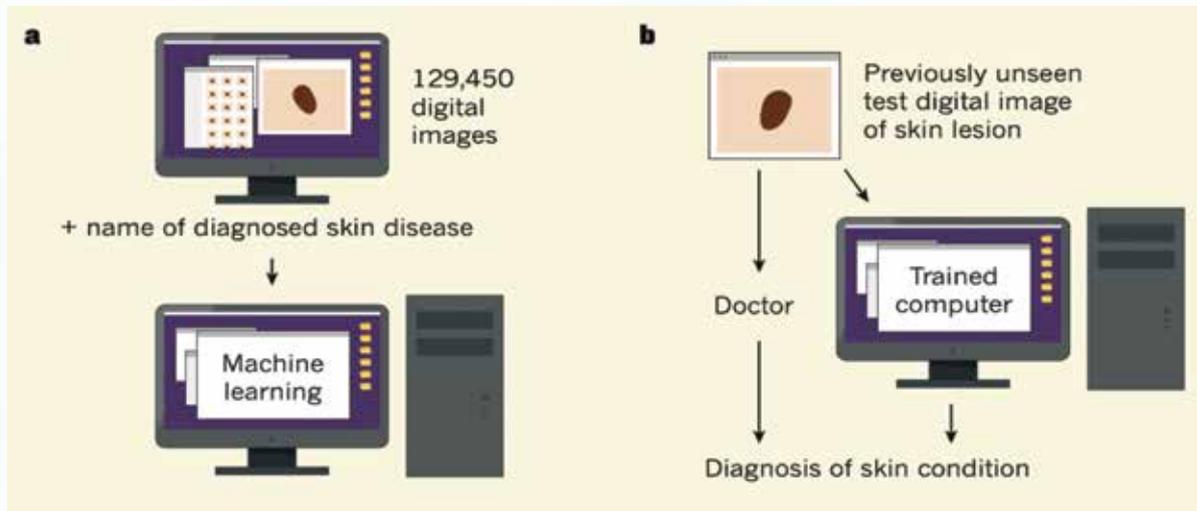
Je donnerai juste un seul exemple d'un article publié il y a un an environ dans la revue Nature. Vous savez qu'il y a un cancer de la peau qui est extrêmement dangereux, le mélanome, qu'il faut diagnostiquer très tôt pour pouvoir l'enlever. Ce diagnostic demande une prévention permanente, ce qui est difficile.



On a alors imaginé un système qui, à partir de photos prises avec un Smartphone, est capable de diagnostiquer un mélanome. On a pris 129 450 photos de grains de beauté, chaque photo

était annotée (il y avait pour chaque photo un descripteur associé pour dire quel était le diagnostic : bénin, malin ou à surveiller). A partir de ça, on a utilisé de l'apprentissage et on a fait

un système qui diagnostiquait sur des photos de nouveaux grains de beauté. Et on a confronté le diagnostic fourni par la machine à celui fourni par 21 dermatologues.



l'intérêt du mélanome, c'est qu'on est capable, quand on fait l'exercice, de savoir quel est exactement le résultat. Et là, la machine était meilleure que les 21 dermatologues. Bien sûr, vous me direz que c'est normal : même si un dermatologue voit beaucoup de grains de beauté, il n'arrive pas jusqu'à 130 000 dans toute sa carrière, ce qui est énorme.

2- Mémoire et apprentissage

«La mémoire me passionne particulièrement, parce que c'est la chose la plus mystérieuse qui puisse exister»

La deuxième question se rapporte à la mémoire et ceci me passionne particulièrement parce que c'est la chose la plus mystérieuse qui puisse exister. J'insiste sur le fait que la mémoire, ce n'est pas seulement le stockage d'informations mais aussi, et c'est essentiel, ce qui nous permet d'imaginer. La création, est en grande partie liée à la recombinaison d'éléments de mémoire. Cela a fait l'objet de beaucoup de travaux de représentations de connaissances, qui sont extrêmement importants mais que je ne mentionnerai pas ici, parce que cela serait trop long.

Au départ, on a représenté les connaissances en utilisant la logique et puis on s'est rendu compte, à partir des années 1970, que ça ne suffisait pas et on a essayé alors de s'intéresser à la psychologie,

ce qui a donné naissance aux **sciences cognitives** et aux travaux sur les mémoires sémantiques.

Ce travail s'est poursuivi dans les années 2000 avec ce qu'on a appelé les **ontologies**. Là encore je n'insisterai pas : le terme est mal choisi. Il a été introduit par des ingénieurs mais il a un sens technique bien éloigné du sens philosophique initial du terme ontologie.

Ces ontologies jouent un rôle important dans ce qu'on appelle le web sémantique, c'est-à-dire pour l'organisation des connaissances sur le web ou dans les systèmes d'information afin d'essayer de construire des agents artificiels capables de faire des déductions analogues à celles que nous ferions pour accéder à des informations. C'est quelque chose de tout-à-fait central dans le monde d'aujourd'hui.

J'ai parlé bien sûr du web comme étant un modèle de mémoire, mais ce qui est beaucoup plus intéressant, plus exactement beaucoup plus actuel, ce sont toutes les techniques qui permettent d'extraire des connaissances à partir de grandes masses d'informations. Ces techniques sont extrêmement nombreuses :

- Elles sont dites supervisées (on reviendra sur les algorithmes d'apprentissage supervisé, parce que c'est ce qui a un grand succès aujourd'hui) lorsqu'on qu'on

annote des exemples avec des étiquettes (c'est exactement ce qui s'est produit dans l'exemple précédent avec l'étiquetage des photos de grain de beauté par le diagnostic). Ca veut dire qu'il y a un professeur. Mais dans la nature il n'y a pas de professeur, ce qui limite considérablement la portée de ce genre de techniques.

- Il y a d'autres techniques qui sont dites non supervisées. Par exemple, on peut essayer d'apprendre sur des séquences, ou sur des graphes et essayer de trouver des motifs, voir par exemple qu'on a une séquence répétitive. Il y a quelques années, j'avais travaillé avec un de mes étudiants sur la reconnaissance de motifs dans les œuvres de Charlie Parker. C'est passionnant ce que l'on peut faire avec l'IA. De même aujourd'hui, je travaille sur l'extraction de patrons syntaxiques récurrents, qui seraient peut être caractéristiques soit d'un auteur, soit d'un style ou d'un genre littéraire.

Rappel sur la «cybernétique»

Tout ça bien sûr, c'est de l'apprentissage, mais je voudrais revenir à l'apprentissage supervisé et faire une petite pause pour évoquer l'histoire et la réalité de ce qu'on appelle l'**apprentissage profond**. Ce sont des sujets extrêmement actuels, dont on parle beaucoup.

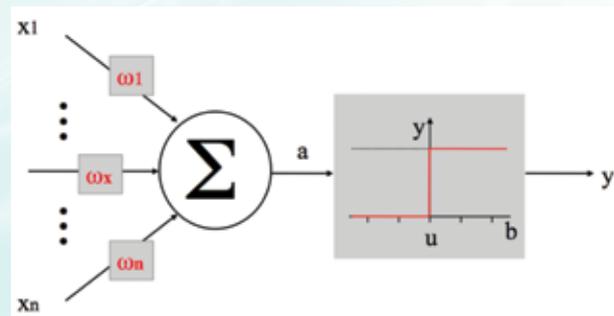
Cela a commencé par la parution de 2 articles en 1943, avant l'IA, avant même les ordinateurs électroniques, dans une discipline qui s'appelait à l'époque l'automatique théorique, devenue quelques années plus tard la cybernétique.

- Le premier article, de Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener et Julian Bigelow, relatif à ce qu'on appelait les «**machines téléologiques**», expliquait que l'on pouvait simuler un certain nombre de phénomènes naturels avec des flux d'informations. C'était nouveau et bien sûr ça pouvait faire le pont entre des phénomènes d'ordres différents: sociaux, biologiques, psychologiques,... et cela a donné naissance à un nombre impressionnant de réflexions théoriques de tout premier pla ;

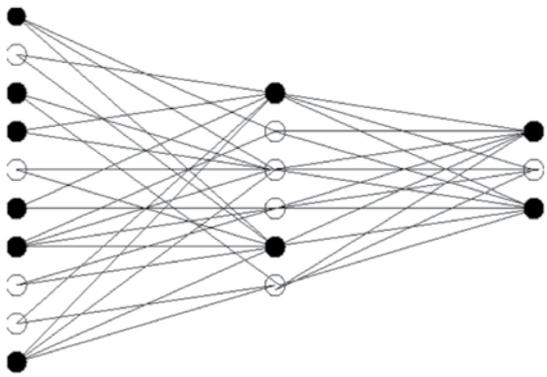
- Le second article - écrit par Warren McCulloch (un neurobiologiste) et un jeune homme de 20 ans à l'époque, Walter Pitts-, est une modélisation, un essai de simulation de ce que l'on connaissait des cellules du cerveau. A l'époque, il n'y avait pas encore d'ordinateurs et on utilisait des relais téléphoniques qu'on mettait bout à bout pour faire du calcul. Les auteurs vont donc représenter les cellules du cerveau avec des relais téléphoniques, en supposant des connexions entre les cellules que l'on sait plastiques (déjà à l'époque, on avait l'idée que l'apprentissage était lié à l'évolution des propriétés de conduction des connexions entre les cellules qu'on appelle synapses) et en les affectant d'un poids pour pouvoir représenter l'influx nerveux incident comme étant la sommation de tous les influx des cellules connectées pondéré par les poids des synapses incidentes. Cela recourt ensuite à un automate très simple représenté avec une **fonction en escalier** : si l'influx nerveux incident est supérieur à un certain seuil, la cellule est activée, sinon, elle ne l'est pas. Cela se résume sur la formule suivante :

$$y(t+1) = f\left(\sum_{k=1}^n w_k x_k(t) - u\right) = f\left(\sum_{k=0}^n w_k x_k(t)\right)$$

Ainsi, notre fonction de départ pour un neurone se représente sur le schéma présenté ci-dessous :

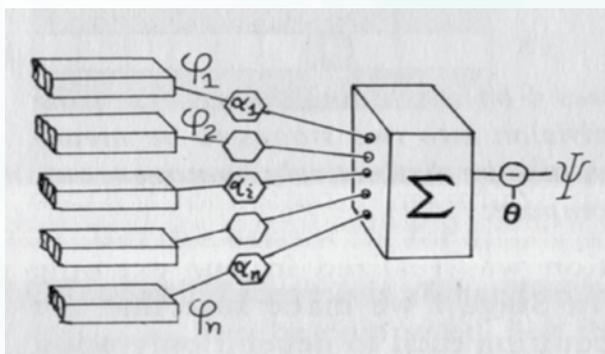


Walter Pitts et Warren McCulloch ont ensuite démontré que si on organisait les neurones en 3 couches (c'est ça qui est important ! Une couche d'entrée, une de sortie et une intermédiaire) avec une fonction d'activation en escalier, on peut réaliser, à condition de bien pondérer les poids et d'avoir suffisamment de neurones dans la couche centrale, n'importe quelle **fonction booléenne**.



C'est un théorème d'universalité et c'est remarquable.

Mais que se passe-t-il si on a une fonction booléenne particulière? Comment la programmer? On sait qu'il faut ajuster les poids mais comment faire à la main? Cela est très difficile et on n'y arrive pas.



Des chercheurs vont essayer de les ajuster automatiquement et pour ça, ils proposent de donner des exemples étiquetés. Autrement dit, ils proposent de faire de l'apprentissage supervisé.

C'est ce qu'a essayé de faire dès 1950 Marvin Minsky, l'un des pionniers de l'IA. En vain.

En 1958, quelques années après que l'IA soit née, un ami de Marvin Minsky qui s'appelait Frank Rosenblatt a inventé un système d'apprentissage pour les réseaux de neurones qui était très intéressant : il examinait la différence entre la sortie obtenue et la sortie désirée et, à partir de ça, il la répercutait rétroactivement, en transformant les différents poids synaptiques.

Cela fonctionnait assez bien, sauf que le théorème d'universalité de Pitts et McCulloch n'est validé que sur des réseaux à 3 couches tandis que le perceptron ne fonctionnait que sur des réseaux

à 2 couches. C'est ce qu'a démontré quelques années plus tard Marvin Minsky dans l'ouvrage qu'il a co-écrit avec Seymour Papert qui s'intitulait «**Perceptrons**» (au pluriel).

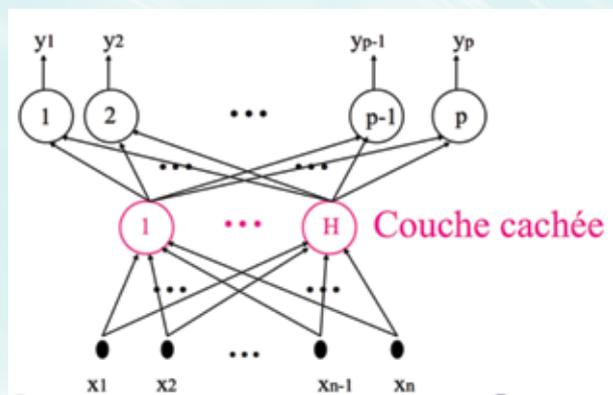
Limitations du Perceptron- Minsky & Papert 1969

Dans cet ouvrage paru en 1969, les auteurs montrent que les algorithmes du type Perceptron sont très généraux, qu'ils marchent bien pour des réseaux à 2 couches mais que les fonctions qui sont apprises sont très limitées, mais qu'ils ne marchent pas sur des réseaux à 3 couches ou plus.

Ils montrent par exemple qu'il n'est pas possible de réaliser un «ou exclusif» sur un réseau de neurones à deux couches, car cette fonction n'est pas «linéairement séparable». Il faudrait donc un réseau à trois couches pour le réaliser. Or, on n'était pas capable d'apprendre sur des réseaux de neurones à trois couches à l'époque. Minsky décide alors d'arrêter de travailler sur les réseaux de neurones formels.

Perceptrons multicouches - Rumelhart 1985

Il faut attendre l'année 1985 pour voir l'introduction d'un nouvel algorithme qui généralise l'algorithme de Perception mais qui permet d'apprendre sur 3 couches. C'est ce qu'on appelle la **rétro-propagation de gradient**. Le gradient est terme scientifique qui désigne une différence, en l'occurrence, la différence entre la sortie obtenue et la sortie désirée. Quant à la «rétro-propagation», cela signifie que l'on propage en arrière ce gradient pour modifier la pondération des poids synaptiques.

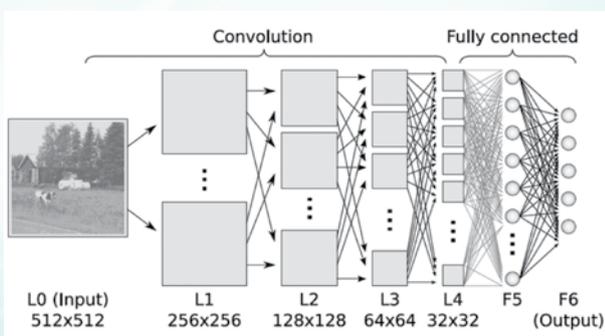


L'enthousiasme de l'époque est toutefois freiné par la lenteur des ordinateurs qui exécutent l'algorithme. Des mathématiciens vont alors

chercher à comprendre ce qui est important dans l'apprentissage à rétro-propagation de gradient. Des théories formelles de l'apprentissage sont introduites, en particulier les théories du PAC Learning (*Probably Approximately Correct*) et surtout les théories de l'apprentissage statistique. Cela donne naissance à des techniques comme les SVM (*Support Vector Machine*) ou les machines à noyaux, techniques qui seront les seules à être utilisées à partir de 1995.

2010 - 3^e renaissance...

Plus personne n'utilise donc, depuis 1995, les réseaux de neurones formels, sauf un Français expatrié aux États-Unis (*Yann Le Cun*), qui va s'acharner à continuer à les utiliser, mais non pas sur 2 couches ni sur 3 mais sur 15. Et c'est ce qu'on appelle **l'apprentissage profond**. Certaines couches sont «câblées»; c'est ce qu'on appelle les convolutions (tous ceux qui ont fait un peu de traitement du signal savent que ce sont des opérations tout à fait classiques ; on les câble directement donc il y a des poids qui n'évoluent pas) et puis après, il peut y avoir plusieurs couches d'apprentissage. Il y a des couches de filtrage aussi.



Apprentissage profond – Deep Learning

Avec ces réseaux qui sont extrêmement volumineux, qui ont beaucoup de connexions, on arrive donc à apprendre et cela tient au fait que les machines sont beaucoup plus puissantes aujourd'hui qu'elles ne l'étaient en 1985.

Et puis le 2^{ème} miracle, c'est que, avec ces techniques, on apprend sur de très grandes masses d'exemples. Or, on dispose aujourd'hui d'immenses quantités d'exemples (j'ai cité les 200 millions d'images utilisées pour reconnaître des visages, mais on peut avoir encore plus

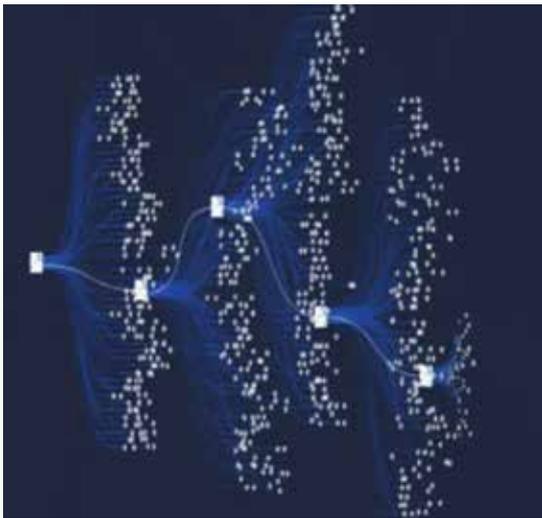
d'exemples comme on le verra plus tard). Et c'est bien sûr l'origine de la renaissance de l'IA parce que l'on s'est rendu compte que ces réseaux de neurones profonds étaient capables de performances bien meilleures que les autres techniques d'apprentissage-machine.

Exemple d'application : les jeux. Je n'insisterai pas là-dessus mais il faut savoir que les jeux en général ont été vus comme des tests pour faire des progrès en IA. John McCarthy disait des jeux que c'était la drosophile (mouche servant à faire des tests en génétique) de l'IA.

- Il y a bien sûr le jeu des échecs et la fameuse victoire de la machine **Deep Blue** qui l'a remporté sur Gasparov en 1997.
- Puis il y a 2 ans, cet épisode mémorable d'**AlphaGo** qui l'a remporté sur le meilleur joueur de Go après plusieurs parties. Alpha Go apprenait avec de l'apprentissage profond des parties qui avaient été jouées par de grands joueurs.
- Et plus récemment, au dernier trimestre de 2017, les ingénieurs de **DeepMind** ont repris AlphaGo en faisant jouer la machine contre elle-même. Et là, on a eu des performances extraordinaires : au lieu de 4 mois de calculs de machines vectorielles, il a suffi de 3 jours d'apprentissage à cette nouvelle machine, appelée **AlphaGo Zero**, qui a battu AlphaGo par 100 à 0.



AlphaGo : Deep Learning



AlphaGo Zero : la machine autistique

3- Raisonnement – pensée

«Depuis Aristote, la pensée, c'est un calcul sur des représentations»

Je ne m'appesantirai pas sur le sujet mais je vais simplement vous montrer la variété des choses qui ont été faites dans ce domaine.

- Les Inférences
 - Démonstration automatique de théorème. C'est de la pensée bien sûr. Il y a des machines qui démontrent des théorèmes, même si c'est difficile, même si ça pose problème. On ne démontre pas tous les théorèmes bien sûr.
 - Logiques non-monotones. La modélisation du sens commun obligeait à introduire de nouvelles logiques. Pourquoi? Parce que si nous avons des règles générales, nous voulons ensuite les appliquer à des cas particuliers et, souvent, ce sont des exceptions aux cas généraux. L'exemple le plus connu est celui des oiseaux qui volent. Comme il existe des oiseaux qui ne volent pas (les autruches par exemple) nous aimerions avoir une règle générale qui nous dit «les oiseaux volent» et puis, éventuellement savoir que les autruches, bien que étant des oiseaux particuliers, ne volent pas. C'est ce qu'on a essayé de faire avec ces logiques dites non-monotones. Normalement, le nombre de théorèmes est une fonction qui croît dans un système formel : plus vous avez d'axiomes, plus vous aurez de théorèmes. Or, les logiques non-monotones font que

parfois un nouvel axiome conduit à enlever des théorèmes, par exemple le fait qu'un oiseau soit une autruche conduit à retirer le théorème selon lequel il vole. Ce sont des logiques d'ordre supérieur qui permettent de simuler des raisonnements non-monotones de ce type.

- Raisonnement automatique.
- Satisfaction de contraintes. Vous donnez juste des contraintes et la machine est capable d'en tirer partie. Si vous avez un emploi du temps par exemple, vous lui donnez des contraintes et vous trouverez une solution satisfaisante.
- Les logiques épistémiques, qui sont des logiques modales particulières. Ce sont les logiques de la connaissance (épistémiques) : elles traduisent qu'un agent sait quelque chose ou ne sait pas quelque chose, que la connaissance est partagée ou ne l'est pas, etc.
- Le retour d'expérience (traçabilité, réflexion, capitalisation des connaissances). Là encore, ce sont des choses extrêmement importantes. Comment tirer partie de tous les cas qu'on a rencontrés pour envisager des cas futurs. Par exemple, comment un médecin peut tirer partie de toute la casuistique pour améliorer le diagnostic qu'il va faire. Un autre exemple mentionné tout à l'heure est celui de la fusion des données, qui est aussi un type de raisonnement : on a des informations hétérogènes d'ordres différents qu'on peut essayer de mettre ensemble pour construire de nouvelles connaissances.

4- Fonctions expressives

- Il s'agit de tout ce qui relève du langage, du langage naturel (écrit) en particulier: le traitement et la compréhension du langage naturel :
 - le traitement du langage, c'est simplement essayer d'observer la langue (un peu comme l'ont fait les linguistes il y a longtemps, qui recensaient les mots de la langue dans des dictionnaires), d'écouter les gens, et de mieux comprendre la logique du langage.
 - la compréhension du langage, c'est la traduction d'un texte écrit dans un langage, dans une représentation formelle. Et c'est

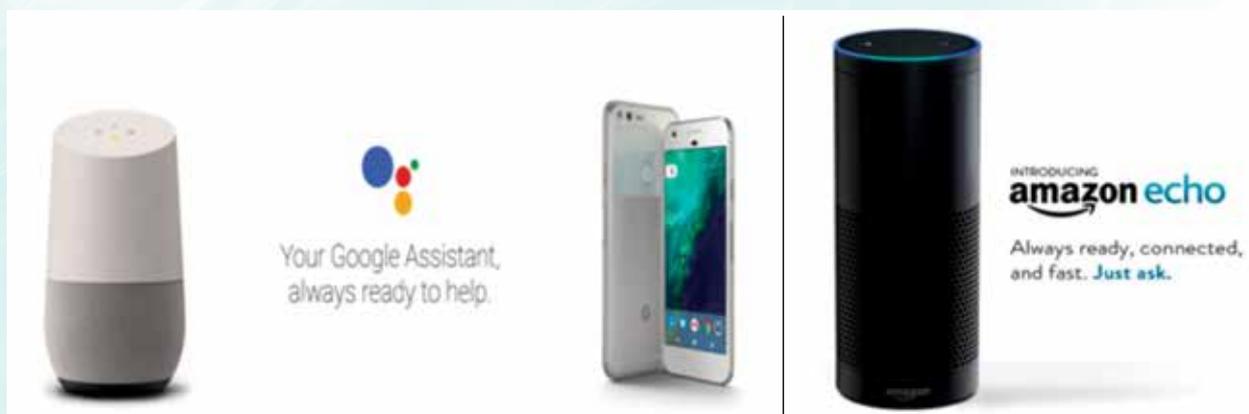
utile parce qu'ensuite, on peut avoir des outils de démonstration automatiques qui vont nous permettre de faire des déductions sur ces démonstrations formelles. C'est extrêmement important si on veut faire de la commande de robots, si on veut questionner des bases de données. Cela ne veut pas dire que la machine accède au sens (c'est un peu différent). Elle traduit les textes dans un langage formel à l'aide duquel on fera des inférences (système de question-réponse).

- l'apprentissage sur d'immenses masses de textes. On peut dire que c'est une forme d'apprentissage mais en même temps, c'est lié à de la communication. On est capable de gérer une grande quantité de communications. En médecine par exemple, il y a tellement d'articles que les médecins sont incapables de tous les lire. Il y a des machines qui sont capables non seulement d'extraire automatiquement l'essentiel des informations que contiennent ces articles mais aussi qui permettent de savoir quels sont les articles qui répondent à une question donnée.
- Ensuite les Interfaces homme-machine. Ici, ce n'est plus simplement le langage naturel mais de la communication. Il s'agit :
 - du dialogue homme-machine (robots bavards notamment comme on le verra ultérieurement,...);

- d'informatique affective : la communication n'est pas seulement le langage articulé mais peut également être le langage des émotions (le fait qu'on tremble, qu'on transpire, le mouvement des yeux,...). C'est ce genre de choses qu'on peut essayer de faire avec une machine.

- Les Interfaces cerveau-ordinateur, c'est encore plus prospectif bien sûr. Vous savez qu'on est capable, à partir d'électrodes, de déterminer les zones du cerveau qui sont activées, de corréler ces zones avec une intention et, à partir de ça, de faire de la communication directe entre le cerveau et l'ordinateur. Ça pose bien sûr un tas de questions mais ce sont des travaux que l'on fait avec des techniques d'IA et qui sont très stimulants.
- J'ai oublié de parler de l'oral parce que je l'avais mentionné plus haut avec les questions de perception. Alors bien sûr, la traduction d'un signal de parole dans un texte écrit est aussi liée à la communication avec la machine.

L'exemple que je vais donner est celui de ce qu'on appelle les «**chatbots**» (**agents conversationnels ou robots bavards**), c'est-à-dire des petits systèmes de dialogue qui, en principe, devraient nous permettre d'échanger directement avec une machine.



Je crois qu'il faut dire 2 choses à ce propos :

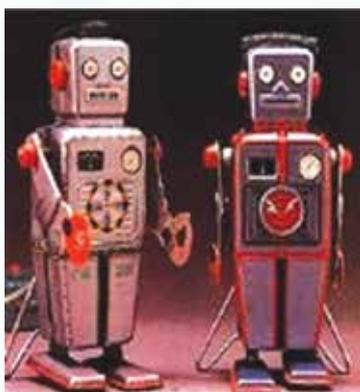
- d'une part, ces techniques sont très difficiles à mettre en service et je pense leur fonctionnement limité à un environnement professionnel parce que la difficulté, c'est la

sémantique. Si vous avez différents champs sémantiques qui sont abordés, s'il y a une polysémie, c'est extrêmement délicat.

- en revanche, si on est sur des significations précises et étroites, alors ça peut être mis en

œuvre. Je pense donc qu'on aura du mal à les mettre à disposition d'un public large dans les maisons comme le prétendent certaines publicités. Il y a des raisons économiques à tout cela. Il ne faut pas également oublier qu'avoir un Chatbot chez soi, ça serait se payer un petit espion domestique capable d'enregistrer en continu toutes les discussions privées...

5- Fonctions exécutives



- Il s'agit des systèmes autonomes et/ou semi-autonomes (autonomie de mouvement et/ou d'action : voitures, armes, robots,...);

- Cela recouvre aussi toutes les questions d'aide à la décision, entre autre ce qu'on appelle les conflits d'intérêts : qu'est-ce qu'il se passe quand l'homme et la machine ne sont pas en phase l'un par rapport à l'autre ? C'est une question vraiment délicate.

Je voudrais maintenant envisager le futur de l'intelligence artificielle, examiner les perspectives

Je vais pour cela reprendre les conclusions d'une conférence à laquelle j'ai assisté il y a plus d'un an à New York et qui a réuni tous les grands acteurs de l'internet en particulier Facebook, NVIDIA, Google, etc.

- La première conclusion est que les enjeux du futur sont liés à la taille des données (il y aura des données de plus en plus importantes). Aujourd'hui par exemple, il y a plus de 20 000 milliards de requêtes par jour sur les moteurs de recherche et c'est ce type de choses que les acteurs de l'internet voudraient être capables de traiter. De même, il y a 2 milliards de photos partagées par jour. Là encore, ce sont ces dimensions qui intéressent ces grands acteurs.



- Le futur est également lié à l'efficacité des processeurs, qui permettent aujourd'hui de traiter ces immenses masses de données, et aux techniques algorithmiques de traitement, comme les techniques d'apprentissage profond.
- Les enjeux industriels, à commencer par (a) les recommandations car on vit dans des sociétés où nous sommes saturés de biens de consommations et de sollicitations. Il

faut alors viser juste et proposer à chacun ce qu'il pourrait désirer. Et pour ça, il faut le profiler, ce qu'on fait avec les techniques de l'IA. Puis (b) la perception bien sûr (images, vidéos, parole, son, ...) dont on a parlé tout à l'heure. Ensuite le raisonnement (c), accès à la connaissance avec des systèmes comme WATSON, qui sont intéressants dans les domaines juridique, médical, réglementaire (parce qu'on a des connaissances de plus

en plus touffus et donc il faut aider les gens à y accéder). Et puis les interfaces Homme-Machine (d) avec les émotions que j'ai mentionnées tout à l'heure, à savoir le

repérage des émotions et aussi la simulation des émotions sur les machines. Enfin le dialogue (e), avec ces chatbots que j'ai déjà mentionnés.



Donc voilà pour les grands enjeux industriels de l'IA.

montée par la femme d'un des dirigeants de Google, avec des fonds de Google.

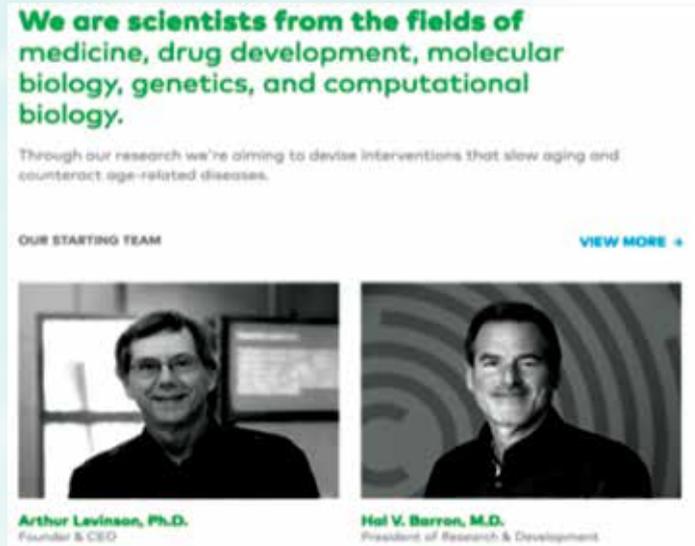
Je voudrais maintenant conclure : jusqu'où?

Limites éthiques

Il y a une société qui s'appelle Calico (California Life Company) qui stocke des génomes dans le but d'essayer de détecter ce qui est à l'origine du vieillissement, de trouver le secret de la jeunesse éternelle grâce à l'IA (*we are tackling aging, one of life's greatest mysteries*). Ça va un peu loin me diriez-vous, mais sachez que la société a été

Il y a alors plein de questions d'éthique, des questions liées à l'intimité, à la vie privée de l'individu :

- Bases de données de patients – RGPD;
- Objets connectés et robots de compagnie (stimulateurs cardiaques, respirateurs,...);
- Excès possible de protection!



Il y a des questions de décision, de responsabilité. A un moment donné, il se peut que la machine prenne la décision à la place du médecin ou que les assurances sociales disent au médecin qu'il ne s'est pas conformé à ce que la machine demandait,... Donc là je pense qu'il faudra qu'il y ait des réflexions, qu'on exige de conserver une certaine liberté et bien sûr, et que l'on accepte d'associer à cette liberté une responsabilité, que l'on ne reportera jamais sur la machine, car ce serait une forme d'abdication.

Sur ce point, il y a de quoi s'inquiéter. Il y a quelques mois, le parlement européen a voté une loi donnant une responsabilité juridique aux

robots. Je pense que c'est la pire des choses qu'on puisse faire et j'espère aussi qu'on va changer ceci.

L'Apocalypse

Je voudrais terminer sur ces déclarations fracassantes de **Stephan Hawking**, très grand scientifique, avec une volonté farouche, décédé il y a quelques jours. Il ne pouvait plus communiquer avec le monde extérieur qu'à travers les technologies et pourtant, il manifestait son inquiétude face aux progrès de la technologie.

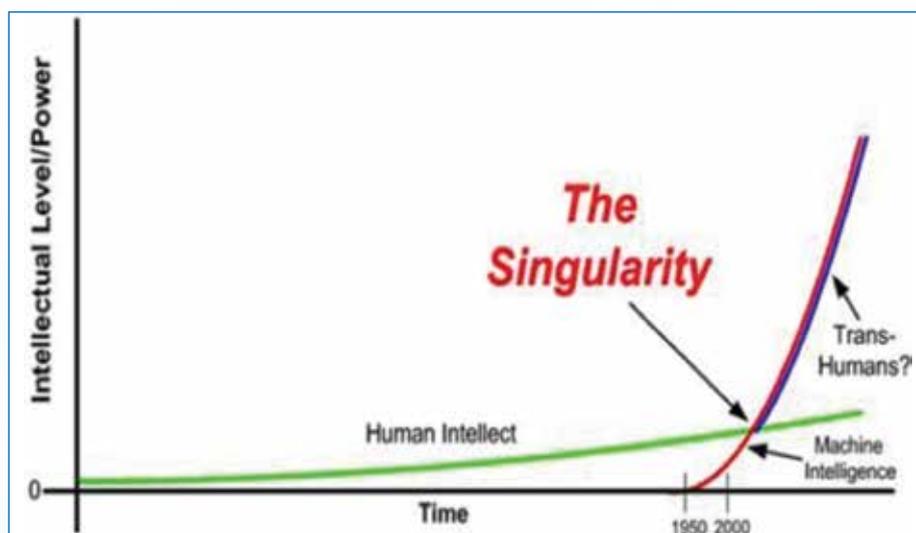
***«L'IA est le risque fondamental pour l'existence de la civilisation humaine»,
Stephan Hawking***



***«Alors que l'impact à court terme de l'IA dépend de ceux qui la maîtrisent, son impact à long terme dépend de la possibilité de la maîtriser»,
Stephan Hawking, 1^{er} mai 2014***

Hawking parlait de risque existentiel et cette idée, qu'il a mentionnée dans plusieurs circonstances a

été reprise par un certain nombre de gens tels **Bill Gates, Elon Musk, Frank Wilczek ou Stuart Russel**. Ils prévoient que les machines vont devenir autonomes, qu'elles vont se passer de l'Homme. Ces inquiétudes ont donné naissance à la théorie de la Singularité technologique.



La Singularité technologique

De la Singularité au transhumanisme

Selon ses tenants, avec l'accélération des progrès des machines, il y a un moment où l'«intelligence» des machines, à savoir l'intelligence artificielle, sera supérieure à l'intelligence humaine. On passera alors de l'humanité à la transhumanité.

Certaines de ces théories affirment même qu'avec cette transhumanité, l'homme va se télécharger sur les machines, et devenir quasiment immortel. D'autres, moins optimistes, prétendent que l'humanité va disparaître et que les machines vont

prendre le pouvoir. Selon les premiers, l'homme va s'hybrider, se changer en machine, ce qui veut dire que son corps disparaîtra et qu'on ne gardera que l'âme, la conscience. Le problème, c'est que ce sont des sociétés comme Google qui donnent crédit à ce genre de choses, que, selon elles, on va être des âmes sans corps et ce dès 2045. Il y a d'ailleurs un milliardaire russe qui a fait un site (2045.com) avec l'idée que vous pouvez vous réincarner, commencer à développer votre avatar immortel personnalisé et ce en cliquant sur un simple bouton virtuel.



Une nouvelle religion!

Il y a aussi de nouvelles formes de spiritualité un

peu étrange, comme celle dite de l'église de la voie du futur («Way of the future» church).

Way of the Future: Una religión que desarrolla un dios de Inteligencia Artificial

La organización religiosa fue fundada por un ex empleado de Google y Uber.

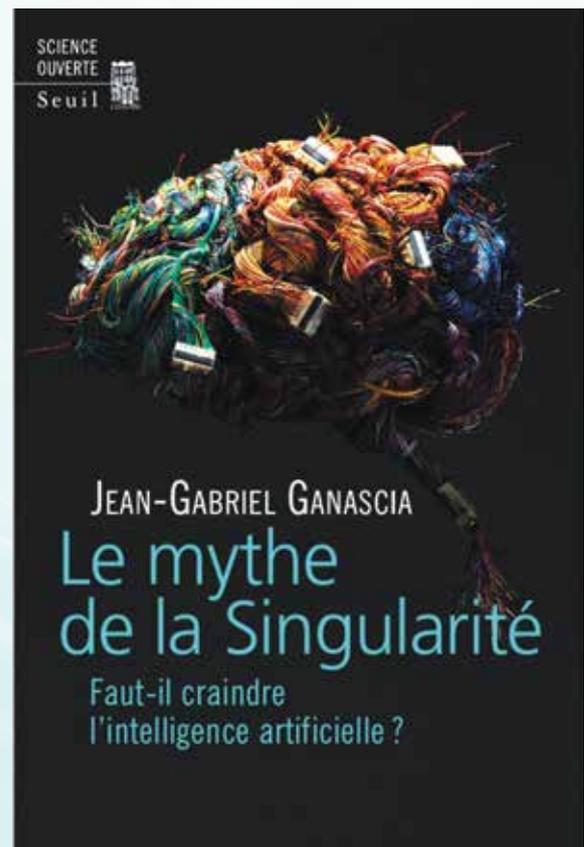


Alors, il m'a semblé ces dernières années, en tant que scientifique, qu'il était de mon devoir d'expliquer que toutes ces choses sont des fictions, que les arguments déployés par ces gens, ces autorités du monde moderne telles Hawking ou Musk, ne sont pas viables.

C'est ce que j'ai fait dans ce livre intitulé «**Le mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle?**» dont je vais résumer très rapidement les 3 points importants.

a) Le premier, c'est l'évolution exponentielle de la technologie (Loi de Moore) et là, il y a 2 arguments qui mettent en cause ces projections sur le futur :

- d'une part, rien ne dit que cela va se poursuivre. En tous cas, la technologie du silicium aura à l'évidence des limites qui sont liées entre autres à la taille des atomes. Même s'il reste la possibilité de développer le calcul quantique, c'est une rupture technologique que l'on ne peut anticiper avec précision. Et la théorie sur l'exponentielle qu'on prétend première ne l'est pas car c'est une loi d'observation;
- la 2^{ème} raison, c'est que la fréquence du calcul n'est pas la conscience. On fait des machines qui font mieux les multiplications que nous, qui jouent mieux aux échecs ou au jeu de go, voire au poker, mais cela ne veut pas dire qu'elles auront une volonté propre.



b) Le 2^{ème} argument, c'est l'autonomie des machines : certains disent aujourd'hui que si les machines utilisent l'apprentissage, elles se développeront et construiront leurs connaissances d'elles-mêmes, des connaissances qui vont nous dépasser et qui, de ce fait, leur permettront de s'autonomiser.

Or, l'apprentissage dont il est question est, comme on l'a vu, un apprentissage supervisé, qui est extrêmement limité. C'est à la fois un apprentissage très puissant, qui permet d'arriver à des résultats impressionnants, et en même temps cela demeure très limité. Une des limites tient à ce que dans l'évolution de la science, il y a des moments de rupture, des moments de changement de paradigme et ça, une machine ne sait pas le faire. Par exemple, un tournant comme celui de la relativité d'Einstein ou celui de Wegener avec la tectonique des plaques est impossible avec une machine.

c) Alors, qu'est-ce qui donc aujourd'hui donne crédit à ces choses? Il y a longtemps, c'étaient juste quelques scientifiques ou des auteurs de science-fiction mais maintenant, ce sont des gens importants investis de hautes fonctions et qui ont beaucoup de responsabilités. Ce qui est étrange, c'est qu'ils nous disent que l'IA est dangereuse, que c'est un danger majeur pour l'humanité et ce sont eux qui la développent le plus. J'appelle ceux-là des «pompiers-pyromanes».

Mais quelles sont donc leurs motivations? Plusieurs théories existent dont la première est qu'ils veulent forger un imaginaire, nous expliquer que la technologie est toute puissante, qu'étant les maîtres de la technologie, ils ont toute puissance sur le monde du futur.

Enjeux politiques: fin de la souveraineté des États

D'autres hypothèses viennent ensuite mais la dernière est que, non seulement ils veulent asseoir leur puissance économique considérable (puissance qu'ils ont déjà), mais ils veulent en plus acquérir une puissance politique. Ils veulent se substituer aux États dans l'accomplissement d'un certain nombre de tâches, en particulier, ils veulent assumer des attributs de souveraineté comme celui de la santé (on a vu l'exemple déjà donné avec la société Calico), de l'éducation, à la place des États.

Cependant, ils visent aussi à assumer les attributs dits régaliens comme :

- la justice (Utilisation des masses de données pour prévoir les récidives (US), la législation participative avec l'existence de plusieurs sites comme <https://crowdlaw.org/>);

- la finance (Nouvelles monnaies : Paypal, Bitcoin - Percevoir l'impôt : Google par exemple propose à beaucoup de pays qui n'ont pas les moyens d'établir leur cadastre gratuitement);
- la sécurité intérieure (Reconnaissance faciale - État civil : par exemple le formulaire ESTA à remplir pour rentrer aux USA exige vos propres données et paramètres d'accès aux réseaux sociaux qui, on le sait, possèdent énormément d'informations sur chaque utilisateur). Tout ça bien sûr est assez troublant;
- la défense : les enjeux aujourd'hui ne sont plus limités à l'espace «terre-air-mer» mais concernent aussi le cyberspace. Or, sur le cyberspace justement, les grands groupes ont des ambitions de contrôle. Non seulement ils veulent avoir des armes défensives pour se prémunir contre les attaques d'un certain nombre d'acteurs mais maintenant, et cela pose des problèmes aux États, ils veulent déployer des armes offensives, pour attaquer.

Comme conclusion, je dirai que la singularité technologique est un peu comme l'était la religion au 19^{ème} siècle avec Karl Marx qui affirmait qu'elle était «l'opium des peuples». On essaie de nous endormir avec une fable. Le danger est que cette fable ne nous laisse pas voir les vrais enjeux. Elle nous trompe, elle nous laisse entendre qu'il y a un risque existentiel alors qu'il y a un risque politique.

Comment faire alors pour que la peur engendrée par cette fable ne masque pas les menaces et les vrais dangers?

Merci.

La communication scientifique et technique, hier et aujourd'hui

Arnaud BENEDETTI

Professeur associé à La Sorbonne, Paris, France



Comment la communication saisit la science ? Comment le chercheur est désormais confronté à la question du grand public? Comment les enjeux de connaissance s'entrechoquent aujourd'hui avec le politique et comment le politique en vient à s'interroger sur la science?

Ce sont ces interrogations que je vais m'efforcer à gros traits de poser devant vous. Ce sont là des sujets muris à travers une expérience professionnelle qui m'a conduit à diriger la communication de 3 organismes de recherche et de technologie : le CNES, le CNRS et puis désormais l'INSERM. Ce sont les interrogations de quelqu'un qui n'était prédestiné ni à la communication, encore moins à la science. Ma formation est celle d'un littéraire, nourri au lait de ce qu'on appelait autrefois les humanités, égaré dans un univers auquel il comprenait si peu. Cela concrètement signifie que je me suis construit une culture par nécessité, et non par vocation. Et sans doute cette acculturation professionnelle a suscité chez moi des étonnements et des découvertes qui dans leur naïveté m'ont permis des questionnements que je ne me serais peut-être pas posé si j'avais été socialisé dans le sérail.

S'interroger sur la science dans sa relation avec la communication c'est d'abord prendre acte de plusieurs propriétés qui caractérisent la relation des chercheurs au monde.

1/ Les conditions extérieures du problème: Max Weber dans sa célèbre et lumineuse conférence sur «Le Savant et le Politique» appelle au préalable à poser «les conditions extérieures du problème». Ici quelles sont-elles? c'est ce sentiment qu'ont les chercheurs aujourd'hui d'être mal aimés, incompris, voire dévalués... Mal aimés par l'Etat à qui ils reprochent de leur procurer des moyens insuffisants et de complexifier leur tâche ; incompris par le système

médiatique qui n'accorderait qu'une place limitée à leurs problèmes mais aussi à leurs productions; dévalués parce que déconsidérés au regard de la longueur de leurs études, de leur utilité sociale et de leurs rétributions matérielles mais également symbolique. Voilà pour leur vécu. Il s'agit là quelque part d'un mouvement de repli ou de défiance dans leur relation à la société ou à ses évolutions. Tout au moins est-ce un ressenti très hexagonal, majoritairement partagé mais qu'il faudrait selon toutes vraisemblances corriger en fonction des disciplines scientifiques. Quoiqu'il en soit cette sensibilité épidermique de déconsidération sociale et d'appauvrissement des conditions de travail ne prédestine pas spontanément à cette ouverture aux autres qui conditionne l'appétence pour la communication.

2/ le défi des opinions révolutionne le statut de la science : la communication est pourtant

partout dans la science et dans la recherche. Et ce depuis les origines. Car la science s'est construite depuis la renaissance autour de deux notions : la confrontation entre pairs et l'idée qu'il existe une communauté, par-delà les frontières, de producteurs de la connaissance... Cela signifie que dès l'aube les germes de la professionnalisation de la recherche impliquent l'échange et de facto la communication, ne serait-ce que pour des raisons liées au fonctionnement endogène du métier. Donc le monde de la recherche est historiquement tourné vers l'ouverture et la communication. C'est d'ailleurs sans doute l'un des univers sociaux les plus précocement mondialisés.

Ce constat établi, il n'en demeure pas moins que la société de communication dans laquelle nous vivons vient surprendre de plusieurs manières les chercheurs. Et quelque part tout se passe comme si ces derniers se confrontaient soudainement à un processus dont ils ne maîtrisaient ni le fonctionnement, encore moins les implications.

L'une des caractéristiques originelles des métiers scientifiques est certes de communiquer mais de communiquer, souvent sans concession au demeurant, à l'intérieur de cette arène hautement aristocratique que l'on appelle le monde académique. Tout au plus en viennent-ils à s'ouvrir à un dialogue avec le prince quand la science, d'entreprise spécifique de connaissance se transforme, du fait de son potentiel technologique et économique, en entreprise de pouvoir comme l'observe le philosophe Bertrand Russell. Le savant et le politique communiquent en effet mais dans une convergence où le débat se fait bien plus autour de la question de l'allocation des moyens qu'au regard des implications et du sens général de l'accumulation des connaissances. A y regarder de près les choix technologiques majeurs des années soixante et soixante-dix se construisent loin des opinions et de leur expression démocratique. C'est l'alliance de la technostructure d'Etat, des grands corps d'ingénieurs et des élites scientifiques qui génère et légitime - le terme est important - les grandes décisions. Le nucléaire et l'espace, entre autres, sont les enfants de cette matrice. A titre d'exemple, je rappellerai le mot d'un ancien Président d'EDF à qui l'on demandait si d'après lui les orientations énergétiques de son entreprise étaient soutenues par l'opinion... Sa réponse tint en quelques mots : «L'opinion, qu'est-ce que l'opinion?». Les années soixante-dix furent sans doute de ce point de vue la queue de comète du scientisme triomphant ... Cette connivence avec le pouvoir produit certes de la communication mais une communication de pouvoir à pouvoir, quasi d'égal à égal sans que ne soit remise en question le statut de la connaissance et le sens de la science qui sont inévitablement associés idéologiquement à la puissance et au progrès; et d'abord au progrès, ensuite à la puissance - tout au moins en France...

Mais le monde de la recherche est désormais confronté à un phénomène qui balaye l'ensemble des activités humaines. Il s'agit de l'élargissement de l'espace public à de nouvelles et diverses catégories d'acteurs. Partout la société investit l'agora, ou plutôt partout l'agora fabrique des opinions sur tous les enjeux, y compris les enjeux les plus spécifiquement spécialisés ! La justice, la santé, la technologie débordent le cercle d'airain

des initiés au point de s'ouvrir à des profanes qui acquièrent progressivement des rudiments de culture les autorisant à s'exprimer, voire à se constituer en collectifs au travers de l'instrument associatif. La société numérique renforce le phénomène, déstabilisant les professionnels subitement soumis aux jeux et aux pressions des opinions. La montée en puissance de ces dernières transforme la relation science/société, car elle heurte l'aristocratie du savoir en lui opposant des interrogations qui remettent en cause son statut ! C'est le défi de la démocratie qui derrière l'apparente question de la communication se profile.

3/ la demande de communication est d'abord une demande politique. Depuis maintenant

une quinzaine d'années nous assistons à une politisation des débats technologico-scientifiques. OGM, nanotechnologies, médicaments, vaccins, ondes, gaz de schistes sont passés au crible des attentes et des inquiétudes, sans que nous gagnions en clarté mais sans que nous perdions pour autant en information. Ces débats obéissent à une dynamique propre où le politique est quelque part sommé par la société de prendre des décisions; et naturellement celui-ci se tourne vers les producteurs de connaissances pour éclairer ses choix et de facto les légitimer. Il s'agit là de la logique de l'expertise, telle que par exemple l'Inserm l'a impulsé voici une quinzaine d'années. On verra qu'elle n'est pas sans difficulté mais elle illustre l'une des figures du dialogue entre science, société et pouvoir. Pour autant elle attribue au chercheur une position de surplomb qui ne remet pas en cause son statut. Tout autre est le dispositif du débat public qui bouleverse bien plus en profondeur la relation des chercheurs et des technologues à la société parce qu'il postule à priori une équivalence de point de vue entre spécialistes et profanes, entre partisans et opposants, entre professionnels et représentants de la société civile. On imagine ce que cet élan a de profondément perturbant pour des acteurs élevés dans le culte d'une rationalité dont ils ne peuvent penser qu'elle soit autre que scientifique. La contradiction est vécue - et parfois à juste titre - comme irrationnelle, ignorante, démagogique ...et un tantinet obscurantiste. Le principe de

précaution résulte d'une certaine manière de cette tension entre deux incertitudes : l'incertitude scientifique à délivrer sur un sujet donné une norme définitive et l'incertitude des sociétés à préjuger dorénavant que progrès et recherche se confondent. Les moratoires traduisent indéniablement cette méfiance...

L'un des terrains qui illustre au mieux cette imprégnation des enjeux scientifiques par la société est sans doute la santé. Le tissu associatif s'y est implanté, «boosté» entre autres par les acteurs de la lutte contre le sida, transformant la relation entre les patients, les chercheurs et les médecins. La genèse d'une démocratie sanitaire préfigure d'une certaine manière un mouvement qui gagne l'ensemble des champs scientifiques désormais confrontés aux questionnements des opinions.

4/ Grand public et opinions : les chercheurs entre culture scientifique et démocratie.

La problématique de la communication saisit la recherche, ses acteurs, ses institutions sur au moins deux fronts : celui de la culture scientifique avec laquelle le chercheur est plus ou moins à l'aise mais qu'il reconnaît comme légitime; celui de la culture démocratique qui le pousse à descendre au sein d'une arène qui quelque part le désarçonne!

La question de la diffusion du savoir n'est pas nouvelle. Elle s'inscrit depuis très longtemps dans l'agenda des scientifiques. Jean Perrin, le fondateur du CNRS, crée également presque au même moment le Palais de la découverte. Cette idée qui consiste à amener la science au public, par le biais de divers dispositifs (muséographiques, scénographiques, expérimentaux, etc....), ou le public à la science s'inscrit dans une démarche pédagogique mais aussi philosophique où la connaissance est créditée d'une mission émancipatrice. C'est l'héritage des encyclopédistes et des lumières. L'objectif est partagé par les chercheurs qui y voient là une valorisation de leur mission. Ils se l'approprient d'autant plus qu'il ne remet pas en cause le statut de surplomb qui est le leur dans la mesure où il privilégie une communication verticale. Ces formes de médiation se sont renforcées ces 20 dernières années avec

le développement de lieux spécifiquement dédiés comme les centres de culture scientifique, des initiatives comme la fête de la science ou la Nuit des Étoiles, des dispositifs à vocation pédagogique comme l'opération «Tous chercheurs» à Marseille, des acteurs associatifs qui promeuvent tout un ensemble d'actions ... Pour autant, les scientifiques préfèrent généralement parler de «culture scientifique» pour caractériser cette offre, se tenant à distance du vocable de «communication». Sans doute faut-il voir dans cette défiance une illustration supplémentaire du déficit de légitimité dont les activités de communication sont l'objet parmi certains segments des élites académiques. Néanmoins cette préoccupation de transmission est en pratique inégalement partagée, quand bien même serait-elle revendiquée par les grandes institutions scientifiques. Nombre de chercheurs estiment en effet, et à raison, que dans le processus d'évaluation de leurs carrières cette activité n'est pas prise en compte. Nonobstant cette lacune, des études récentes ont montré que parmi les scientifiques les plus productifs se trouvaient souvent ceux engagés le plus résolument dans le transfert des connaissances vers le grand public...

Plus complexe, assurément, s'avère la relation avec la société lorsque celle-ci en vient à s'interroger sur le bien-fondé de certains développements scientifiques ou technologiques. C'est bien la question de la signification et donc du sens de la science qui est dès lors posée par des opinions profondément marquées par certaines grandes crises sanitaires notamment. L'expertise est une réponse possible à ces inquiétudes. Elle vient à tout le moins conforter le statut des producteurs de connaissances; elle permet aux décideurs de disposer d'un instrument de régulation au regard des attentes inquiètes parfois des sociétés; elle ne résout pas toujours pour autant le problème de l'intercompréhension entre les nécessités de la décision et les contraintes de la compréhension. Là où le politique confronté à la société aspire à des réponses immédiates et simples, l'expert au pied de la complexité des enjeux qu'il doit éclairer fournira un état des lieux, certes, des recommandations aussi, mais avec toutes les réserves inhérentes à un savoir en construction qui ne peut pas toujours conclure tant les problèmes

qu'on lui soumet sont tributaires de paramètres multiples et dont certains peuvent également lui échapper. À ces limites scientifiques s'ajoutent d'autres : économiques, éthiques, etc... qui viennent «complexifier» la production de la décision...

Quoi qu'il en fut, c'est souvent un malentendu d'ordre communicationnel qui régit la relation entre chercheurs et opinions, principalement quand c'est la valeur dont on crédite le développement scientifique qui est questionnée. Les débats inhérents aux problèmes énergétiques ou aux usages du vivant bruissent de ces controverses où les points de vue s'entrechoquent au point d'être inconciliables, puisque le scientisme supposé des uns paraît s'opposer irrévocablement à l'irrationalité présumée des autres.

5/ la compétition appelle la communication.

La science est collaboration mais elle est aussi concurrence : course aux publications, course aux financements, course in fine au prestige. Entre les chercheurs, les laboratoires, les organismes, les Universités mais aussi les Nations... Sur cette ligne de crêtes la valorisation médiatique s'inscrit comme l'une des conditions d'exercice du métier ! La multiplication des sources de financement s'impose comme l'un des facteurs qui suscite principalement les demandes de communication émanant des chercheurs. Les services de presse des institutions scientifiques y répondent en multipliant les canaux, les outils,

les formats afin de répondre aux besoins de chercheurs dont l'objectif consiste également par ce biais à permettre à leurs «financeurs-sponsors» de disposer d'un retour sur investissement en matière d'image. Dans un article de 1997, Françoise Tristani a montré comment s'organisaient les circuits de communication scientifique. Elle y distinguait deux zones :

- une «zone de légitimation» qui passe par le dispositif classique des revues «primaires» ou revues dites à comité de lectures;
- une «zone de médiatisation» où les chercheurs mobilisent médias et instances de vulgarisation pour valoriser leurs travaux.

Le circuit traditionnel de la communication scientifique respecte cette double temporalité, mais il n'interdit pas désormais certains chercheurs, des outsiders en général, de recourir à la médiatisation avant la légitimation. L'émergence des dispositifs digitaux, même si elle ne change pas les cadres de la production scientifique, vient néanmoins également infléchir les pratiques «communicantes» des chercheurs en leur octroyant des instruments de visibilité et de relation aux publics qui les émancipe des directions de la communication. Il s'agit là d'un triple défi tout à la fois pour les acteurs de la science, ceux de la communication ensuite mais également pour les professionnels de l'information qui doivent renforcer leur vigilance en termes de validation de leurs contenus.



Appui à la recherche scientifique et technique

Impact des Changements Globaux sur les Vertébrés Semi-aquatiques le long d'un Gradient Méditerranéen à Pré-Saharien [ICGVSA]

Pr. Tahar SLIMANI

*Laboratoire «Biodiversité et Dynamique des Ecosystèmes»
Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech*



Principaux objectifs scientifiques du projet

Le réchauffement global, la destruction des habitats, les épisodes de sécheresse sévère et les collectes illégales poussent différentes espèces au bord de l'extinction dans de nombreuses régions du globe. C'est le cas de nombreuses espèces de vertébrés terrestres du pourtour méditerranéen, notamment les amphibiens et les reptiles. En effet, ces animaux ont des capacités de migrations très limitées et leur métabolisme est directement contrôlé par leur température corporelle, elle-même intimement liée aux températures environnementales. Il est capital d'identifier les paramètres de l'environnement (température, humidité, disponibilité alimentaire...) compatibles avec leur survie. Pour traiter cette question complexe, nous avons adopté une approche progressive sur des espèces particulièrement vulnérables et représentatives de ces questionnements

Notre projet repose sur trois objectifs complémentaires utilisant les amphibiens et les reptiles semi-aquatiques comme modèles d'étude. Ces trois objectifs sont présentés brièvement ci-dessous :

1. Clarifier les exigences écologiques des vertébrés ectothermes spécialistes des écosystèmes aquatiques continentaux afin de prédire l'influence des perturbations environnementales (climat et modifications des milieux). Cet objectif est double, fondamental (adaptation des espèces à leur milieu) et appliqué (calibration des bio-indicateurs);
2. Comprendre les déterminants de la présence et les capacités de persistance des espèces à différentes échelles spatiales afin de clarifier l'influence des caractéristiques géographiques et des oscillations climatiques sur la répartition des espèces. Il s'agit de décrire les relations

entre les communautés d'ectothermes et la qualité des sites, la fragmentation de l'habitat et les modes d'occupation de l'espace;

3. Evaluer la part des changements globaux, climatique versus pollution par exemple, et proposer des plans de gestion.

Les axes 1 et 2 reposent sur un diagnostic des besoins écologiques d'espèces spécialistes des milieux aquatiques continentaux. Les résultats obtenus vont fournir une «photographie» reflétant l'influence des conditions passées et actuelles. Dans un contexte dynamique, cette approche transversale doit nécessairement se combiner à des suivis sur le long terme dans des sites «sentinelles». Deux types de sites sont envisagés :

- Sites témoins de suivis des populations et communautés en conditions naturelles qui nous permettront de documenter l'impact du réchauffement climatique;
- Sites expérimentaux qui nous permettront de tester l'impact de différents modes de restauration de milieux sur les communautés d'ectothermes qui en dépendent.

Principaux résultats scientifiques obtenus

Largement basé sur des opérations de terrain, à travers l'ensemble du territoire marocain, combinées à des expérimentations en laboratoire, le présent projet a permis de mieux connaître les capacités des individus d'espèces sentinelles appartenant à une gamme importante de vertébrés semi-aquatiques et ripicoles, à résister aux changements de l'environnement. Les divers sites retenus [Fig.1] et les différentes espèces intégrées dans ce programme de recherche [Fig.2] ont fait l'objet de suivis de populations, pour clarifier l'impact des variations environnementales naturelles ou induites en conditions naturelles.



Figure 1. Exemples de sites d'étude retenus pour l'évaluation des Biodiversités régionales



Figure 2. Exemples d'espèces d'amphibiens et de reptiles suivies dans la nature

En parallèle, nous avons réalisé des explorations éco-physiologiques en conditions contrôlées en laboratoire où il a été possible de déterminer l'effet des paramètres environnementaux clés comme la température ou l'hygrométrie. Les objectifs fixés

ont été atteints et des résultats originaux obtenus notamment en termes d'écologie thermique et hydrique [Fig. 3, 4, 5], traits d'histoire de vie [Fig. 6], éco-toxicologie [Fig. 7], cytogénétique [Fig. 8] et bioacoustique [Fig. 9, 10].

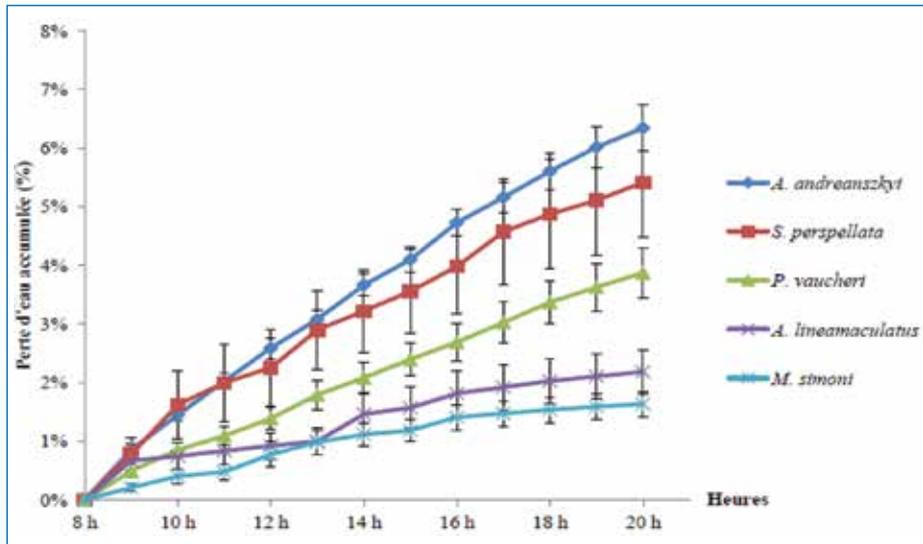


Figure 3. Taux de perte d'eau accumulée chez les deux sexes chez trois lacertidae

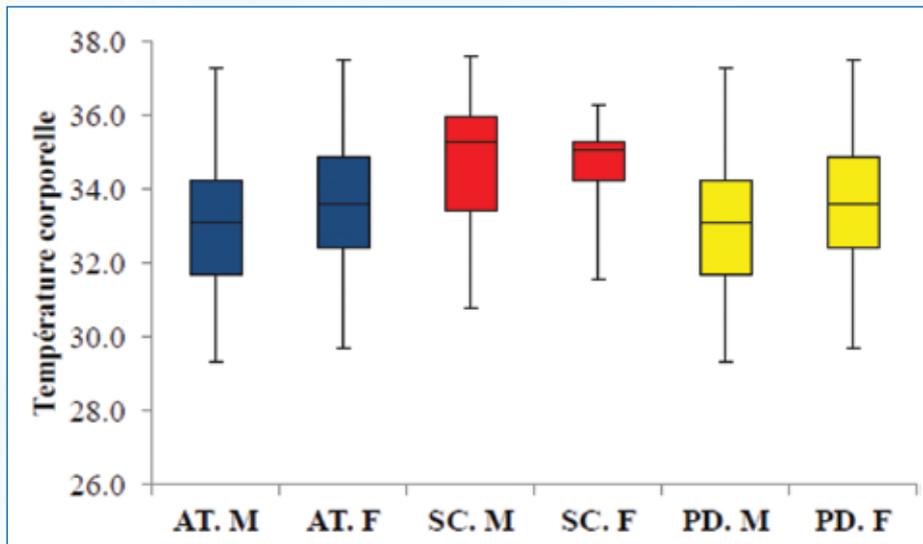


Figure 4. Gamme de températures préférées chez cinq espèces de Lacertidae

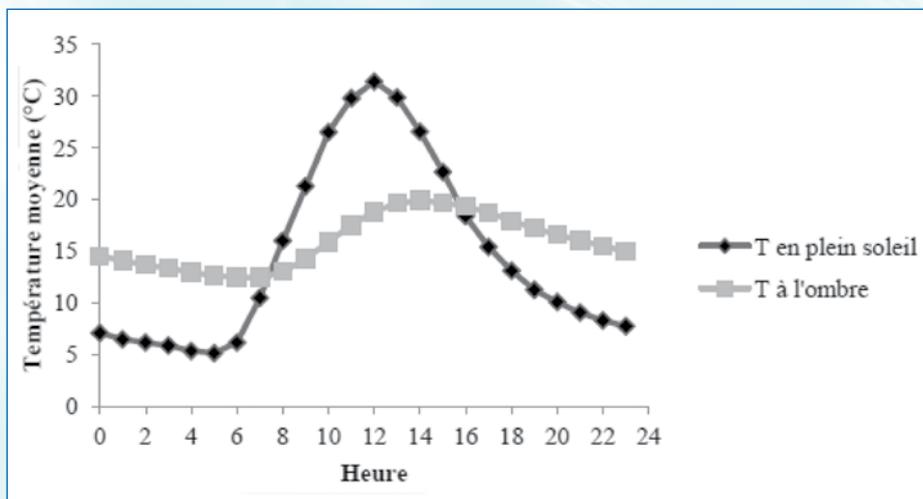


Figure 5. Evolution nycthémerale de la température printanière des micro-habitats en montagne

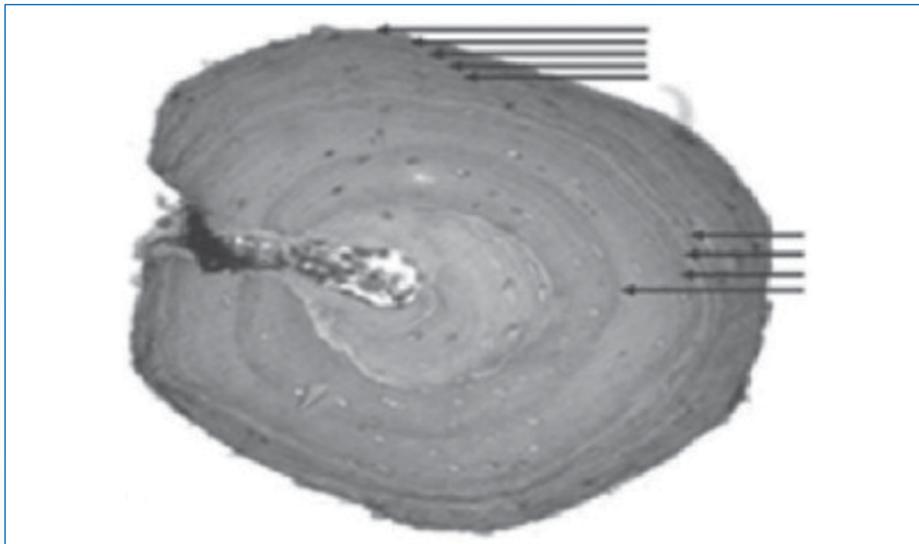


Figure 6. Croissance et structure d'âge chez *Barbarophryne brongersmai* [Male âgé de 9 ans]

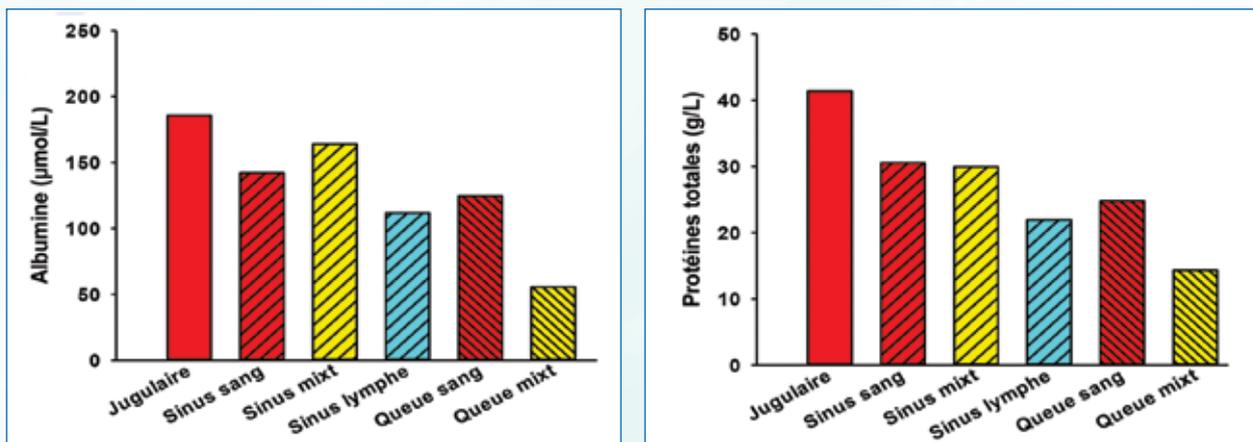


Figure 7. Tests et calibration de techniques de prises de sang chez l'Emyde lépreuse «Impact du site de ponction sur les paramètres sanguins»

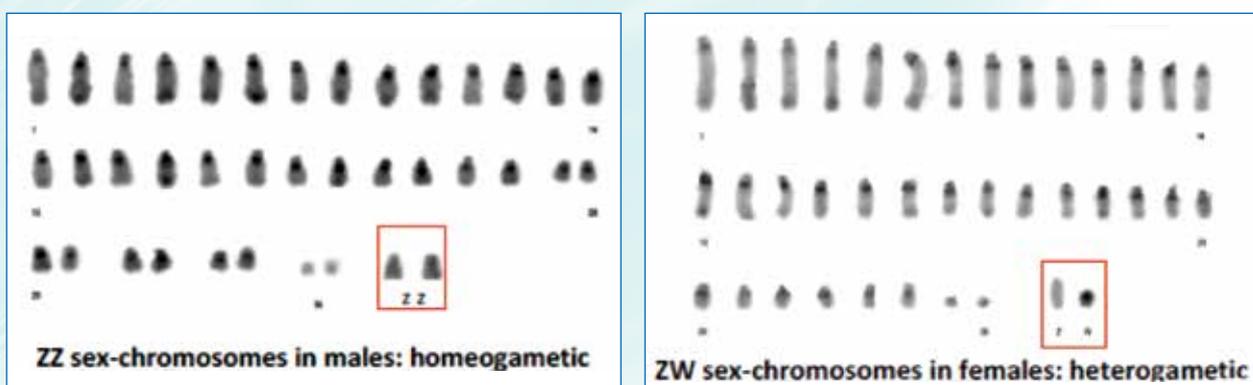


Figure 8. Caractérisation cytogénétique du lézard de l'Atlas, *Atlantolacerta andreaszkyi* «un complexe d'espèces cryptiques de hautes montagnes atlasiques»

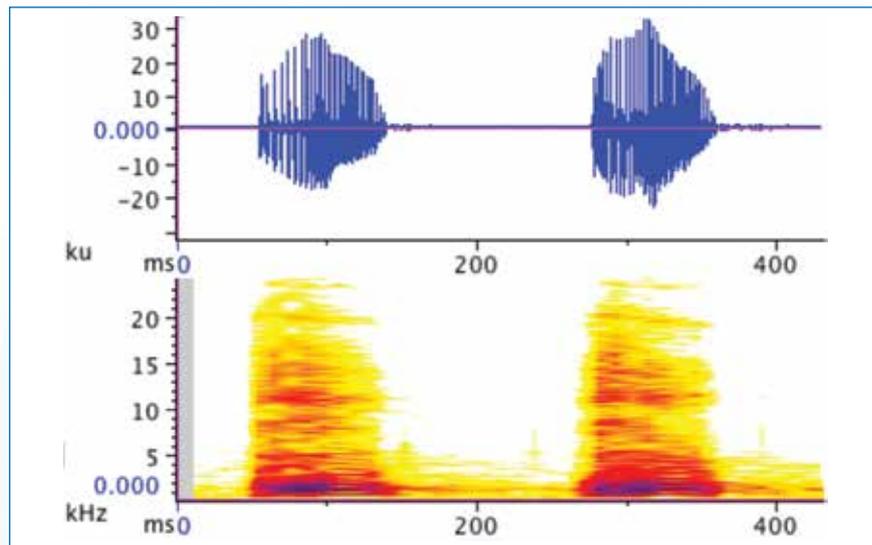


Figure 9. Oscillogramme et audiospectrogramme de haute intensité d'une femelle Pélóbate

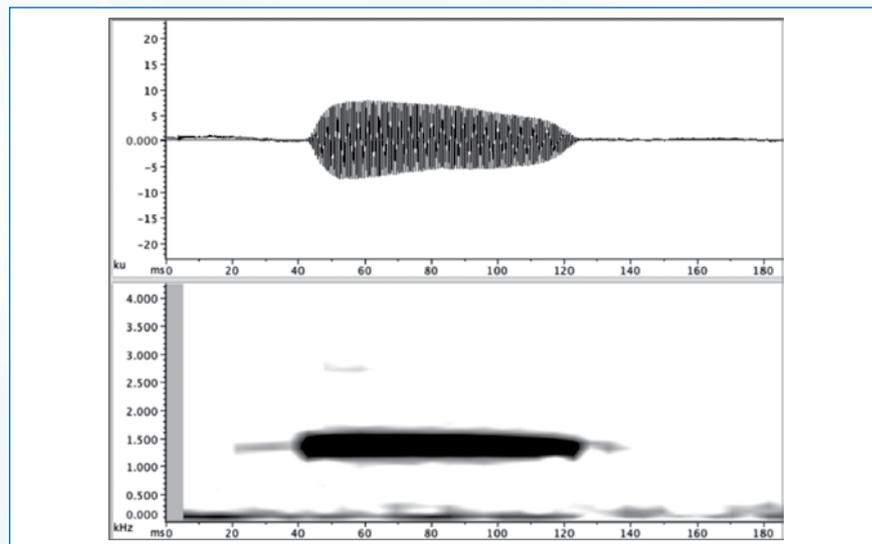


Figure 10. Oscillogramme et audiospectrogramme de faible intensité d'un mâle crapaud accoucheur

En somme, les résultats obtenus, aussi bien sur le terrain qu'en laboratoire, ont apportés des éléments solides sur des aspects complémentaires de la Systématique moléculaire, l'Ecophysiologie, l'Ecotoxicologie, la Biologie thermique, hydrique et comportementale, la Cytogénétique moléculaire et la Bioacoustique [cf. Production scientifique]. A l'aide des modélisations des capacités de réponses des espèces considérées face aux variations environnementales attendues, des aides à la décision seront proposées pour la gestion des diversités paysagères et pour toute étude d'impact, de gestion et de préservation des ressources naturelles. En effet, nos résultats permettront d'identifier des zones prioritaires de conservation mais aussi de tirer la sonnette d'alarme dans d'autres secteurs.

Retombées scientifiques et socio-économiques du projet

1. Articles scientifiques

Onze [11] articles scientifiques en rapport intime avec la thématique du projet ont déjà été publiés dans des journaux spécialisés de rang A et deux [02] autres sont sous presse.

- Joan Garcia-Porta,... Adnane Fawzi,... James Harris,... Ulrich Joger,... Giannina Reiser,... Tahar Slimani, Abderrahim S'Khifa,... Barry Sinervo, Johannes Müller and Miguel Vinces. Phylogenomic relationships of lacertid lizards reveal physiological and functional genomic adaptation to climate. **Nature Ecology & Evolution, In Press**

- Marco Dinis, Khaled Merabet, Fernando Martínez-Freiría, Sebastian Steinfartz, Miguel Vences, James Burgon, Kathryn Elmer, David Donaire, Arlo Hinckley, Soumia Fahd, Ulrich Joger, Adnane Fawzi, Tahar Slimani & Guillermo Velo-Antón. Allopatric diversification and melting pot in a North African Palearctic relict: the biogeographic history of *Salamandra atra*. **Journal of Biogeography**. **In Press**.
 - Rafael Marquez, Juan Francisco Beltran, Ignacio Pita-Vaca, Mohamed Amine Samlali, Abderrahim S'Khifa, Tahar Slimani, and El Hassan El Mouden. Release calls of Moroccan Spadefoot Toad, *Pelobates varaldii* (Anura, Pelobatidae). **Amphibia-Reptilia**. DOI:10.1163/15685381-2018-1012.
 - Massimo Giovannotti, Paola Nisi Cerioni, Verónica Rojo, Ettore Olmo, Tahar Slimani, Andrea Splendiani, Vincenzo Caputo Barucchi. Characterization of a satellite DNA in the genera *Lacerta* and *Timon* (Reptilia, Lacertidae) and its role in the differentiation of the W chromosome. **J Exp Zool (Mol Dev Evol)**. DOI: 10.1002/jez.b.22790. 1-13., 2018.
 - Tahar Slimani, Mohamed Said El Hassani, El Hassan El Mouden, Marine Bonnet, Paco Bustamante, François Brischoux, Maud Brault-Favrou & Xavier Bonnet. Large-scale geographic patterns of mercury contamination in Morocco revealed by freshwater turtles. **Environ Sci Pollut Res**. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0643-5>, 2017.
 - Mariana L. Lyra, Ulrich Joger, Ulrich Schulte, Tahar Slimani, El Hassan El Mouden, Abdellah Bouazza, Sven Künzel, Alan R. Lemmon, Emily Moriarty Lemmon & Miguel Vences. The mitochondrial genomes of Atlas Geckos (*Quedenfeldtia*): mitogenome assembly from transcriptomes and anchored hybrid enrichment datasets. **Mitochondrial DNA Part B: Resources**, Vol. 2, N° 1, 356–358, 2017.
 - Massimo Giovannotti, Paola Nisi Cerioni, Tahar Slimani, Andrea Splendiani, Alessio Paoletti, Adnane Fawzi, Ettore Olmo & Vincenzo Caputo Barucchi. Cytogenetic Characterization of a Population of *Acanthodactylus lineomaculatus* Duméril and Bibron, 1839 (Reptilia, Lacertidae), from Southwestern Morocco and Insights into Sex Chromosome Evolution. **Cytogenet and Genome Research**. DOI: 10.1159/000484533. 1-10, 2017.
 - Sanchez-Vialas A., Hinckley A., Talavera A., Slimani T.,” Northern coastal populations of *Pelobates varaldii* (Pasteur & Bons, 1959). New breeding ponds and proposal for their conservation. **Herpetozoa** 29 (3/4) Wien, 30. December 2016.
 - Hinckley A., Sánchez A., Talavera A., Slimani T., Update on the ecology and conservation of the endangered and umbrella species: *Pelobates varaldii*. **Bol. Asoc. Herpetol. Esp.** 27(1): 223-229, 2016.
 - Bouazza A., Slimani T., El Mouden H., Blouin-Demers G., Lourdais O., Thermal constraints and the influence of reproduction on thermoregulation in a high-altitude gecko (*Quedenfeldtia trachyblepharus*). **Journal of Zoology**. 300, 36-44, 2016.
 - Bonnet X., El Hassani M. S., Lecq S., Michel C. L., El Mouden E. H., Michaud B., Slimani T., Blood mixtures: impact of puncture site on blood parameters. **Journal of Comparative Physiology B**. 186, (6) : 787-800, 2016
 - Lansari A., Vences M., Hauswaldt S., Hendrix R., Donaire D., Bouazza A., Joger U., El Mouden E.H., and Slimani T., The Atlas Massif separates a northern and a southern mitochondrial haplotype group of North African water frogs *Pelophylax saharicus* (Anura: Ranidae) in Morocco. **Amphibia – Reptilia**, 36: 437-443, 2015.
 - Fattah A., Slimani T., El Mouden E.H., Grolet O. and Joly P., Age structure of a population of *Barbarophryne brongersmai* (Hoogmoed 1972) (Anura, Bufonidae) inhabiting an arid environment in the Central Jbilets (West-Morocco). **Acta Herpetologica**, 9(2): 237-242, 2014.
- 2. Livres [en préparation]**
- Guide sonore des amphibiens du Maroc.
 - Atlas des amphibiens et Reptiles semi-aquatiques du Maroc [Identification, Biogéographie et Ecologie].
- 3. Conférences plénières et keynotes conférences dans des congrès internationaux**
- Les résultats obtenus ont été présentés dans deux congrès mondiaux, et plusieurs conférences plénières et keynotes conférences ont été animées dans diverses manifestations scientifiques internationales.

- Fawzi A., S'khifa A., Vences M., Slimani T., "Thermal Ecology of Atlas lizard (*Atlantolacerta Andreanskyi*) in the Oukaimeden massif (Central High Atlas - Morocco)", Communication orale au **8th World Congress of Herpetology. Hangzhou-China**. 15-21 August 2016.
 - El Mouden E. H., Belgarne A., Laghzaoui M., Slimani T., "Spatial and thermal ecology of *Mauremys leprosa* (Schweigger, 1812) in two contrasted environments (natural VS polluted) in Marrakech, Morocco", Communication orale au **8th World Congress of Herpetology. Hangzhou- China**. 15-21 August 2016.
 - Slimani Tahar, Abderazzak Fattah, El Hassan El Mouden, Mohamed Radi, et Stefano Doglio, "Ecology and population parameters of *Pseudepidalea brongersmai* (Hoogmoed, 1972) living in small temporary ponds in the arid area of Jbilet (Western Morocco)". **7th World Congress of Herpetology [WCH-7], Vancouver - Canada**, 8-14 Août 2012.
 - El Mouden El Hassan, Fattah Abderazzak, Slimani Tahar, Radi Mohamed, Tabroui, Fatima Ezzahra, Marquez Rafael, et Beltran Juan Francisco, De Pous Philip, «Breeding site characteristics and amphibian species diversity in the Tensift-Haouz region (Marrakech-Morocco)". **7th World Congress of Herpetology [WCH-7], Vancouver - Canada**, 8-14 Août 2012.
 - Tahar Slimani, «Surveillance écologique de la biodiversité face aux dérèglements climatiques. «Diagnostic et évaluation des risques»». Conférence dans le cadre des journées "**Les Jeunes et la Science au Service du Développement**". Académie Hassan II des Sciences et Techniques. **Edition 2016**. Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. 11-13 novembre.
 - Rafael Marquez, «Etude acoustique des anoues du Maroc: le défi des analyses des vibrations». Conférence dans le cadre des Journées "**Les Jeunes et la Science au Service du Développement**". Académie Hassan II des Sciences et Techniques. **Edition 2016**. Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. 11-13 novembre.
 - Tahar Slimani, «Les animaux ectothermes «Moteurs à l'Energie Solaire». Cas des Reptiles». Conférence dans le cadre des journées "**Les Jeunes et la Science au Service du Développement**". Académie Hassan II des Sciences et Techniques. **Edition 2015**. Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. 28-29 novembre.
 - Slimani Tahar, «Les Vertébrés tétrapodes semi-aquatiques : indicateurs exceptionnels pour le suivi du changement global», "**Les Jeunes et la Science au Service du Développement**". Académie Hassan II des Sciences et Techniques. **Edition 2013**. Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. 27-28 novembre.
- #### 4. Ateliers, rencontres scientifiques et films documentaires
- Tahar Slimani, Organisation d'une **rencontre scientifique d'un consortium scientifique italien** "Life Trout Project" à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Rabat, 30 novembre 2017.
 - Tahar Slimani, El Hassan El Mouden & Rafael Marquez., «Défi et réponses des animaux face au changement global». Atelier dans le cadre des Journées "**Les Jeunes et la Science au Service du Développement**". Académie Hassan II des Sciences et Techniques. **Edition 2016**. Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. 11-13 novembre.
 - Tahar Slimani & El Hassan El Mouden. Encadrement d'une sortie pédagogique sur le terrain à Imin-Ifri – Région de Demnat : «Découverte, observation et démonstration de méthodes de surveillance écologique automatisée et à distance de la biodiversité d'un milieu naturel» dans le cadre des journées "**Les Jeunes et la Science au Service du Développement**". Académie Hassan II des Sciences et Techniques. **Edition 2016**. 11-13 novembre.
 - Tahar Slimani & El Hassan El Mouden. Encadrement d'une campagne de sensibilisation aux enjeux des changements climatiques et conséquences sur la biodiversité [Faune, Flore et Ecosystèmes], au profit des enseignants des Sciences de la Vie et de la Terre et animateurs des clubs d'Environnements de divers Lycées d'El Kelaa des Sraghnas, dans le cadre des "**Les Jeunes et la Science au Service du Développement**". Académie Hassan II des Sciences et Techniques. **Edition 2016**. 11-13 novembre.

- Tahar Slimani. Encadrement et commentaire d'un film documentaire "Le Maroc sur les traces de la Tortue aux yeux bleus" au profit de lycéens et grand public. Journées "**Les Jeunes et la Science au Service du Développement**". Académie Hassan II des Sciences et Techniques. **Edition 2015**. 26 novembre – 04 décembre.
- Tahar Slimani. Encadrement et commentaire d'un film documentaire "Les animaux répondent au réchauffement climatique" au profit de lycéens et grand public. Journées "**Les Jeunes et la Science au Service du Développement**". Académie Hassan II des Sciences et Techniques. **Edition 2013**. Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. 26 novembre-03 décembre.

5. Encadrement de travaux de fin d'études [Licence et Master]

Préparation et soutenance de **sept (07)** Projets de Fin d'Etudes de Licence Fondamentale et onze (**11**) **Master** sur des sujets directement liés au projet.

- Amhidra Essaadia & Ait Mansour Sara. Méthode de suivi à long terme des populations d'amphibiens «De l'amputation des orteils aux micro-puces électroniques». Mémoire **PFE. Filière Sciences de la Vie**. FSSM. 22 pp (**2018**).
- Ghizlane El Haddaouy & Noura Hafsi. Initiation aux suivis de la biodiversité par des méthodes non invasives : cas de la bioacoustique. Mémoire **PFE. Filière Sciences de la Vie**. FSSM. 28 pp (**2016**).
- Abderrahim Skhifa. Apport de la squelettochronologie en dynamique des populations. Approche pratique. Mémoire **PFE. Filière Sciences de la Vie**. FSSM. 23 pp (**2014**).
- Bonnet Marine. Evaluation des concentrations en mercure dans certains tissus chez différentes populations marocaines d'Émydes Lépreuses. Mémoire **Master I**. Centre des Etudes Biologiques de Chizé (CEBC)-CNRS, France. 28 pp. (**2013**).
- Abdelali Ait Zidan. Ecologie et Traits d'histoire de vie d'Atlantolacerta andreanszkyi (Werner, 1929) dans un environnement contraignant dans le Haut Atlas Central à l'Oukaïmeden. Thermorégulation et structure de population. mémoire **Master II**. FSSM. 47 pp. (**2018**).

- Mohamed Amine Samlali. Dynamique spatio-temporelle d'une population de Discoglosse peint (*Discoglossus scovazzi* Camerano 1978) dans le massif de l'Oukaïmeden (Haut Atlas Central - Maroc). mémoire **Master II**. FSSM. 53 pp. (**2016**)
- Abderrahim S'Khifa. Évolution spatio-temporelle des niches thermiques chez les lézards lacertidae en environnement extrême dans le Haut Atlas Central à l'Oukaïmeden. mémoire **Master II**. FSSM. 47 pp. (**2016**)

6. Soutenance de Thèses de Doctorat

Sur les 09 [Neuf] Doctorants impliqués aux travaux de recherche sur des sujets en rapport étroit avec le thème du projet, deux ont déjà soutenu leurs thèses, et une troisième soutenance est prévue pour fin octobre 2018.

- Lansari Aziza. Variations Environnementales et Plasticité Phénotypique chez la Grenouille Verte d'Afrique du Nord, *Pelophylax Saharicus* (Boulenger, 1913). Identification Taxonomique et Considérations Biogéographiques. **Thèse Doctorat**. FSSM - Université Cadi Ayyad. 142 pp. (**2018**).
- Abdellah Bouazza. Ecologie thermique et stratégies reproductrices chez le Gecko diurne de l'Atlas, *Quedenfeldtia trachyblepharus* (Boettger 1874) (Squamata : Gekkota : Sphaerodactylidae) dans le Haut Atlas, à l'Oukaïmeden. **Thèse Doctorat**. FSSM - Université Cadi Ayyad. 186 pp (**2017**).
- Fattah Abderrazzak. Ecologie et traits d'histoire de vie du Crapaud de Brongersma, *Barbarophryne Brongersmai* (H., 1972), dans un environnement aride et surpâturé au Maroc Occidental. Implications en termes de Conservation. **Thèse Doctorat**. FSSM - Université Cadi Ayyad. 167pp (**2014**).

7. Equipements scientifiques acquis dans le cadre du projet

Associée à un contexte favorable en termes de compétences et d'expériences scientifiques (28 chercheurs internationaux spécialistes de différentes disciplines associés au projet), l'acquisition d'un ensemble d'équipement hautement spécifique [Fig. 11], grâce aux fonds alloués au projet par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, a constitué la base indispensable à la mise en place de ce programme fonctionnel, aussi bien sur le terrain qu'en laboratoire.

Ayant renforcé l'infrastructure de recherche de la Faculté des Sciences Semlalia, cet équipement scientifique installé au laboratoire «Biodiversité et Dynamique des Ecosystèmes», est mis à la disposition des chercheurs de l'Université Cadi Ayyad.



Enceintes bioclimatiques [x4] Reconstitution des variables climatiques en laboratoire



Microtome à congélation «Etudes squelettechronologiques»



Valises Pelicase portables [x2] «Mini-laboratoire d'écophysiologie»



Enregistreur automatique [x6] «Analyses des niveaux sonores»

Figure 11. Exemples d'équipement scientifique acquis dans le cadre de ce projet financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

8. Ouverture à l'international et montée en puissance de collaborations dans le domaine des changements globaux et la gestion et la conservation des ressources naturelles

Le présent projet a favorisé la mise en place de liens transversaux entre des chercheurs spécialistes de différentes disciplines (écologie fondamentale, écophysiologie, phylogénie, écotoxicologie, modélisation et biologie de la conservation) avec, pour objectif commun, la valorisation scientifique et appliquée des résultats obtenus. Il a également permis un réel échange de compétences et de techniques bénéfiques aux travaux de recherches mutuels, à la formation des étudiants (Master, Doctorat) et à l'accroissement de la lisibilité et la renommée des chercheurs impliqués dans l'expertise sur les changements globaux, la gestion des ressources naturelles et la conservation de la biodiversité. Ce développement et la montée en puissance de collaborations entre les cinq principales équipes européennes impliquées permettra dans un proche avenir, la mise en place de conventions cadre entre les universités françaises, espagnoles, italiennes, portugaises et allemandes d'une part et l'Université Cadi Ayyad d'autres part. Ce cadre administratif permet d'envisager la réalisation de thèses en co-tutelle, et ainsi enrichir la formation professionnelle des étudiants marocains. Cette accélération des collaborations scientifiques et techniques maroco-européennes, et leurs diversifications futures possibles, conditionnera également la constitution d'un consortium Méditerranéen et l'adhésion et l'implication dans des commissions d'organisations internationales.

Conclusion

L'originalité du projet, l'intérêt porté actuellement à l'étude des changements globaux (naturels ou induits), et la qualité du consortium scientifique ont assuré une bonne production en termes de production scientifique (publications internationales, communications à des colloques internationaux, livres) et de vulgarisation (posters, plaquettes, reportages, conférences). Une autre mesure du succès du projet concerne le nombre d'étudiants que ce programme a permis de former dans les domaines de la conservation, de l'écophysiologie, des adaptations aux milieux extrêmes, et à la biogéographie. En effet, Le nombre de chercheurs impliqués (28) dans le projet a permis la formation de 32 étudiants [09 en Doctorat, 11 en Master et 12 en Licence fondamentale] sur l'ensemble du programme. Ce projet a aussi servi de catalyseur en ce qui concerne les collaborations scientifiques maroco-européennes dans le domaine de la gestion des écosystèmes méditerranéens et la conservation de la diversité biologique dans un contexte de

changement global. Son succès sera révélé ainsi par la pérennisation de ces collaborations et leurs diversifications futures. Ainsi, créer et renforcer un axe de collaboration Maroc-France-Espagne-Portugal-Italie-Allemagne sur un thème sociétal majeur est un élément capital du projet. Enfin, sur le moyen et le long terme, le succès du projet sera révélé par l'intensité de l'implication des gestionnaires de milieux naturels dans les mises en œuvre de plan de réhabilitation écologique, en testant des modes de gestion du milieu naturel, issus des résultats obtenus au cours de ce projet. Cette efficacité en termes de conservation est directement mesurable grâce aux suivis à long terme de la dynamique des populations d'étude par capture marquage recapture. En effet, à l'aide des modélisations des capacités de réponse des espèces considérées face aux variations environnementales actuelles et attendues, des aides à la décision seront proposées pour la gestion des diversités paysagères et pour toute étude d'impact, de gestion et de préservation des ressources naturelles.



Nouvelles des académiciens

Sécurité mondiale de l'eau Leçons apprises et implications à long terme



Pr Mohamed AIT KADI, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et Président du Conseil Général du Développement Agricole, a contribué à cet ouvrage collectif édité par le Conseil Mondial de l'Eau et présenté lors du Forum Mondial de l'Eau tenu à Brasilia en mars 2018. Ce livre met en lumière la relation entre le secteur de l'eau et divers autres secteurs afin de faciliter une meilleure compréhension de l'importance des ressources en eau en tant que vecteur cardinal et essentiel du développement socio-économique. Il traite à la fois de la politique et de la pratique sans être contraint par les définitions existantes de la sécurité de l'eau. Il présente des expériences concrètes de décisions politiques, de gestion, de développement et de gouvernance prises dans le secteur de l'eau et des exemples de leur incidence sur les secteurs de l'énergie et de l'agriculture ainsi que sur l'environnement et vice versa. Il discute également des choix, des implications à court et à long terme, des leçons apprises et de la voie à suivre. Le livre comprend des études de cas de villes, de pays et de régions tels que l'Australie, la Chine, Singapour, l'Asie Centrale, le Maroc, l'Afrique du Sud, la France, l'Amérique Latine, le Brésil et la Californie.

