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

n°26

décembre 2019

«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

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

2019 IYPT International Year of the Periodic Table of Chemical Elements

Le tableau périodique des éléments chimiques au cœur de l'ordre de la matière et de l'univers

Célébration de l'Année Internationale du Tableau Périodique par les Nations-Unies

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

n°26
décembre 2019

«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 ASSOBHEI (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)
El Mokhtar ESSASSI (Collège des Sciences Physiques et Chimiques)
Abdelaziz SEFIANI (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

Le tableau périodique des éléments chimiques au cœur de l'ordre de la matière et de l'univers 11
- «*Genèse des éléments chimiques dans l'univers primordial*», O. FASSI-FEHRI 13
- «*Les sciences physiques et le tableau périodique des éléments chimiques : une histoire commune*», E.M. ESSASSI 20

Relation Université-Entreprise : les clés de la réussite 49
- Présentation 50
- Allocution du Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II 51
- «*Relation université-entreprise : évolution des pratiques et nouveaux modèles*», P.A. TANGUY 53
- Note de synthèse du séminaire 63

Emploi et développement pour des politiques publiques centrées sur l'emploi 69
- Présentation 70
- Allocution du Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II 71
- Synthèse de la Conférence 73

Les iniquités en santé au Maroc : une initiative vers une évaluation participative 85
- Présentation 87
- Allocution du Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II 89

Challenges and new perspectives in mathematics 91
- Présentation 92
- Allocution du Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II 93

Advanced applications of emergent materials 95
- Présentation 96
- Allocution du Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II 97

Activités de l'Académie 99
- Activités des Collèges 101
- Soft computing and data mining for energy, environment & health 105
- La fabrication additive 106
- Variations dans le génome humain et leurs applications en médecine et en identification génétique 108
- Les jeunes et la science au service du développement, A. HOUMMADA, L.B. DRISSI, A. EL HASSANI 117

Focus 131
- Ingénierie de la pauvreté et développement, R. TAOUIL 133

Nouvelles des académiciens 141
- Prix d'excellence en enseignement décerné au Pr Daoud AIT KADI 143

Editorial

Les sciences physiques et chimiques, les sciences de la Vie et de l'Univers reposent sur des modèles et des représentations de la matière. La matière qui nous entoure, et dont nous sommes constitués, est un assemblage de molécules et d'atomes eux-mêmes un assemblage de particules élémentaires reliées entre elles par des interactions, décrites par la théorie du modèle standard de la physique des particules, dite aussi physique des hautes énergies. Cette théorie combinée avec la théorie du modèle standard de l'Univers explique l'origine de la matière de la nucléosynthèse primordiale des éléments légers à la nucléosynthèse stellaire, sa composition, ses propriétés et les forces qui la gouvernent, de l'infiniment petit à l'infiniment grand. L'ensemble de la matière connue et observable, malgré sa diversité, peut être reproduite à l'aide de 12 particules de matière classées en deux familles; les leptons (6 dont l'électron) et les hadrons (6 quarks). De la même façon, à l'échelle atomique, la matière connue est classée selon un ordre tenant compte des propriétés physico-chimiques de plus d'une centaine d'éléments chimiques, sous la forme de ce qui est communément connu sous le nom de «Tableau périodique des éléments chimiques».

Le tableau périodique des éléments chimiques est l'une des réalisations les plus importantes de la science, capturant l'essence non seulement de la chimie, mais également de la physique et de la biologie. C'est un outil unique permettant aux scientifiques de prédire l'apparence et les propriétés de la matière sur la Terre et dans le reste de l'Univers. Le tableau périodique des éléments chimiques n'est pas seulement un catalogue de tous les atomes connus de l'univers. Il est essentiellement une fenêtre sur l'univers, qui contribue à élargir notre compréhension du monde qui nous entoure. L'année 2019 marque le 150ème anniversaire de sa création par le scientifique russe Dmitry Ivanovich Mendeleev.

L'année 2019 a été proclamée par l'Assemblée générale des Nations Unies et par la Conférence générale de l'UNESCO, année internationale du Tableau périodique des éléments chimiques.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, à l'instar des années précédentes, apporte son soutien et sa contribution scientifique et matérielle à l'organisation, par le Ministère de l'Éducation Nationale, de la Formation Professionnelle, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, et par les Académies Régionales de l'Éducation et de la Formation (AREF), des Journées : Les Jeunes et la Science au Service du Développement, sous le thème «**Le Tableau périodique des éléments chimiques au cœur de l'ordre de la matière et de l'univers**».

A cette occasion, plusieurs manifestations scientifiques (conférences, ateliers, visites, expositions...) ont été organisées à travers les régions du Royaume par les établissements scolaires et universitaires. Ce numéro du Bulletin d'Information donne un aperçu du programme des principales manifestations.

Direction des Sciences

Le tableau périodique des éléments chimiques au cœur de l'ordre de la matière et de l'univers

Genèse des éléments chimiques dans l'univers primordial *

Omar FASSI-FEHRI
Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Chers amis professeurs des Etablissements scolaires de Rabat.

Chers amis élèves des lycées de Rabat.

Mesdames, Messieurs.

Je voudrais tout d'abord vous dire combien je suis heureux de participer avec vous au lancement des journées "Les jeunes et la science au service du développement" sous le thème "**Le tableau périodique des éléments chimiques au cœur de l'ordre de la matière et de l'univers**", sachant que l'Assemblée générale de l'ONU et la Conférence générale de l'UNESCO ont décidé de faire de l'année 2019 l'année du tableau périodique des éléments chimiques de Mendeleïev. Merci chers amis d'avoir répondu à notre invitation.

Mesdames, Messieurs.

En 1869, il y a 150 ans, le chimiste russe Dmitri Ivanovich Mendeleïev conçut un tableau de 7 lignes et 18 colonnes représentant tous les éléments chimiques, ordonnés par numéro atomique (Z=nb. de protons) et croissant de 1 (H, hydrogène) à 118 (Og, oganesson); on retrouve dans ce tableau tous les éléments qu'on a découverts sur terre, il prédisait même l'existence d'éléments qu'on n'avait pas encore découverts ni observés.

L'homme s'est toujours posé une quantité de questions sur son origine, d'où venons-nous? des questions également sur notre planète terre, sur laquelle nous vivons; comment l'univers a-t-il commencé? Comment évolue-t-il?

Comment ont été créés les éléments qui remplissent les cases du tableau de Mendeleïev? Ont-ils toujours existé? Pendant longtemps l'homme n'avait aucune idée sur la nature des étoiles, sur la nature de tous les objets qui emplissent l'espace intersidéral.

Pendant très longtemps l'homme, pour observer son environnement et surtout le ciel, n'a disposé que de son œil. Le mouvement du soleil a probablement fourni aux hommes leur première horloge, les phases de la lune ont été à la base des premiers calendriers; l'aspect du ciel indiquait aux premiers agriculteurs l'époque des semailles ou des récoltes.

Les premières réponses aux questioins précédentes ont été données lorsqu'on a pu améliorer les instruments utilisés pour observer le ciel, et d'abord par l'invention en 1609 de **la lunette astronomique**, dûe à Galileo Galilei. L'homme découvre alors que la lune possède comme la terre des montagnes, que Jupiter avait des satellites, comme la lune par rapport à la terre, que les planètes tournaient autour du soleil.

Plus tard de nouveaux instruments d'observation plus sophistiqués ont été mis en œuvre, **le télescope**, les sondes spatiales, le télescope spatial, les instruments de radio-astronomie, le radio-télescope, les satellites…

On a pu notamment analyser le rayonnement, reçu du soleil et des différents corps célestes, en utilisant **la spectroscopie**, et connaitre ainsi leur composition. On découvre grâce à William Huggires et sa femme Margaret que les étoiles sont formées des mêmes éléments chimiques que la terre; On peut alors légitimement penser que les éléments sur terre et les éléments ailleurs dans l'Univers sont probablement passés par le même processus de formation.

Lemaitre et Friedmann ont élaboré un modèle d'Univers en utilisant les lois de la relativité générale de Albert

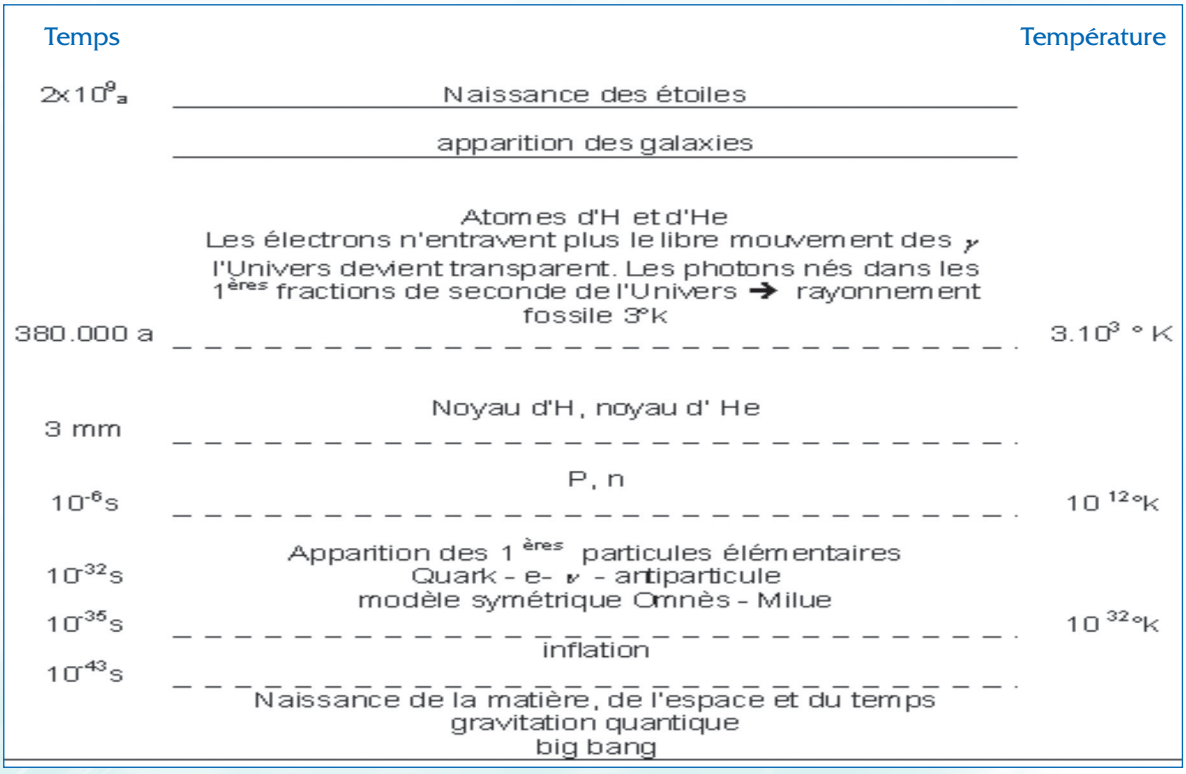
* Conférence donnée devant plus de 200 lycéens de Rabat et une cinquantaine d'enseignants lors de la cérémonie de lancement des journées "Les jeunes et la science au service du développement".

Einstein; c'est le modèle standard, aujourd'hui validé par plusieurs expériences: en 1965 deux astronomes américains Arno Penzias et Richard Wilson observent une mystérieuse lueur millimétrique à 3°K (en fait 2,7°K) qui provenanit de toutes les directions et correspondait aux attentes du modèle de Gamow du Big Bang. Le Big Bang (Grand Boum) est un modèle cosmologique conçu à partir de la relativité générale et qui décrit l'évolution de l'Univers depuis 13.7 milliards d'années à partir d'une formidable explosion de lumière, à partir d'un point infiniment dense et infiniment chaud, en donnant naissance à l'espace, au temps et à la matière. Les équations de la relativité générale conduisent aussi à la possibilité d'un modèle d'Univers en expansion, ce qui a pu être vérifié grâce à la loi de Hubble (1929): $\mathbf{v=H_0\ d}$

V: vitesse de récession, $\mathbf{H_0}$: constante de Hubble à l'instant présent (sa détermination la plus récente par le satellite WMAP donne une valeur de 69±0.8 km par s et par megaparsec), et **d** facteur d'échelle (distance); les galaxies s'éloignent les unes des autres selon cette loi; notons que 1/H représente l'âge de l'Univers.

La validité de la théorie de la relativité générale a été également vérifiée en observant la déviation d'un rayon lumineux, issu d'une étoile, par le soleil (expérience faite en 1919 à l'occasion d'une éclipse du soleil par l'astronome Arthur Eddington).

Dans ce modèle on a pu ainsi reconstituer l'histoire de l'Univers depuis le Big Bang :



Une seconde après le Big Bang, les éléments légers (hydrogène, hélium, lithium, béryllium) sont formés, alors que la température nécessaire à la formation de tels atomes (légers), est encore élevée (10^9 K); on a également pu déterminer l'abondance de chacun de ces éléments.

Les éléments plus lourds ne peuvent être formés parce que la température a beaucoup baissé à cause de l'expansion de l'univers; la température et la densité deviennent trop faibles pour permettre la fusion d'autres noyaux, la nucléosynthèse s'arrête; Il faut attendre la formation des étoiles, et la mise en marche du réacteur nucléaire que représente le cœur (centre) de l'étoile, suite à une augmentation de la température dûe à la pression gravitationnelle, pour avoir la formation des éléments chimiques lourds tels que C, O, Na, Mg , Ne, Si, jusqu'au Fe, le Fe étant l'élément le plus stable du tableau de Mendeleïev.

Notons que dans le modèle ainsi décrit toute la matière existant dans l'univers c'est-à-dire tous les éléments chimiques du tableau de Mendeleïev se sont formés au moment de la nucléosynthèse primordiale pour les éléments légers jusqu'au lithium et la nucléosynthèse stellaire pour les éléments plus lourds, notamment la matière de notre système solaire et bien entendu de notre planète.

Revenons à la nucléosynthèse primordiale, une seconde après le Big Bang et pendant trois minutes, les éléments légers se sont ainsi formés suivant les réactions nucléaires suivantes :

$p + p \longrightarrow D + e^+ + \nu$

$p + D \longrightarrow He^3 + \gamma$

$He^3 + He^3 \longrightarrow He^4 + p + p$

$He^3 + He^4 \longrightarrow Be^7 + \gamma$ ou $Be^7 + p \longrightarrow B^8 + \gamma$

$Be^7 + e^- \longrightarrow Li^7 + \nu$ $\quad B^8 \xrightarrow{\text{se desintègre}} Be^8 + e^+ + \nu$

$Li^7 + p \longrightarrow He^4 + He^4$ $\quad Be^8 \longrightarrow He^4 + He^4$

au total

$4p \longrightarrow$ noyau de He^4 + energie

$E = mc^2$

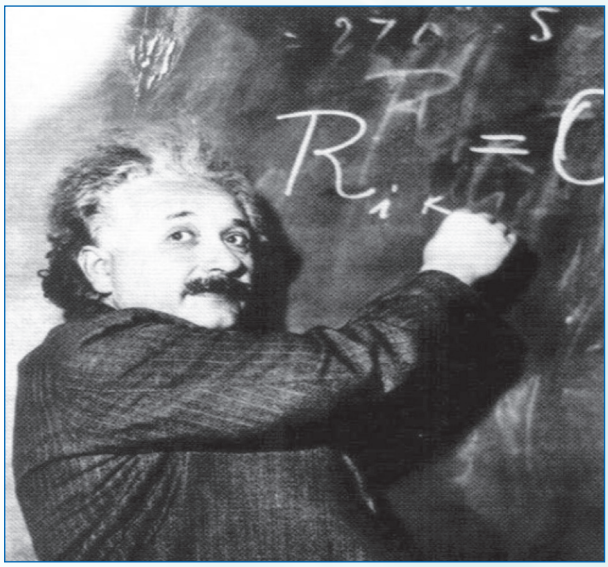
(parceque noyau de He^4 plus léger que 4p)

p	proton
D	Deuterium
He	Helium
γ	photon
ν	neutrino
Be	Beryllium
e	electron
Li	Lithium
E	Energie
c	vitesse de la lumière
m	masse (de la particule)

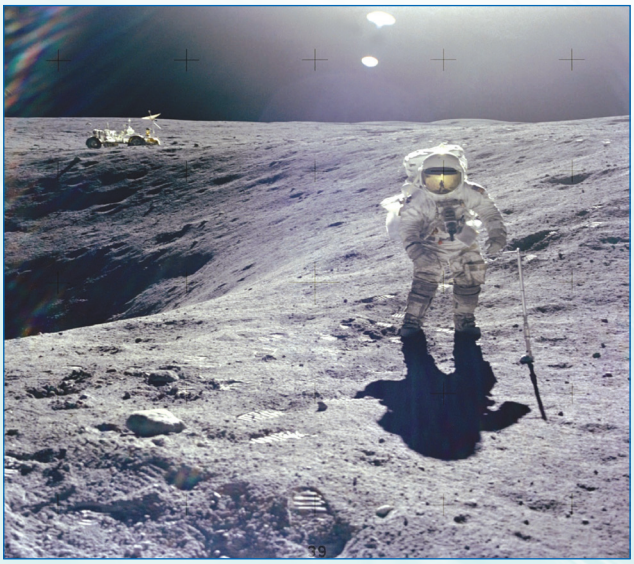
Grâce à la physique nucléaire on a ainsi pu donner une explication satisfaisante de l'origine des éléments chimiques, suite aux travaux de plusieurs grands spécialistes de la physique nucléaire (A. Cameron, G. et M. Burbidge, W. Fowler, F. Hoyle).

Les quelques images qui vont suivre illustrent quelques-uns des grands moments de l'évolution de cette science passionnante.

LE PÈRE DE LA RELATIVITE



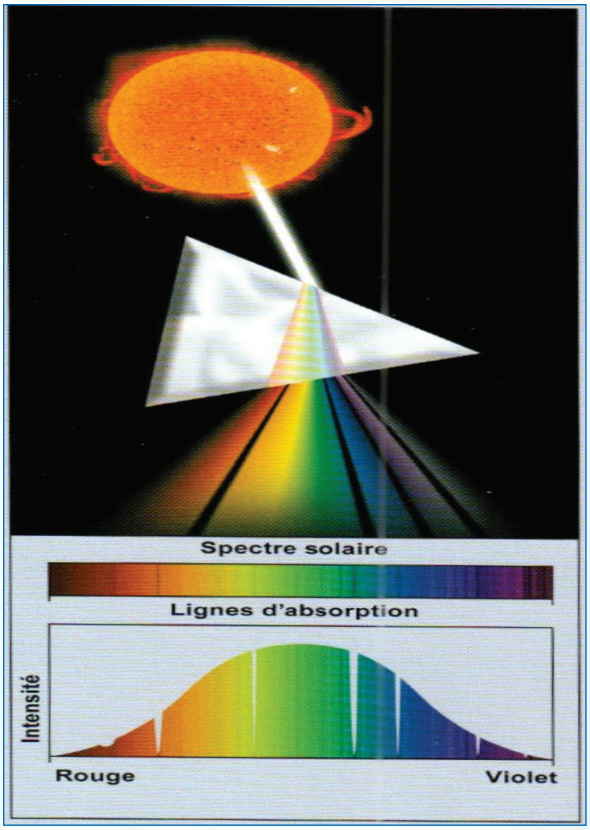
▼ **Albert Einstein**
Au tableau, à Leyde en Hollande, le 6 décembre 1923.



L'Astronome Charles M. Duke Jr d'Apollo 16 en train de collecter des échantillons lunaires.

Le Site d'atterrissage fut choisi à proximité d'un grand bassin d'impact, la Mer des pluies.

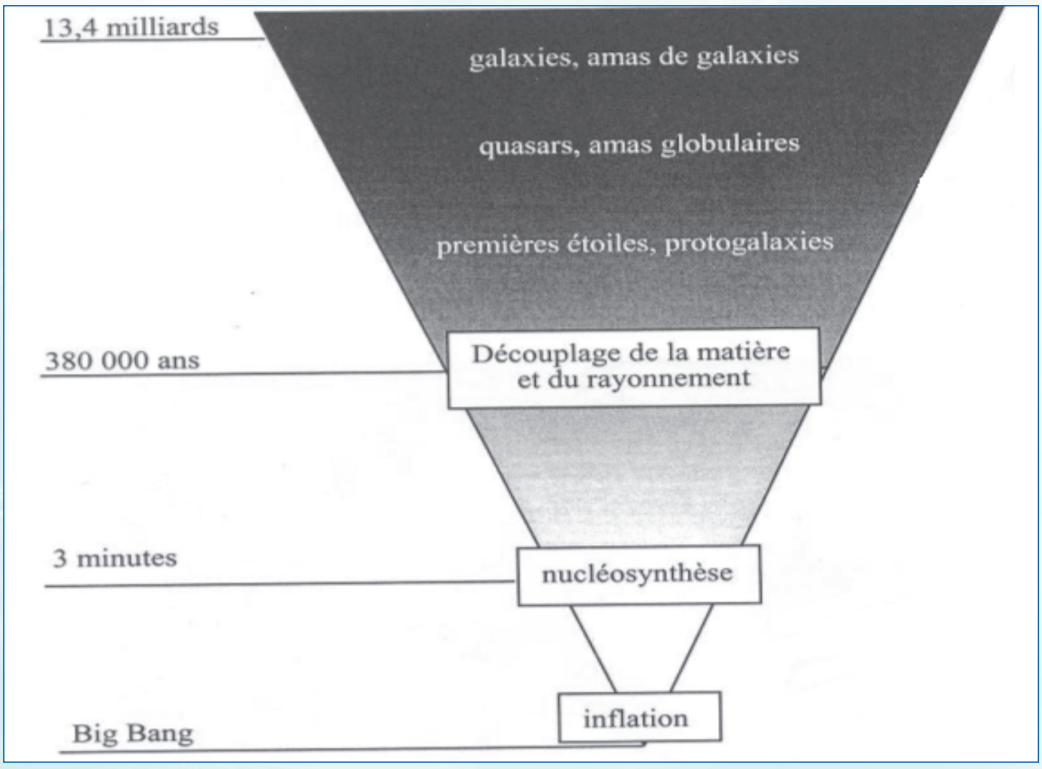
Spectre d'absorption



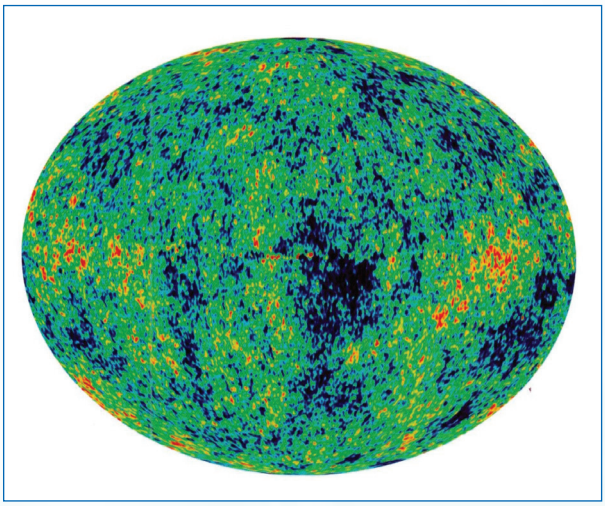
Cette image montre l'apparition des raies d'absorption.

La surface extrêmement chaude du soleil (photosphère) émet une lumière blanche qui traverse les régions externes légèrement plus froides (la chromosphère, qui représente des protubérances solaires, et visible ici). Décomposée en ses couleurs constitutives, ou fréquences, par le prisme, cette lumière présente le spectre continu en dos d'âne d'un «corps noir» (typique de tout objet incandescent), entrecoupé par les raies sombres de Fraunhofer – indiquant que le gaz des couches froides du soleil a absorbé ces fréquences particulières.

Evolution de l'Univers depuis le Big Bang jusqu'à nos jours



ET LA LUMIÈRE FUT



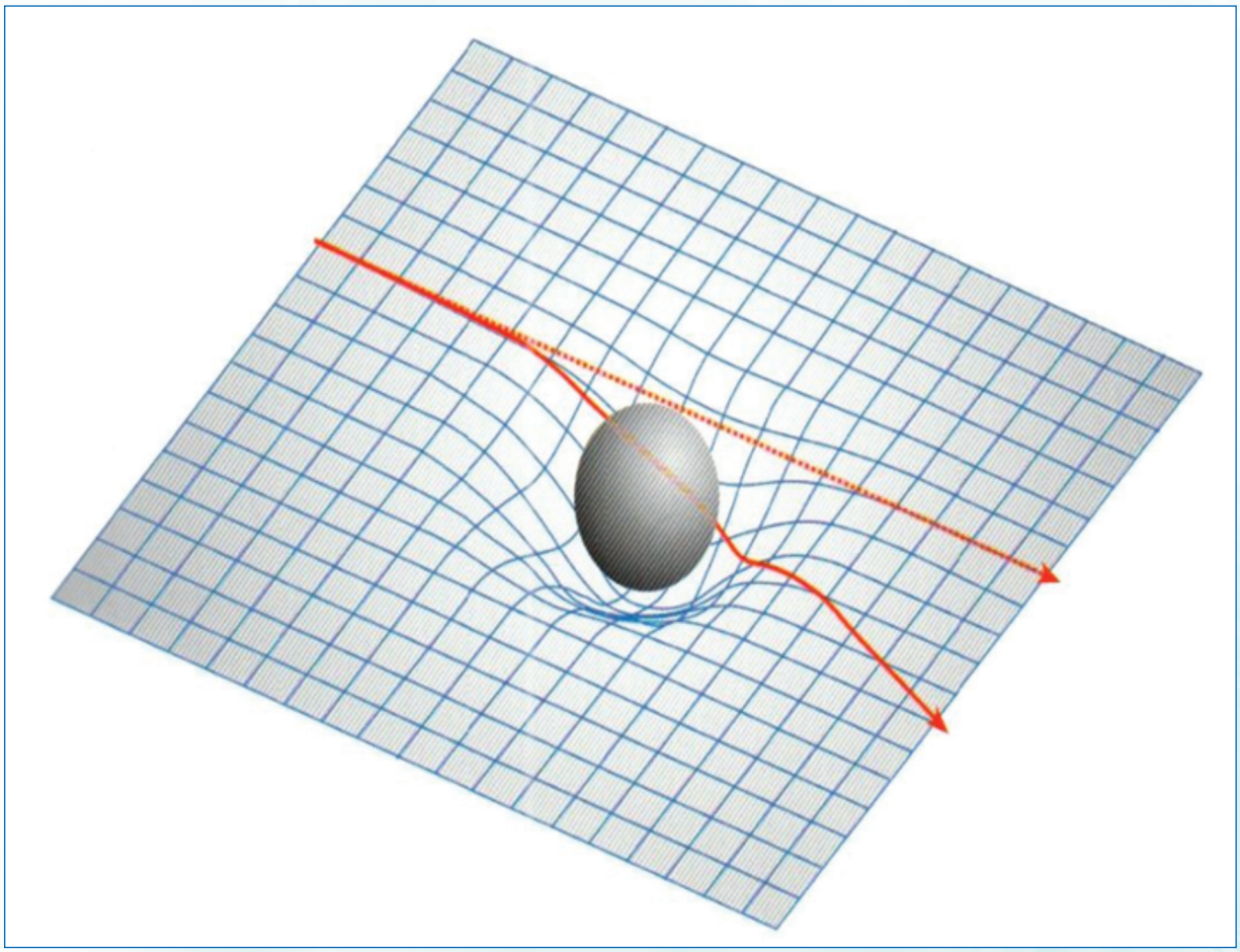
Le ciel micrométrique

Cette carte de la totalité de la sphère céleste observée aux fréquences micrométriques révèle des fluctuations de température remontant à 13,4 milliards d'années.

Identifiées par des couleurs différentes, celles-ci correspondent aux germes qui donneront naissance aux galaxies: le rouge indique des régions relativement chaudes et le bleu-noir des régions relativement froides.

L'image a été réalisée à partir des données recueillies par la sonde WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe).

IMAGINER L'ESPACE-TEMPS



Un objet massif déforme l'espace et le temps.

Le rayon de lumière est courbé de telle sorte que ce que nous voyons semble provenir d'un endroit différent de celui d'où il est réellement issu.

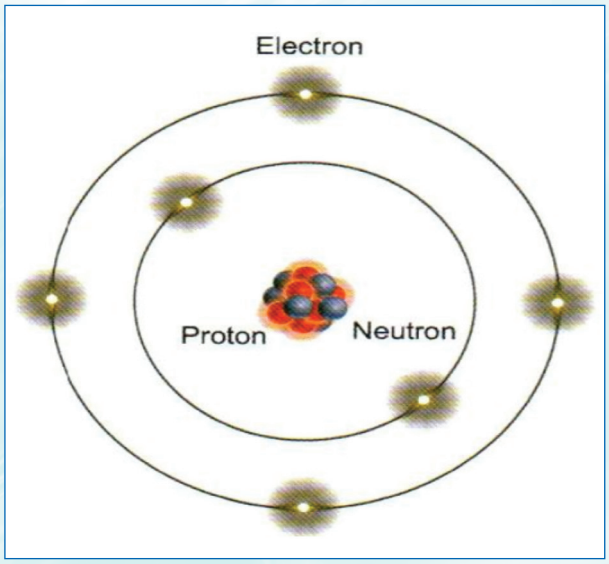
La ligne en pointillé correspond à la trajectoire prise par la lumière non déviée. La ligne rouge continue représente le chemin suivi par la lumière lorsqu'elle passe près d'un objet massif.

Soleil

LISTE DES ÉLÉMENTS
PRÉSENTS DANS L'ATMOSPHÈRE SOLAIRE
(Goldberg et Aller, "Atoms, Stars and Nebulae")

Élément	*Volume en % (nombre d'atomes)*	*Masse (milligrammes par colonne de 1 cm²)*
Hydrogène	81,760	1 200
Hélium	18,170	1 000
Carbone	0,003 000	0,5
Azote	0,010 000	2,0
Oxygène	0,030 000	10,0
Sodium	0,000 300	0,1
Magnésium	0,020 000	10,0
Aluminium	0,000 200	0,1
Silicium	0,006 000	3,0
Soufre	0,003 000	1,0
Potassium	0,000 010	0,003
Calcium	0,000 300	0,2
Titane	0,000 003	0,003
Vanadium	0,000 001	0,001
Chrome	0,000 006	0,005
Manganèse	0,000 010	0,01
Fer	0,000 800	0,6
Cobalt	0,000 004	0,004
Nickel	0,000 200	0,2
Cuivre	0,000 002	0,002
Zinc	0,000 030	0,03

L'ATOME CLASSIQUE

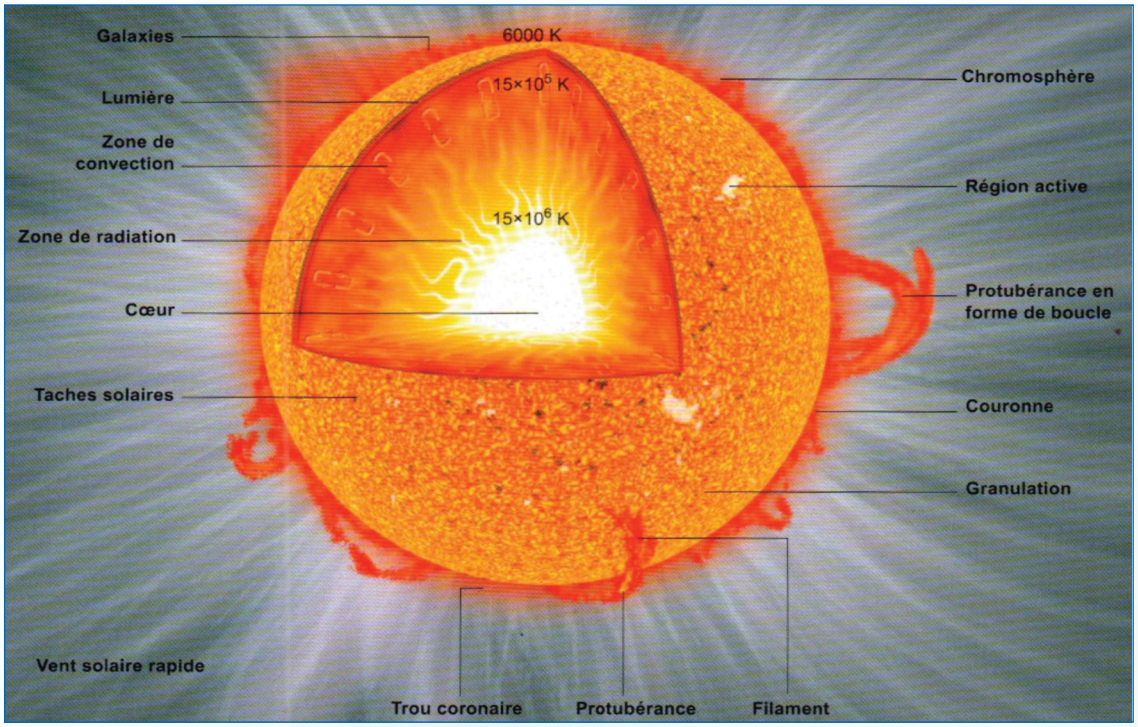


Ce modèle d'atome simple fut proposé par Niels Bohr en 1913.

Il comprend un noyau formé de neutrons (en bleu) et de protons (en rouge), entourés d'électrons en orbite, comme les planètes autour du soleil. En dépit de l'avènement de la mécanique quantique qui propose une image très différente de l'atome, les particules en forme de billets étant remplacées par des zones diffuses de «densités de probabilité», le modèle classique de Bohr est toujours en usage aujourd'hui.

A L'INTERIEUR DU SOLEIL

Du cœur à la photosphère, il y a environ 700.000 km, soit à peu près l'équivalent d'un aller-retour entre la terre et la lune.



Concluons

La Science a établi depuis presqu'un siècle que l'Univers est gigantesque, qu'il évolue, qu'il a une histoire ou plutôt qu'il y a trois histoires qui s'emboitent les unes dans les autres : celle de l'Univers, celle de la matière et celle de la vie. «C'est la découverte la plus significative du XXe siècle» d'après Hubert Reeves.

Aujourd'hui, nous nous sommes un peu intéressés uniquement à l'histoire de l'Univers et un peu moins à celle de la matière.

Des avancées extraordinaires en sciences de la matière et en cosmologie ont été réalisées ces toutes dernières années : observation des ondes gravitationnelles, observation du Boson de Higgs, observation d'un Trou noir.

Mais qu'en est-il de la matière noire et de l'énergie noire qui représentent 95% de l'Univers alors que la matière que nous connaissons et dont nous sommes constitués ne représente que 5%?

Une autre question reste ouverte : qu'en est-il encore d'une théorie de la relativité généralisée d'Einstein et de la mécanique quantique?

Les scientifiques ont encore beaucoup de pain sur la planche.

Merci pour votre attention.

Les sciences physiques et le tableau périodique des éléments chimiques : une histoire commune

El Mokhtar ESSASSI

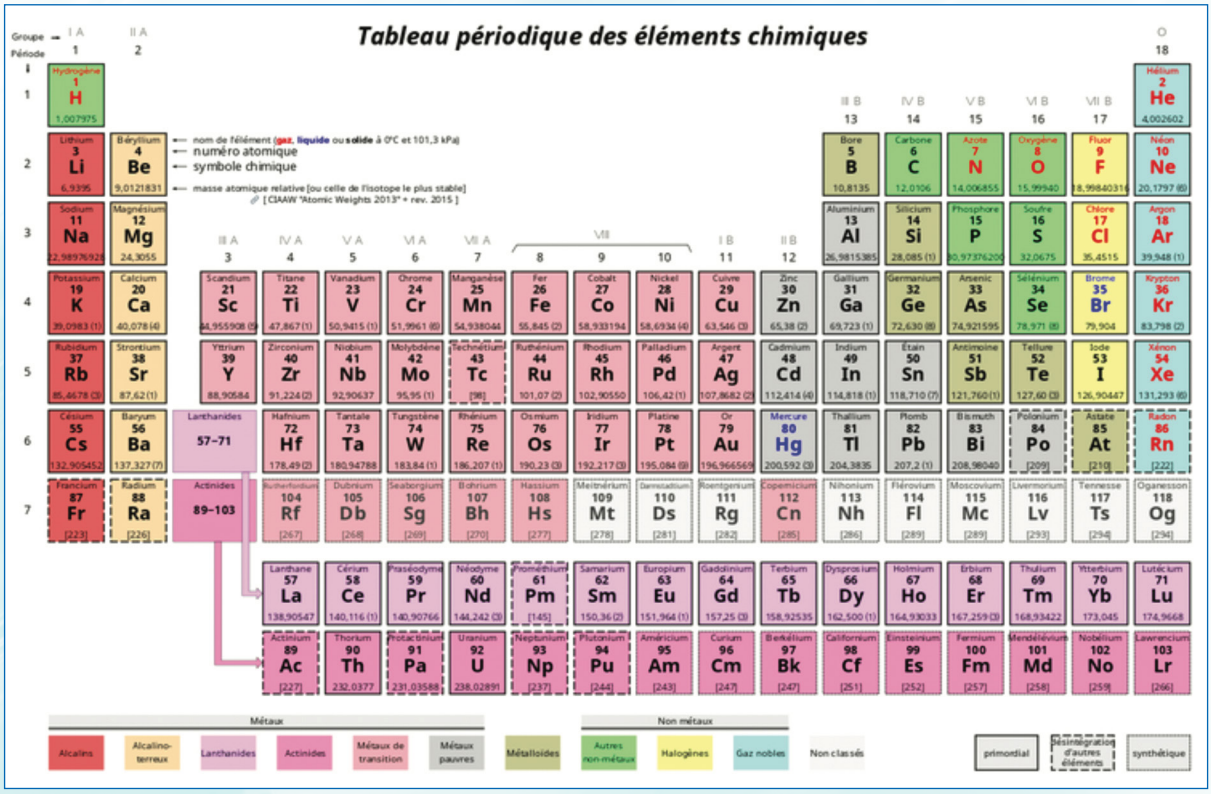
Membre Résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.
(Collège des Sciences Physiques et Chimiques)

Abstract:

The Periodic Table of Chemical Elements also called Mendeleiev Table is considered as the nature's Rosetta stone, one of the most recognizable image in our civilization and as one of the pillars on which are based chemistry and other scientific branches. It has a common history with those of the physical sciences (Physic, Chemistry, Astronomy). Several well known scientists have contributed effectively to the elaboration of the Periodic Table of Chemical Elements. This article is published as a part of the celebration of the International Year 2019 of the Periodic Table of Chemical Elements (IYPT 2019), proclaimed by the United Nations.

Résumé:

Le Tableau Périodique des Eléments Chimiques, également appelé Tableau de Mendeleïev, est considéré comme la pierre de Rosette de la nature, l'image la plus reconnaissable de notre civilisation et l'un des piliers sur lesquels s'appuient la chimie et d'autres branches scientifiques. Il a une histoire commune avec celles des sciences physiques (Physique, Chimie, Astronomie). Plusieurs savants et scientifiques ont contribué efficacement à l'élaboration du Tableau Périodique des Eléments Chimiques. Cet article est publié dans le cadre de la célébration de l'Année Internationale 2019 du Tableau périodique, proclamée par l'Organisation des Nations Unies.



Source: Scaler, Michka B/WikipediaScaler,Michka B/Wikipedia

Dans le tableau périodique des éléments chimiques, les groupes ou colonnes apparaissent verticalement. Chacun des 18 groupes du tableau périodique (plus les groupes des lanthanides et des actinides), constitue un ensemble d'éléments aux propriétés similaires et bien distinctes des groupes voisins.

Par exemple, le groupe 1 - à partir du lithium est celui des alcalins, le groupe 17, celui des halogènes, et le groupe 18, celui des gaz rares (ou nobles)...

La période désigne une ligne horizontale du tableau périodique. Les propriétés des éléments varient généralement beaucoup le long d'une période, mais peuvent être parfois assez similaires (voir métaux de transition) ou constituer des séries chimiques complètes, comme les lanthanides (de 57 à 71) et les actinides (de 89 à 103).

Pour arriver à cette version élaborée de la classification des éléments (des atomes) et faire apparaître une périodicité de leurs propriétés chimiques, en fonction du poids (masse) atomique comme Mendeleiëv, de la structure électronique externe aujourd'hui - qui donne les raisons de cette périodicité (qu'il ignorait) -, les hommes de science ont dû peu à peu percer les secrets de la matière.

C'est dire si cette recherche est intimement liée à l'émergence, aux progrès et à la reconnaissance de la chimie en tant que science fondamentale.

Ainsi, sur plus de 150 ans, de Lavoisier à Seaborg, les recherches à propos de la classification périodique des éléments accompagnent et stimulent les progrès de la chimie et de la physique nucléaire.

Le tableau de Mendeleïev a joué un rôle de catalyseur d'un travail où nous avons retrouvé les plus grands noms de la chimie et de la physique du XIX^{ème} et du début du XX^{ème} siècle.

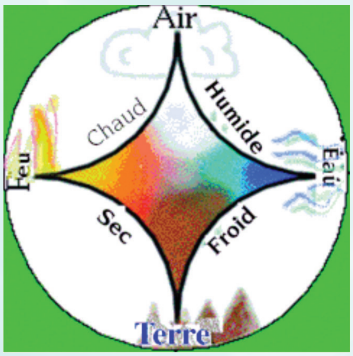
Le Tableau Périodique des Eléments Chimiques peut être considéré comme :

- la pierre de Rosette ou l'alphabet de la nature;
- l'icône de la science, de la technologie et de la culture universelle;
- l'un des piliers essentiels sur lesquels s'appuie la Chimie. Il est très utile pour plusieurs branches scientifiques : l'archéologie, l'astronomie, la biologie, la biochimie, les sciences des matériaux, les sciences environnementales, la physique, la géologie et la paléontologie;
- l'une des images les plus facilement reconnaissables de notre civilisation;
- l'une des contributions les plus pertinentes et significatives de notre civilisation. C'est une merveille de l'esprit humain;
- la référence ultime des éléments présents sur Terre, dans les étoiles ou les accélérateurs.

Le Tableau Périodique permet aux chercheurs de prédire l'apparence et les propriétés d'éléments encore inconnus. Quelques décennies plus tard, à la suite de la découverte d'éléments radioactifs, Marie Skłodowska Curie et Irene Curie procèdent aux premiers diagnostics pour les soldats blessés dans des hôpitaux mobiles de première ligne ; c'est la première application médicale de radiations. Aujourd'hui, la médecine nucléaire est essentielle pour le diagnostic et les thérapies ciblées.

Les premiers éléments artificiels (neptunium et plutonium) sont découverts en 1940-1941. Seule une soixantaine d'éléments étaient connus quand Mendeleïev achevait son travail sur «La corrélation entre les propriétés et la masse atomique des éléments», le 1er mars 1869. Aujourd'hui, 118 éléments ont été identifiés. Parmi eux, les 94 premiers se produisent naturellement sur Terre et les 24 restants sont synthétiques.

A l'instar de l'univers, le tableau périodique des éléments chimiques a une histoire très liée à celle des sciences physiques (physique, chimie, astronomie), ainsi qu'à celle de la biochimie. Cette histoire a débuté lorsque l'homme s'est intéressé à la structure de la matière qui l'entoure et qui le constitue. Ce rôle est attribué à la chimie dont l'histoire est associée à la maitrise par l'homme du feu à l'époque paléolithique, il y a 400.000 mille ans avant notre ère, et qui s'achève à la fin de la dernière période glaciaire, 8 000 ans avant notre ère. Le feu constitue la première source d'énergie utilisée par l'homme pour le chauffage, la cuisson des aliments et la fabrication d'armes pour se protéger, en transformant certains matériaux. . .



Au temps d'Aristote, Démocrite donne naissance à la théorie atomistique, suivi de Leucippe et Lucrèce. Démocrite prétend que la matière n'est pas indéfiniment divisible et qu'elle est constituée de particules que l'on ne peut pas subdiviser : les atomes. Cependant, cette théorie est rapidement rejetée par Aristote disciple de Platon, en adoptant la proposition d'Empédocle selon laquelle l'Univers est constitué de 4 éléments : la terre, l'eau, l'air et le feu. Aristote renforce la théorie d'Empédocle, en attribuant des qualités à chacun des quatre éléments fondamentaux: froid, sec, chaud et humide. Il est à noter qu'Aristote considéré comme le plus grand philosophe et le détenteur de la vérité en occident, durant plusieurs siècle, niait l'existence du vide et la discontinuité de la matière, Les affirmations d'Aristote constituent les bases de l'Alchimie. Cette dernière avait pour but la réalisation de la pierre philosophale permettant la transmutation des métaux vils en or ou en argent, ainsi que la préparation de la panacée ou remède universel.

L'alchimie arrive en Europe avec les traductions des textes arabes. Les alchimistes européens s'emparent de leurs idées et les amplifièrent, en attribuant toutes les vertus possibles à l'or qu'ils prétendent extraire eux-mêmes des métaux imparfaits tels le mercure, le plomb, etc. Ils se font également appelés : les enfants de l'art, les initiés, les cosmopolites, les adeptes, les rose-croix, les souffleurs, ou les philosophes hermétiques.

Le langage des alchimistes est volontairement ésotérique pour rester celui des initiés. Ils ont classés les corps qui interagissent suivant des notions de sympathie et d'antipathie, en solides, liquides et vapeurs.et selon la couleur

Il existait au début du Moyen âge, une relation importante entre l'alchimie et l'astrologie. A cette époque, sept métaux étaient connus : l'or, l'argent, le cuivre, le fer, l'étain, le plomb et le mercure. Et l'astrologie comptait sept planètes. La liaison s'établissait ainsi : Soleil- l'or; Mercure- le mercure; Vénus- le cuivre; la lune- l'argent; Jupiter- l'étain et Saturne- le plomb.

Une autre classification des composés chimiques a été également proposée par les alchimistes : soufre, mercure et sel : le soufre et le mercure sont issus de l'alchimie arabe et le sel de Paracelse (célèbre alchimiste et médecin suisse). Au soufre se rattache tout ce qui est chaud, dur et masculin; au mercure tout ce qui est froid, féminin; quant au sel, il assure la cohésion du soufre et du mercure lors de leur union.

Notons qu'en recherchant la pierre philosophale, l'alchimiste allemand Hennig Brandt obtiendra en 1669, le phosphore par distillation de l'urine humaine.

En publiant The Sceptical chymist en 1661, Robert Boyle bouscule les conceptions en vigueur et participe à faire rentrer la chimie dans la modernité en rejetant l'idée d'Aristote. Pour Boyle, les éléments sont "des entités parfaitement indépendantes et uniques en leur genre", qui ne doivent plus pouvoir être réduites ou décomposées davantage.

Les manuscrits de Boyle donnent des indications précieuses sur sa méthode scientifique de faire ses expériences, d'écrire ses livres, et de formuler ses idées. Ce qui est, d'ailleurs, chose presque unique pour un savant du XVII^{ème} siècle ayant une préférence pour «l'essai» plutôt que le discours magistral, et un désir baconien d'écrire pour tout le monde. Le désir de Boyle de découvrir la vérité est aussi intense que celui de communiquer ce qu'il apprend aux autres. Ses nombreux écrits ont une grande influence sur beaucoup de ses contemporains, notamment le célèbre scientifique Isaac Newton. En 1660, Boyle devient un des fondateurs de la Société Royale de Londres (Angleterre). Certains considèrent Boyle comme le père de la chimie. Il a adopté une démarche complètement différente de celle des alchimistes de son époque. En effet, ceux-ci gardaient pour eux leurs découvertes ou les écrivaient de manière à ce que peu de personnes les comprennent, en dehors de leur cercle. Boyle, quant à lui, publiait ses recherches de façon claire et détaillée. De plus, au lieu de se contenter d'accepter d'anciennes hypothèses, il encourageait à faire des expériences pour établir des faits. Boyle recommande aux scientifiques de ne pas être arrogants ni dogmatiques, mais plutôt d'être prêts à admettre leurs erreurs. Il conseille à ceux qui ont des opinions tranchées de bien faire la distinction entre ce qu'ils savent être vrai et ce qu'ils pensent être vrai.

Robert Boyle, physicien et chimiste irlandais (1627-1691)

Depuis, il n'y a plus lieu d'accorder crédit à l'alchimie ni à l'astrologie. On peut s'y intéresser pour l'histoire, l'histoire des sciences, les débuts de cette belle discipline qu'est la chimie qui va connaître un fort développement. Cependant, les alchimistes ont ouvert, avec beaucoup de peine, dans l'obscurité, à leurs risques et périls, les premières portes de la science.

L'interdisciplinarité dans le monde scientifique fait qu'il est parfois difficile de différencier l'histoire de la chimie de celle de la physique ou des sciences de la vie telle que la biochimie.

Dimitri Ivanovich Mendeleïev (1834-1907)

En 1869, Dimitri Mendeleïev a réalisé qu'en classant les éléments par masse atomique croissante, certains types de propriétés revenaient à intervalles réguliers. Ce système indiquait qu'il existait un lien entre la structure d'un élément et ses propriétés. Remarquant des vides entre les éléments connus, Mendeleïev prédit l'existence d'éléments encore inconnus. La classification de Mendeleïev ne s'impose pas immédiatement; ce qui fut vérifié avec les découvertes du gallium en 1875 par le chimiste français Paul-Emile Lecoq de Boisbaudran, du scandium en 1879 par le suédois Lars Fredrik Nilson, et du germanium en 1887 par l'allemand Clemens Winkler. Depuis, le chimiste russe est devenu une icône, érigée en pop-star de la chimie. Un élément du tableau, un cratère lunaire et une dorsale océanique portent à présent son nom. Et pour cause, il est à l'origine de l'une des plus belles œuvres de sa discipline.

Les découvertes de Mendeleïev n'ont été possibles que par sa profonde connaissance de la chimie et de la physique de l'époque. Il a pu compter pour cela sur les travaux de ses confrères, voyageant de congrès en congrès à travers l'Europe. Avant lui, une soixantaine de classifications avaient déjà été proposées. Entre 1860 et 1869, cinq d'entre elles se présentaient même comme périodiques. Jusqu'à Mendeleïev et encore après, la conception de l'atome s'est largement affinée. En plus d'être un modèle parfaitement fonctionnel, la classification de Dimitri Mendeleïev s'est révélée extraordinairement prédictive. Elle permettait non seulement de présager l'existence de nouveaux éléments, mais surtout d'en prédire les caractéristiques et les comportements.

Le travail de Mendeleïev est un jalon important dans une histoire qui s'étend sur plus de mille ans. Elle commence au IXe siècle, lorsque Jabir ibn Hayyan (Geber) isole pour la première fois les éléments chimiques arsenic (As) et antimoine (Sb). C'est un polymate : chimiste et alchimiste, astronome et astrologue, ingénieur, géographe, philosophe, physicien, pharmacien et médecin d'origine persane. Né et éduqué à Tus en Iran, il

a voyagé plus tard à Kufa. Il a été décrit comme le père des débuts de la chimie. Il a également anticipé la fission nucléaire et le pouvoir destructeur de la scission d'un atome.

Geber a écrit plus de cent traités sur des sujets variés, dont 22 concernent l'alchimie. Fermement bâtis sur des observations expérimentales, ses livres donnent une systématisation des procédés chimiques fondamentaux utilisés par les alchimistes, tels que la cristallisation, la distillation, la calcination, la sublimation et l'évaporation. Ils constituent donc un grand pas dans la transformation de la chimie d'un art occulte en une discipline scientifique. En particulier, Geber devine que des quantités finies de différentes substances sont mises en œuvre au cours des réactions chimiques, devançant ainsi de presque un millénaire les principes de la chimie moderne et notamment de la loi des proportions définies, découverte par Joseph Louis Proust en 1794

On lui attribue également l'invention et le développement de plusieurs équipements de laboratoire toujours en usage à l'heure actuelle. Héritier des alchimistes gréco-égyptiens comme Zosime de Panopolis, il utilisa l'alambic, qui lui permit d'effectuer des distillations de manière plus sûre, plus aisée et plus efficace. En distillant des sels en présence d'acide sulfurique, Geber découvrit l'acide chlorhydrique (à partir de chlorure de sodium) et l'acide nitrique (à partir du salpêtre). En mélangeant les deux, il inventa l'eau régale, qui est l'un des seuls réactifs chimiques qui permette de dissoudre l'or. Au-delà de ses applications pour l'extraction et la purification de l'or, cette invention fit à la fois le bonheur et le désespoir des alchimistes pendant le millénaire suivant. On lui attribue également la découverte de l'acide citrique (à la base de l'acidité du citron), de l'acide acétique (à partir de vinaigre) et de l'acide tartrique (à partir de résidus de vinification).

Geber appliqua ses connaissances à l'amélioration de nombreux procédés de fabrication, parmi lesquels la fabrication de l'acier et de divers métaux, la prévention de la rouille, la dorure, la teinture des vêtements, le tannage du cuir, ainsi que l'analyse de pigments. Il développa l'utilisation du dioxyde de manganèse (MnO_2) dans la fabrication du verre afin de compenser les teintes vertes produites par le fer, procédé encore employé de nos jours. Il remarqua que l'ébullition du vin produit une vapeur inflammable, ouvrant ainsi la voie à la découverte de l'éthanol par Al-Razi. Il proposa également une nomenclature des substances, qui peut être vue comme posant les bases de la classification des éléments modernes. Il proposa de séparer les substances en trois catégories : «esprits», qui se vaporisent sous l'effet de la chaleur comme le camphre, l'arsenic ou le chlorure d'ammonium; les «métaux» comme l'or, le plomb, le cuivre et le fer; et les «pierres» qui peuvent être broyées sous forme de poudre.

Au cours du Moyen Âge, ses traités d'alchimie furent traduits en latin et devinrent les textes de référence des alchimistes européens. Parmi ceux-ci on peut citer le Kitab al-Kimya («Livre de la composition de l'alchimie»), traduit par Robert de Chester en 1144, et le Kitab al-Sab'een («Les 70 livres»), traduit par Gérard de Crémone (avant 1187). Berthelot traduisit certains de ses livres connus sous les titres de «Livre du Royaume», «Livre de l'Equilibre», «Livre de Mercure Oriental». Certains termes techniques introduits par Geber, passèrent dans les langues européennes et devinrent des mots courants du vocabulaire scientifique, comme al kali (alcalin).

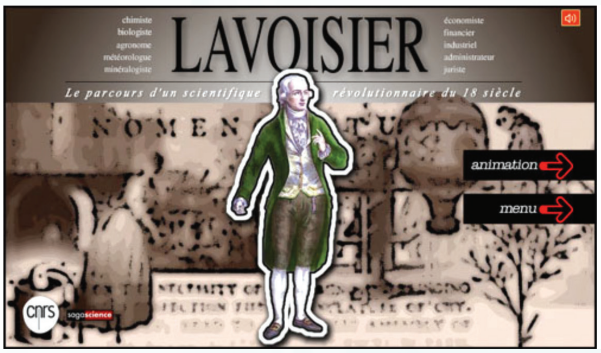
Portrait de Geber du XV^{ème} siècle,
Codici Ashburnh Ashburnhamiani 1166,
Bibliothèque Laurentienne

Laurent Lavoisier (1743-1794)

Un autre grand scientifique a, par ses importants travaux, permis de faire de la chimie, une science moderne. Il s'agit de Laurent Lavoisier qui conteste depuis longtemps l'idée, soutenue par les plus grands chimistes de l'époque, Macquer en tête,

selon laquelle l'air, l'eau, la terre et le feu seraient les constituants élémentaires de la matière.

Lavoisier, considéré comme le père de la chimie moderne, définit l'atome comme une substance simple qui ne peut être décomposée en d'autres substances, avec en corollaire la loi fondamentale de conservation de la masse de chacune de ces substances simples au cours des réactions chimiques.



Il a énoncé la première version de la loi de conservation de la matière, identifié et baptisé l'oxygène (1778), et participé à la réforme de la nomenclature chimique.

Lavoisier qui a suivi les cours de chimie de Rouelle est avant tout un spécialiste de l'analyse chimique. Il a ainsi déterminé la méthode de travail qu'il appliquera toute sa vie : peser précisément les corps avant la réaction, peser les éléments qui en résultent et reconstituer le corps de départ avec les éléments issus de la réaction. Il pose ainsi les bases de protocoles expérimentaux reproductibles, socles de la chimie moderne.

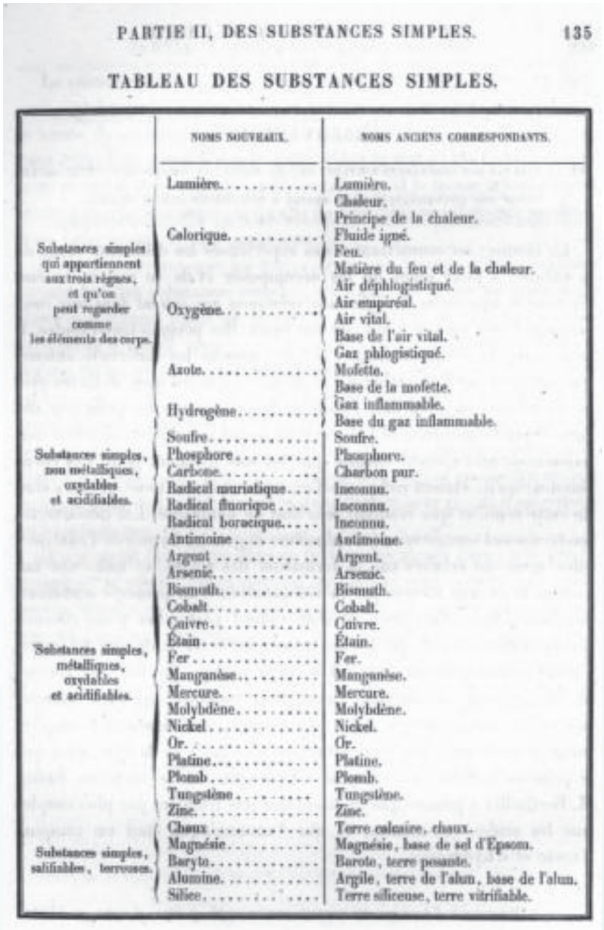
«Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme». Pour Lavoisier, cette loi de conservation de la matière, est applicable à toutes les sciences, et, bien entendu, à la chimie. Elle avait déjà été formulée par le grec Anaxagore de Clazomènes, en 450 avant Jésus Christ.

En 1772, il pratique des expériences sur la combustion d'échantillons de phosphore et de soufre : il découvre que leur masse augmente lorsqu'on les chauffe fortement en présence d'air. Il met également à jour que la litharge (oxyde de plomb [II], un minerai de plomb), chauffée en présence de charbon de bois, est réduite en plomb avec une diminution de masse et un dégagement gazeux. Lavoisier appelle cette expérience «l'une des plus intéressantes découvertes depuis l'époque de Stahl», bien que des observations semblables aient été faites 20 ans plus tôt. Cette découverte s'oppose à la doctrine du phlogistique, selon laquelle la réduction d'un minerai en plomb impliquerait un gain de masse, et non une perte. Elle amène alors Lavoisier à détruire le mythe du phlogistique.

En 1774, Lavoisier apprend de Priestley la découverte de « l'air déphlogistiqué ». En pratiquant ses propres expériences avec ce nouveau gaz, il comprend rapidement qu'il se trouve en présence du principe sous-jacent à la combustion, à la réduction, à la respiration et à l'acidité. Comme Priestley, Lavoisier démontre que ce nouvel air forme la fraction de l'atmosphère qui permet la vie des animaux, ce qui le conduit à le baptiser initialement «air éminemment respirable». Lavoisier montre aussi que la combustion et la respiration le transforment tous les deux en cet air fixe identifié par Joseph Black. En 1777, Lavoisier présente une nouvelle « théorie générale de la combustion» (pour remplacer le phlogistique) ainsi que son nouveau principe de combustion : l'oxygène. Ses recherches sur les trois acides inorganiques courants, l'acide nitrique, l'acide phosphorique et le vitriol (acide sulfurique), ainsi que sur l'acide oxalique (nouvellement isolé à partir de sources organiques) montrent que l'oxygène est présent dans les quatre. Une observation qui amène Lavoisier à proposer : «je désignerai dorénavant l'air déphlogistiqué ou air éminemment respirable par le nom de principe acidifiant, ou, si l'on aime mieux la même signification sous un mot grec, par celui de principe oxygène.» «Oxygène» veut en effet dire «source d'acide» en grec.

Armé de ce nouveau concept, il est en mesure de fragiliser la doctrine du phlogistique. La combustion, la respiration et la corrosion impliquent une addition d'oxygène. La réduction, à l'inverse, implique une perte d'oxygène. L'air fixe est une combinaison de charbon et d'oxygène. Quand Lavoisier apprend comment produire de l'eau en brûlant de l'hydrogène dans de l'oxygène, il trouve le dernier morceau du puzzle : il est en mesure de montrer que l'eau n'est pas simplement de l'air «déphlogistiqué» comme Cavendish l'avait affirmé auparavant, mais un composé. Il contient de l'hydrogène (baptisé ainsi par Lavoisier, du grec «source d'eau») et de l'oxygène.

En 1789, Lavoisier publie ce qui peut être considéré comme le premier manuel de chimie moderne : le Traité élémentaire de chimie. Il y met en évidence le rôle de l'oxygène, établit une nomenclature scientifique et y définit les notions de "corps simple" et de "corps composé". Il a dressé un tableau de 33 «*éléments*» connus à son époque, en les regroupant en quatre catégories (les substances simples) sur la base de leurs propriétés chimiques : *impalpables (gaz), non métalliques, métalliques et terreuses*. Cependant, ces dernières étaient en fait des oxydes (silice, magnésie, alumine...)



PARTIE II, DES SUBSTANCES SIMPLES. 135

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

	NOMS NOUVEAUX.	NOMS ANCIENS CORRESPONDANTS.
Substances simples qui appartiennent aux trois règnes, et qu'on peut regarder comme les éléments des corps.	Lumière	Lumière.
	Calorique	Chaleur. Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu. Matière du feu et de la chaleur.
	Oxygène	Air déphlogistiqué. Air empiréal. Air vital. Base de l'air vital.
	Azote	Gaz phlogistiqué. Mofette. Base de la mofette.
	Hydrogène	Gaz inflammable. Base du gaz inflammable.
Substances simples, non métalliques, oxydables et acidifiables.	Soufre	Soufre.
	Phosphore	Phosphore.
	Carbone	Charbon pur.
	Radical muriatique	Inconnu.
	Radical fluorique	Inconnu.
	Radical boracique	Inconnu.
Substances simples, métalliques, oxydables et acidifiables.	Antimoine	Antimoine.
	Argent	Argent.
	Arsenic	Arsenic.
	Bismuth	Bismuth.
	Cobalt	Cobalt.
	Cuivre	Cuivre.
	Étain	Étain.
	Fer	Fer.
	Manganèse	Manganèse.
	Mercure	Mercure.
	Molybdène	Molybdène.
	Nickel	Nickel.
	Or	Or.
	Platine	Platine.
	Plomb	Plomb.
	Tungstène	Tungstène.
	Zinc	Zinc.
Substances simples, salifiables, terreuses.	Chaux	Terre calcaire, chaux.
	Magnésie	Magnésie, base de sel d'Epsom.
	Baryte	Baryte, terre pesante.
	Alumine	Argile, terre de l'alun, base de l'alun.
	Silice	Terre siliceuse, terre vitrifiable.

Extrait du "Traité élémentaire de chimie présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes"

Il s'agit de la première organisation sous forme de tableau; elle clarifie certaines différences mais ne révèle pas la périodicité des propriétés des éléments classés (exemple : les métaux sont classés par ordre alphabétique en français).

Il combat également la théorie de la combustion de l'allemand Stahl. Cette théorie affirme que le feu est dû à la perte par un corps d'un principe inflammable et invisible, le phlogistique. Les nombreuses expériences de «calcination» qu'il mène dans son laboratoire de l'Arsenal, aboutissent en 1777 à la conclusion que la combustion est due à l'oxygène. Il travaille à cette époque avec Bucquet et rédige un Mémoire sur la combustion en général. Mais la bataille contre le phlogistique n'est pas encore gagnée : Kirwan publie en 1784 une violente attaque des travaux de Lavoisier. Celui-ci réplique avec une traduction critique de l'Essai sur le phlogistique où il rejette clairement cette théorie. La «conversion» de ses contemporains sera très progressive : ses collègues mathématiciens seront convaincus les premiers, les chimistes ensuite.

A la même époque, il définit avec Laplace un troisième état de la matière : l'état gazeux. En 1786, sous l'impulsion de Guyton de Morveau qui veut doter la chimie d'un langage rationnel, Lavoisier, Berthollet et Fourcroy participent à la mise en place d'une nomenclature chimique. L'année suivante Lavoisier en fait une présentation à l'Académie des sciences.

En 1789 Lavoisier édite le Traité élémentaire de chimie qui connaît un grand succès. Il y décrit entre autres la fermentation alcoolique et donne le nom d'alkool, mot d'origine arabe, à la liqueur résultant de cette fermentation. Ces expériences marquent les débuts de la chimie organique. Il y aura 9 éditions françaises de cet ouvrage, 5 éditions anglaises, 3 américaines, 3 allemandes, 2 hollandaises, 1 mexicaine et 1 japonaise !

A partir de 1776, Lavoisier, devenu régisseur des poudres et salpêtres, occupe de somptueux appartements dans l'hôtel des Régisseurs situé au Petit Arsenal, non loin de la Bastille. Il y aménage sous les combles un vaste laboratoire, l'un des mieux équipés d'Europe.

Sa fortune personnelle et ses traitements de fermier général et de régisseur lui procurent l'argent nécessaire à l'achat d'instruments très fiables qu'il fait construire sur mesure par les meilleurs artisans: gazomètres, balances de précision, séries de poids, baromètres. Ces instruments vont lui permettre de faire des mesures très fines, de peser les éléments mis en jeu avant et après chaque expérience, et d'arriver, ainsi, à la confirmation de la loi de la conservation de la matière.

Pendant les seize années passées à l'Arsenal, nombreuses sont les personnalités qui visitent son laboratoire : savants éminents, écrivains, artistes, économistes.

Quant à ses collaborateurs ou élèves, les plus célèbres sont Bucquet, Berthollet, Laplace, Guyton de Morveau, Fourcroy, Monge, Meusnier, Hassenfratz, Adet, Seguin et Eleuthère Dupont de Nemours.

Ses expériences sur la décomposition de l'air atmosphérique amènent Lavoisier, dès 1773, à étudier la respiration des animaux. Il constate que l'air fixe, le dioxyde de carbone (CO_2), ne permet pas aux animaux de vivre et annonce en 1775 avoir identifié la partie de l'air propre à la respiration, c'est l'oxygène.

Quelques années plus tard, aidé du mathématicien Laplace, il reprend ses recherches sur la chaleur. Les deux scientifiques démontrent que la

respiration est comparable à une combustion lente qui se produit dans les poumons, consomme de l'oxygène, émet du CO_2, de l'eau et dégage de la chaleur qui se diffuse dans l'organisme.

Equipé de balances très précises et d'un calorimètre, instrument inventé avec Laplace en 1782, Lavoisier mesure la chaleur d'un individu au repos, en activité, à jeun, placé dans des environnements maintenus à différentes températures. Il analyse la transpiration et montre le rôle de ce phénomène dans la régulation de la chaleur du corps humain.

Lavoisier s'intéresse également à la digestion des animaux. Il pense, selon le principe du bilan équilibré qui existe dans les réactions chimiques, que les aliments compensent les pertes en carbone et en hydrogène engendrées par la respiration. Dès le début des années 1790, à la suite de travaux menés avec Seguin, Lavoisier identifie les trois régulateurs biologiques dont l'équilibre assure le bon état de santé du corps humain : la respiration qui apporte le carburant, l'oxygène ; la nutrition qui fournit les combustibles: hydrogène et carbone; et enfin la thermogenèse et la transpiration qui maintiennent la température du corps constante.

En 1792, Lavoisier étudie les végétaux au Jardin des plantes, avec ses collègues Hassenfratz, Fourcroy, Desfontaines, Thouin, Berthollet, Antoine-Laurent de Jussieu et Seguin. A la suite de ces travaux, il présentera devant l'Académie des sciences une «photosynthèse simplifiée». Parallèlement à ses études au laboratoire, Lavoisier pratique sur le terrain, et en particulier dans son domaine de Freschines, des expériences d'agronomie scientifique. Il y étudie entre autres le rôle des engrais dans le rendement agricole. En 1785, il propose à Calonne, contrôleur général des finances de Louis XVI, un plan pour améliorer l'agriculture, alors très déficiente. Le ministre en est satisfait. Le Comité d'administration de l'agriculture est alors créé et compte dans son équipe scientifique du Pont de Nemours et Lavoisier. Mais la forte rivalité qui existe entre ce comité et la Société d'agriculture de Paris l'empêchera de mener à bien tous ses projets.

Ces différents travaux permettent à Lavoisier d'établir un lien entre les trois règnes de la nature: les végétaux trouvent les éléments nécessaires à leur nutrition dans l'eau, l'air et le minéral et les animaux se nourrissent de végétaux et d'autres animaux. Les éléments sont, quant à eux, restitués à l'air et au minéral par les phénomènes de fermentation, de putréfaction et de combustion. Ces conclusions annoncent le développement d'une nouvelle discipline scientifique : la biologie. En 1794, il est condamné à mort et guillotiné par un tribunal révolutionnaire privant, ainsi, la société d'un scientifique exceptionnel.

Henry Cavendish, (1731- 1810)

En Angleterre, un contemporain de Lavoisier avait également contribué au développement des sciences. C'est le physicien et chimiste britannique, Henry Cavendish, notamment célèbre pour ses travaux sur la mesure de la constante de gravitation. Il est considéré comme l'un des fondateurs de la chimie, Il a, en effet, introduit dans cette science des méthodes de travail inconnues avant lui. En 1766, il présente devant la Société Royale de Londres, dont il est devenu membre, un premier mémoire intitulé «On Factitious Airs» «Sur les airs factices». Il y établit l'existence de gaz autres que l'air, et montre que l'hydrogène «inflamable air», «air inflammable» qu'il a isolé le premier, pèse dix fois moins que l'air atmosphérique «common air», air commun. Il y montre encore que le gaz carbonique «fixed ai"r, air lié pèse moitié plus et que la présence de ce dernier dans l'atmosphère en quantité appréciable suffit pour empêcher les combustions et causer la mort.

En 1783, il fait une analyse de l'air plus précise que celle de Lavoisier et, l'année suivante, il reconnaît que l'eau est le produit de la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène. En 1785, il combine l'azote et l'oxygène en soumettant un mélange de ces gaz à des étincelles électriques.

Cavendish fait en même temps des expériences de physique. Il s'intéresse de près et contribue au développement des sciences naissantes de l'électricité et du magnétisme, inspiré en ces matières par l'œuvre de John Michell. En 1776, il fabrique une bouteille de Leyde en forme de

torpille artificielle pour montrer que les chocs de la raie torpille sont de nature électrique. En 1798, il publie un mémoire où il explique comment il a mesuré, au moyen de sa balance de torsion, la constante de gravitation de Newton et comment il en a déduit la densité moyenne de la Terre.

Les articles publiés de son vivant sont rares, mais il laisse à sa mort une vingtaine de paquets de manuscrits qui restent pendant soixante ans dans les archives de la famille Cavendish. Un autre Cavendish fondera plus tard à Cambridge un laboratoire de physique qui deviendra célèbre et jouit encore maintenant d'une très grande réputation internationale. Son premier directeur, James Clerk Maxwell, passera les dernières années de sa vie à déchiffrer et publier ces travaux à titre posthume. Et Cavendish apparaîtra tout à coup comme le plus grand physicien de son époque.

Avant tout le monde, il a défini les chaleurs massiques et les chaleurs latentes et a eu l'idée de la conservation de l'énergie. Avant Charles-Augustin Coulomb, il a étudié les forces électrostatiques, observé l'électrisation superficielle des conducteurs, défini la capacité électrique et pressenti la notion de potentiel électrique. Avant Georg Ohm, il a conçu la résistance électrique; il a même effectué des mesures en utilisant son propre corps comme galvanomètre.

Humphry Davy (1778 - 1829)

A la même époque, Humphry Davy commence, en 1798, des expériences sur les propriétés physiologiques des gaz, au cours desquelles il découvre l'effet anesthésiant du protoxyde d'azote (gaz hilarant). Il est nommé maître-assistant en chimie à l'Institut royal qui vient d'être fondé à Londres en 1801 et, l'année suivante, il est nommé professeur de chimie. (Au cours des premières années passées à l'Institut).

Il est à noter qu'en 1800, Alessandro Volta (1745-1827) invente la première pile électrique appelée pile voltaïque. Il est connu pour ses travaux sur l'électricité. Son nom est à l'origine de l'unité de tension électrique.

Davy commence ses recherches sur les effets de l'électricité sur les composés chimiques. En 1807, il reçoit le prix Napoléon de l'Institut de France pour ses travaux théoriques et pratiques commencés l'année précédente. Il construit alors la plus grande batterie jamais fabriquée, avec plus de deux cent cinquante cellules, et fait passer un courant électrique de haute intensité dans des solutions de divers composés où il soupçonne la présence d'éléments inconnus. Davy isole rapidement le potassium et le sodium par cette méthode d'électrolyse. Il prépare ensuite le calcium, le baryum et le strontium selon la même méthode. Dans des expériences ultérieures, il prépare le bore et démontre que le diamant contient du carbone. Davy montre également que ce que l'on appelle les terres rares sont des oxydes de métaux plutôt que des éléments. Par les expériences qu'il effectue sur des acides, il montre que c'est l'hydrogène, et non l'oxygène (comme le soutient Lavoisier), qui caractérise les acides. Davy fait également d'importantes découvertes sur la chaleur. Dans le domaine des sciences appliquées, il invente, en 1815, une lampe de sécurité pour les mineurs, et reçoit pour cette invention et pour les recherches qui s'y rapportent les médailles Rumford d'or et d'argent de la Royal Society. Il est anobli en 1812 et élevé au rang de baronnet en 1818. En 1820, il devient président de la Royal Society. Ses principaux ouvrages sont Éléments de la philosophie chimique (1812) et Éléments de la chimie agricole (1813).

Jacob Berzelius (1779-1848) from a daguerreotype taken by J.W. Bergström 1844. Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm.
©Lennart Nilsson, photography/Scanpix.

Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), est un savant suédois, considéré, avec Antoine Lavoisier, John Dalton et Robert Boyle, comme le fondateur de la chimie moderne.

Berzelius fut le premier analyste du XIXe siècle : outre un nombre immense d'analyses faites avec la plus grande précision, on lui doit la découverte de plusieurs corps simples : Berzelius et Hisinger font la découverte du cérium en 1807; il identifie le sélénium avec Johan Gottlieb Gahn en 1817; et finalement le thorium en 1829. Deux autres éléments furent découverts par ses élèves : le lithium en 1817 par Johan August Arfwedson et le vanadium en 1830 par Nils Gabriel Sefström. C'est Berzelius qui proposa les noms lithium, vanadium ainsi que celui de sodium. Il fut le premier chimiste à isoler les éléments silicium (en 1823), zirconium (en1824), thorium (en 1828) ainsi que le titane.

Il apporta la connaissance des combinaisons du soufre avec le phosphore, fit l'étude du fluor et des fluorures et la détermination d'un grand nombre d'équivalents chimiques. Il fut presque le créateur de la chimie organique. Il introduisit en chimie les notions et les mots d'allotropie, de catalyse, d'isomérie et de protéine. Philosophe aussi bien qu'expérimentateur, il consolida la théorie atomistique ainsi que celle des proportions chimiques. Enfin, il adopta, pour expliquer les phénomènes, la célèbre théorie du dualisme électrochimique, et fit au moyen de cette théorie de nombreuses réformes dans la nomenclature et la classification. Il fut à l'origine d'une théorie électrochimique et d'une théorie sur les radicaux et en commença le développement. Berzelius fut l'un des premiers à publier une table des masses moléculaires et atomiques d'une exactitude satisfaisante.

Il inventa et fit admettre universellement, pour exprimer la composition des corps, des formules chimiques analogues aux formules algébriques; le système actuel de notation fut adopté grâce à Berzelius, qui le proposa en 1813. Berzelius a pris au latin les symboles dont nous nous servons toujours : H (hydrogenium), O (oxygenium), Fe (ferrum), Pb (plumbum) et Hg (hydrargyrum).

Il enseigna la chimie, entre autres, à Johan August Arfwedson, Leopold Gmelin, Gustav Magnus, Carl Gustaf Mosander, Heinrich et Gustav Rose, Nils Gabriel Sefström et Friedrich Wöhler. Il correspondit avec les principaux savants de son temps : Ampère, Arago, Berthollet, Davy, Dulong, Gay-Lussac, Fresnel, Laplace.

Pour la majorité des chimistes du début du XIX^{ème} siècle, l'existence d'atomes semble être une idée complètement farfelue. Une description précise de la matière devient alors nécessaire pour expliquer de nombreux résultats expérimentaux. Les partisans de la théorie atomique s'accordent sur une description corpusculaire de la matière. C'est à dire que la matière n'est ni continue, ni divisible à l'infini et est donc constituée de particules insécables aujourd'hui appelées atomes.

La notion de masse atomique (poids atomique alors) est abordée par le véritable père de la théorie atomique : le savant anglais John Dalton

John DALTON (1766-1844), chimiste anglais

La théorie de **Dalton** peut être résumée ainsi :

1. La matière est composée de particules infiniment petites et indivisibles appelées atomes.
2. Tous les atomes d'un même élément sont identiques; ils possèdent les mêmes propriétés et ils ont la même masse.
3. Les atomes d'éléments différents ont des propriétés et des masses différentes.
4. Dans les réactions chimiques, les atomes se combinent dans des rapports simples pour former de nouveaux composés («atomes composés» selon la terminologie de Dalton).

L'atome de Dalton est donc très différent de celui de Démocrite. Ses propositions s'accordent bien par contre avec celles de Lavoisier et avec la loi des proportions définies, énoncée par Joseph Louis Proust en 1799.

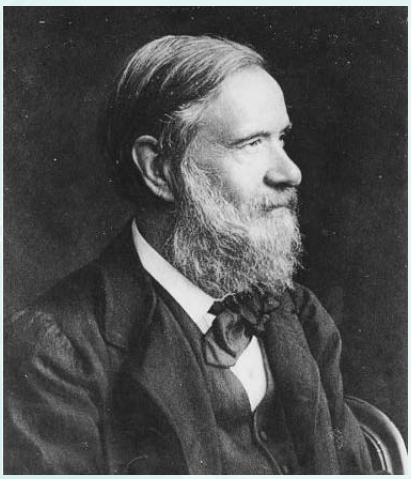
Il faut, à ce moment de l'histoire, mettre en exergue les travaux de deux savants italiens (Amedeo AVOGADRO et Stanislao CANNIZZARO) et qui ont beaucoup fait pour affiner la notion de poids atomique, d'atome et de molécule et donner un élan supplémentaire à la théorie atomique.

Amedeo AVOGADRO (1776-1856)

Il est à noter que Dalton croyait que le composé le plus simple formé par la réaction de deux éléments ne comportait qu'un atome de chaque espèce (par exemple O pour le gaz oxygène et OH pour l'eau).

L'apport d'Avogadro est immense car il va lever la confusion faite par Dalton entre atomes et molécules (même s'il n'emploie pas ces termes). Avogadro, en s'appuyant sur la loi de Gay-Lussac relative aux rapports volumiques, découvre que deux volumes égaux de gaz différents, dans les mêmes conditions de température et de pression, contiennent un nombre identique de molécules. Son mémoire, envoyé à De Lamétherie, éditeur du Journal de physique, de chimie, d'histoire naturelle et des arts à partir de 1785, est publié le 14 Juillet 1811 sous le titre : «Essai d'une Manière de déterminer les masses des molécules proches des Corps Elémentaires».

C'est une grande date pour la chimie (il faut noter que le physicien français André-Marie Ampère émet la même hypothèse trois ans plus tard).



Stanislao CANNIZZARO (1826-1910)

Chimiste organicien, révolutionnaire garibaldiste, puis sénateur, Cannizzaro contribue à faire accepter la théorie atomique en clarifiant la distinction entre masse atomique et masse moléculaire en validant les propositions d'Avogadro.

En 1860, à Karlsruhe, au premier Congrès de Chimie, réuni sur le thème «Atomes, molécules, poids atomique, poids moléculaire», on distribue son cours où il montre comment des masses atomiques inconnues d'éléments de composés volatils peuvent être déterminées à partir de masses moléculaires connues d'autres composés.

Il souligne que les masses atomiques des composés non volatils peuvent aussi être déterminées à partir de leurs chaleurs spécifiques (loi de Dulong et Petit) et donc calculables pour des non gaz.

Lothar Meyer et Dimitri Mendeleïev étaient à Karlsruhe et sont repartis avec le polycopié de Cannizzaro dans leur poche.

Friedrich Wohler (1800-1880)

Wöhler est considéré comme le pionnier de la chimie organique grâce à sa synthèse (accidentelle) de l'urée à partir du cyanate d'ammonium en 1828. Cette découverte ouvrait la voie à la biochimie puisqu'elle montrait qu'il est possible de produire en laboratoire, sous conditions contrôlées et à partir de composés inorganiques, un composé connu pour être seulement produit par des organismes biologiques. Elle permit de reproblématiser la théorie du fluide vital, énoncée vers 1600, c'est-à-dire de remettre d'actualité la philosophie vitaliste jusqu'à la faire éclore au début du XXe siècle, avec Henri Bergson semble contradictoire avec ce qui est écrit dans l'article vitalisme, phrase reprise ci-après, donc à clarifier. Fondatrice pour la chimie organique, cette expérience fortuite est aussi un coup dur pour le vitalisme : un composé propre à la vie a pu être "créé" dans un laboratoire de chimie,

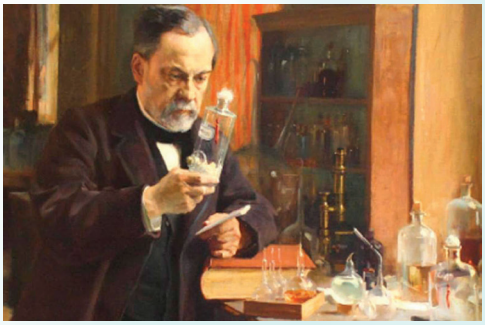
ce qui est un indice fort en faveur du mécanisme. Wöhler est considéré comme le fondateur de la synthèse organique. L'année de la synthèse de l'urée, Wöhler devint professeur à l'âge de 28 ans.

Déjà un an plus tôt, en 1827, il avait mis au point une méthode de réduction pour fabriquer de l'aluminium pur en chauffant le chlorure d'aluminium anhydre en présence de potassium; le même procédé lui permit en 1828 d'isoler le béryllium et l'yttrium et plus tard, en 1856, de produire du silicium cristallin. Il a également isolé le bore. Avec son ami Justus Liebig, à Giessen, Wöhler établit vers 1830 la théorie des radicaux grâce à laquelle la grande diversité des liaisons en chimie organique pouvait pour la première fois être expliquée de façon systématique.

Il est aussi connu pour avoir découvert la synthèse du carbure de calcium (1862), à partir de laquelle il réalisa également la synthèse de l'acétylène (nom usuel de l'éthyne), de l'acide oxalique à partir du cyanogène, de l'acide benzoïque à partir du benzaldéhyde, de l'hydroquinone à partir de la quinone. Il réussit plus tard à extraire du nickel de la nickéline.

Enfin, Friedrich Wöhler a mis en évidence la présence de molécules de chimie organique dans certaines météorites. Il possédait d'ailleurs une belle collection de météorites.

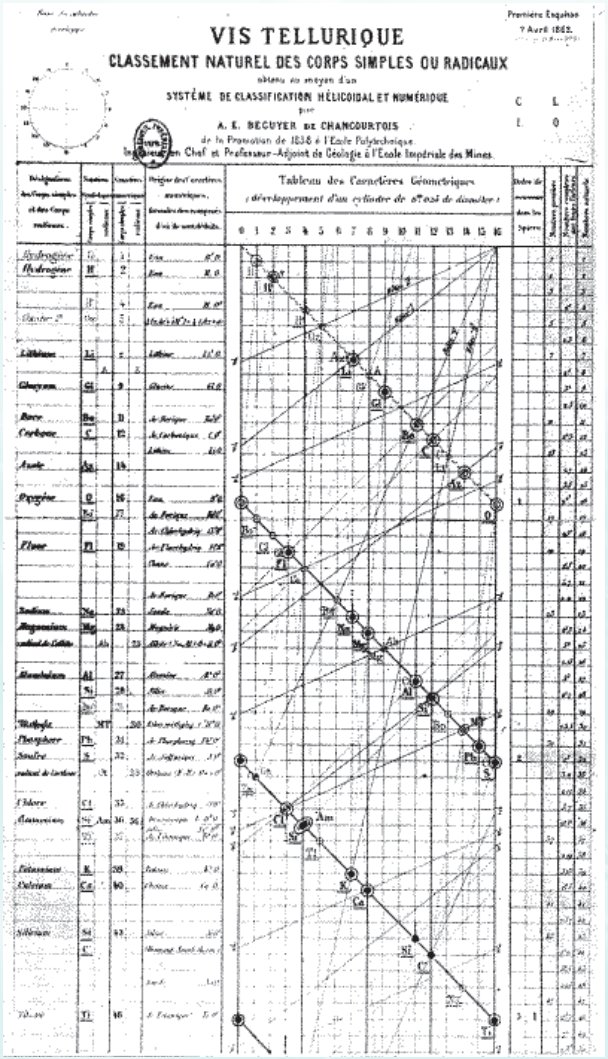
En 1830, il rencontre Justus von Liebig, qui poursuit des recherches similaires sur les cyanates; refusant toute rivalité, les deux savants se lient d'une profonde amitié renforcée par des travaux en commun. En 1832, ils publient les résultats de leurs très importants travaux sur le radical «benzoyl», travaux qui ouvrent une brèche dans ce que Wöhler appelle «la sombre forêt de la chimie organique», et montrent que les radicaux organiques peuvent se combiner à l'hydrogène électropositif aussi bien qu'à l'oxygène électronégatif. Ils éditent ensemble les Annalen der Chemie und Pharmazi. Ces travaux lui valurent la médaille Copley en 1872.



Louis Pasteur (1822-1895)

Louis Pasteur est un savant français du XIXe siècle, physicien et chimiste de formation, devenu célèbre dans le monde entier pour avoir, le premier, appliqué le concept de vaccination à l'Homme en sauvant Joseph Meister, jeune Alsacien, qui avait été mordu par un chien enragé. L'enfant ne contracta pas la maladie. Pour autant, sa vie a été riche d'autres découvertes, telles que la pasteurisation, une technique de conservation des aliments, contribuant à faire de lui l'un des plus grands scientifiques de l'histoire. Dans les travaux que Pasteur a réalisés au début de sa carrière scientifique en tant que chimiste, il résolut en 1848 un problème qui allait par la suite se révéler d'importance capitale dans le développement de la chimie contemporaine : la séparation des deux formes de l'acide tartrique.

En 1862, Béguyer de CHANCOURTOIS (1820-1886), géologue français, propose une classification des éléments basée sur les valeurs des poids atomiques obtenues par Stanislao Cannizzaro en 1858.



C'est le premier scientifique à établir une périodicité des éléments classés dans l'ordre de leurs poids atomiques.

En traçant un graphe des poids atomiques sur la surface d'un cylindre d'une circonférence de 16 unités (le poids atomique de l'oxygène), il obtient une courbe hélicoïdale, qui fait apparaître des éléments similaires sur des points alignés verticalement.

Ce graphe en spirale est appelé vis tellurique, car le tellure se situe au centre du graphique.

Géologue, il n'eut pas grand succès auprès des chimistes...

En France, la généralisation de la notation atomique n'a lieu qu'en 1893 pour l'enseignement secondaire et quelques années plus tard à l'université, alors que les travaux de Cannizzaro avaient permis de rallier depuis longtemps à la notion d'atome une majorité de chimistes organiciens européens.

Ce retard est dû à Marcellin Berthelot (1827-1907), grand chimiste organicien, professeur au Collège de France, mais adepte "idéologique" de la notation équivalentiste.

En 1877, le débat entre les atomistes et les équivalentistes est relancé à l'Académie des sciences, à propos de la dissociation des vapeurs à haute température. Ce phénomène, découvert quelque vingt ans plus tôt par H. Sainte Claire Deville, semble mettre en question l'hypothèse d'Avogadro-Ampère. La discussion s'étend rapidement à tout un ensemble de questions liées à l'atomisme.

A Paris, la notation atomique est adoptée par Wurtz, Friedel, Saler, Naquet, Schutzenberger et d'autres… tandis que la notation en équivalents est préconisée par Berthelot, Sainte Claire Deville, Troost, Lemoine, Bouchardat, etc.

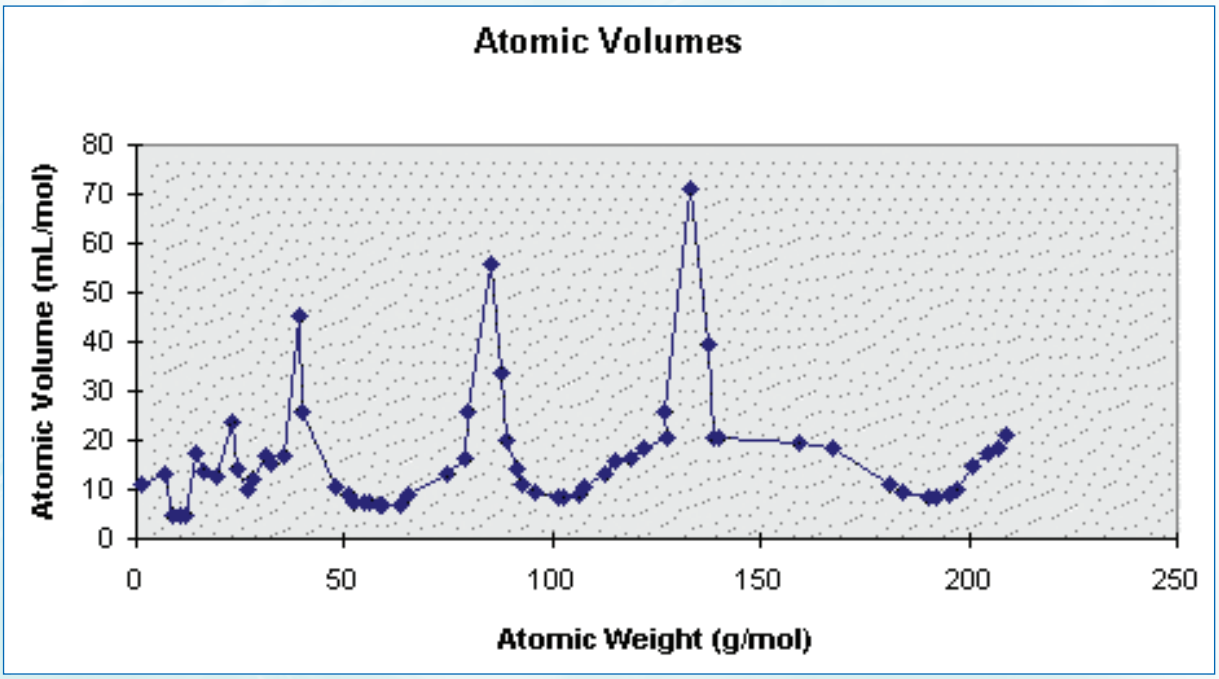
Berthelot reproche à son collègue Wurtz, ardent défenseur de l'atomisme de croire aux atomes comme si on pouvait les voir.

Convaincu que la science peut seulement révéler des rapports entre phénomènes, Berthelot veut en rester aux équivalents qui seuls, à ses yeux, résultent de l'expérience.

Victor Grignard qui reçut le prix Nobel de chimie en 1912 rapporte qu'il lui fut impossible d'obtenir des renseignements sur la notation atomique pendant ses études.

Paul Sabatier, autre prix Nobel français (la même année) -pourtant élève de Berthelot- critique violemment le monopole de l'enseignement des équivalents dans l'enseignement supérieur.

Lothar MEYER (1830-1895), chimiste allemand a raté la gloire pour quelques mois. En 1870, il publie un tableau périodique comportant 56 éléments. Il s'agit d'un graphe (ci-contre) reliant le volume et le poids atomique. Sur la crête de cette courbe, les pics correspondent à la famille des alcalins (lithium, sodium, potassium...).



Il faut noter que le chimiste allemand avait publié en 1864 une première version du tableau périodique des éléments contenant 28 éléments classés en six familles et ordonnés en fonction de leur valence (qui donne le nombre de liaisons possibles d'un atome).

Enfin, Dimitri Ivanovitch Mendeleïev vint et beaucoup de choses se clarifièrent. Le célèbre barbu de Saint-Pétersbourg bénéficia bien sûr du travail de ses prédécesseurs et des avancées décisives de la chimie dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, en particulier des résultats produits par Cannizarro au Congrès de Karlsruhe précédemment évoqué.

Comme beaucoup d'autres, Mendeleïev a été fortement impressionné par l'exposé du chimiste italien Canizzaro, et lui aussi repart de Karlsruhe avec son cours sous le bras.

Il relatera l'événement avec son mentor A. Voskresensky (élève de Liebig dans les années 1830), dans plusieurs quotidiens russes.

Le 3 septembre 1860, Mendeleïev est à l'ouverture du congrès avec d'autres chimistes russes – dont Zinin et Borodine – et 140 célèbres chimistes européens (y compris Bayer, Dumas et beaucoup d'autres). On en découdra autour des notions d'équivalent, d'atome et de molécule.

Alexander Borodine (1833-1887)

Compositeur et médecin russe mais aussi chimiste. Borodine a publié d'importants articles de chimie, notamment à propos des aldéhydes. En 1861, Borodine découvre l'aldolisation (en même temps que Charles Wurtz), très importante méthode de formation de liaisons carbone-carbone.

Borodine est aussi à l'origine d'une synthèse de dérivés halogénés, connue aujourd'hui sous le nom de réaction de Hunsdiecker.

Nikolay Nikolaevich Zinin (1812-1880)

Diplômé de mathématiques de l'Université de Kazan, il commence à enseigner la chimie en 1835. Comme Mendeleïev, il poursuit sa formation en Europe entre 1838 et 1841.

Il travaille avec Justus Liebig à Giessen sur la condensation benzoïne.

Il soutient sa thèse à l'Université de Saint-Pétersbourg, puis est nommé professeur de chimie à l'Université de Kazan. Il rejoint l'Université de Saint-Pétersbourg en 1847. C'est le premier président de la Société Russe de Physique et Chimie. À Saint-Pétersbourg, Zinin a eu comme élève le jeune Alfred Nobel.

Mendeleiev rejoint en février 1861 la capitale de l'Empire russe en proie à une forte agitation.

Il est à noter que le 19 février 1861, l'empereur Alexandre II promulgue l'abolition du servage.

Il va vivoter en donnant des cours dans plusieurs institutions et entreprend la rédaction d'un manuel de chimie organique qui lui permet d'obtenir le Prix Demidov en 1862.

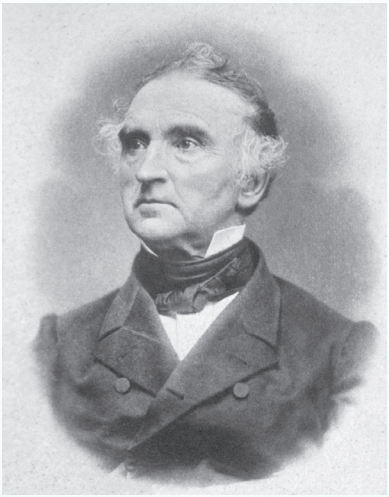
Ce livre de 500 pages (le premier ouvrage de chimie en langue russe) présentait quelques idées nouvelles, notamment en établissant une classification des hydrocarbures (théorie des limites de saturation); il eut un très grand succès.

Cela lui permet, alors qu'il ne possède pas encore de doctorat, d'obtenir un poste de professeur à l'Institut Technologique de Saint-Pétersbourg (dirigé à cette époque par Ilya Tchaïkovski, père du célèbre compositeur russe).

Le 31 Janvier 1865, il soutient sa thèse de doctorat qui traite de la composition des mélanges eau-alcool (les mauvaises langues diront qu'il cherchait le secret de la vodka russe !).

Mendeleïev s'intéresse en effet beaucoup à la chimie appliquée.

En Juin 1865, il a acheté une maison dans le village de Boblovo (région de Moscou), où il construit un laboratoire dédié à l'agrochimie, dans la continuité des travaux de Liebig.



Justus von Liebig (1803-1873)

Justus Von Liebig est également considéré comme le père des engrais artificiels. Ses travaux révèlent un des aspects de la croissance des végétaux : "Pour faire sa végétation, une plante exporte des éléments minéraux NPK du sol qu'il convient de rapporter sous forme d'engrais contenant eux-mêmes les éléments exportés."

Ainsi, en ajoutant au sol des minéraux - de l'azote (N) sous forme de nitrate, du phosphore sous forme de phosphate (P) et de la potasse sous forme de potassium (K) - on peut stimuler leur croissance. C'est la théorie de l'exportation/restitution de Liebig.

Il met en pratique ses résultats dans des champs expérimentaux. En deux ans, il réussit à améliorer la qualité de ses sols et le rendement des cultures. Il était si profondément impliqué dans ces activités agrochimiques, qu'en 1869, le jour de la première présentation de son tableau périodique devant la Société chimique russe, il était en voyage d'inspection dans des brasseries et c'est donc N. Menshutkin qui a rapporté ses travaux (le 6 mars 1869). Le grand chimiste allemand, Justus Liebig, dont on a célébré le bicentenaire de sa naissance en 2003, disait «Alles ist Chemie». Oui, tout est chimie et réciproquement.

En 1867, Mendeleïev succède à son maître, A. Voskresensky, au poste de professeur de chimie pure, permettant à l'Université de Saint-Péterbourg de posséder simultanément un trio de chimistes de tout premier plan avec A. Boutlerov et N. Menshutkin. A cette époque, Mendeleïev a fortement contribué à la création de la Société chimique russe en octobre 1868. Il en a rédigé ses statuts. La société savante publiera dès 1869 son propre journal (Zhurnal). Il est intéressant de noter que la Chemical Society of London est fondée en 1841, la Société chimique de Paris en 1857 et la Deutsche Chemische zu Gesellschaft de Berlin en 1867.

A partir de 1867, Mendeleïev doit enseigner aux étudiants la chimie inorganique, sujet relativement nouveau pour lui. Faute de manuels appropriés, il rédige son propre cours, publié sous le titre «Les fondements de la chimie» (Osnovy Khimii). Cet ouvrage en deux volumes a ensuite été traduit en allemand, anglais et français; il est sans aucun doute le point de départ de sa réflexion à propos de la classification périodique. Ce livre commence par la description des éléments clés de la chimie organique (H, N, O, C) et leurs combinaisons. Il traite ensuite les "familles" des halogènes, des métaux alcalins et des alcalino-terreux. Mendeleïev, à ce niveau, remarque que les propriétés d'éléments légers, disposés dans l'ordre de leur poids atomique, se retrouvaient périodiquement et postule que ce modèle pourrait être appliqué à des éléments plus lourds. Laissant de nombreuses questions en suspens, Mendeleïev met au propre une première ébauche du tableau périodique avec les 63 éléments connus. Nous sommes le 1ier Mars 1869 (calendrier romain). Mendeleïev reçut deux lettres de A. I. Khodnev à propos de la visite d'une laiterie. Il est probable que Mendeleïev les reçues pendant son petit déjeuner comme l'atteste la tache en forme de tasse sur l'une d'elles.

Mendeleïev essaya d'arranger le tableau des éléments, en vain. Il alla alors inspecter une laiterie, reportant son problème de classement à plus tard.

Sur un deuxième papier daté de cette même journée, Mendeleïev fit deux autres tentatives infructueuses de classement. Il a reçu ensuite son ami A. Inostrantsev qui plus tard, se rappela avoir trouvé Mendeleïev pensif, expliquant qu'il avait en tête une idée de classement qu'il n'arrivait pas à mettre en forme.

Après cette visite, Mendeleïev écrivit la liste des masses atomiques exactes dans la marge de son ouvrage «fondement de la chimie».

A partir de cette liste, il recopia sur des fiches séparées les 63 éléments chimiques connus, leurs masses atomiques et leurs propriétés chimiques essentielles. Puis il essaya de disposer les cartes pendant plusieurs heures.

Il recopia finalement l'arrangement sur un bout de papier qui porte de nombreuses retouches.

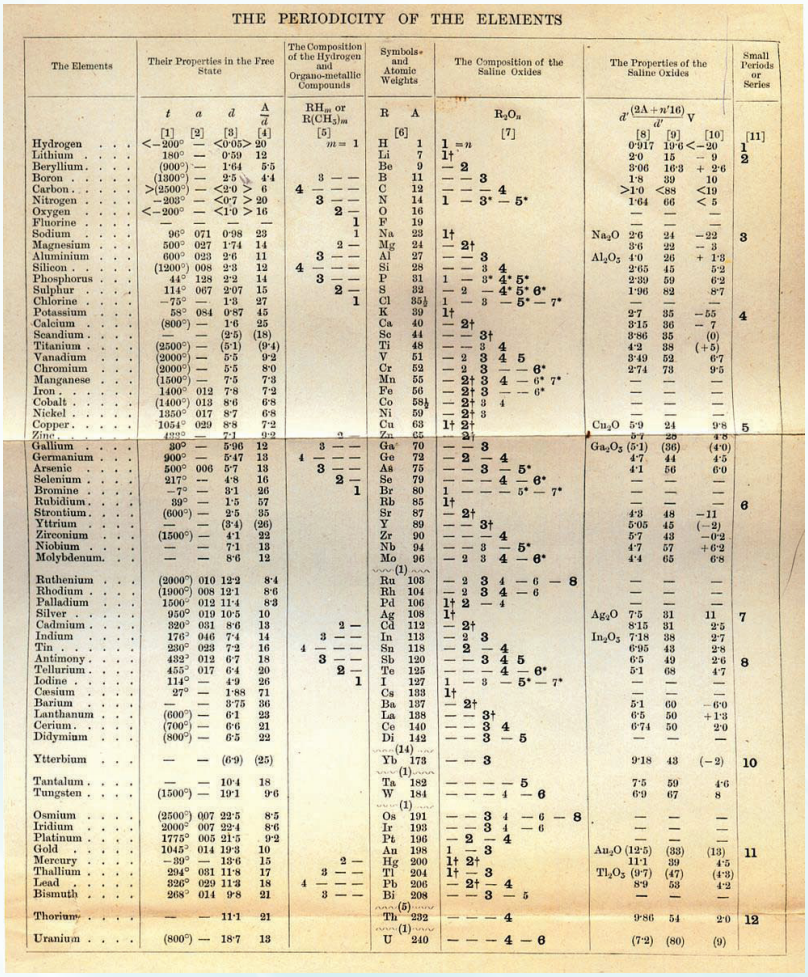
Mendeleïev alla se reposer; à son réveil, il écrivit d'une traite la classification telle qu'elle est publiée dans sa première communication.

Dans cette version figurait des cases vides (68? 70?) pour des éléments alors inconnus.

Le 13 Mars 1869, il réalise un tirage limité (150 copies en russe et 50 en français) qui est envoyé à plusieurs de ses collègues.

Parce que le poids atomique est approximativement corrélé au numéro atomique, et parce que la valence, qui gouverne la structure chimique des molécules, est liée aux électrons présents sur la couche externe de l'atome, Mendeleïev a pu utiliser intuitivement les deux propriétés qui fondent l'organisation du tableau actuel qui porte son nom.

À la différence de ses prédécesseurs, Mendeleïev a eu aussi le mérite de clairement indiquer en quoi son tableau constituait un outil d'analyse théorique des propriétés de la matière.



THE PERIODICITY OF THE ELEMENTS

The Elements	Their Properties in the Free State				The Composition of the Hydrogen and Organo-metallic Compounds	Symbols and Atomic Weights		The Composition of the Saline Oxides	The Properties of the Saline Oxides			Small Periods or Series
	t	a	d	$\frac{A}{d}$	RH_m or $R(CH_3)_m$	R	A	R_2O_n	$d'\frac{(2A+n'16)}{d'}V$			
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]		[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
Hydrogen	<−200°	—	<0·05	>20	$m=1$	H	1	$1=n$	0·917	19·6	<−20	1
Lithium	180°	—	0·59	12		Li	7	1†	2·0	15	− 9	2
Beryllium	(900°)	—	1·64	5·5		Be	9	− 2	3·06	16·3	+ 2·6	
Boron	(1300°)	—	2·5	4·4	3 — —	B	11	— — 3	1·8	39	10	
Carbon	>(2500°)	—	<3·0	> 6	4 — — —	C	12	— — 4	>1·0	<88	<19	
Nitrogen	−203°	—	<0·7	> 20	3 — —	N	14	1 — 3* — 5*	1·64	66	< 5	
Oxygen	<−200°	—	<1·0	> 16	2 —	O	16		—	—	—	
Fluorine	—	—	—	—	1	F	19		—	—	—	
Sodium	96°	071	0·98	23	1	Na	23	1†				
Magnesium	500°	027	1·74	14	2 —	Mg	24	— 2†	Na_2O	2·6	24	−22
Aluminium	600°	023	2·6	11	3 — —	Al	27	— — 3		3·6	22	− 3
Silicon	(1200°)	008	2·3	12	4 — — —	Si	28	— — 3 4	Al_2O_3	4·0	26	+ 1·3
Phosphorus	44°	128	2·2	14	3 — —	P	31	1 — 3* 4* 5*		2·65	45	5·2
Sulphur	114°	067	2·07	15	2 —	S	32	— 2 — 4* 5* 6*		2·39	59	6·2
Chlorine	−75°	—	1·3	27	1	Cl	35½	1 — 3 — 5* — 7*		1·96	82	8·7
Potassium	58°	084	0·87	45		K	39	1†		—	—	—
Calcium	(800°)	—	1·6	25		Ca	40	— 2†		2·7	35	−55	4
Scandium	—	—	(2·5)	(18)		Sc	44	— — 3†		3·15	36	− 7	
Titanium	(2500°)	—	(5·1)	(9·4)		Ti	48	— — 3 4		3·86	35	(0)	
Vanadium	(2000°)	—	5·5	9·2		V	51	— 2 3 4 5		4·2	38	(+5)	
Chromium	(2000°)	—	5·5	8·0		Cr	52	— 2 3 — — 6*		3·49	52	6·7	
Manganese	(1500°)	—	7·5	7·3		Mn	55	— 2† 3 4 — 6* 7*		2·74	73	9·5	
Iron	1400°	012	7·8	7·2		Fe	56	— 2† 3 — — 6*		—	—	—	
Cobalt	(1400°)	013	8·6	6·8		Co	58½	— 2† 3 4		—	—	—	
Nickel	1350°	017	8·7	6·8		Ni	59	— 2† 3		—	—	—	
Copper	1054°	029	8·8	7·2		Cu	63	1† 2†	Cu_2O	5·9	24	9·8	5
Zinc	423°	—	7·1	9·2	2 —	Zn	65	2†		5·7	28	4·8	
Gallium	30°	—	5·96	12	3 — —	Ga	70	— — 3	Ga_2O_3	(5·1)	(36)	(4·0)	
Germanium	900°	—	5·47	13	4 — — —	Ge	72	— 2 — 4		4·7	44	4·5	
Arsenic	500°	006	5·7	13	3 — —	As	75	— — 3 — 5*		4·1	56	6·0	
Selenium	217°	—	4·8	16	2 —	Se	79	— — — 4 — 6*		—	—	—	
Bromine	−7°	—	3·1	26	1	Br	80	1 — — — 5* — 7*		—	—	—	
Rubidium	39°	—	1·5	57		Rb	85	1†		—	—	—	6
Strontium	(600°)	—	2·5	35		Sr	87	— 2†		4·3	48	−11	
Yttrium	—	—	(3·4)	(26)		Y	89	— — 3†		5·05	45	(−2)	
Zirconium	(1500°)	—	4·1	22		Zr	90	— — — 4		5·7	43	−0·2	
Niobium	—	—	7·1	13		Nb	94	— — 3 — 5*		4·7	57	+6·2	
Molybdenum	—	—	8·6	12		Mo	96	— 2 3 4 — 6*		4·4	65	6·8	
						(1)							
Ruthenium	(2000°)	010	12·2	8·4		Ru	103	— 2 3 4 — 6 — 8		—	—	—	
Rhodium	(1900°)	008	12·1	8·6		Rh	104	— 2 3 4 — 6		—	—	—	
Palladium	1500°	012	11·4	8·3		Pd	106	1† 2 — 4		—	—	—	
Silver	950°	019	10·5	10		Ag	108	1†	Ag_2O	7·5	31	11	7
Cadmium	320°	031	8·6	13	2 —	Cd	112	— 2†		8·15	31	2·5	
Indium	176°	046	7·4	14	3 — —	In	113	— 2 3	In_2O_3	7·18	38	2·7	
Tin	230°	023	7·2	16	4 — — —	Sn	118	— 2 — 4		6·95	43	2·8	
Antimony	432°	012	6·7	18	3 — —	Sb	120	— — 3 4 5		6·5	49	2·6	8
Tellurium	455°	017	6·4	20	2 —	Te	125	— — — 4 — 6*		5·1	68	4·7	
Iodine	114°	—	4·9	26	1	I	127	1 — 3 — 5* — 7*		—	—	—	
Cæsium	27°	—	1·88	71		Cs	133	1†		—	—	—	
Barium	—	—	3·75	36		Ba	137	— 2†		5·1	60	−6·0	
Lanthanum	(600°)	—	6·1	23		La	138	— — 3†		6·5	50	+1·3	
Cerium	(700°)	—	6·6	21		Ce	140	— — 3 4		6·74	50	2·0	
Didymium	(800°)	—	6·5	22		Di	142	— — 3 — 5		—	—	—	
						(14)							
Ytterbium	—	—	(6·9)	(25)		Yb	173	— — 3		9·18	43	(−2)	10
						(1)							
Tantalum	—	—	10·4	18		Ta	182	— — — — 5		7·5	59	4·6	
Tungsten	(1500°)	—	19·1	9·6		W	184	— — — 4 — 6		6·9	67	8	
						(1)							
Osmium	(2500°)	007	22·5	8·5		Os	191	— — 3 4 — 6 — 8		—	—	—	
Iridium	2000°	007	22·4	8·6		Ir	193	— — 3 4 — 6		—	—	—	
Platinum	1775°	005	21·5	9·2		Pt	196	— 2 — 4		—	—	—	
Gold	1045°	014	19·3	10		Au	198	1 — 3	Au_2O	(12·5)	(33)	(13)	11
Mercury	−39°	—	13·6	15	2 —	Hg	200	1† 2†		11·1	39	4·5	
Thallium	294°	031	11·8	17	3 — —	Tl	204	1† — 3	Tl_2O_3	(9·7)	(47)	(4·3)	
Lead	326°	029	11·3	18	4 — — —	Pb	206	— 2† — 4		8·9	53	4·2	
Bismuth	268°	014	9·8	21	3 — —	Bi	208	— — 3 — 5		—	—	—	
						(5)							
Thorium	—	—	11·1	21		Th	232	— — — 4		9·86	54	2·0	12
						(1)							
Uranium	(800°)	—	18·7	13		U	240	— — — 4 — 6		(7·2)	(80)	(9)	

L'une des formes du tableau périodique de Mendeleïev, de la première version anglaise de son ouvrage de référence (1891, basé sur la 5e édition russe).

Last but not least, Mendeleïev prédit l'existence d'une série d'éléments, dont il précisa certaines propriétés, à commencer par leur masse atomique. Par exemple

Prévu	Trouvé	Découverte
Eka-Aluminium (M=68)	Gallium (M=70)	1875, P. E. Lecoq deBoisbaudran
Eka-Boron (M=44)	Scandium (M=45)	1879, L. Nilson
Eka-Silicium (M=72)	Germanium (M=73)	1886, C. Winkler

Il est à noter que les rayons cathodiques ont été découverts en 1869 par Johan Wihelm Hittorf physicien et chimiste allemand, connu également pour ses travaux sur la migration des électrolytes (1859), et l'étude quantitative de l'allotropie des ions métalliques (1865).

A partir de 1880, Mendeleïev, triomphant, attend la gloire; il aura quelques désillusions.

Pourtant, cette année là, la découverte du scandium, élément qui correspond à l'eka-bore de son premier tableau périodique, confirme, une nouvelle fois, la justesse de ses vues.

Mais, au même moment, Lothar Meyer revendique l'antériorité de la découverte du système périodique et son maître, le professeur Voskresensky, casse sa pipe. Enfin, en novembre, Mendeleïev échoue devant les portes de l'Académie nationale des sciences; il est battu (10 voix contre 9) par Beilstein, qui lui avait succédé à l'Institut de Technologie de Saint-Pétersbourg.

Mais surtout le chimiste russe n'a jamais reçu le prix Nobel. Nominé trois fois, il finit deux fois second; derrière Adolf Von Baeyer en 1905 et le français Henri Moissan (le premier à avoir isolé le fluor) en 1906.

Le 2 février 1907, Dmitriy Ivanovitch Mendeleïev succombe à une mauvaise grippe.

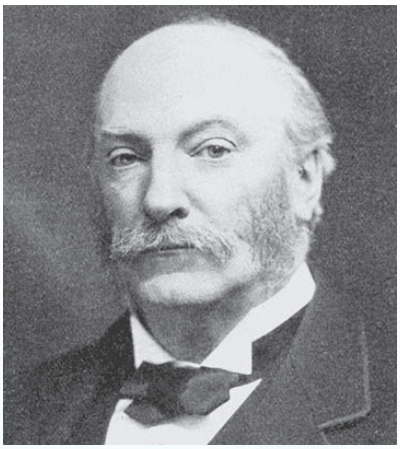
Son cortège funèbre fut conduit par des étudiants portant à bout de bras des tableaux périodiques géants.

Au fil du temps, le tableau de Mendeleïev eut à subir quelques outrages, aucun ne lui fut fatal, bien au contraire.

En 1894, la découverte de deux gaz "nobles" sur notre planète : l'argon dans l'air par Lord Rayleigh et W. Ramsay, et l'hélium dans un minerai d'uranium par W. Ramsay (l'hélium avait été identifié dans l'atmosphère solaire en 1868), conduisit à l'ajout d'une colonne supplémentaire (celle des gaz rares).

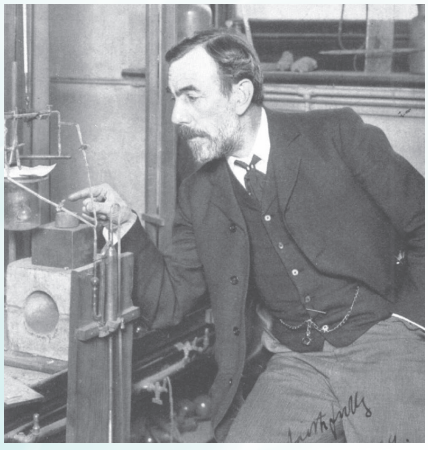
Logiquement, Ramsay put alors prévoir l'existence de trois gaz pour compléter cette nouvelle colonne, conformément à la structure du tableau.

Nouveau succès, car en 1898, le même Ramsay, avec M.W. Travers, isole le néon, le krypton et le xénon. Plus tard, le radon (radioactif) complétera la liste (1900).



Lord Rayleigh (1842-1919)

John William Strutt, plus connu sous le nom de Lord Rayleigh était un physicien anglais. En 1892, Rayleigh réussit à déterminer les dimensions de certaines molécules par l'étude des couches minces. Examinant un rapport d'expérience de Cavendish daté de 1795, alors qu'il étudiait la densité des gaz en collaboration avec Ramsay, Rayleigh découvre un nouveau constituant de l'air, l'argon. Ramsay, chimiste britanique, reçoit pour cette découverte le prix Nobel de chimie de 1904, alors que Rayleigh reçoit le prix Nobel de physique de 1904 pour ses études de la densité des gaz les plus importants et pour la découverte de l'argon en lien avec ces études.



W. Ramsay (1852-1916)

En 1894, Ramsay assista à une conférence de Lord Rayleigh, qui avait constaté un écart entre les masses volumiques de l'azote fait par la décomposition chimique de l'ammoniac, et de l'azote isolé de l'air après avoir enlevé les autres composantes connues (oxygène, dioxyde de carbone, vapeur d'eau). Ramsay a suggéré que cet azote atmosphérique peut contenir un autre élément. Pour le démontrer, il a passé l'azote isolé de l'air au-dessus du magnésium chaud pour le faire réagir en Mg3N2 solide. Après que cette

réaction était complète, il restait encore un autre gaz qui était complètement inerte et ne pouvait réagir avec aucun autre élément. Ramsay nomma ce nouvel élément argon (grec : «inacti»).

La classification eut une autre alerte avec l'identification, sur près de 30 ans (1878-1907), d'une dizaine d'éléments chimiquement voisins, proches d'éléments déjà connus, mais difficiles à situer dans le tableau de Mendeleïev. On les appela «terres rares» et on créa tout un groupe qui fut placé dans la case du lanthane. Ce groupe d'éléments, allant du lanthane (57) au lutécium (71), prit le nom de série des lanthanides.

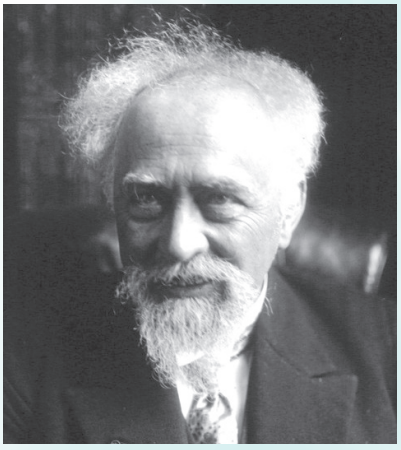
A l'aube du XX^{ème} siècle, le travail du chimiste russe est définitivement consacré. Cependant les fondements de son œuvre restent mystérieux.

Pour comprendre le tableau, il fallait pénétrer au cœur de l'atome et dévoiler sa structure.

Introduite dès l'Antiquité, l'hypothèse atomique est l'hypothèse d'une structure discontinue de la matière à l'échelle microscopique, cette matière étant constituée de «briques élémentaires» que sont les atomes.

Cette hypothèse n'a réellement commencée à recevoir de support expérimental qu'avec le développement de la chimie quantitative au XVIIIe siècle. Dans la communauté des physiciens, certains, comme les «énergétistes», sont restés hostiles à l'hypothèse atomique jusqu'au début du XXe siècle, en dépit des succès de la «théorie cinétique des gaz» développée avec virtuosité par Maxwell et Boltzmann dans la seconde moitié du XIXe siècle.

Un tournant s'opère en 1905 lorsque Einstein donne la première description théorique correcte du mouvement Brownien, un curieux mouvement d'apparence aléatoire, découvert expérimentalement en 1826 par le botaniste écossais Robert Brown.



Jean Perrin (1870-1942)

Inspiré par le travail théorique d'Einstein, le physicien français Jean Perrin (1870-1942) réalisa vers 1908 un ensemble d'expériences consacrées à la mesure du nombre d'Avogadro. Les résultats convergents de ces expériences finiront par emporter l'adhésion de la communauté scientifique en faveur de l'existence des atomes. Jean Perrin a reçu le prix Nobel de physique 1926 pour ses travaux sur la structure discontinue de la matière, et en particulier pour sa découverte de l'équilibre de sédimentation.

Paradoxalement, l'enseignement français resta longtemps à la traine. Ainsi, le physicien français Philippe Nozières écrit-il dans sa biographie de Pierre-Gilles de Gennes: «Nous nous retrouvons ensemble rue d'Ulm en novembre 1951, dans une promotion qui, pour la première fois, contient une majorité de physiciens. Les deux premières années sont consacrées à la licence, d'abord la physique puis la chimie. Hélas, l'enseignement de la physique à la Sorbonne est sclérosé, entièrement fermé à la physique du XXe siècle. La relativité et la mécanique quantique, qui ont changé le monde, n'existent pas. La thermodynamique ignore la physique statistique – même les équations de Maxwell, vieilles de 75 ans, sont renvoyées à un stade ultérieur.»

Les académiciens suédois, membres du comité Nobel, expliquent, dans leur discours de présentation du 10 décembre 1926, que «*l'objet des recherches du professeur Jean Perrin était de mettre un terme définitif à la longue bataille concernant l'existence réelle des molécules*». Voilà qui est plus clair ! La «*discontinuité de la matière*», c'est l'existence des atomes (et des molécules). Quant à l'équilibre de sédimentation, c'est simplement un des phénomènes étudiés expérimentalement par Perrin pour extraire de ses mesures le fameux «nombre d'Avogadro». Il faut attendre le congrès de Karlsruhe en 1860 pour qu'une importante partie de la communauté des chimistes s'accordent sur la théorie, encore appelée à cette époque «hypothèse d'Avogadro». La bataille de l'atomisme moderne n'était pas encore complètement gagnée.

Le génie de Perrin, fondateur du CNRS français, fut de concevoir six types d'expériences différentes (avec plusieurs variantes), chacune faisant appel indépendamment au «nombre d'Avogadro» dans l'interprétation théorique qui en était faite sur la base de l'hypothèse atomique. Dans un tableau de chiffres resté célèbre, 13 valeurs sont fournies pour le «nombre d'Avogadro», et Jean Perrin conclut : «*On est saisi d'admiration devant le*

miracle de concordances aussi précises à partir de phénomènes si différents. D'abord qu'on retrouve la même grandeur, pour chacune des méthodes, en variant autant que possible les conditions de son application, puis que les nombres ainsi définis sans ambiguïté par tant de méthodes coïncident, cela donne à la réalité moléculaire une vraisemblance bien voisine de la certitude.» Voilà qui est dit, et bien dit ! Il n'est plus possible dorénavant de nier l'existence de la réalité atomique et moléculaire. La physique de Laplace était essentiellement moléculaire. Grâce à Maxwell, Boltzman et Van der Waals, cette physique devint la base même de la thermodynamique moléculaire statistique. Ce fut Perrin qui propose en 1908, une preuve expérimentale des plus élégantes, du bien fondé de cette théorie.

Perrin a bénéficié de l'invention, en 1903, d'une nouvelle technique microscopique par l'allemand Henry Siedentopf et l'autrichien Richard Zsigmondy, lui permettant d'étudier le mouvement brownien, en s'inspirant des travaux de Laplace, décrits dans son chef d'œuvre intitulé «Traité de mécanique céleste». Laplace avait déduit une formule pour la décroissance observée de la pression p de l'air avec l'altitude.

Dans l'oeuvre de Jean Perrin, il y a une filiation directe avec la physique de Laplace : les deux sont essentiellement moléculaires. Il n'empêche que c'est Perrin qui a accompli ce que son illustre prédécesseur avait négligé, à savoir la détermination des dimensions moléculaires.

Perrin réussit à déterminer le nombre de molécules dans une molécule-gramme, la mole de nos jours (6,7 1023). Il eut la gentillesse d'attribuer à ce nombre le nom du spécialiste italien de l'état gazeux, Amedeo Avogadro

Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906)

Ludwig Eduard Boltzmann est considéré comme le père de la physique statistique et un fervent défenseur de l'existence des atomes. Validant l'hypothèse de Démocrite selon laquelle «la matière peut être considérée comme un ensemble d'entités indivisibles», Boltzmann, à l'aide de son équation cinétique dite «de Boltzmann», a théorisé de nombreuses équations de mécanique des fluides et de théorie cinétique des gaz.

Boltzmann fut à la fois un des derniers grands de la physique classique et un des pionniers de la physique moderne. Son rôle a été absolument déterminant dans l'évolution et dans le triomphe final de la théorie cinétique-moléculaire de la chaleur et de celle de la matière. Son nom est attaché, en particulier, à deux contributions décisives : la définition de l'entropie comme mesure mathématiquement bien définie de ce qu'on peut appeler le «désordre» des atomes, et l'équation de Boltzmann, qui, du point de vue historique, constitue la première équation décrivant l'évolution d'une probabilité dans le temps. Mais son œuvre a également influencé de façon considérable la physique moderne, notamment à travers l'œuvre de Planck sur les quanta de lumière et celle d'Einstein sur le mouvement brownien.

Joseph John Thomson (1856 - 1940)

Sir J.J. Thomson est un physicien anglais. Il a découvert l'électron ainsi que les isotopes et a inventé la spectrométrie de masse; il a analysé la propagation d'ondes guidées. Il a reçu le prix Nobel de physique de1906 pour «ses recherches théoriques et expérimentales sur la conductivité électrique dans les gaz». Ces recherches ont fourni les preuves de l'existence de l'électron. En 1897, Thomson prouve expérimentalement l'existence des électrons, qui avait été prédite par George Johnstone Stoney en 1874. Cette découverte est

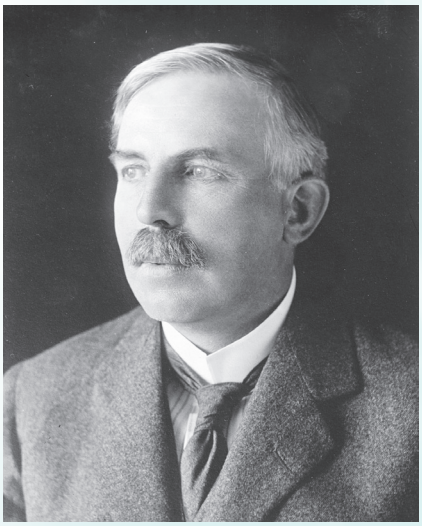
le résultat d'une série d'expériences sur les rayons cathodiques. La même année, il énonce son modèle de l'atome, le modèle de plum pudding

En 1906, Thomson montre que l'atome d'hydrogène ne contient qu'un électron. À cette époque certaines théories ont envisagé divers nombres d'électrons.

En 1912, il étudie la composition des mélanges des ions positifs dits «ions anodiques». Au cours de cette recherche, il mesure la déflexion d'un faisceau de néon ionisé (Ne+) qui passe à travers un champ magnétique ainsi qu'un champ électrique. Sur la plaque photographique qui lui sert comme détecteur, il observe deux taches qui correspondent aux atomes de masses 20 et 22. Il conclut que le néon est constitué d'atomes de deux masses différentes ou isotopes.

Cette séparation des atomes par leur masse est le premier exemple de la spectrométrie de masse, méthode qui est subséquemment mise au point par Francis William Aston (étudiant de Thomson) et par Arthur Jeffrey Dempster. La physique de physicien, chimiste et homme politique français qui reçut le prix Nobel de physique en 1926.

Il est à noter que les recherches sur la structure de l'atome commencent véritablement en 1897, quand Joseph John Thomson découvre l'électron. Dès lors tout s'accélère, son élève, Ernest Rutherford propose en 1911 une structure lacunaire pour l'atome: un noyau très concentré, chargé positivement, qui contient l'essentiel de la masse et un nuage (terme utilisé plus tard par Erwin Schrödinger) électronique fortement dispersé.



Ernest Rutherford (1871-1937)

Ernest Rutherford obtient en 1908 le prix Nobel de chimie «pour ses recherches touchant la désintégration des éléments chimiques, et la chimie des substances radioactives». Il en conserve cependant une certaine déception, car il se considère avant tout comme un physicien. Une de ses citations célèbres est : «La science, soit c'est de la physique, soit c'est de la philatélie», voulant sans doute signifier par là qu'il plaçait la physique au-dessus des autres sciences

C'est en 1911 qu'il fait sa plus grande contribution à la science en découvrant le noyau atomique. Il avait observé à Montréal qu'en bombardant une fine feuille de mica avec des particules alpha, on obtenait une déflexion de ces particules. Geiger et Marsden, refaisant de façon plus poussée ces expériences en utilisant une feuille d'or, avaient constaté que certaines particules alpha étaient déviées de plus de 90 degrés. Rutherford émet alors l'hypothèse qu'au centre de l'atome devait se trouver un «noyau» contenant presque toute la masse et toute la charge positive de l'atome, les électrons déterminant en fait la taille de l'atome. Geiger et Marsden vérifièrent par la suite ces conclusions par l'expérience.

Ce modèle planétaire avait été suggéré en 1904 par un Japonais, Hantaro Nagaoka, mais était passé inaperçu, on y objectait que les électrons auraient dû rayonner en tournant autour du noyau central et donc y tomber. Les résultats de Rutherford montrèrent que ce modèle était sans doute le bon, puisqu'il permettait de prévoir avec exactitude le taux de diffusion des particules alpha en fonction de l'angle de diffusion et de la taille de l'atome. Les dernières objections théoriques sur le rayonnement de l'électron tombèrent avec le début de la théorie quantique et l'adaptation par Niels Bohr en 1913 du modèle de Rutherford à la théorie de Planck, démontrant ainsi la stabilité de l'atome de Rutherford et proposant un modèle quantique fort séduisant. En 1919, il confia la tâche d'identifier le noyau résiduel à Patrick Blackett, un chercheur travaillant sous la direction de Rutherford. Pendant cinq ans, Blackett a effectué les expériences et à la fin, a fait l'interprétation correcte de la réaction nucléaire et le noyau résiduel - l'oxygène. Blackett a publié ses expériences, son analyse et sa conclusion en 1925. Blackett venait de produire la première transmutation artificielle de l'histoire.

La même année, il succède à J.J. Thomson au laboratoire Cavendish, dont il devient le directeur. C'est le début d'un âge d'or, pour le laboratoire comme pour Rutherford.

La touche presque finale concernant la structure de l'atome est donnée par Schrödinger (1926) après que Louis de Broglie eut postulé la dualité onde-corpuscule (1924).

Frederik Soddy (1877-1956)

FrederiK Soddy est né à Eastbourne en Angleterre. Il a commencé ses études au Eastbourne College, avant d'aller à l'University College of Wales à Aberystwyth et à l'université d'Oxford (au Merton College). Il fut chercheur à Oxford de 1898 à 1900.

En 1900, il devint démonstrateur de chimie à l'université McGill à Montréal au Québec, où il travailla avec Ernest Rutherford sur la radioactivité. Ils découvrirent que le comportement anormal des éléments radioactifs provenait de leur désintégration en d'autres éléments. Cette désintégration produit aussi des rayons alpha, bêta et gamma.

En 1903, avec William Ramsay, Soddy vérifie que la désintégration du radium produit de l'hélium.

De 1904 à 1914, il fut chargé de cours à l'université de Glasgow et montra que l'uranium peut se désintégrer en radium. Il montra aussi qu'un élément radioactif peut avoir plusieurs masses atomiques sans autre changement dans ses propriétés chimiques. Ceci conduisit à la notion d'isotope. Soddy montra plus tard que les éléments non radioactifs peuvent aussi avoir plusieurs isotopes. De plus, il montra que l'émission alpha diminue de deux unités le nombre atomique. Ce fut une étape fondamentale dans la compréhension des relations entre les différentes familles d'éléments radioactifs.

Il a reçu en 1921 le prix Nobel de chimie «pour ses contributions à notre connaissance de la chimie des substances radioactives, et ses recherches à propos de l'origine et la nature des isotopes».

Arnold Sommerfeld (1868-1951)

Arnold Sommerfeld, avec Max Planck, Albert Einstein et Niels Bohr, compte au nombre des chercheurs qui, au début du XXe siècle, ont jeté les bases de la physique théorique moderne : la physique quantique et la théorie de la Relativité. S'il a fait œuvre de chercheur aussi bien que de professeur, sa contribution à la Physique tient moins à la formulation de théories nouvelles qu'à l'utilisation de techniques mathématiques de pointe pour résoudre des difficultés techniques de ces théories. Un de ses principaux apports à la physique quantique encore balbutiante aura été la généralisation du Modèle de Bohr de l'atome, qui permit de rendre compte de la structure fine des raies spectrales de l'hydrogène (modèle dit de «Bohr-Sommerfeld»). Il a introduit la Constante de structure fine α et proposé une théorie des rayons X; il a raffiné par la physique quantique le Modèle de Drude des électrons dans les métaux (Modèle de l'électron libre) et a développé en collaboration avec Felix Klein une théorie complète du gyroscope.

Sommerfeld aura aussi été l'un des premiers physiciens à accepter et à appliquer la Relativité restreinte d'Albert Einstein, ce qui a contribué à la réception de cette formulation nouvelle de l'électromagnétisme. En outre, Sommerfeld s'est intéressé à la lubrification hydrodynamique et a laissé son nom à un nombre sans dimension, le nombre de Sommerfeld, qui mesure l'efficacité des paliers hydrodynamiques.

Deux des pionniers de la physique quantique, Werner Heisenberg et Wolfgang Pauli, ont eu Sommerfeld comme directeur de thèse.

Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911)

Avant même d'avoir reçu son doctorat, Jacobus Henricus van 't Hoff a déjà publié la première de ses importantes contributions à la chimie organique. En 1874, il explique le phénomène d'activité optique, en supposant que les liaisons chimiques entre les atomes de carbone et leurs voisins sont dirigées en direction des angles d'un tétraèdre régulier. Cette structure en trois dimensions explique parfaitement la présence des isomères trouvés dans la nature. Il partage le crédit de cette découverte avec le chimiste français Joseph Le Bel, qui présente indépendamment la même idée.

Ses principaux travaux de recherche en chimie théorique et physique ont concerné les fondements de la représentation et de la modélisation stéréochimique des formes moléculaires dans l'espace.

En 1884, il publie «Études de Dynamique chimique» qui résume le résultat de ses recherches sur la cinétique chimique. Il décrit une nouvelle méthode de détermination de l'ordre des réactions en utilisant des graphiques et applique les lois de la thermodynamique aux équilibres chimiques. La caractérisation des multiples sels du gisement potassique de Staßfurt l'ont amené à l'étude généralisée des équilibres hétérogènes des sels. La rapidité des réactions chimiques est étayée par la vieille théorie des affinités. Il préserve et introduit une notion revalorisée d'affinité chimique.

En 1886, il montre la similarité entre le comportement des solutions diluées et des gaz. Cette théorie osmotique des solutions ouvre une explication à la pression osmotique comme à une détermination expérimentale de la masse moléculaire M du soluté. Jusqu'en 1895, il travaille sur la théorie de dissociation des électrolytes. Il rejoint alors la position discutée d'Arrhenius sur la dissociation électrolytique en solution aqueuse et soutient la difficile réception des travaux de ce dernier thésard, avec l'aide du chimiste allemand Wilhelm Ostwald, grand promoteur de l'école ioniste.

Il est à noter que les travaux de Pasteur dans le domaine du concept de la chiralité (dissymétrie moléculaire) ont abouti à la naissance du domaine de la stéréochimie avec la publication de l'ouvrage «la Chimie dans l'Espace» par van 't Hoff qui, en introduisant la notion d'asymétrie de l'atome de carbone a grandement contribué à l'essor de la chimie organique moderne.

En 1901, il reçoit le premier prix Nobel de chimie «en reconnaissance des services extraordinaires qu'il a rendus par la découverte des lois de la dynamique chimique et de la pression osmotique dans les solutions».

Henry Moseley (1887-1915)

La seule modification notable - et même fondamentale - du tableau périodique est due au travail du physicien anglais, Henry Moseley, en 1913.

La loi de Moseley, établit une relation empirique entre une fréquence du spectre de rayons X d'un élément et sa charge ou numéro atomique.

Le numéro atomique de chaque élément devint alors une valeur objective, calculable, et on put établir une nouvelle classification des éléments dans laquelle il se substitue au poids atomique.

Les irrégularités constatées par Mendeleïev, liées à l'existence de plusieurs isotopes pour un même élément, disparurent.

Emil Fischer (1852 -1919)

Emil Fischer est un chimiste allemand, lauréat du prix Nobel de chimie de 1902 «en reconnaissance des services extraordinaires qu'il a rendus par ses travaux sur la synthèse des hydrates de carbone et des purines».

Il découvre la phényle hydrazine et étudie les principes actifs du thé, du café et du cacao. Il est le premier à isoler la caféine.

Entre 1899 et 1908, Fischer apporte une contribution importante à la connaissance des protéines. En cherchant une méthode analytique efficace de séparation et d'identification des acides aminés, il en découvre un nouveau type, les acides aminés cycliques (proline et oxyproline). Il étudie également la synthèse des protéines et obtient les différents acides aminés dans leur forme optiquement active. Il parvient à établir le type de liaison chimique qui les connecte entre eux pour former des chaines, la liaison peptidique, découverte à partir de laquelle il peut synthétiser les dipeptides et, plus tard, les tripeptides et les polypeptides. En 1901, en collaboration avec Ernest Fourneau, il synthétise le dipeptide glycylglycine et, cette même année, il publie ses travaux sur l'hydrolyse de la caséine. Des acides aminés naturels sont synthétisés dans son laboratoire, et d'autres sont découverts. Sa synthèse des oligopeptides culmine avec un octodecapeptide, qui a beaucoup de caractéristiques des protéines naturelles. Ces découvertes et les travaux qui en sont issus ont conduit à une meilleure compréhension des protéines et ont bâti les fondations de leurs études futures.

En plus de tous ces travaux, Fischer étudie les enzymes et les substances chimiques qui constituent les lichens qu'il observe durant ses vacances fréquentes dans la Forêt-Noire. Il étudie également les composés utilisés pour le tannage et, sur la fin de sa vie, les graisses. En 1894, il propose un modèle de type «clef et serrure» pour décrire les interactions enzyme-substrat. Bien que des travaux postérieurs montrent que les réactions enzymatiques ne peuvent pas toutes être décrites de cette manière, cette contribution donne la première définition claire de la complémentarité moléculaire, concept important de la biochimie, plus tard repris par la chimie supramoléculaire.

Maria Skłodowska (1867-1934),

Maria Skłodowska, connue en France sous le nom de Marie Curie, est une physicienne et chimiste polonaise naturalisée française, célèbre pour ses travaux sur la radioactivité naturelle. Elle a reçu deux fois le prix Nobel dans deux catégories scientifiques, ce qui est unique; en 1903 : le prix Nobel de physique avec son mari Pierre Curie et Henri Becquerel, «en reconnaissance de leurs services rendus, par leur recherche commune sur le phénomène des radiations découvert par le professeur Henri Becquerel» et en 1911 : le prix Nobel de chimie «pour ses travaux sur le polonium et le radium, par l'étude de leur nature et de leurs composés». Elle est la première personne (et la seule femme à ce jour) à obtenir deux prix Nobel pour ses travaux scientifiques.

Wilhelm Conrad Röntgen (1885-1923)

La découverte des rayons X par Wilhelm Röntgen en 1895, lauréat du premier prix Nobel de Physique en 1901, éveille un grand intérêt dans la communauté scientifique et donne lieu à de nombreuses activités de recherche. En revanche, les rayons de Becquerel, découverts par Henri Becquerel, n'ont pas encore fait naître un tel enthousiasme. Marie Curie, qui cherche alors un sujet de thèse de doctorat, choisit de se consacrer à l'étude de ces rayonnements. Elle commence en 1897 ses travaux de thèse sur l'étude des rayonnements produits par l'uranium, à ce moment-là encore appelés rayons uraniques car on les croit spécifiques à cet élément jusqu'à ce qu'elle découvre la radioactivité du thorium, peu après Gerhard Carl Schmidt. Elle s'attache à quantifier les capacités ionisantes des sels d'uranium, dans un atelier rudimentaire mis à sa disposition par le directeur de l'École municipale de physique et de chimie industrielles. En décembre, elle élabore un protocole d'expérience utilisant comme banc de mesure l'électromètre piézoélectrique élaboré par son mari Pierre Curie et son beau-frère Jacques Curie, instrumentation qui permet de mesurer avec une grande précision l'effet des rayonnements sur l'ionisation de l'air. De cette façon, Marie Curie examine de nombreux métaux, sels et minéraux contenant de l'uranium, qui lui sont fournis par Henri Moissan, Alexandre Léon Etard, Antoine Lacroix et Eugène Anatole Demarçay.

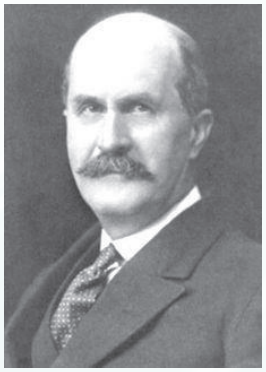
Elle montre ainsi que la pechblende et la chalcolite sont respectivement quatre et deux fois plus actives que l'uranium. L'activité mesurée s'avère également indépendante de l'état des matériaux étudiés, mais dépend de la proportion d'uranium qu'ils contiennent. L'analyse d'un échantillon de chalcolite artificielle permet de confirmer ces découvertes et Marie Curie en déduit que les rayons de Becquerel sont une propriété de l'atome et non une propriété chimique. Ses résultats sont présentés le 12 avril 1898 par Gabriel Lippmann à l'Académie des sciences.

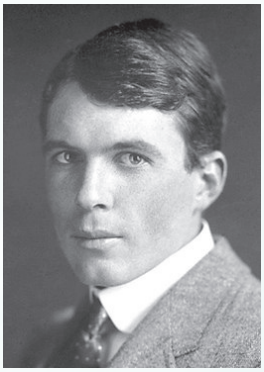
Marie Curie obtient en 1898 le prix Gegner de l'Académie des sciences, pour ses travaux sur les propriétés magnétiques des métaux. Elle obtiendra ce prix à deux autres reprises, en 1900 puis en 1902.

En 1898, Pierre laisse de côté ses travaux sur la piézoélectricité pour rejoindre son épouse sur son étude de la radioactivité. Leur but est d'isoler des roches radioactives les éléments à l'origine du rayonnement inconnu. Grâce à un financement inespéré, ils font venir de Joachimsthal, en Bohême, quelques tonnes de pechblende dans leur laboratoire de Paris. Le raffinage du minerai, procédé dangereux exigeant la plus grande précision, est réalisé dans un hangar qui se trouve à côté de l'atelier, séparé uniquement par une cour. Ils découvrent effectivement deux nouveaux éléments. Le 18 juillet 1898, Marie Curie annonce la découverte du polonium, quatre cents fois plus radioactif que l'uranium, nommé ainsi par l'Académie des sciences en référence à son pays d'origine, la Pologne. Le 26 décembre, avec Gustave Bémont qui les a rejoints, elle annonce la découverte du radium, neuf cents fois plus rayonnant que l'uranium; il aura fallu traiter plusieurs tonnes de pechblende pour obtenir moins d'un gramme de cet élément. Ces extractions, faites à partir de tonnes de minerai, sont effectuées dans des conditions difficiles, dans des locaux dépourvus de tout confort. Le chimiste allemand Wilhelm Ostwald, visitant le lieu de travail de Pierre et Marie Curie, déclare : «Ce laboratoire tenait à la fois de l'étable et du hangar à pommes de terre. Si je n'y avais pas vu des appareils de chimie, j'aurais cru que l'on se moquait de moi». En juillet 1902, elle obtient un décigramme de chlorure de radium, qui lui permet d'identifier la position de cet élément dans le tableau de Mendeleïev. Elle soutient sa thèse de doctorat en sciences physiques, intitulée Recherches sur les substances radioactives, le 25 juin 1903 la faculté des sciences de l'université de Paris ; elle obtient la mention «très honorable». Également en 1903, Marie Curie est la première femme lauréate de la Médaille Davy. Pour fêter le 100e anniversaire de son prix Nobel de chimie, l'année 2011 a été proclamée "année Marie Curie".

Max Von Laue (1879-1960)

Max von Laue montre que la diffraction des rayons X est bien la conséquence de l'empilement régulier des volumes élémentaires dans le cristal. Cela a pour autre conséquence de démontrer que le rayonnement X est un rayonnement électromagnétique. La découverte de Max von Laue est considérée comme l'acte de naissance de la cristallographie moderne. Elle lui vaudra le prix Nobel de Physique en 1914. C'est pour cette raison que l'année de la cristallographie sera célébrée en 2014. Après ces deux découvertes majeures, la cristallographie va devenir un outil puissant d'analyse structurale aux côtés de la physique, de la chimie puis de la biologie.



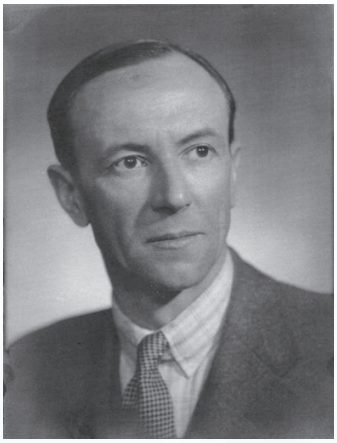


William Henry Bragg (1862-1942)
et son fils **William Lawrence Bragg** (1890-1971)

Le physicien et chimiste britannique William Henry Bragg (1862-1942) et son fils William Lawrence Bragg (1890-1971) reçoivent le prix Nobel de physique en 1915 "pour leurs services dans l'analyse de la structure cristalline par le moyen des rayons X". Ils ont ainsi en 1913 publié la structure notamment du diamant et du chlorure de sodium. William Lawrence Bragg établit également une relation (la "loi de Bragg") qui, à partir d'un diagramme de diffraction de rayons X, permet de connaître les distances entre plans atomiques à l'intérieur d'un cristal.

En 1916, Peter Debye et Paul Scherrer réalisent la première expérience de diffraction des rayons X sur un échantillon polycristallin. Cette expérience ouvre la porte à l'usage de la diffraction des rayons X comme outil de caractérisation des matériaux qui sont souvent polycristallins.

La cristallographie est aujourd'hui incontournable pour quiconque s'intéresse aux relations qui existent entre l'organisation des atomes à l'état solide (métaux, molécules, alliage, protéines …) et les propriétés qui en résultent. La cristallographie, du fait qu'elle donne de l'information sur la structure, intéresse un large panel de domaines. (matériaux classiques et matériaux moléculaires, grands équipements, pharmacologie, biologie)



James Chadwick

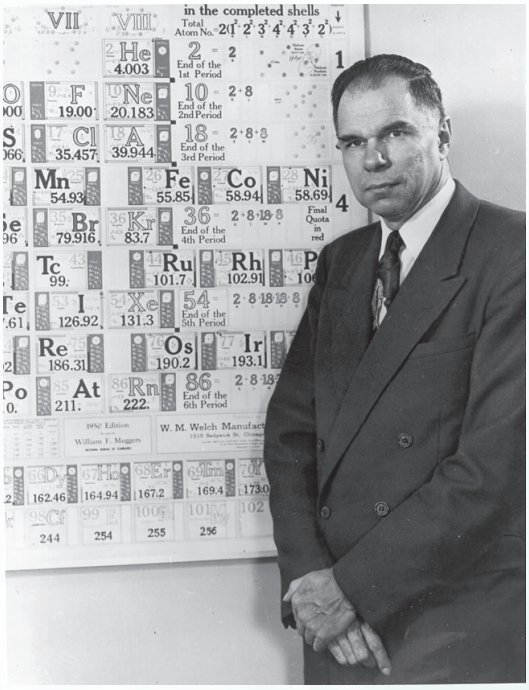
Le (presque) dernier mot de l'histoire revient encore à un anglais, lui aussi élève d'Ernest Rutherford à Cambridge, James Chadwick qui, en 1932 met en évidence une particule de masse voisine de celle du proton mais de charge nulle : le neutron.

Dès lors, la notion d'isotopie s'éclaire : des isotopes d'un même élément (même numéro atomique) différent par le nombre de neutrons de leur noyau. Par exemple le carbone, isotope 12 contient dans son noyau 6 protons et 6 neutrons alors que le carbone 14 contient 6 protons et 8 neutrons. Des isotopes ont les mêmes propriétés chimiques (à l'effet isotopique près) puisque leur configuration électronique est la même.

George de Hevesy, ou **George von Hevesy**
(1885- 1966)

C'est un chimiste hongrois, lauréat du prix Nobel de chimie en 1943, qui est célèbre pour le développement de l'utilisation des isotopes radioactifs comme traceurs isotopiques pour les études chimiques et biologiques. Il a également découvert l'élément chimique 72, le hafnium. Il s'intéresse également à l'effet des rayons X sur l'acide nucléique dans les cellules cancéreuses et saines.

Les isotopes ont été exploités dans plusieurs applications importantes en sciences, médecine, et technologies comme la résonance magnétique nucléaire (RMN), la tomographie par résonance magnétique et la spectrométrie de masse.



Glenn Seaborg (1912-1999)

C'est au savant américain Glenn Seaborg que nous devons l'insertion des actinides dans le tableau périodique (1944). Il avait également envisagé l'existence de «transactinides» pour les éléments 104 à 120 qui furent ultérieurement mis en évidence en laboratoire.

Il découvrit le plutonium, l'américium, le curium, le berkélium, et le californium (éléments 94 à 98). Il partagea avec Edwin Mc Millan le prix Nobel de chimie en 1951 «pour leurs découvertes en chimie des éléments transuraniens».

L'élément seaborgium lui a été dédié alors qu'il était vivant ce qui créa une controverse. Pour le reste de sa vie, il était le seul homme pouvant écrire son adresse avec des éléments chimiques : Seaborgium, Lawrencium, Berkélium, Californium, Américium (Glenn Seaborg, Laboratoire national Lawrence-Berkeley, Berkeley, Californie, États-Unis).

Il est à souligner, tout particulièrement, l'exceptionnelle contribution du célèbre Laboratoire Cavendish de Cambridge ou s'illustrèrent notamment: Lord Rayleigh, prix Nobel de physique (1904), Joseph John Thomson, prix Nobel de physique (1906), Ernest Rutherford, prix Nobel de chimie (1908), William Lawrence Bragg, prix Nobel de physique (1915), Francis William Aston, prix Nobel de chimie (1922), Charles Thomson Rees Wilson, prix Nobel de physique (1927) et James Chadwick, prix Nobel de physique en (1935).

Pour compléter le tableau de chasse de cette institution, rappelons que plus récemment James Watson et Francis Crick ont obtenu le prix Nobel de médecine et physiologie (1962) pour avoir déterminé en 1953 la structure en double hélice de l'ADN.

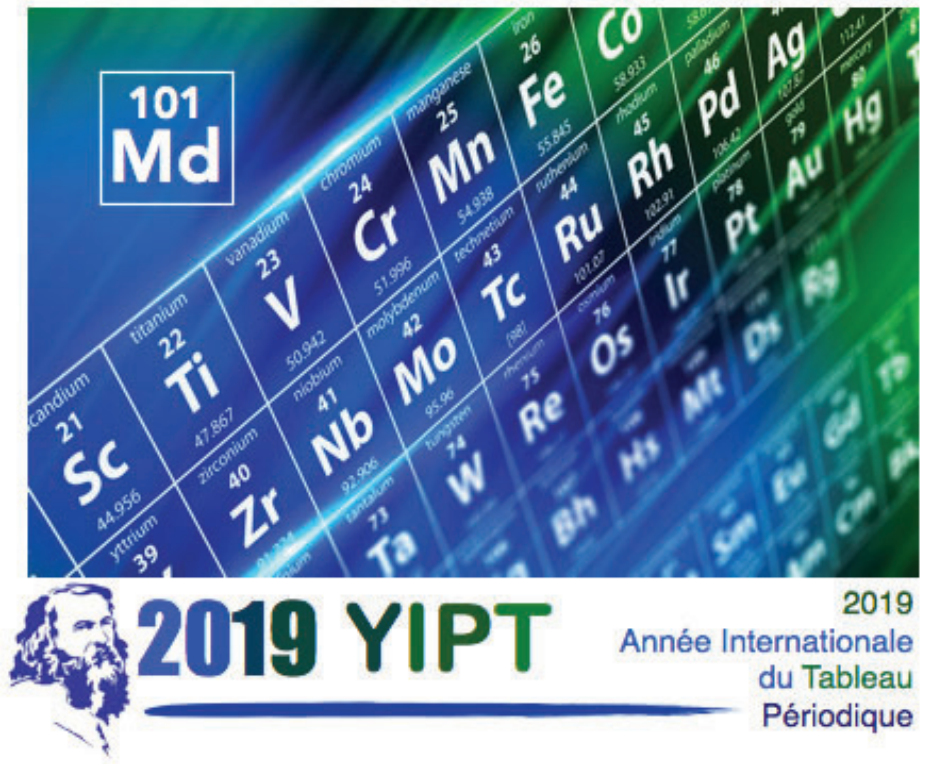
De même, le Danois Niels Bohr et l'Américain Robert Oppenheimer, considérés comme le père de la bombe atomique, ont séjourné dans le Laboratoire de Cavendish.

Notons que l'UICPA a décrété que les nouveaux éléments peuvent prendre le nom de l'une de leurs propriétés physiques ou chimiques, d'un concept, d'un personnage mythologique, d'un minerai, d'une région géographique ou d'un scientifique.

La quête de nouveaux éléments se poursuit et inspire notre exploration de l'espace. Les observations modernes indiquent que les éléments chimiques représentent environ 5% de l'énergie de masse totale de l'Univers, et que la plupart est fournie par l'énergie «noire» (69%) et par la matière «noire» (26%), dont la nature est encore inconnue. De puissantes méthodes prédictives quantiques ont été développées dans la recherche de nouveaux éléments, conduisant à la découverte de nouveaux matériaux et de nouveaux phénomènes chimiques, élargissant ainsi les limites du savoir.

Il est à noter que le Big Bang a mis au monde trois éléments seulement : l'hydrogène, l'hélium et le lithium. Ce sont eux qui sont à l'origine de tous les autres éléments que nous connaissons aujourd'hui, via un processus appelé la nucléosynthèse, qui a tout de même duré des milliards d'années. Si ce n'était pas de la science, d'aucuns auraient pu penser que c'était un miracle.

Le Big Bang est donc à l'origine de tous les éléments de l'Univers – du moins de ceux qui sont naturels. A partir du numéro 95, l'américium, les éléments sont synthétiques: ils ont été produits artificiellement, par réaction nucléaire. Dans le monde, plusieurs laboratoires se sont lancés dans cette course à la découverte de nouveaux éléments.



Le 20 décembre 2017, l'Assemblée générale des Nations Unies au cours de sa 74ème session plénière a proclamé 2019, Année internationale du Tableau périodique des éléments chimiques (IYPT 2019). Sur la base de la décision 202 EX/43, l'IYPT2019 a été adoptée par la Conférence générale de l'UNESCO à sa 39ème session (39 C/décision 60).

L'IYPT2019 a pour objectif de reconnaître l'importance du Tableau périodique des éléments chimiques comme l'une des réalisations les plus importantes et la plus influente de la science moderne reflétant l'essence non seulement de la chimie, mais aussi de la physique, de la biologie, de l'astronomie, de la géochimie et d'autres disciplines des sciences fondamentales. C'est également une occasion de commémorer le 150e anniversaire de l'établissement du Tableau périodique des éléments chimiques par le scientifique russe, Dimitri Mendeleïev.

L'année internationale du tableau périodique des éléments est une initiative mondiale mise en place afin de souligner son importance dans les domaines scientifiques, technologiques et pour le développement durable de l'humanité. Le tableau périodique est considéré comme une avancée considérable pour la chimie et les sciences.

La célébration de l'IYPT 2019 constituera une excellente occasion de réfléchir aux différents aspects du tableau périodique et ses évolutions, au rôle des femmes dans la recherche, ainsi qu'aux tendances et perspectives mondiales autour des sciences fondamentales au service de sociétés durables,

De même, dans le cadre de l'IYPT 2019, l'UNESCO et l'organisation 1001 Inventions ont pris une importante initiative éducative en l'honneur de Jabir ibn Hayyan, polymathe du VIIIème siècle. C'est une initiative de sensibilisation à la chimie et à ses applications pour le développement durable, et de promotion de nouvelles façons d'enseigner les sciences fondamentales, en portant une attention toute particulière aux approches pratiques.

Les partenaires fondateurs de l'IYPT 2019 sont l'Union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA), l'Association européenne pour les sciences chimiques et moléculaires (EuCheMS), le Conseil international de la science (ISC), l'Union astronomique internationale (UAI), l'Union internationale de physique pure et appliquée (UIPPA) et l'Union internationale d'histoire et de philosophie des sciences (IUHPST).

Le Programme international relatif aux sciences fondamentales de l'UNESCO et l'UICPA qui célèbrent son centième anniversaire, et coordonnent l'année en coopération avec des sociétés et des syndicats de la chimie nationaux, régionaux et internationaux, y compris plus de 150 centres scientifiques de premier plan dans le monde.

L'année 2019 a été consacrée à la célébration du 150e anniversaire de l'une des percées scientifiques les plus marquantes. Le tableau périodique des éléments chimiques constitue un outil nous permettant de comprendre les ingrédients de base de notre univers et qui alimente encore aujourd'hui la recherche et l'innovation. Son utilité a été mise en évidence pour permettre de construire des sociétés durables, en relevant les défis de domaines aussi variés que la santé, la sécurité alimentaire, l'environnement ou l'énergie.

L'Année internationale du tableau périodique des éléments chimiques 2019 a été l'occasion de réfléchir à de nombreux aspects du tableau périodique, notamment son histoire, le rôle des hommes et des femmes dans la recherche, les tendances et perspectives mondiales en matière de science pour le développement durable, ainsi que les impacts sociaux et économiques..

Références

- J. Elguero Bertolini, P.G. Laza, P.R. Polo, La Tabla periodicade los elementos quimicos, CSIC, 2019; http://editorial.csic.es; ISBN : 978-84-00-10466-5
- J.P. Lavergne, Mendeleîev : XXXI-un tableau de maître - https://www.jeanpierrevarlenge.com ›chimie-vivant-une-si-longue-histoire
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Jabir_ibn_Hayyan
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Antoine_Lavoisier
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Robert_Boyle
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Cavendish
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Humphry_Davy
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Jöns_Jacob_Berzelius
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Stanislao_Cannizzaro
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Friedrich_Wöhler
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Louis_Pasteur
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Alexandre_Borodine
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Nikolaï_Zinine
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Jean_Perrin
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Ludwig_Boltzman
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Joseph_John_Thomson
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Ernest_Rutherford
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Frederick_Soddy
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Arnold_Sommerfeld
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Jacobus_Henricus_van_'t_Hoff
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Henry_Moseley
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Emil_Fischer
- https://pl.wikipedia.org ›wiki› Maria_Skłodowska- Curie
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Max_von_Laue
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› William_Lawrence_Bragg
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› James_Chadwick
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› George_de_Hevesy
- https://fr.wikipedia.org ›wiki› Glenn_Theodore_Seaborg
- Le tableau de Mendeleïev: 150 ans d'histoire; https://lejournal.cnrs.fr - tableau-periodique
- Année internationale du tableau périodique des éléments, https://fr.unesco.org ›commemorations› iypt2019

Pr. El Mokhtar ESSASSI

Relation Université-Entreprise : les clés de la réussite

Présentation

La qualité et l'intensité de la relation entre l'université, les institutions de recherche et les acteurs du monde socio-économique est un des facteurs clés du transfert de technologie. Consolider cette relation, la construire sur des bases solides revêt un intérêt stratégique de plus en plus important. Cet intérêt est de plus en plus pris en compte par les nations. La qualité de cette relation impacte en effet fortement le système éducatif et la formation des ressources humaines ainsi que leur employabilité mais également le capital intellectuel des organisations et des entreprises par le renforcement de leurs capacités technologiques et organisationnelles. Elle contribue ainsi à la construction d'une économie basée sur la connaissance.

Le Maroc investit environ 20% de son budget annuel dans l'éducation, soit presque 60 milliards de dirhams, sans pour autant arriver à un niveau de qualité de la formation pouvant répondre aux besoins croissants du pays. De même, l'intégration et les échanges entre les laboratoires de recherche et l'environnement socioéconomique restent rares.

Il y a plus de vingt ans que la question de la relation université- monde socioéconomique est posée avec acuité sans qu'une solution viable ne soit trouvée. Cette situation est préjudiciable à tous les aspects sociétaux et particulièrement à l'économie et à la création de richesses. Les entreprises, quelle que soit leur taille, qui n'innovent pas ou très peu, finissent par péricliter. Pour gagner des parts de marchés et être innovantes, elles doivent s'associer avec des centres 'créateurs d'innovations'. Ces centres existent dans certaines universités et dans divers domaines, mais hélas, ne sont pas toujours efficients. Ce manque de qualité complique les processus car la maturité et la faisabilité des projets ne sont pas assurées. Le transfert de technologies passe nécessairement par l'existence d'un marché et de moyens financiers indispensables à la création de startup….

Ce sont les mécanismes qui gouvernent ces relations entreprise/université que ce séminaire ambitionne d'examiner tout en sachant qu'il n'y a probablement pas une réponse universelle au problème.

Ce séminaire vise les objectifs essentiels suivants :

- rappeler les meilleures pratiques internationales actuelles en la matière en mettant l'accent sur les mécanismes de réussite disponibles,
- tirer les enseignements sur les dispositifs pratiques actuellement opérationnels au Maroc et examiner les diverses propositions figurant dans les études réalisées,
- révéler les principales entraves qui pèsent sur le système actuel et préconiser des solutions.

Ce séminaire devrait permettre d'élaborer des recommandations et des mesures utiles qu'il serait judicieux de mettre en place en faisant obligatoirement appel au "principe de précaution". La réflexion sur les échanges de savoir et de technologie entre les laboratoires de recherche et le monde socioéconomique ne doit pas s'arrêter à la fin de ce séminaire mais se projeter sur l'avenir avec des questions fondamentales telles que :

- comment améliorer et accroitre les compétences et l'efficacité du dispositif de valorisation de la recherche qui est à la base du transfert de savoir-faire des laboratoires de recherche vers l'industrie? Quel est le rôle de l'éducation dans ce processus?
- quels sont les domaines à favoriser compte-tenu de l'accélération technologique que nous vivons actuellement? Quel sens attribuer à cette accélération technologique car elle n'est observable que dans le domaine de la technologie?

A l'heure où l'ensemble des acteurs publics et privés s'intéressent, à l'invitation de Sa Majesté Le Roi, à définir un nouveau modèle de développement économique pour le Maroc, la relation université - entreprise revêt un intérêt tout particulier, l'économie de demain axée de plus en plus sur la connaissance et la technologie produite par la recherche devra trouver un chemin aisé vers le monde socioéconomique en général et l'entreprise en particulier pour contribuer à assoir leur compétitivité.

Les institutions de recherche et les acteurs du monde socioéconomique, seront invités à débattre, échanger et recommander les voies et moyens pour la réussite des activités de transfert qui mènent à la réussite des projets de recherche collaboratifs et à la valorisation des résultats obtenus pour créer de la valeur économique.

Allocution du Pr. Omar Fassi-Fehri

Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Monsieur le Ministre,
Chères consœurs, chers confrères,
Honorables invités,
Mesdames, Messieurs

C'est un honneur et un réel plaisir pour moi de participer avec vous à l'ouverture de cet important séminaire sur le thème «relation université-entreprise : les clés de la réussite», préparé par le collège scientifique «ingénierie, transfert et innovation technologique», et organisé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, et ce dans l'objectif d'encourager le rapprochement université-entreprise et de promouvoir la qualité et l'intensité de la relation entre l'université, les institutions de recherche et les acteurs du monde socio-économique d'une manière générale.

Je tiens à remercier les membres du collège de l'ingénierie, transfert et innovation technologique de l'Académie et son directeur, et les féliciter pour le choix du thème de ce séminaire qui est amplement justifié par l'importance de la place qu'occupe aujourd'hui le rapprochement entre l'université et l'entreprise dans le transfert de technologie.

C'est en effet une très belle initiative que vous avez eue, en organisant ce séminaire entièrement consacré aux relations que sont naturellement appelés à entretenir deux univers qui sont au cœur de notre avenir, le monde universitaire et celui de l'entreprise.

Et c'est à l'évidence, une excellente question que vous allez débattre au cours de cette rencontre, à savoir : comment tisser de nouvelles relations entre les entreprises et les universités marocaines et comment fortifier celles qu'elles entretiennent déjà ?

Mesdames, Messieurs,

Œuvrer pour le développement du pays, ce n'est pas seulement offrir à tous nos jeunes la chance d'étudier dans des universités, c'est aussi leur permettre de trouver un emploi dans lequel ils pourront faire valoir les connaissances, les compétences et les qualités qu'ils auront acquises et développées tout au long de leurs études supérieures.

On est tous convaincu qu'il n'y a pas de progrès des civilisations qui ne naisse d'abord d'un progrès de la connaissance, car c'est le savoir qui rend les peuples capables non pas seulement de répondre aux besoins de l'avenir, mais aussi de l'inventer.

Cette conviction partagée, nécessite que nos universités s'engagent dans un mouvement ordonné autour de deux finalités essentielles: d'une part, offrir à tous les étudiants de nos universités des formations d'excellence et leur permettre ainsi d'accéder au tout dernier état du savoir; d'autre part, faire de ces formations de véritables passeports pour l'emploi, en garantissant aux entreprises que les jeunes diplômés, par les enseignements qu'ils auront reçus et par le haut niveau d'exigence intellectuelle auxquels ils auront été habitués, sont parfaitement en mesure de répondre à leurs besoins, présents et futurs.

Car chacun le sait bien, ces deux objectifs n'ont rien de contradictoire, mais sont au contraire parfaitement complémentaires : l'excellence académique est le meilleur gage d'insertion professionnelle lorsque cette excellence ne se construit pas indépendamment de toute vie active future mais prend place aux yeux de chaque étudiant dans un projet personnel et professionnel bien défini.

C'est pourquoi il est nécessaire d'assigner à nos universités deux nouvelles missions : l'orientation et l'insertion professionnelle des étudiants. L'une ne se conçoit en effet pas sans l'autre, car l'insertion à l'issue des études supérieures est d'autant plus fluide que ces dernières procèdent d'une orientation responsable et ambitieuse, qui ne cache rien aux étudiants des exigences des

formations et des perspectives professionnelles qu'elles ouvrent, mais qui soit également soucieuse de leur offrir tous les moyens d'accomplir leur projet.

Mais ces deux missions ne pourront être menées à bien sans que ne se tisse entre les entreprises et les universités un dialogue continu, qui permette à celles-ci de comprendre les nouveaux besoins de celles-là, et d'y répondre en mobilisant les extraordinaires ressources intellectuelles dont elles disposent.

Il est certain que le Maroc de demain ne se fera pas hors de ses universités : c'est en effet là que se mêleront la jeunesse du pays, grâce à des parcours de formation qui intégreront pleinement l'exigence du monde socio-économique.

Et c'est là aussi que s'inventera l'avenir de notre économie, grâce au flux permanent d'innovation et de découverte qui, partant de nos universités, irriguera l'ensemble de nos entreprises pour donner naissance aux nouvelles technologies, aux nouveaux services et aux nouveaux marchés qui feront notre richesse commune.

Toutefois, pour atteindre les résultats escomptés, il devient impératif d'améliorer et de renforcer davantage le rapprochement entre l'université et le monde de l'entreprise et de réussir l'efficacité du couplage entre la recherche scientifique et technologique et le monde socio-économique.

Pour permettre ce rapprochement, il est nécessaire également de favoriser l'existence d'un environnement financier, d'une fiscalité favorable et de mesures incitatives, capables de promouvoir progressivement l'innovation technologique et la création d'entreprises innovantes, d'encourager le transfert du savoir entre l'université et l'entreprise, et d'inciter les chercheurs à créer une synergie entre les technologies développées dans les universités et les centres de recherche et les entreprises à travers des cadres institutionnels et juridiques adéquats.

A cet égard, les nouveaux textes régissant l'enseignement supérieur et la recherche scientifique prévoient un certain nombre d'actions et de mesures spécifiques permettant d'améliorer et de renforcer le rapprochement entre la recherche publique et le monde des entreprises, de soutenir les initiatives innovatrices des entreprises et de favoriser l'existence d'un environnement adéquat pour la promotion et la valorisation des résultats de la recherche.

Réussir l'efficacité du couplage entre la recherche publique et le monde économique, nécessite aussi d'appuyer les centres et les laboratoires de recherche pour faciliter le transfert de technologies vers les PME – PMI, et d'instaurer une coopération efficace entre l'université et l'entreprise et ce à travers la mise en place des structures d'interface appropriées et adaptées au contexte marocain capables d'assurer la valorisation, l'essaimage et le transfert du savoir-faire et de la diffusion technologique.

Mesdames, Messieurs,

Votre rencontre d'aujourd'hui est venue à point nommé, car elle va permettre d'approfondir le débat sur la question du transfert technologique et de l'innovation industrielle notamment en réfléchissant aux moyens qui seront en mesure de dynamiser le rôle de l'université et de l'entreprise dans la valorisation de ce transfert et également de créer un espace de dialogue constructif entre les différents acteurs de la conception et de l'innovation industrielle.

Ce genre de rencontres devrait se tenir régulièrement et concerner tous les domaines où il est question de technologie car c'est en conjuguant les efforts entre décideurs, chercheurs, opérateurs économiques et nos partenaires étrangers que nous pouvons relever le défi auquel devront faire face les entreprises marocaines pour améliorer la productivité et la qualité des produits localement fabriqués et pour s'intégrer dans l'ère de la globalisation et de la mondialisation de l'économie.

En conclusion de cette intervention, je pense que ce séminaire, est un véritable forum de réflexion et aussi un véritable espace de dialogue entre tous les acteurs concernés par la consolidation de la relation entre l'université, les institutions de recherche et les acteurs du monde socio-économique d'une manière générale.

Je souhaite plein succès à vos travaux et œuvrons ensemble pour que la recherche scientifique et l'innovation contribuent effectivement et activement à la solution des problèmes de développement et au bien-être social de nos citoyens, nous serons ainsi à la hauteur des ambitions que nourrit Sa Majesté le Roi Mohammed VI pour construire une économie basée sur la connaissance et édifier une société moderne et prospère.

Je vous remercie pour votre attention.

Relation université-entreprise : évolution des pratiques et nouveaux modèles

Philippe A. TANGUY

Président de l'Université Polytechnique de Montréal
Membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Mesdames et messieurs bonjour,

Je vous remercie pour cette invitation et de l'occasion qui m'est donnée de pouvoir parler d'un sujet qui m'est très cher, non seulement comme président d'université mais aussi comme ancien directeur scientifique adjoint de Total, à savoir les relations université-entreprise dans le cadre d'un développement durable.

En particulier, je vais vous présenter comment se passent ces relations au Canada et dans une université technologique comme Polytechnique Montréal.

Cadrons globalement le sujet.

Les nouveaux enjeux de la post-mondialisation

Nous vivons dans une époque de **post-mondialisation**. Le paysage économique que nous connaissons mute rapidement. Trois tendances macroéconomiques se dégagent: la désindustrialisation de l'Occident, le développement de la Chine et plus généralement la montée en puissance de l'Asie du Sud-Est, et malheureusement, un retour à l'isolationnisme (guerres commerciales) et au protectionnisme (barrières douanières), le tout dans un contexte où la pression environnementale se fait de plus en plus présente.

Côté industriel, on assiste à une **financiarisation accrue de l'industrie** surtout en Occident : l'industrie fait de moins en moins de R&D en interne – la tendance s'est dessinée dès les années 70 aux USA. Elle se transforme de plus en plus en donneur d'ordres et acheteur de savoirs développés par d'autres, en une forme d'hybride d'opérateurs d'actifs industriels et de conglomérats financiers à vocation technologique.

Les concentrations d'entreprises et les échanges d'actifs connaissent à nouveau un engouement, et des quasi-monopoles émergent – nous avons tous à l'esprit les GAFAM américains.

Autre tendance, le cinq point zéro (5.0), c'est-à-dire l'émergence d'une société digitale portée par l'ubiquité des services numériques. Il s'agit d'un changement de paradigme transformationnel : dans la manière de travailler (informatisation), dans la manière de produire (industrie 4.0) et dans la manière de consommer (ubérisation) – Pensons à l'impact de nos téléphones intelligents dans notre quotidien. En fait, on assiste à une dématérialisation des affaires (x-as-a-service comme la mobilité avec Uber ou la location d'appartements courte durée avec Airbnb), à une dématérialisation du commerce, ce que j'appelle «l'amazonisation». Ce sont des tendances fortes qui révolutionnent nos modes de fonctionnement. Elles sont aidées en cela par un développement spectaculaire de l'Intelligence Artificielle (IA). En filigrane, la notion de l'E3 «Everything, Everyone, Everywhere». En fait, les pays qui ne vont pas adopter la démarche E3 vont éprouver énormément de difficultés à survivre.

Autre tendance extrêmement importante : des populations de plus en plus conscientes des enjeux sociétaux, souvent à connotation planétaire et systémique.

Et enfin, une atomisation de l'Opinion, avec un grand O, à travers les réseaux sociaux qui permettent l'instantanéité du partage d'informations vraies… ou fausses.

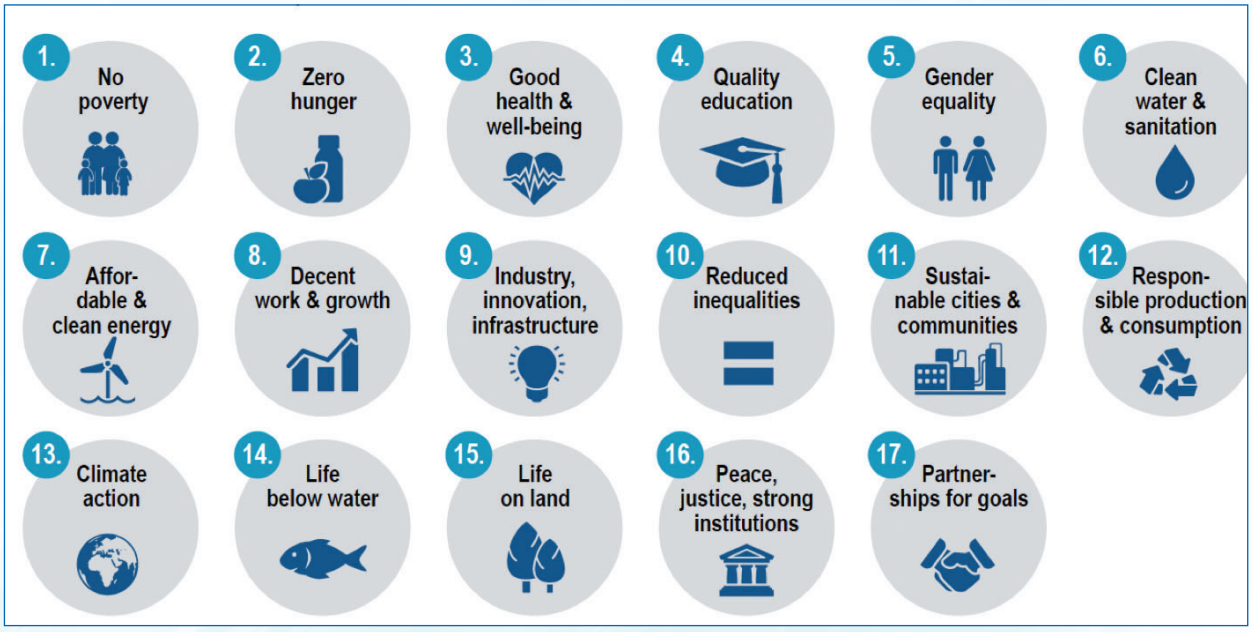
Ce que je vous décris a moins de dix ans. On ne l'avait pas vu venir mais c'est maintenant notre «terrain de jeu».

Alors, comment tout cela se traduit-il dans le paysage universitaire ?

Un paysage universitaire en mutation

On est bien loin du modèle philosophique de l'Académie de PLATON, l'ancêtre des universités. Dans le monde connecté d'aujourd'hui, c'est la Technological University qui domine.

De fait, on assiste à un nouvel élargissement du rôle des universités. Depuis la formation des penseurs de PLATON, un long chemin a été parcouru par les universités. Dès le 19e siècle, on leur a confié la nouvelle mission de former des cadres et des dirigeants ; Les Grandes Écoles naissent. Puis on leur a demandé de faire de la recherche fondamentale, puis de la recherche dont la finalité est devenue plus économique voire mercantile. Maintenant, on leur demande d'innover, de créer de la valeur marchande, et d'entreprendre. Je ne sais pas ce que sera le prochain mandat mais, ce que je peux vous assurer, c'est que l'ensemble de ces mandats donne aux universités des responsabilités énormes pour lesquelles elles ne sont pas nécessairement bien préparées.



Objectifs de développement durable de l'ONU

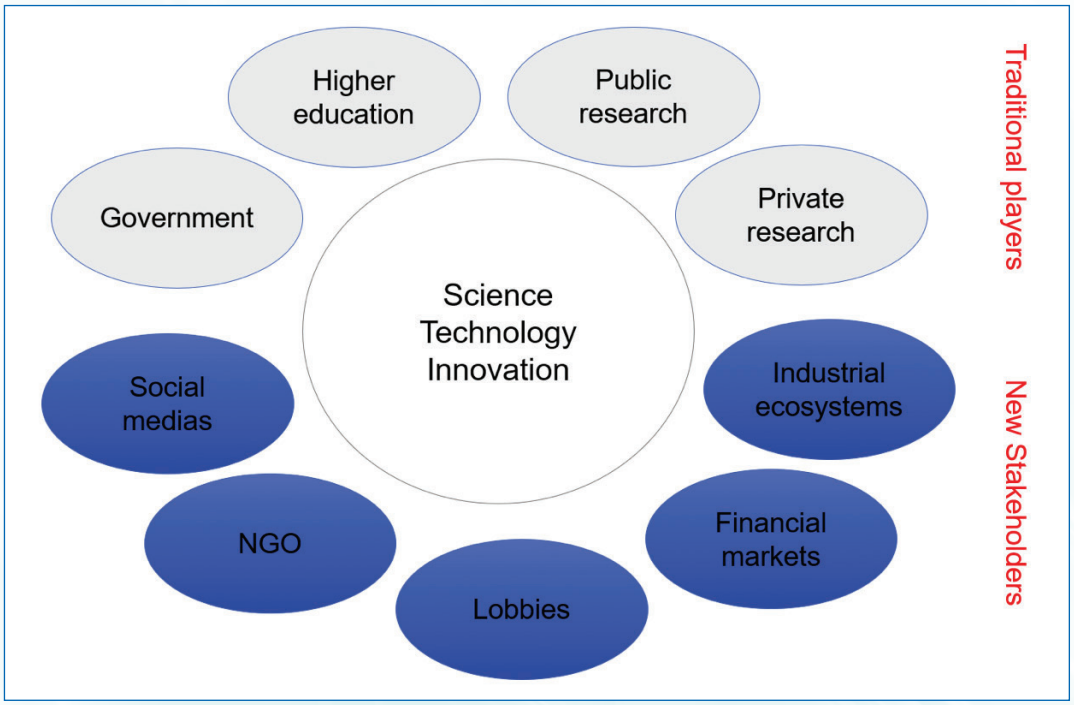
On ne peut isoler une université de son environnement. Une université ne peut se développer que si elle est solidement ancrée dans son milieu. Gardons cela toujours à l'esprit. Il y a certes quelques contre-exemples, des universités à vocation mondiale dont l'ancrage est global. Elles sont très peu nombreuses et elles ont gagné le « droit » d'être mondiale par leur excellence et leur impact sur la société. Harvard, le MIT, Stanford et Cambridge sont des exemples que nous avons tous à l'esprit. Au Maroc comme dans l'immense majorité des pays, un ancrage national voire régional du monde universitaire est indispensable. Après tout, ce sont les citoyens qui financent le système universitaire par le biais des impôts.

Le rôle de l'université pour et dans son milieu est bien compris mais ledit milieu en attend toujours plus : davantage d'ouverture, de cohésion, d'équité, de diversité… À l'ère des milleniums, il est même très demandeur ! On demande également à cette université d'être beaucoup plus pertinente et en particulier face aux grands défis planétaires ou encore aux objectifs de développement durable. On lui demande également de tenir compte de l'émergence de dimensions systémiques, liées par exemple à l'empreinte environnementale, aux migrations, à la sécurité numérique (cybersécurité), au maintien des emplois; on lui demande de préparer les nouvelles générations aux métiers de demain ! Le cahier de charges est épais et nous n'avons pas toutes les réponses. Pour finir, une

solide formation de base et une bonne boîte à outils sont les meilleurs atouts pour évoluer et réussir dans un futur pour le moins incertain… Alors «OUI» à l'enseignement de l'industrie quatre points zéro (4.0) et des énergies renouvelables, «OUI» à la recherche sur l'économie circulaire et la science des données, aux énergies renouvelables, mais ne sur-spécialisons pas nos formations. Le développement de l'IA devrait entraîner des destructions d'emplois mais il créera d'autres emplois. Nul ne sait si le bilan sera équilibré ; mais gageons qu'il y aura une période de transition douloureuse que l'État devra gérer.

À Polytechnique Montréal, répondre à ces enjeux de sociétés fait partie de notre ADN. Nous avons été l'université de la construction du Québec moderne, nous sommes maintenant celle de l'ingénierie durable et de la transition technologique et nous préparons nos ingénieurs à gérer l'imprévisible.

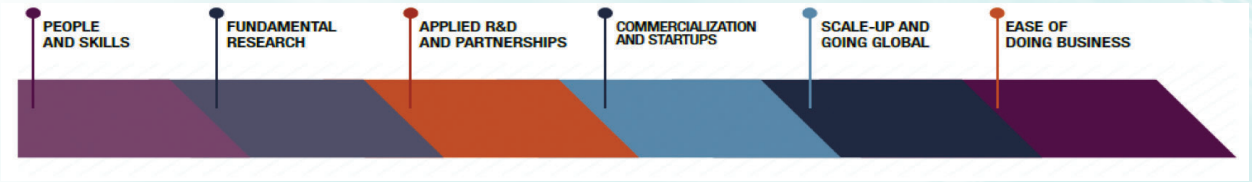
Une pluralité de parties prenantes



Le paysage en Sciences, Technologie et Innovation est influencé par un ensemble de parties prenantes dont certaines n'existaient pas il y a encore une quinzaine d'années. Vous avez en haut de cette planche les acteurs traditionnels, les gouvernements, l'éducation supérieure, la recherche publique et la recherche privée. Un certain nombre de nouveaux acteurs sont venus se greffer qui, donnent de la voix pour influencer cet environnement : les médias sociaux, les ONG, les lobbies, les marchés financiers et bien sûr les écosystèmes industriels.

Comment dans ce nouveau contexte les systèmes économiques répondent-ils ?

Une réponse multiple des systèmes économiques



En fait, les réponses sont très diverses – En voici quelques-unes :

- Certains travaillent sur la réglementation administrative : la rendre plus simple, flexible, prévisible et davantage axée sur les résultats ;
- D'autres s'activent à réduire les contraintes réglementaires plus en amont dans la chaîne de l'innovation, en particulier pour les plateformes d'essai et les pilotes technologiques ;
- Il y a bien sûr, comme l'a mentionné Monsieur Omar Fassi-Fehri dans son discours introductif, toute la question de la mise en place d'incitatifs économiques : pour faire baisser le coût de l'investissement dans le développement technologique, pour «dérisquer» et ainsi faciliter l'adoption de technologies avancées et novatrices, pour encourager les phases de démonstration et de scale-up à l'aide de financements appropriés ;
- On assiste aussi à la création de plateformes d'infrastructures avancées dans des secteurs émergents : énergie propre, cybersécurité…
- Enfin, et je l'ai moi-même vécu lors de mes neuf années en Europe, des initiatives se mettent en place pour favoriser le soutien de réseaux d'innovation ouverte, la co-opétition, ce mélange de collaboration et de compétition, pour accélérer le développement technologique en partageant collectivement les risques, en favoriser la diffusion et surtout en promouvoir l'adoption.

Au Canada, comment s'adapte-t-on à cet environnement très disruptif ? L'idée-maîtresse est bien sûr d'anticiper l'évolution des enjeux.

Outils et actions spécifiques de soutien à l'innovation au Canada

Trois thèmes font l'objet d'une attention spécifique : les aspects collaboratifs, les mesures financières et le contexte réglementaire.

- **Les aspects collaboratifs sont traités en priorité** par le biais de mécanismes spécifiques. Ils portent principalement sur les projets de maturité technologique élevée - des TRL (niveau de maturité technologique) supérieurs à 5 – On peut citer les Super Clusters fédéraux comme dans le cas de l'IA, les Clusters régionaux pilotés par l'industrie comme celui de l'Aéronautique à Montréal, les partenariats public-privé comme dans le cas des ressources naturelles et la mise en place de plateformes. Je vais y revenir plus tard.
- **Les mesures financières** sont établies pour accompagner les évolutions technologiques. Nous avons au Canada trois paliers de gouvernement, fédéral, provincial et municipal et les deux premiers sont les plus actifs en termes d'appui financier.

  a- Le <u>régime fiscal :</u> Monsieur Fassi-Fehri, vous avez parlé du crédit d'impôts pour la recherche qui existe au Maroc ; nous avons un mécanisme identique. Au Canada et au Québec, en cumulatif, lorsqu'une entreprise investit un dollar pour travailler avec l'université, ça lui coûte en réalité 30 cents. 70% sont retournés en crédit d'impôt. C'est une mesure très généreuse qui a un effet très structurant en RD industriel.

  b- Les <u>subventions :</u> rien de très original ici; elles sont versées pour appuyer des projets novateurs de TRL relativement élevé pour en accélérer la mise en marché ;

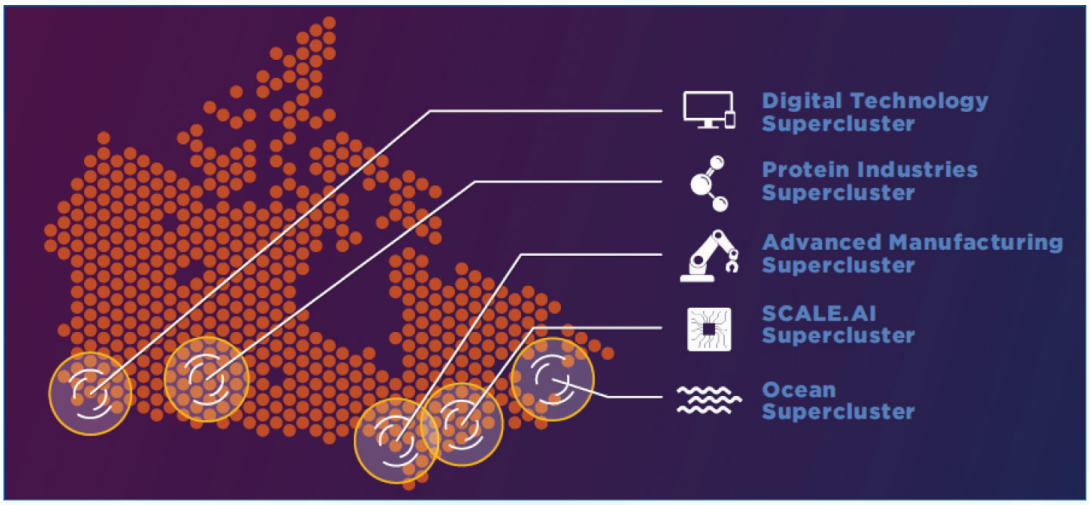
  c- Les <u>solutions de financement :</u> les banques de développement jouent ici un rôle clé: Exportation et Développement Canada (EDC) et la Banque de Développement du Canada (BDC) offrent des programmes de financement de solutions souples conçus pour soutenir l'investissement étranger direct (FDI) au Canada et les investissements à l'extérieur du pays ;

- Enfin, et c'est un élément central pour être agile, la **simplification de la bureaucratie et du contexte réglementaire**. Au fédéral et au provincial, on sent une réelle volonté d'améliorer l'efficience des processus. Mentionnons :

  1) La notion de Fast-Track : vous savez qu'en technologie, il faut être le premier (il faut garder son Lead). Si vous n'êtes pas capables de passer rapidement à travers les étapes réglementaires, vous êtes en danger parce que vos concurrents peuvent être plus rapides que vous.
  2) Le guichet unique (Hub) : plutôt que d'avoir plusieurs ministères avec lesquels vous devez traiter, votre point d'entrée gouvernementale est unique et vous disposez de l'ensemble de l'information.
  3) L'approche Sandbox (carré de sable) : grâce à un environnement réglementaire très simplifié dans la phase de mise au point, une telle approche permet de tester rapidement des prototypes à moindre frais. Le principe : essayer rapidement et échouer rapidement - Try early and fail quickly.

Créations d'écosystèmes- Clusters et Superclusters

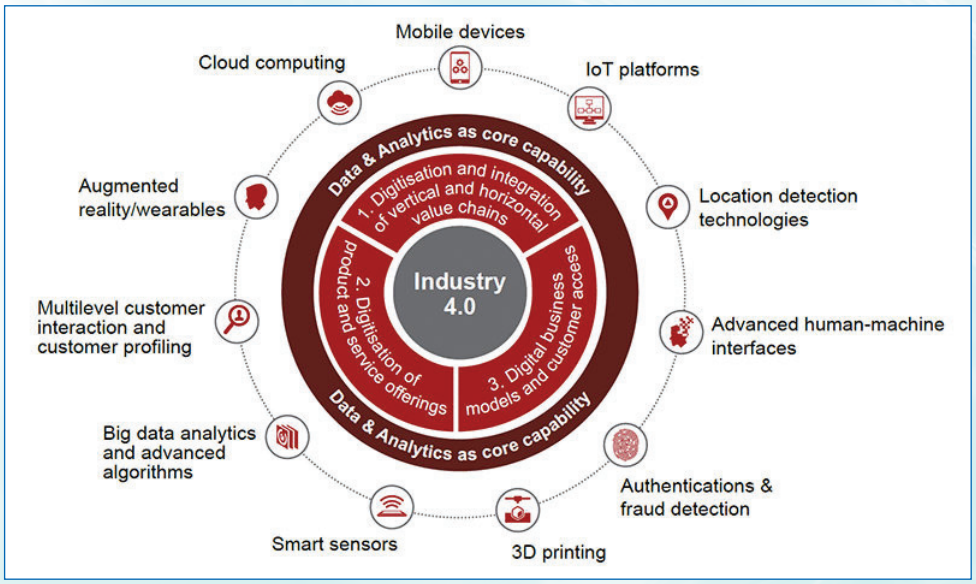
Les gouvernements fédéral et provinciaux jouent un rôle central pour créer de nouveaux écosystèmes d'innovation. Le fédéral a lancé ce qu'on appelle les Superclusters, pour structurer des passerelles entre sciences, technologies et investisseurs. L'idée est de créer de nouveaux écosystèmes d'innovation en mode Fast Track. Il y en a cinq qui ont été créés, d'un océan à l'autre ; dans l'Ouest, le domaine du digital et l'industrie des protéines ; le manufacturier innovant est concentré en Ontario, l'Intelligence Artificielle au Québec et le Supercluster Océan dans les provinces de l'Atlantique. Ces superclusters sont coordonnés et se nourissent l'un l'autre d'idées et de bonnes pratiques. Ce système de partenariat **Université-Entreprise-Finance** a été mis en place il y a trois ans pour, servir de **relais pour la prochaine croissance économique**. Il a donné naissance à ces cinq Clusters. Je voudrais vous parler de celui que je connais le mieux bien sûr qui est celui de l'Intelligence Artificielle (IA) de Montréal et qui est directement relié à l'industrie 4.0.



Superclusters: passerelles entre la science, la technologie et les investisseurs pour créer de nouveaux écosystèmes d'innovation en mode market pull

Industrie 4.0 – Supercluster en IA de Montréal

L'IA, un secteur qui fait beaucoup parler de lui. Au sens strict du terme, il s'agit de l'apprentissage automatique par la machine (machine-learning). Le plus souvent, cependant, on considère à la fois le "machine-learning" et l'utilisation des données qui vont être générées automatiquement pour pouvoir faire de **la prise de décision**. L'exploitation des données massives – Le Big Data - ferait ainsi partie de l'IA. C'est un abus de langage mais ce n'est pas très critique.



Depuis 2016, plus de 1,5 milliards de dollars canadiens ont été investis à Montréal dans le Big Data et l'IA. Ce n'est pas un heureux hasard de l'histoire mais bien la conséquence d'une construction systématique autour d'une excellence reconnue. On peut y voir une similitude avec la Silicon Valley qui s'est développée autour de l'université Stanford et s'est nourrie des idées et des initiatives de ses diplômés et de ses chercheurs. Mentionnons plusieurs événements marquants :

- La création d'une Chaire d'excellence du Canada à Polytechnique Montréal dans le «Big Data Analytics». Ces chaires sont des postes extrêmement prestigieux, avec à la clé vingt millions de dollars de subventions personnelles pour le titulaire de la Chaire. Dans le cas de Polytechnique, c'est le Professeur Andrea LODI qui occupe le poste;
- L'obtention d'une subvention majeure en recherche opérationnelle dans le cadre d'un concours national. C'est un domaine d'excellence à Polytechnique depuis des dizaines d'années. Cette subvention a permis l'émergence d'un institut inter-universitaire sur les données appelé IVADO, pour Institut de Valorisation des Données (IVADO);
- L'obtention d'une subvention provinciale par le MILA dirigé par Joshua Bengio dans le domaine du Deep Learning. Le Professeur Bengio de l'Université de Montréal est une sommité dans le domaine de l'IA et a reçu en 2019 le Prix Turing, l'équivalent du Nobel de l'informatique.
- Et je finirai par le Super Cluster SCALE.AI, créé dans le domaine de l'IA appliquée aux chaînes logistiques. 900 millions de dollars investis dans un secteur très porteur dont 1/3 en provenance des gouvernements.

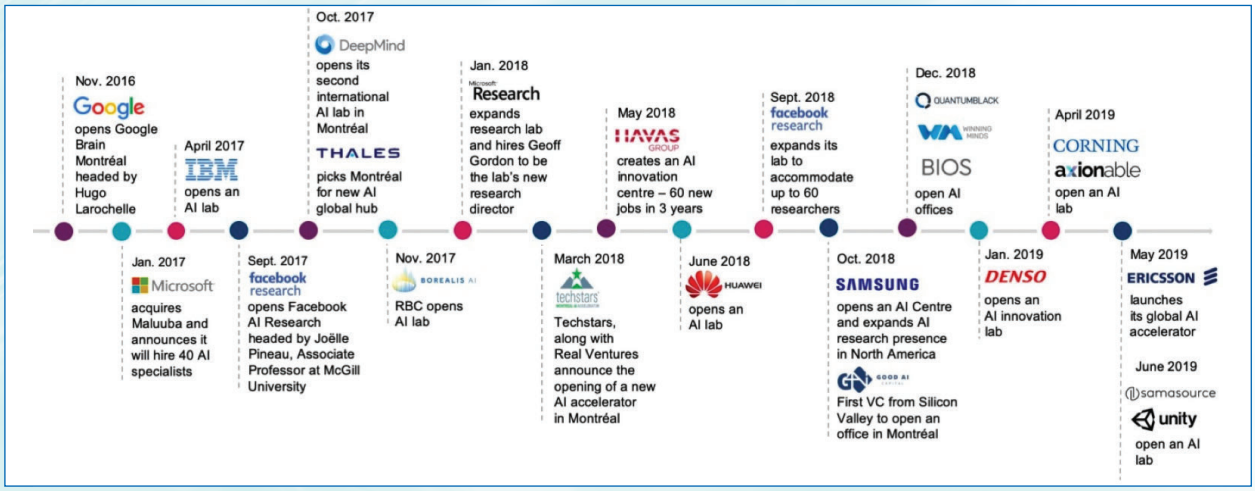
Cet écosystème de l'IA montréalais aux multiples facettes travaille de manière coordonnée au-delà des individualités. C'est une force considérable que nous avons au Québec de pouvoir travailler ensemble au-delà de nos disciplines dans un grand respect réciproque.

L'investissement public et privé en IA dans les 5 dernières années est considérable. Le retour sur investissement sera-t-il au rendez-vous ? Cette question mérite d'être posée : le Canada n'est pas tout seul dans la course. L'Allemagne, la France, Singapour, la Chine, les États-Unis. Tous les grands pays investissent et se fixent des objectifs de dominer les autres. Il n'y aura pas de la place pour tout le monde, pas que des gagnants.»

Un secteur clé dans l'ombre de l'IA : celui de la cybersécurité, particulièrement dans le contexte de la 5G. Si nos véhicules deviennent hyperconnectés et autonomes : comment protéger la sécurité de la transmission et du partage des données ? Nos sociétés sont très vulnérables. On exige la protection de nos données personnelles et bancaires. Pourtant, une de nos grandes banques a subi une attaque informatique et les données de 4,2 millions de comptes ont été volées à Polytechnique, nous travaillons déjà avec le milieu bancaire dans le cadre d'une Chaire industrielle sur ces enjeux de sécurité mais nous réfléchissons à élargir nos activités. Un des grands enjeux sera la cybersécurité liée à l'internet des objets et à l'internet industriel des objets.

Effet d'attractivité sur le FDI

Le développement de l'IA à Montréal a eu un effet d'attractivité majeur sur l'investissement étranger. Au cours des deux dernières années, c'est un demi-milliard de dollars qui a été investi par des leaders mondiaux qui se sont installés à Montréal pour développer leur expertise en matière d'IA.



Beaucoup d'acteurs connus : Google, IBM, Microsoft, Facebook, Thales, Samsung, Denso (Toyota), etc., à tel point que nous sommes devenus les premiers en IA en Amérique du Nord, le deuxième pôle étant Toronto. C'est à dire que les deux premiers en Amérique du Nord sont canadiens. Nous en sommes fiers mais soyons réalistes. Il va falloir créer des produits, des innovations qui répondent à un besoin, et ça, ce n'est pas simple.

Le deuxième Cluster dont je souhaite vous parler - qui n'est pas national mais régional - c'est le Cluster Aérospatial de Montréal géré par un organisme appelé Aéro-Montréal. Notons que la région de Montréal est une singularité nord-américaine en ce sens que vous y retrouvez tous les joueurs majeurs de l'industrie aérospatiale mondiale : Bell-Textron, Bombardier, Airbus, CAE, Safran, Thales… Des donneurs d'ordre, des Tiers, et beaucoup de manufacturing en sous-traitance, des Tiers. L'attractivité montréalaise est telle que Airbus s'y renforce et que Mitsubishi s'y installe avec à la clé des investissements majeurs dans la région de Mirabel.

Dans l'aviation, le grand enjeu de demain, c'est **l'avion numérique**. Il couvre des domaines très diverses à fort contenu R&D. Quelques exemples :

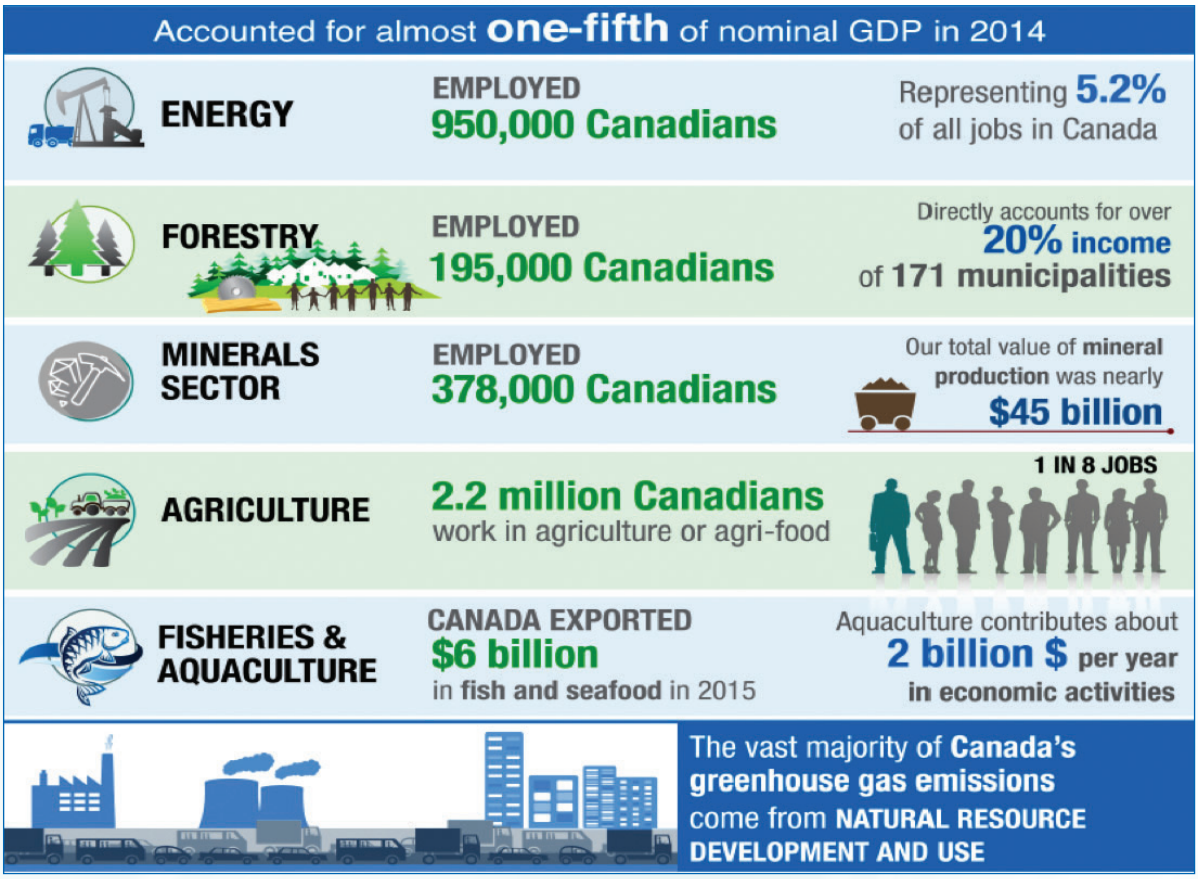
- la simulation complète de l'avion dans toutes les phases de vol. Il faudra encore une vingtaine d'années pour y arriver. Je dis bien dans toutes les phases de vol. Vous devez être capable de simuler un avion à dix mille mètres en vol horizontal. Cela se fait déjà. Vous devez aussi être capable de simuler l'impact de la foudre, dans une phase de montée ou de descente ; et le givrage dans toutes les phases de vol. Quelques exemples qui illustrent la complexité thermodynamique à laquelle il faut faire face, sans compter les configurations non conventionnelles (décrochage sur l'aile, perte de puissance).
- Au-delà de l'avion standard, on pense aussi à tous les nouveaux véhicules aériens autonomes, ce qu'on appelle les drones. Beaucoup de développements à venir dans ce domaine : le drone-taxi urbain, c'est une quasi-réalité; s'il s'agit de transporter par drone un conteneur de Vancouver à Tokyo, c'est un autre défi mais on en perçoit bien l'intérêt. A la vitesse d'un drone actuel, trente-six heures plutôt que dix jours de bateau pour traverser le Pacifique. Mais un conteneur peut peser des dizaines de tonnes. Donc des dizaines de tonnes à transporter pendant trente-six heures légèrement au-dessus des nuages. Comment faire en termes de contrôle, de puissance ? Quelle source d'énergie ?
- L'acoustique est un autre exemple : éliminer les nuisances sonores des avions et des drones. La motorisation et la source d'énergie sont aussi des sujets du futur : réacteur ou moteur électrique, hybridation ? Carburant vert, batterie, hydrogène ?

Mais malgré des forces évidentes, Montréal reste un écosystème mineur face à ceux de Toulouse, de Hambourg ou d'Everett, le berceau de Boeing près de Seattle. On ne peut pas «compétitionner» dans tous les domaines. **La spécialisation est indispensable, n'essayons pas de tout faire.** Nous commençons à le comprendre et c'est peut-être aussi un **message pour vous, et je pense à l'écosystème autour de Nouaceur.** Je discute souvent avec les donneurs d'ordre d'Airbus et ils me le rappellent très vite quand je dérive….

L'enjeu est clair : **comment aider à faire évoluer une structure manufacturière de très haut niveau** à ces nouveaux défis ? Quel rôle pour les universités et les gouvernements?

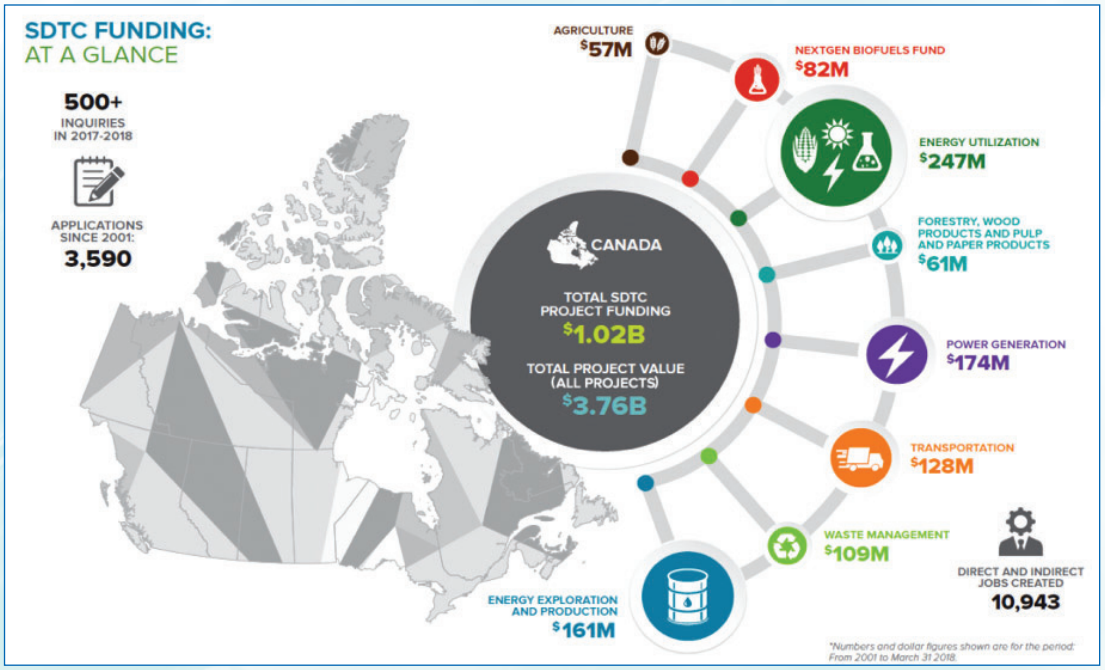
Secteur des ressources naturelles au Canada

Le Canada est un pays extrêmement riche en ressources naturelles. Notre géologie est très favorable : or, métaux rares, lithium et bien sûr dans l'ouest canadien, pétrole et gaz naturel. Compte tenu de la volonté des Canadiens de développer une économie beaucoup plus verte et de nos engagements internationaux, la transition technologique est en marche pour exploiter toutes ces ressources de manière beaucoup plus respectueuse de l'environnement. Le milieu de la R&D, souvent dans le cadre de partenariats public-privé, est extrêmement actif sur les carburants à faible teneur en carbone, sur les batteries innovantes, sur l'hydrogène vert et sur les réacteurs nucléaires modulaires. La production électrique en site isolé est une problématique de nos communautés du Nunavik et du Grand-Nord, et de l'industrie minière. Décarboner la production électrique dans ces régions n'est pas simple d'autant que les besoins en puissance peuvent être significatifs : cinquante, cent mégawatts. L'hydrogène décarbonée a-t-il un rôle à jouer ?



Programme d'investissement pré-commercial de SDTC

Pour appuyer ces partenariats public-privé, il existe un organisme fédéral «Sustainable Development Technology Canada» qui permet d'aller chercher des niveaux de financement à la hauteur des enjeux: des dizaines, voire des centaines de millions de dollars suivant les domaines et les projets.



Public-Private Partenership under Sustainable Development Technology Canada

Ecosystème R&D de Polytechnique Montréal

A Polytechnique Montréal, nous venons de franchir la barre des 100 millions de dollars en volume annuel de R&D : + 25% en un an. La croissance est spectaculaire :

- 50 chaires de recherche : un professeur sur cinq à Polytechnique est titulaire d'une chaire de recherche;
- 300 contrats de R&D signés annuellement avec l'industrie, un par jour en moyenne;
- Une structure dédiée, le Bureau de Recherche du Centre de Développement Technologique (BRCDT), pour assurer l'appui à ces projets et à leur gestion;
- Une structure spécifique dédiée aux grands comptes (Safran, Huawei, Total, OCP…);
- Un organisme de valorisation partagé avec l'Université de Montréal, HEC et les hôpitaux universitaires, une sorte de Technology Liaison Office.

La valorisation de la recherche et la question de la propriété intellectuelle sont deux enjeux qui m'interpellent. Pour moi, la propriété intellectuelle devrait être dans les mains des professeurs et non dans celles des universités. C'est à dire que l'invention devrait appartenir au professeur ; à lui de la valoriser. L'université doit bien sûr instaurer des lignes directrices, à savoir que si cette valorisation connait un succès commercial, une forme de «retour» doit être mis en place pour en faire bénéficier l'université. Mais, comme dit le dicton, on n'est jamais mieux servi que par soi-même et si un professeur ou un étudiant se sent l'envie et le goût de se lancer en entrepreneuriat, il ne faut surtout pas l'inhiber. Tout le système occidental jusqu'à présent a été construit à l'envers. L'Etat a d'abord voulu valoriser avec le peu de succès que l'on connait, puis le mandat a été confié aux universités (le fameux Bayh-Dole Act de 1980 aux États-Unis) avec un succès à peine meilleur. Le Bayh-Dole Act a été imité massivement à travers le monde. C'est le système universitaire qui est en charge de valoriser la recherche faite dans les murs des universités. Quand on analyse finement les résultats, on s'aperçoit que ce qui a été mis en place coûte plus cher qu'il ne rapporte, à deux ou trois exceptions près. C'est donc un échec sauf pour les cabinets d'avocats qui en profitent bien…. Des universités ont décidé de faire différemment : confier à leur professeur le soin de valoriser – Je pense à l'Université de Waterloo en Ontario. Et cela fonctionne !

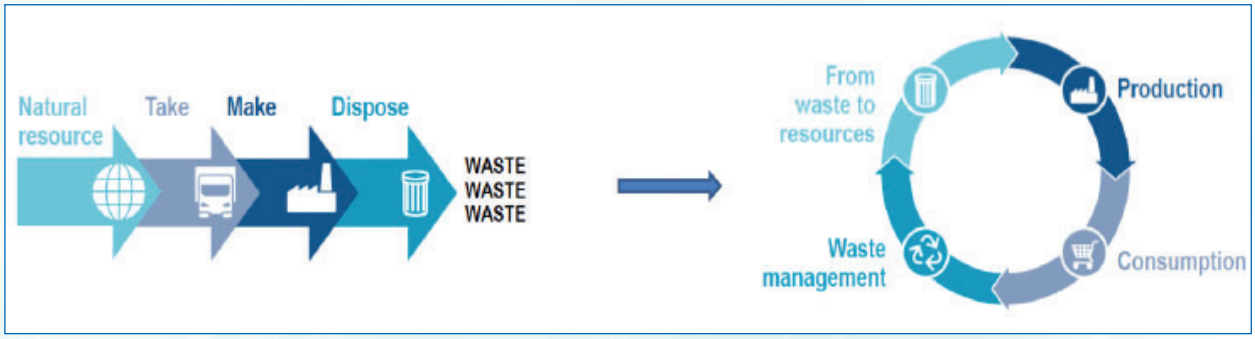
Les plateformes de Polytechnique Montréal

Est-on capable d'imaginer un système de valorisation de la recherche technologique qui réponde mieux aux évolutions économiques et aux attentes sociétales. Pour Polytechnique, la réponse est la mise en place de plateformes partenariales alignées aux objectifs de développement durable des Nations-Unies. Ces plateformes créées à partir d'agrégation d'actifs permettent de gérer les interfaces entre les fournisseurs de connaissance que sont les universités et les utilisateurs dans la société, que ce soient les gouvernements ou les milieux socio-économiques. Comment cela fonctionne-t-il?

1) L'agrégation d'actifs portent à la fois sur les actifs d'infrastructures - toutes les universités ont des équipements de pointe, certaines des plateformes technologiques. On trouve aussi de plus en plus des FabLabs – et des actifs intellectuels comme les brevets. Le principe est d'en agréger la gestion pour en faire un tout, si besoin est avec des partenaires externes ayant des actifs complémentaires tangibles ou intangibles, et avoir une vraie offre par rapport à la demande du milieu.
2) La plateforme doit pouvoir accommoder l'ensemble des projets du proof-of-concept jusqu'au prototypage, et donc être capable de fabriquer des produits ou de développer des procédés dans des conditions industrielles, y compris en intégrant et en gérant le risque. Un peu à l'image des instituts Fraunhofer allemands.
3) Troisième point, fondamental, le développement des affaires. Il se construit à partir des réseaux à la fois d'utilisateurs et de financiers (Venture Capital, "Angels", Banques de développement). Il faut les faire venir autour de la table le plus tôt possible dans le processus pour dérisquer avec eux. L'entrepreneuriat et la création de start-ups font partie intégrante du développement des affaires. En fait, une innovation a trois moyens d'entrer sur le marché : par le biais d'un brevet et l'émission de licences, par l'achat de cette innovation par un utilisateur qui va la commercialiser, et par le lancement d'une entreprise, une start-up. La plateforme a un rôle clé à jouer en termes de connections, de connections internationales industrielles et financières. La technologie est certes mondiale mais la disponibilité de capitaux est principalement le fait de deux pays, les Etats-Unis et la Chine. L'établissement de liens privilégiés dans ces deux pays est donc essentiel.

4) Le dernier rôle de la plateforme est de gérer la propriété intellectuelle. A Polytechnique, nombre de nos chercheurs déposent des brevets. C'est d'ailleurs un des critères de performance pour nos agences de financement. Ces brevets constituent de belles innovations mais elles sont souvent ponctuelles et isolées et la plupart n'ont pas une grande valeur en soi car elles dépendent souvent d'autres brevets antérieurs. Quand on étudie la réalité industrielle, on constate que la propriété intellectuelle est gérée par famille de brevets (des dizaines de brevets sur un sujet donné) pour empêcher les concurrents d'opérer dans votre marché. On parle de stratégie de brevets et de préanalyse de «White Space» avant de lancer le projet de R&D qui débouchera sur des brevets. Un autre aspect des brevets, c'est que vous devez être prêt à les défendre et ce peut être très coûteux! Franchement, à mon sens, ce n'est pas le mandat d'une université! Alors quoi faire? Je ne dis pas qu'il ne faut pas déposer de brevets! Je dis simplement qu'une logique brevet requiert une **Politique brevet**. La plateforme peut permettre de régler l'enjeu de création de familles de brevets en intégrant les actifs, «brevets» à la manière des "Patent Trawlers" américains. Mais in fine, c'est l'utilisateur, l'acheteur de cette propriété intellectuelle, à qui reviendra la tâche de se protéger. Ce n'est pas un sujet trivial et il dépasse grandement le cadre d'une université technologique.

A Polytechnique, une demi-douzaine de plateformes devrait voir le jour. Un exemple : l'Institut de l'Ingénierie Durable et de l'Economie Circulaire, l'IIDEC, dont je viens d'acter la création. L'économie circulaire est un nouveau paradigme socio-économique qui boucle le cycle des produits. On passe ainsi d'une logique Take-Make-Dispose à un système circulaire où le déchet redevient une matière première. Cela va bien au-delà du recyclage : la chaîne d'approvisionnement linéaire que nous connaissons devient cyclique. Un bouleversement majeur par rapport au schéma classique qui sera la clé d'un développement plus durable.



Création de l'IIDEC

Une vue de l'assistance

Note de synthèse du séminaire

Le Collège Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques (AH2ST) a organisé le jeudi 7 novembre 2019 un séminaire sur le thème '*Relation Université-Entreprise : les clés de la réussite*'.

Le séminaire a réuni une soixantaine de participants entre académiciens, enseignants, chercheurs, des représentants du secteur socioéconomique (CGEM,…) et des étudiants. Quatre sessions ont été programmées en plus du discours prononcé par le Secrétaire perpétuel de l'Académie.

Dans leurs allocutions, les trois intervenants de la première session ont insisté sur l'importance du thème de ce séminaire. La faiblesse de la relation université-entreprise n'est ni dans l'intérêt de l'entreprise, ni dans celui de l'université. Elle constitue un handicap majeur pour l'économie (peu d'entreprises innovantes, peu d'entreprises exportatrices).

La deuxième session a traité les expériences nationales ainsi que les témoignages dans le domaine. Les sessions 3 et 4 ont été réservées au débat général, aux recommandations et à la synthèse et clôture des travaux.

Notre pays investit environ 20% de son budget annuel dans l'éducation soit presque 60 milliards de dirhams sans pour autant arriver à un niveau de qualité de la formation pouvant répondre aux besoins croissants en cadres. Par ailleurs, l'intégration et les échanges entre les laboratoires de recherche et l'environnement socioéconomique restent rares.

Les objectifs du séminaire sont essentiellement :

- rappeler les meilleures pratiques internationales actuelles en la matière en mettant l'accent sur les mécanismes de réussite disponibles,
- tirer les enseignements sur les dispositifs pratiques actuellement opérationnels au Maroc et examiner les diverses propositions figurant dans les études réalisées,
- identifier les principales entraves qui pèsent sur le système actuel et préconiser des solutions.

Dans son intervention, le Secrétaire Perpétuel a rappelé l'importance du thème du séminaire et de son actualité. Il a mis particulièrement l'accent sur les points suivants :

- La formation de la jeunesse à l'université n'est pas suffisante, il faut lui trouver un emploi à travers une formation de qualité et l'acquisition de compétences.
- Le progrès de la connaissance, à travers une formation d'excellence, est un moyen important pour renforcer l'échange entre l'université et le monde de l'entreprise.
- L'excellence académique est le meilleur gage d'insertion professionnelle.
- Le dialogue continu université-entreprise permet de connaitre et comprendre les besoins du monde socioéconomique.

  La réussite du couplage entre la recherche scientifique et technique et le monde socioéconomique favorise l'insertion des lauréats de l'université dans l'entreprise.
- La création de conditions favorables à l'échange université-entreprise; tels :
  - Un environnement financier et de fiscalités favorables,
  - Des mesures incitatives à l'innovation technologique et à la création d'entreprise et de transfert du savoir et
  - La participation des chercheurs à créer une synergie de transfert des technologies développées au sein de l'université et des centres de recherche au profit du monde de l'entreprise.
- La participation au débat sur le nouveau modèle de développement du pays, demandé par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le protège.

Session 1 : Conférences introductives

Les conférences introductives de la première session ont mis l'accent sur :

Les pratiques et les nouveaux modèles de relations université-entreprise par P. Tanguy, membre associé de l'AH2ST, Président de l'Université polytechnique de Montréal

Le conférencier a développé dans son intervention les principaux suivants :

- Un élargissement du rôle des universités
  - Formation des penseurs

- Formation des cadres et dirigeants
- Recherche fondamentale
- Recherche à vocation économique
- Innovation et entrepreneuriat

- Les grandes mutations actuelles
  - Influence de la société vers plus d'ouverture (cohésion, équité, diversité…) et de pertinence («Grand Challenges», «Sustainable Development Goals»).
  - Émergence de dimensions systémiques majeures liées à l'empreinte environnementale, aux migrations, à la sécurité.
  - Métiers de demain (industrie 4.0, économie circulaire, science des données, énergies renouvelables).

- Une pluralité de parties prenantes.

- Une diversité de réponses des systèmes économiques avec en particulier:
  - Réduction des contraintes réglementaires: plateformes d'essai et pilotes technologiques.
  - Incitatifs économiques : baisser le coût de l'investissement dans le développement technologique, permettre l'adoption de technologies avancées et novatrices, dérisquer.
  - Financement mixte : capitaux publics et privés pour les phases de démonstration et de scale-up.
  - Infrastructure avancée : énergie propre, économie numérique, sécurité et intégrité.
  - Collaboration/Compétition : soutien aux réseaux au sein et entre les secteurs pour accélérer le développement technologique et en favoriser la diffusion et l'adoption.

L'orateur a exposé ensuite les outils et actions de soutien à l'innovation au Canada et l'écosystème R&D de Polytechnique Montréal, Canada.

Le projet 'Smart factory' impliquant l'Université Euromed de Fès exposé par T. Bounahmidi, Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Vice Président de l'Université Euromed de Fès (UEMF).

Le projet, développé dans le cadre du Programme «Fonds de Zones Industrielles Durables (FONZID)» du Millenium Challenge Account - Maroc, vise la mise en place d'un espace de développement d'activités industrielles avec une productivité nettement améliorée grâce à la mise en œuvre des concepts de l'industrie 4.0. Il sera mis en place dans le cadre d'un partenariat entre l'UEMF, CGEM Fès/ Taza, le conseil régional Fès Meknès et la société Alten delivery center Maroc.

L'orateur a exposé les différentes phases et composantes du projet concernant la gouvernance, les différents mécanismes de gestion et de suivi, d'accompagnement et de valorisation des projets de recherche entrepris dans le cadre du projet.

Le budget d'investissement est de 58.511.082 Dirhams. Son Taux de rentabilité interne sur 15 ans est de 10,82% et sa valeur actuelle nette à 15 ans est de 3.591.892 Dirhams avec un temps de retour 3 sur investissement à 10% de 15 ans, et de 11 ans à 0%. La contribution demandée au Programme FONZID est de 28.850.400 Dirhams.

Les Plateformes de recherche technologique au service de l'économie verte – Un lien fort entre l'Université et l'Entreprise – développées par IRESEN.

Le modèle de l'Institut de Recherche en Energies Solaires et Energies Nouvelles (IRESEN) au Maroc incarne un modèle réussi de coopération entre les mondes académique et socio-économique. La gouvernance public-privée et les statuts de l'Institut lui ont permis de mettre en œuvre une approche réactive et innovante couvrant toute la chaine de valeur de la recherche à l'innovation dans le secteur des technologies vertes.

De nombreux projets innovants de recherche financés sont en cours d'exécution après des appels d'offres. Ces projets concernent la stratégie énergétique nationale ou toute recherche répondant à un besoin en matière de R&D.

Les mécanismes d'accompagnement et de financement des projets collaboratifs ainsi que les laboratoires mixtes de test, de recherche et de formation mis en place par IRESEN, en partenariat avec des universités et des industriels permettent de consolider les liens et les synergies entre les deux mondes et assurent le rôle d'un catalyseur pour passer de la recherche à l'innovation. Plusieurs universités marocaines, en particulier l'Université Mohammed VI Polytechnique de Bengurir et l'Université Euromed de Fès, participent activement à cette ouverture en collaboration avec IRESEN.

Le "Green Energy Park", dédié aux technologies solaires ainsi que le "Green & Smart Building Park", dédié aux bâtiments écologiques, les réseaux intelligents et la mobilité durable constituent aujourd'hui un véritable réseau de recherche appliquée au service des entrepreneurs et des chercheurs. Quatre nouvelles plateformes, dont une en Côte-d'Ivoire pour élargir et régionaliser le réseau, sont en cours de développement et seront opérationnelles à partir de 2020.

Des problèmes subsistent malgré le nombre important de publications ayant attrait par exemple au prototypage et à la commercialisation.

Session 2 : Retour d'expérience et témoignages

La session 2 a traité le retour d'expérience et témoignages d'organismes ayant participé à l'échange entre l'université et l'entreprise. Les thématiques abordées sont :

L'innovation pour l'industrie 4.0 par H. Medromi, enseignant chercheur à l'ENSEM, Casablanca.

L'orateur a développé les points suivants :

- **La Fondation de recherche, de développement et d'innovation en sciences et ingénierie de l'ENSEM.**

Elle regroupe 25 partenaires nationaux et internationaux dont les industriels qui siègent aussi dans le Conseil d'administration. La Fondation a créé une Plateforme de recherche, de formation, d'innovation, de valorisation industrielle et de transfert technologique, dédiée à l'accompagnement des processus d'innovation dans la conduite de projets collaboratifs au profit des industriels. Les domaines concernés sont la recherche-développement, la formation, les prestations, l'expertise et conseil. Plus de 15 projets R&D sont accompagnés à cette date qui concernent le prototypage 3D et le pilotage des engins mobiles.

La demande pressante d'industriels nationaux et internationaux a amené la Fondation à créer un Centre futur de technologie digitale intelligente, installé à Nouacer, dont le but est de :

- Faciliter le transfert des technologies entre l'université et l'entreprise.
- Accroitre l'efficacité industrielle.
- Favoriser la compétitivité et développer les industries futures.

Deux stat ups accompagnent actuellement la commercialisation de la Plateforme.

- **L'Innovation pour l'industrie 4.0**

Les nouvelles technologies seront utilisées dans ce Centre futur pour accompagner cette innovation. L'industrie 4.0, leader en matière de fabrication intelligente est basée sur les concepts technologiques des systèmes cyberphysiques, de l'internet des objets et de l'internet des services pour faciliter la vision du smart factory.

Les possibilités de transformation du numérique se sont multipliées grâce à l'industrie 4.0 combinant la technologie numérique et physique pour créer un environnement industriel souple et efficace.

- **Innovation et relation université/monde de l'entreprise par A. Iraqui, Vice Président de la CGEM, Rabat-Salé-Kenitra.**

L'intervention du représentant de la CGEM, a permis de confirmer l'importance de l'innovation au sein de la CGEM avec la création de la Commission Innovation dont l'objectif est de favoriser la relation Université/monde de l'entreprise.

La CGEM a participé à la création de clusters dont 11 fonctionnent actuellement, réunissant des universitaires et des entreprises en plus de la création de centres techniques et d'écosystèmes favorisant l'élévation des niveaux technologiques.

L'orateur a rappelé ensuite l'historique de la relation université/entreprise dont les origines remontent à 1986. A son avis, les nombreuses initiatives mises en œuvre, quelque soit l'origine, n'ont pas donné leur pleine efficacité opérationnelle à cause, semble-t-il de :

- La faible appropriation des pratiques mises en place, de leur partage limité entre institutions.
- La faiblesse de la pérennisation, surtout quand il s'agit de pratiques développées dans le cadre des projets de coopération.
- La tendance à la bureaucratisation des pratiques et des comportements.
- La grande charge de travail des acteurs impliqués, notamment les enseignants-chercheurs.
- L'éloignement réel des universités et du monde économique.

Le conférencier a développé un certain nombre de recommandations pour dépasser ce blocage. Il les a résumés en deux points :

- Introduire la culture d'évaluation.
- Revoir les procédures administratives.

- **L'expérience de R&D Maroc par F. Talbi et A. Chaibi de R&D Maroc.**

Les deux intervenants ont mis l'accent sur :

- Les faiblesses de la relation université/entreprise

En moyenne, seul 6% d'entreprises marocaines sous–traitent totalement leurs travaux d'innovation et de R&D avec seulement 4% aux laboratoires de recherches publics (universités & écoles d'ingénieurs).

- L'analyse des données de la collaboration entre universités et industrie dans le domaine de la recherche (Global Innovation Index «GII»), entre 2011 et 2019, montre, que depuis 2011, le Maroc est dans les dernières places de l'échelle (95ème rang en 2011 et 10ème3 rang en 2019).

- Les actions ont été menées par notre pays pour apporter des solutions aux faiblesses observées :
  - La Provision pour Recherche – Développement «PRD»;
  - Le programme «INNOV'ACT».

- Quelques «success stories» entre des universités et des entreprises ont été exposés;
- Des recommandations ont été proposées pour améliorer cette relation.

Session 3 : Débat Général

La session 3 du séminaire a été consacrée au dialogue avec la salle. Les interventions qui se sont succédées ont donné lieu aux questions et commentaires suivants :

- La mise en place d'usines intelligentes a été évoqué dans deux interventions. L'idée est évidemment brillante, mais il y a une appréhension en ce qui concerne leur réussite dans le contexte du pays. En effet, si cela se faisait, nous sauterions de la première à la quatrième révolution industrielle alors que nous n'avons peut-être pas encore assimilé tout le savoir faire dont sont faites les précédentes révolutions. Le problème est de savoir si nos capacités technologiques actuelles peuvent faire sans dommages l'économie de tout ce que nous ne connaissons pas en détail ?
- Dans les universités on essaie, mais sans grand succès, d'innover à cause d'entraves qui se perpétuent et d'une gestion rigide qui ne convient pas au milieu de la recherche. Le temps passe et l'économie du pays souffre malgré quelques réussites qui ont été enregistrées surtout dans le secteur privé. Elles sont essentiellement dues à une souplesse financière dont l'université ne jouit pas réellement. Ce n'est pas les capacités intellectuelles qui manquent mais les fonds et de la souplesse dans leur gestion. Nos étudiants réussissent quand ils intègrent les structures souples mais à l'université ils ne produisent rien. Ce n'est donc pas l'intelligence qui fait défaut mais une gestion à la hauteur de nos ambitions et une vraie autonomie de l'université.
- Le problème de la pérennisation des résultats des projets de recherche a été réglé par les instances européennes. Elles exigent quand il n'y a pas de pérennisation le remboursement de l'argent octroyé.
- Une délégation chinoise a visité dernièrement la CGEM et a exposé la façon dont ils abordent la recherche. Dans leur stratégie de développement, ils ont inscrit un axe de recherche nommé X. C'est semble t-il des recherches d'un nouveau type que nul autre n'entreprend. Nous pourrions nous inspirer de cette stratégie et avoir des recherches similaires.
- Le secteur agricole n'a pas fait l'objet de discussion dans ce séminaire et c'est bien regrettable car le secteur agricole représente une importante activité dans le pays. Plus de 40% de la population est active dans ce secteur qui impacte directement notre PIB. L'innovation dans le domaine agricole est facile et il faut la valoriser et lui accorder toute l'attention qu'elle mérite. Nous pouvons fabriquer du matériel agricole sur place. Cela aurait une plus value importante et permettrait de créer une industrie nationale dans ce domaine.
- Est-ce que l'industrie marocaine a réellement besoin d'usine 4.0 ? Le prix à payer pour la transformation des usines existantes en usines intelligentes n'est-il pas trop élevé pour passer aux usines 4.0 ?
- Les universités privées sont des entreprises. Il en découle que les relations entre ces entités doivent être décrites comme des relations entre des institutions privées. La relation université/entreprise doit aboutir à des outputs. La question est qu'est-ce qui bloque l'obtention de résultats concrets dans cette collaboration ?

Session 4 : Synthèse, recommandations et Clôture du séminaire

Après avoir remercié tous les participants qui ont pris de leur temps pour assister à cet important événement, le président de la dernière séance a rappelé la réflexion et les objectifs qui ont motivé l'organisation de ce workshop. On peut citer parmi ces motivations les faits indéniables suivants :

- le Maroc est mal classé par 'Global Innovation Index (GII)' dans les indicateurs mondiaux de l'innovation et en particulier les indicateurs relatifs à la relation université/entreprise.
- Tous les acteurs de la recherche attribuent cette faillite au manque de communication et d'échange entre les entreprises et les centres de recherche universitaires. Evidemment, la question qui vient automatiquement à l'esprit est : Quelles sont les causes et les entraves de cette défaillance de dialogue ?
- Les projets collaboratifs pourraient être un lien entre les universités et les entreprises. Malheureusement, malgré les importants financements qu'apporte par exemple l'Académie à des projets de recherche, les résultats restent maigres. Le nombre d'idées valorisables, pouvant intéresser le

monde économique est très réduit. Ceci est évidemment un sérieux frein au dialogue université/entreprise.

- L'académie a produit et divulgué deux rapports sur l'état de la recherche au Maroc qui ont énuméré les points forts et les difficultés auxquelles est confronté le système national de recherche. Les résultats ne sont pas satisfaisants et par suite le dialogue avec le tissu industriel ne peut qu'être médiocre.

Ce constant d'échec n'est pas une fatalité. Toutes les entraves citées peuvent être levées en s'appuyant sur les processus souvent évoqués en pareil circonstance à savoir :

- Qu'il faut développer **une vision**, à long terme, ambitieuse pour que le système national de recherche dispose d'une feuille de route à long terme et clairement définie.
- Concevoir **une stratégie** robuste qui puisse mener à améliorer la qualité et la quantité des recherches financées. L'évaluation régulière et objective des projets de recherche et de tout le système est une condition importante et nécessaire à la réussite.
- Garantir **une gouvernance** saine de toute la chaine de valeurs entourant le système de recherche. La rigueur dans cette gouvernance permettra l'institution d'une souplesse dont a besoin la recherche.

Il ne sert à rien d'accumuler des rapports sur l'état des lieux qui par ailleurs est connu de tout le monde (Knowledge of what is does not open the door directly to what should be). Il faut rapidement passer à l'acte car l'immobilisme ne fait qu'aggraver la situation en accentuant les divergences d'opinion qui entrainent forcément une rupture de dialogue plus profonde entre les universités et les entreprises.

En conclusion, les principales recommandations qui ont émanées des diverses interventions et des rapports des conférenciers sont les suivantes :

- Il est indispensable d'organiser et de structurer la recherche. La seule initiative et la seule volonté individuelle ne suffisent pas : il y a un manque dans les aspects juridiques, règlementaires, organisationnels et financiers….Il faut s'attaquer à la rigidité des textes qui cause des dommages importants à la R&D et à l'innovation.
- Il faut identifier et motiver les principaux acteurs de l'écosystème: le chercheur doctorant, l'enseignant chercheur, l'établissement universitaire, l'entreprise, le donneur d'ordre. La gouvernance est un paramètre important dans l'épanouissement des universités.
- Il est primordial d'identifier les mécanismes qui pourraient booster et accompagner la relation université – entreprisz.
- L'évaluation objective de la R&D est nécessaire (excellence scientifique, impact …). Sans elle aucune action ne produira d'effet. L'évaluation telle qu'elle est menée aujourd'hui ne peut conduire à aucun résultat valorisable.
- Il faut lever les entraves qui bloquent les relations Université – Entreprises (charge de travail des enseignants-chercheurs trop élevée, éloignement des universités et du monde économique…)
- Renforcer la relation Université-Entreprise en organisant des visites aux entreprises pour les étudiants et les enseignants. Organiser des rencontres ou des tables rondes sur des thématiques d'intérêt commun, Organiser des conférences au sein de l'Université animées par des entrepreneurs. Privilégier la réalisation de projets portant sur des sujets ayant un lien avec des besoins exprimés par des entreprises…
- Encourager la recherche appliquée liée à l'industrie (promouvoir des cotutelles de thèses par des projets impliquant les entreprises et un laboratoire de recherche universitaire, accueillir les étudiants de l'Université dans le cadre de la présentation de leurs Projets de Fin d'Etudes PFE, détecter les besoins d'innovation des entreprises et rechercher des réponses appropriées)
- Il faut encourager la création d'entreprises innovantes à travers les structures de valorisation de l'Université (accréditer les modules de formation sur l'innovation et l'entrepreneuriat et les intégrer dans les programmes d'études de l'Université, orienter les programmes de formation vers l'innovation et l'entrepreneuriat…)
- Réactiver le Réseau de Diffusion Technologique «RDT» pour soutenir et accompagner les PME/PMI dans leurs démarches d'innovation afin d'accroitre leurs compétitivités via des intervenants technologiques.
- Institutionnaliser les structures d'interface au niveau de l'organigramme officiel de chaque université et établissement public de recherche.
- Mettre en place un mécanisme de financement des projets collaboratifs entre les entreprises et les laboratoires de recherche.
- Mettre en place le Crédit Impôt Recherche «CIR» comme mesure de soutien pour les entreprises qui engagent des dépenses relatives aux activités de recherche – développement en les déduisant de leur impôt.
- Mettre en place des mécanismes de suivi portant sur les indicateurs de mesure de la robustesse de la relation université-entreprise (par des enquêtes).

Collège Ingénierie, Innovation et Transfert Technologique

Emploi et développement pour des politiques publiques centrées sur l'emploi

Présentation

Dans la *Théorie générale*, Keynes a mis en évidence les facteurs favorisant l'emploi : la demande effective, c'est-à-dire à la fois l'investissement et la consommation. De la Seconde Guerre mondiale à la crise des années 1970 (les trente glorieuses), les politiques d'emploi de type keynésien ont contribué assez largement à faire reculer le chômage là où elles étaient correctement appliquées. Depuis les années 1980, on assiste à l'échec, puis à l'abandon des politiques keynésiennes devenues peu efficaces dans la lutte contre le chômage. Certains économistes ont caractérisé ce phénomène de *chômage inertiel*.

Aujourd'hui, force est de constater que les politiques libérales, issues de la théorie néoclassique, n'ont guère fait mieux. Au contraire, au chômage de masse s'est ajouté l'exclusion, la marginalisation et l'inégalité dans l'accès à l'emploi (classe, diplôme, genre).

Plusieurs *faits stylisés* peuvent être observés :

- Les faibles niveaux d'emploi sont liés à l'atonie de la croissance. Il faut un redressement stable et durable de cette dernière pour faire reculer le chômage.
- Les transformations technologiques et organisationnelles se font de plus en plus au détriment des emplois classiques de type taylorien et fordien.
- La «Quatrième révolution industrielle» (robotisation, intelligence artificielle, impression 3D, Blockchain) articule les mondes physique, numérique et biologique et remet en question l'idée même de l'humain (Klaus Schwab, **«Globalisation 4.0 : concevoir une nouvelle architecture mondiale à l'ère de la quatrième révolution industrielle»**, 49e édition du Forum de Davos, 2019).

Certaines études estiment à plus de 70% les destructions d'emplois industriels et tertiaires, mais que d'autres types d'emplois vont être créés selon une logique schumpetérienne de «destruction créatrice».

Quatre révolutions industrielles

- Première révolution industrielle (1760 à 1840) : invention de la machine à vapeur, chemins de fer, production mécanisée.
- Deuxième révolution industrielle (fin du XIXe siècle) : électricité, chaînes de montage, production de masse.
- Troisième révolution industrielle (années 1960) : NTIC
- Quatrième révolution industrielle : intelligence artificielle, impression 3D, BlockChain, la Cobotique (néologisme d'origine anglaise désignant l'interaction entre un opérateur humain et un système robotique).

Au Maroc, on observe que les faibles créations d'emploi ne reflètent pas l'effort d'investissement entrepris par le pays depuis, notamment, une vingtaine d'années.

Les politiques actives d'emploi ne parviennent pas à résorber le chômage en général et à améliorer l'employabilité des jeunes diplômés. Le mode de développement à l'œuvre n'a pas donné de résultats significatifs en termes d'emplois, mais aussi en termes d'inclusion humaine (réduction de la pauvreté, des inégalités, etc.)

Repenser le nouveau modèle de développement implique de considérer la centralité de l'emploi dans les politiques d'investissement. Dans cette perspective :

- le choix des investissements doit être fondé sur le critère de leur impact sur l'emploi.
- l'arbitrage entre niveau de productivité et quantité d'emploi doit prendre en compte à la fois l'état de l'économie et sa dynamique.
- il faut promouvoir l'emploi qualifié en congruence avec le nouveau paradigme technologique.

Trois questions thématiques ont fait l'objet de la Conférence :

- Quelles politiques publiques pour un développement centré sur la valorisation du capital humain et sur l'inclusion?
- Quels types d'emploi promouvoir dans un contexte de "grande transformation" technologique?
- Comment améliorer l'impact des politiques publiques sur l'emploi?

La Conférence s'est déroulée en trois sessions et un panel :

Session 1 : La problématique de l'emploi : enjeux et contraintes

Session 2 : Modèle de développement, emploi et inclusion

Session 3 : Capital humain et mobilités

Panel : Quel emploi pour quel développement?

Noureddine EL AOUFI
Directeur du Collège Etudes stratégiques et développement économique

Allocution du Pr. Omar Fassi-Fehri

Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Monsieur le Ministre

Mesdames et Messieurs,

Je suis particulièrement heureux de participer à l'ouverture de cette conférence internationale sur le thème «emploi et développement : pour des politiques publiques centrées sur l'emploi».

Permettez-moi, tout d'abord, de remercier l'Institut Royal des Etudes Stratégiques en la personne de son Directeur général M. Mohammed Tawfik Mouline, et le Collège scientifique «Etudes Stratégiques et Développement Economique» de l'Académie Hassan II des Sciences et Technique en la personne de son Directeur du Collège Pr. Noureddine El Aoufi, d'avoir pris une telle initiative, qui j'en suis sûr aura les plus heureuses conséquences sur la question des politiques publiques centrées sur l'emploi dans notre pays.

L'importance de cette rencontre est rehaussée encore davantage par la présence d'éminentes personnalités venues du Maroc et de l'étranger qui sont d'excellents experts et de grands chercheurs dans le domaine économique et des politiques publiques.

L'organisation de cette rencontre par l'**Institut Royal des Etudes Stratégiques** en partenariat avec l'**Académie Hassan II des Sciences et Techniques** s'inscrit parfaitement dans la ligne directrice de l'Académie, exprimée par Sa Majesté le Roi Mohammed VI lors de son installation solennelle, le 18 mai 2006, en ces termes «*la création de cette Académie exprime la volonté de consolider la vocation de Notre pays comme terre de dialogue et de rencontre entre hommes de sciences et de savoir*»; Sa Majesté ajoutait plus loin «*Nous réaffirmons Notre ferme engagement en faveur de l'acquisition du savoir, persuadé que Nous sommes de son impact sur le progrès de Notre pays*»; c'est pourquoi nous ne pouvons que saluer cette initiative et nous en féliciter.

Mesdames et Messieurs,

Les politiques publiques centrées sur l'emploi ne sont pas de mes compétences; si vous le permettez, je voudrais simplement, dans cette brève allocution, partager avec vous quelques éléments de réflexion sur l'apport de la science et de la technologie au progrès et au bien-être de la société, et sur le rapport de cause à effet entre les résultats de la recherche scientifique et de l'innovation technologique et la création de l'emploi.

Nous savons tous qu'aujourd'hui, la préoccupation qui conditionne notre capacité à nous saisir de l'avenir c'est notre rapport aux sciences et à la technologie, notamment face à la convergence des technologies numériques, nanométriques, biologiques et cognitives sur lesquelles se concentrent les efforts mondiaux de recherche et d'innovation.

Au cours des deux siècles derniers, les théories économiques néo-classiques ne reconnaissent que deux facteurs de production: main-d'œuvre et capital. Ceci est en train de changer à une vitesse vertigineuse.

L'information et le savoir remplacent le capital et l'énergie en tant qu'actifs principaux et créateurs de richesse, de la même manière que ceux-ci avaient remplacé main-d'œuvre et propriété agraire deux siècles auparavant. De plus, les progrès technologiques ont transformé la majeure partie du travail créateur de richesses d'une base «physique» à une base «connaissance». Technologie et savoir sont maintenant les facteurs clés dans le processus de production.

La croissance de la part immatérielle de la richesse produite et le développement de nouveaux réseaux multimédia marquent l'émergence de la société du savoir et de la connaissance.

Du fait de la mobilité accrue de l'information, de l'explosion quantitative des données numériques (Big Data) et de la mondialisation de l'emploi, savoir et expertise peuvent être transportés instantanément à travers le monde, et tout avantage gagné par une entreprise risque d'être effacé aussitôt par ses concurrents. Le seul avantage comparatif, que peut avoir une entreprise durablement réside dans le processus d'innovation - combinant la connaissance des marchés et le savoir technologique aux talents créatifs des «travailleurs du savoir» afin de résoudre un flux constant de problèmes liés à la compétition - et à sa capacité de transformer le savoir en valeur ajoutée ; et comme l'exprime si bien Geoff Nicholson* «*la recherche est la transformation d'argent en savoir, l'innovation et la transformation du savoir en argent*», autrement dit en richesse.

Il existe incontestablement une corrélation entre la croissance du niveau de développement d'un pays et l'investissement qu'il réalise en recherche et innovation. 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 du développement, et dans l'économie fondée sur le savoir, le capital humain devient la principale richesse. Bien plus, l'intelligence et le savoir sont la clé d'une compréhension au sens large du développement incluant à la fois le développement humain et le développement durable. L'essor de la société du savoir constituerait donc une chance pour rattraper notre retard sur les pays industrialisés.

De toute évidence, on ne peut accéder à l'économie et à la société du savoir sans des investissements conséquents dans les domaines de l'éducation, de la formation et de l'apprentissage. De même, on ne pourra pas faire progresser simultanément la croissance économique, le développement social et la protection de l'environnement sans exploiter massivement les ressources de savoir toujours renouvelées et qui sont mises à notre disposition grâce à la recherche scientifique, à l'expertise technique et aux systèmes d'information. Les produits issus des sciences et de la technologie représentent déjà, et encore davantage dans l'avenir, une part considérable dans la richesse collective et la compétition internationale du 21ème siècle sera une bataille de l'intelligence et du savoir.

Pour toutes ces transformations et évolutions pour ne pas dire révolution, le rôle des ressources humaines est essentiel dans toute politique de développement. Ce sont les compétences humaines qui créent le savoir, le développent et l'appliquent. La priorité doit donc être accordée à l'amélioration de l'encadrement au sein de l'entreprise, à la formation continue, à la formation par la recherche, à la mobilité des compétences entre laboratoires de recherche publics et l'entreprise et à un couplage très fort entre le monde de la recherche et le monde de l'entreprise et de la production.

Ce sont là quelques éléments de réflexion que je verse modestement dans les débats que vous aurez et qui ne manqueront pas d'être passionnants, je voudrais avant de finir féliciter les organisateurs de cette rencontre et remercier tous les participants venus du Maroc et de l'étranger et à qui nous souhaitons la bienvenue – enfin tous mes vœux de réussite pour les travaux de votre rencontre, je vous remercie de votre attention.

(*) Geoff Nicholson : Ecrivain britannique a fait ses études à Cambridge.

Synthèse de la conférence

Le Collège «Etudes stratégiques et développement économique», relevant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, et l'Institut Royal des Etudes Stratégiques (IRES) ont conjointement organisé, le 5 novembre 2019, une conférence internationale intitulée «Emploi et développement : pour des politiques publiques centrées sur l'emploi».

Par cette initiative, l'IRES et le Collège «Etudes stratégiques et développement économique» ont souhaité contribuer à la réflexion sur une question cruciale qui interpelle les décideurs dans l'ensemble des pays, particulièrement, ceux disposant d'une population jeune, souvent diplômée mais sans horizon professionnel clair et ce, dans un contexte d'**émergence rapide de technologies disruptives** parmi lesquelles figure la révolution numérique.

La conférence s'est déroulée en quatre sessions :

- La première session a traité des enjeux et des contraintes inhérents à la problématique de l'emploi.
- La seconde session a été dédiée à la question du modèle de développement, de l'emploi et de l'inclusivité.
- La troisième session s'est intéressée au capital humain et aux mobilités.
- La quatrième session, a pris la forme d'un panel, pour s'atteler à l'identification des stratégies de réponse à la question de l'emploi.

La présence de représentants d'organisations internationales, d'acteurs institutionnels nationaux, d'académiciens, d'experts universitaires marocains et étrangers ainsi que de chefs d'entreprises a constitué une occasion idoine pour proposer des idées innovantes à même de faciliter la conception de politiques publiques centrées sur l'emploi.

Le présent rapport de synthèse tente de reprendre les points de convergence des communications présentées lors de cette conférence internationale ainsi que les principales idées émanant des débats.

1. Le marché de l'emploi au niveau mondial

1.1. Situation actuelle

Le marché de l'emploi au niveau mondial se caractérise, principalement, par une sous-utilisation de la main d'œuvre, par la précarité des travailleurs, par la persistance des inégalités de genre et par une faible intégration des jeunes.

La sous-utilisation de la main-d'œuvre est imputable aux inadéquations entre l'offre et la demande de main-d'œuvre sur le marché de l'emploi. D'après les données de l'Organisation internationale du travail, le chômage touche 172 millions d'actifs dans le monde. Le sous-emploi, qui est en partie lié au temps de travail, concerne quant à lui 145 millions employés parmi 3,3 milliards de personnes actives occupées. En outre, 140 millions parmi les 2,2 milliards de personnes inactives âgées de plus de 15 ans constituent une main d'œuvre potentielle. Il s'agit, notamment, des hommes et des femmes au foyer ainsi que des étudiants qui ne travaillent pas en complément de leurs études et qui peuvent **être intégrés au niveau du marché du travail.**

En ce qui concerne **la précarité au niveau du marché de l'emploi**, l'Organisation internationale du travail **révèle que** 20% des travailleurs étaient, en 2018, dans une situation de pauvreté modérée et près de 15% étaient dans une situation **d'extrême pauvreté** et ceci en dépit du fait qu'ils occupent un emploi rémunéré. Ces données remettent en question le fonctionnement du marché du travail qui est censé permettre aux travailleurs d'accéder à un mode de vie décent.

S'agissant **des inégalités de genre**, d'après l'Organisation internationale du travail, seules 47,9% des femmes actives ont accès au marché du travail dans le monde contre 74,9% d'hommes actifs. De plus, 18% des femmes actives occupées sont des travailleurs familiaux contre seulement une proportion de 6% pour les hommes. L'inégalité de genre se reflète, également, au niveau des fonctions de *management* dont 73% sont occupées par des hommes. À cela, s'ajoutent la ségrégation de l'emploi par activité et par profession, qui rend certains domaines inaccessibles aux femmes, ainsi que l'obligation pour celles-ci d'effectuer du travail domestique ou de soins non rémunérés.

Ces inégalités structurelles sont accompagnées par un écart salarial pondéré marqué : pour la même fonction, les femmes reçoivent, en moyenne, un revenu inférieur de 19% à celui des hommes, selon l'Organisation internationale du travail.

Pour ce qui est de **la faible intégration des jeunes au marché de l'emploi**, il sied de relever que **plus d'un jeune sur cinq dans le monde est inclus dans la catégorie des NEET** (*Not in Education, Employment or Training*). Le ratio est plus élevé encore chez les jeunes femmes. Cette situation interroge l'évolution du marché mondial de l'emploi et rend nécessaire son adaptation afin d'absorber les nouveaux arrivants.

1.2. Enjeux

Le marché mondial de l'emploi doit faire face à un certain nombre d'enjeux liés, notamment, à la démographie, à la transformation digitale et au changement climatique.

L'augmentation de l'âge médian de la main d'œuvre aura des effets négatifs sur le marché du travail. Selon l'Organisation internationale du travail, l'âge médian devrait passer de 36 ans en 2000 à plus de 40 ans à l'horizon 2030, avec une augmentation bien plus conséquente au niveau de la région Asie-Pacifique en particulier.

Quant à **la transformation digitale ou numérique,** elle constitue certainement l'un des éléments les plus saillants des changements que connait le monde du travail. La croissance exponentielle du numérique transforme en profondeur le monde économique et le domaine de l'emploi en favorisant, notamment, les grandes plateformes numériques. Cette nouvelle donne engendre une dynamique double : d'une part, une destruction d'emplois et, d'autre part, la création d'emplois de nouvelle nature, en particulier, dans le domaine de la programmation et celui des "*Data*".

Les exemples britanniques et américains illustrent l'impact de l'accélération numérique avec des destructions d'emplois dans les secteurs de l'agriculture, de l'industrie, des mines ainsi que dans certains types de services. En revanche, la transformation numérique a engendré une création importante d'emplois, notamment, dans les secteurs des services, de l'éducation, de la santé et de la finance.

L'émergence de la robotique et de l'intelligence artificielle va, sans nul doute, accélérer la tendance et permettre une **plus grande automatisation des emplois**. L'intelligence artificielle dote les machines de la capacité de prise de décision et leur permet de réaliser des tâches de plus en plus complexes. L'éventualité d'un futur chômage technologique est posée avec acuité. Tenant compte des coûts élevés de l'automatisation et de l'intelligence artificielle, certains scientifiques pensent que l'apparition du chômage technologique est peu probable actuellement.

Par ailleurs, la multiplication des plateformes et le recours plus fréquent à l'*outsourcing* **modifient l'organisation du travail**, transforment la nature des liens entre les travailleurs et diminuent le recours au dialogue social.

Les effets de la transformation numérique ne touchent pas les pays de la même manière ni même avec la même ampleur. La rapidité d'absorption de la technologie constitue dès lors un élément central dans la détermination de l'impact qu'aurait cette transformation d'un pays à l'autre. La transformation numérique pourrait, également, avoir pour effet l'accélération d'opérations de localisation ou de relocalisation impactant, par ricochet, différemment le domaine de l'emploi.

La transformation numérique favorise la forte **croissance de l'emploi indépendant** à travers le monde. D'après les données de la Banque mondiale, ce type d'emploi a dépassé l'emploi de main d'œuvre d'un point de vue quantitatif et se situe désormais en deuxième position derrière le travail salarié. Des notions comme «groupement d'employeurs», «partage de l'emploi», «travail par bons», «*management* de transition», «travail occasionnel», «travail nomade via les technologies de l'information et de la communication», «emploi de masse» et «travail en portefeuille» représentent désormais de nouvelles formes d'emploi.

Trois mécanismes ouvrent la possibilité d'avoir des revenus sans être en situation d'emploi : disposer d'une rente, recourir à la vente des données ou instaurer un revenu universel de base.

Au vu de toutes ces évolutions, il semble indispensable pour les pouvoirs publics de s'outiller afin de mieux faire face à la révolution numérique en adoptant, notamment, des politiques publiques à même de relever les nouveaux défis qui y sont liés. A cet effet, il parait pertinent d'opérer une adaptation institutionnelle et d'œuvrer pour le renforcement des protections sociales et pour un développement plus inclusif.

En ce qui concerne le changement climatique, il impactera certainement le marché de l'emploi au niveau mondial. Selon l'Organisation internationale du travail, le stress thermique pourrait, par exemple, réduire le nombre d'heures travaillées de 2,2% à l'horizon 2030, ce qui correspond à environ 2.400 milliards de dollars de PIB mondial. En particulier, les prévisions de la même organisation indiquent que le stress thermique aurait des répercussions importantes sur le marché de l'emploi en Asie du Sud et du Sud-Est ainsi qu'en Afrique centrale et de l'Ouest.

Une transition vers une économie verte pourrait transformer les défis climatiques en atouts en permettant la création de nouveaux emplois. A titre illustratif, l'Organisation internationale du travail estime que la réduction des émissions de gaz à effet de serre conduirait, à l'horizon 2030, **à créer 24 millions d'emplois et n'en détruirait que 6 millions, ce qui revient à une création nette de 18 millions d'emplois. Dans le même sillage, le recours à l'économie circulaire devrait créer 6 millions d'emplois supplémentaires, selon la même organisation.**

Face à ces différents enjeux, l'avenir du marché du travail est tributaire de l'élaboration d'un programme d'actions, centré sur l'élément humain. L'Organisation internationale du travail a proposé, dans son rapport intitulé «Travailler pour bâtir un avenir meilleur», d'investir massivement dans le capital humain, dans les institutions du travail et dans le travail décent et durable.

1.3. Scénarios à l'horizon 2030-2050

A l'horizon 2030-2050, les modes de production de la valeur et les emplois y associés, sont à différencier en fonction de scénarios caractéristiques, relatifs à l'organisation des affaires du monde. La question qui se pose est la suivante : comment le monde et, en particulier, le marché de l'emploi vont-ils s'organiser, compte tenu des différents enjeux susmentionnés?

Le premier **scénario est tendanciel** et ne constitue, au final, que la continuation de la situation actuelle. Dans ce scénario, le monde n'a pas de centre et ses activités s'organisent, au plan régional, de manière plus ou moins cohérente. La démondialisation en tant que demande sociale favorise ce phénomène de fragmentation. Le monde est réparti en zones économiques et d'influence et la globalisation atteint ses limites. Ce scénario qui prévoit la persistance des fragilités du marché de l'emploi dans le contexte d'un «monde fragmenté», entre les pays mais aussi au sein même de ces derniers, reste peu viable sur le long terme.

Compte tenu des enjeux précédemment mentionnés, trois autres scénarios peuvent **être envisagés :**

- **Le scénario «People First»,** qui consacre les besoins de la population et place la création d'emplois en tête des priorités. Ce scénario semble pertinent et à même de pallier la sous-utilisation de la main d'œuvre et aux inégalités de genre puisqu'il privilégie la valeur inclusive. Il pourrait apporter, également, des réponses aux enjeux liés au réchauffement climatique car les préoccupations environnementales y occupent une place centrale.
- **Le scénario «Tout plateformes»** est lié à la transformation digitale. Fortement orienté vers la valeur compétitive, il implique une transformation fondamentale du marché du travail. Les activités s'organiseraient autour de plateformes digitales, disposant du pouvoir de répartition de la valeur. Les emplois à la fois stables et précaires s'aligneraient sur les besoins de l'agilité «plateformique».
- **Le scénario «Africa Voice»** consacre l'émergence du continent africain, sa créativité ainsi que ses capacités propres. Dans le cadre de ce scénario, l'Afrique devrait créer des emplois et des activités dans de nombreux secteurs. L'agriculture, le tourisme, la science, la culture et la technologie constituent des secteurs d'investissement à long terme, reconnus, autour de systèmes de production agiles et disposant d'une véritable autonomie décisionnelle.

Chacun de ces scénarios peut faire l'objet de deux variantes :

- **L'hybridation**, autrement dit la multiplication des formes d'emplois, afin de satisfaire aux exigences du capitalisme «plateformique». Les emplois sont souvent instables dans leurs modalités d'exercice et leur étendue, mais ils présupposent une autonomie des individus, désormais considérés comme agents autonomes de production, coordonnés par les plateformes.
- **La consolidation** part du constat que de nombreux emplois dans les pays en développement - à ce jour pour l'essentiel de nature informelle et vulnérable - deviendront standards et à dominante salariée. Il s'agit d'un effet de rattrapage des pays du Sud du fait, notamment, de la multiplicité des besoins en emplois du secteur productif et de la nécessité d'établissement de relations stables entre employeurs et employés.

  Le scénario «Africa Voice» est plus concerné par la consolidation que par l'hybridation, compte tenu de la nature principalement informelle du marché de l'emploi en Afrique. Le continent africain a besoin de se développer et d'assurer l'accès de sa jeunesse à des emplois décents. La construction de la zone de libre-échange continentale constitue un exemple pertinent d'une politique qui s'inscrit pleinement dans le cadre de ce scénario.

2. Le marché de l'emploi au Maroc

2.1. Etat des lieux

Le marché de l'emploi marocain est caractérisé par une grande hétérogénéité que ce soit au niveau de l'offre ou de la demande de travail. Il se distingue, notamment, par un taux d'activité bas, comparativement à **la plupart** des pays émergents, par un niveau de chômage relativement **élevé** et par la précarité de certaines catégories de travailleurs.

Les évolutions récentes de la démographie au Maroc et, en particulier, les transformations profondes de la structure de la pyramide des âges, ne sont pas sans conséquence sur le marché national de l'emploi.

Malgré l'augmentation substantielle et continue de la population âgée de 15 ans et plus, **le taux d'activité au Maroc est en net recul**, passant de plus de 54% en 1999 à environ 47% en 2018, selon le Haut-Commissariat au Plan. Cette tendance concerne aussi bien les hommes que les femmes. La population inactive en âge d'occuper un emploi augmente, ainsi, plus rapidement que la population active, notamment, en raison du prolongement de la durée des études et de la part importante des femmes aux foyer.

Le taux d'activité varie considérablement selon le genre. En 2018, le taux d'activité des femmes n'est que de 22% contre plus de 71% chez les hommes, selon le Haut-Commissariat au Plan. Il s'agit du taux d'activité des femmes le plus bas au Maghreb.

Quoiqu'en régression, passant de 12% entre 1999 et 2008 à 9,5% entre 2009 et 2018, **le taux de chômage au Maroc demeure relativement élevé**[1]. Dans un contexte économique international moins porteur que par le passé, **le chômage touche surtout les jeunes**, pour des considérations liées, entre autres, à l'inadéquation entre la formation et les besoins du marché du travail. En 2018, le taux de chômage des personnes âgées entre 45 et 59 ans avoisine 2% alors que celui des jeunes âgés de 15 à 24 ans dépasse 25% [2].

La population féminine connait un taux de chômage véritablement élevé et en forte hausse ces cinq dernières années. Selon le Haut-Commissariat au Plan, celui-ci est actuellement situé aux alentours de 14% tandis que le taux de chômage des hommes tend vers 8%.

Le chômage au Maroc est un phénomène principalement urbain. Selon le Haut-Commissariat au Plan, le taux de chômage dans les villes représente 3 à 4 fois celui du milieu rural. Actuellement, il avoisine 14% contre environ 4% pour le milieu rural où le marché du travail fait face au sous-emploi de la population active occupée.

En outre, **une grande partie parmi les 12 millions d'actifs comptabilisés en 2015 vit entre la précarité et la clandestinité.** En effet, 3,39 millions d'actifs sont des indépendants qui comptent parmi eux les vendeurs ambulants. Près de 2,93 millions sont des salariés non déclarés qui travaillent «au noir», 2,34 millions sont des aides familiales occupées non rémunérées et 1,15 millions sont des chômeurs. Seuls 1,17 millions de personnes sont des salariés déclarés par le secteur privé et 850.000 par le secteur public. Parmi les 13 millions d'inactifs, 3 millions sont scolarisés et 10 millions sont des retraités, des femmes au foyer, des rentiers ou des personnes âgées, malades ou handicapées[2].

Les projections réalisées par le Haut-Commissariat au Plan indiquent qu'à l'horizon 2050, 5 millions de personnes actives supplémentaires vont s'ajouter aux 12 millions d'actifs comptabilisés en 2015. Le passage d'un taux d'activité féminine de 22% actuellement à 40% à l'horizon 2050 donnerait lieu à environ 1 million d'actifs supplémentaires. Au regard de ces projections, une création nette de 200 000 emplois par an semble indispensable pour maintenir le taux d'activité de 2018 qui avoisine 46%.

2.2. Politiques mises en place en faveur de l'emploi

L'emploi est une question primordiale. Il constitue un droit civil et une priorité pour l'ensemble des pays. Le Maroc a mis en place un ensemble de politiques et a lancé une série de programmes pour promouvoir la création de plus d'emplois compétitifs, renforcer l'adéquation formation-emploi et améliorer l'employabilité, l'insertion et les conditions de travail.

Des politiques d'insertion dans la vie active (Idmaj, Taehil, Tahfiz, …) ont été initiées afin d'améliorer l'employabilité et de **réduire** les risques au recrutement. Portées par le Ministère du Travail et de l'Insertion Professionnelle, les différents dispositifs d'insertion dans le marché de l'emploi ont ciblé, depuis les années 1990, les chercheurs d'emploi diplômés. Les mesures ont principalement consisté **à atténuer le risque au recrutement en** :

1- Données du Haut-Commissariat au Plan.

2- Haut-Commissariat au Plan.

- créant un statut de stagiaire permettant aux entreprises de ne pas être assujetties aux règles de recrutement établies par la législation du travail ;
- réduisant les charges salariales à travers la prise en charge par l'Etat des charges sociales et l'exonération de certaines tranches de salaire redevables à l'impôt sur le revenu ;
- assurant des formations complémentaires visant au renforcement de l'employabilité des diplômés à la recherche d'emploi.

Les stratégies et les politiques recensées plus haut ont été complétées par **des politiques de protection du revenu**, à travers la réglementation du marché du travail et la **généralisation de** la sécurité sociale, visant à stabiliser l'emploi salarié. Elles ont été matérialisées par la mise en place de mesures de nature **à promouvoir, entre autres, le Contrat à Durée Indéterminée (CDI) comme contrat de référence.** Le bilan de ces politiques de protection du revenu demeure, cependant, mitigé compte tenu des nombreux conflits individuels sur le licenciement, de la prolifération des emplois d'intérim et des revenus inférieurs au salaire minimum de plus de la moitié des salariés déclarés.

Par ailleurs, **les stratégies sectorielles et de mise à niveau de l'économie,** mises en œuvre pour moderniser la base de production, n'ont pas non plus contribué à dynamiser le marché de l'emploi. Elles ont profité aux grands groupes nationaux et internationaux au détriment des moyennes et des petites entreprises.

Quant à l'Initiative Nationale pour le Développement Humain (INDH) et aux programmes pilotés par les établissements à l'image de l'Agence de Développement Social (ADS), si ils ont permis la réduction de la pauvreté en aidant les personnes les moins qualifiées et les moins favorisées **à créer des activités génératrices de revenus**, ils n'ont pas contribué néanmoins à la création d'emplois permanents et décents.

Ainsi, la mise en œuvre de l'ensemble des politiques et des programmes pour la promotion de l'emploi, cités précédemment, n'a pas permis au marché du travail d'outrepasser ses **déséquilibres structurels**. Les faibles créations d'emploi, durant les deux dernières décennies, ne reflètent pas l'effort d'investissement élevé, consenti par les pouvoirs publics. Une part importante de cet effort a été consacrée aux infrastructures qui, tout en étant nécessaires, ne créent pas suffisamment d'emplois à court et moyen termes.

D'autres insuffisances handicapent les efforts fournis en faveur du développement et de la création d'emplois. Elles concernent aussi bien le cadre réglementaire que le système de gouvernance.

Le cadre réglementaire régissant l'emploi au Maroc est relativement rigide et fait coexister des segments protégés et des segments précaires. La législation actuelle est à l'origine de rigidités contraignantes aussi bien pour l'investissement que pour la gestion des ressources humaines. Le cadre réglementaire est, en outre, caractérisé par la faiblesse des incitations à la création d'emplois.

Qu'ils soient nationaux ou **étrangers, les investisseurs** sont préoccupés par **la persistance d'un niveau élevé de corruption**. D'après une étude menée par le Haut-Commissariat au Plan et la Banque mondiale, la corruption constitue un problème bien plus important pour les entreprises de services que celles de l'industrie[3]. Or, ce sont les services qui créent le plus d'emplois.

Pour ce qui est de **la question de la gouvernance**, elle concerne, en particulier, le **manque à la fois de transversalité des stratégies gouvernementales et de cohérence des politiques publiques** en termes de soutenabilité et de compétitivité. Il faut évoquer, également, les problèmes liés à la gouvernance locale, particulièrement le fait que la déclinaison territoriale et le niveau d'exécution des réformes devraient intégrer l'impact sur l'emploi.

3. La nécessité d'un nouveau modèle de développement inclusif et créateur d'emplois

Partant des développements précédents, la création d'emplois productifs offrant des statuts décents pour les actifs occupés constitue, pour le Maroc, un défi de taille qui ne peut être relevé que dans le cadre d'un nouveau modèle de développement.

La réflexion autour de ce modèle de développement constitue une tâche ardue du fait de la complexité de la question et de la multiplicité des échelles d'analyse.

Singulière, l'approche retenue par l'IRES réside dans la construction d'un nouveau modèle de développement du Maroc **à même de répondre aux aspirations de bien-être de la population marocaine** tout en tenant compte des enjeux systémiques mondiaux, notamment, le passage des valeurs matérielles aux valeurs immatérielles, la revalorisation de l'humain, la fin de l'économie de prédation et l'émergence rapide de technologies disruptives.

3- Haut-Commissariat au Plan et Banque mondiale, Le marché du travail au Maroc : défis et opportunités, Novembre 2017.

Ce nouveau modèle devrait s'appuyer sur quatre piliers interdépendants :

- **Remettre l'Homme au centre du développement** en accordant un grand intérêt **à la valorisation systématique et généralisée du capital humain, en tant que facteur de compétitivité et constituant principal du capital immatériel, notamment, l'enfance et la jeunesse, à la lutte vigoureuse et multidimensionnelle contre les inégalités,** au renforcement du capital social et **à l'instauration des conditions d'une économie plus humaine.**
- **Reconsidérer le rapport de l'Homme à la nature et évoluer vers une économie de la régénération anticipative** : il s'agit de mettre en place un projet national d'adaptation au changement climatique et de réduction de l'empreinte écologique, de régénérer les ressources naturelles dégradées, de valoriser les services écosystémiques pour financer la régénération et développer l'emploi, de promouvoir une agriculture climato-intelligente, de réussir la transition vers une économie sobre en carbone et de développer le potentiel de la soutenabilité en mettant l'accent sur le traitement généralisé et la valorisation industrielle des déchets.
- **Contribuer à la planétarisation** en assurant l'articulation entre l'échelle locale et mondiale : à ce sujet, il faudrait renforcer le développement territorial du Maroc, entrer dans l'ère du capitalisme cognitif, asseoir les bases de l'économie bleue et pousser très loin l'intégration de l'économie marocaine en Afrique.
- **Armer le Maroc pour affronter l'émergence rapide de technologies disruptives**, grâce à une stratégie ambitieuse, permettant de sauter les étapes en termes de développement (*leapfrog*), afin de réussir la transformation structurelle de l'économie nationale, laquelle se limite, aujourd'hui, à quelques branches des chaines de valeur mondiales. A ce titre, il serait opportun :
  - de faire du secteur privé le socle de création de la richesse dans le nouveau modèle de développement ;
  - de mettre l'industrie au cœur de la transformation structurelle ;
  - d'accroitre la productivité, la durabilité et l'intégration économique du secteur agricole ;
  - de favoriser le développement d'un secteur des services plus sophistiqué, à forte valeur ajoutée et fortement lié aux autres secteurs de l'économie ;
  - de miser sur l'humain et sur l'innovation ;
  - de s'engager résolument dans un développement endogène et mesuré.

Ces piliers devraient être soutenus par **une nouvelle gouvernance dont les deux principes premiers sont d'une part la justice et l'éthique et d'autre part la flexibilité et l'adaptation**. Cette gouvernance devrait être fondée sur le renforcement de l'intelligence collective, la rationalisation des ressources et des usages, la décentralisation et le développement de la connaissance factuelle. Il s'agit aussi de :

- renforcer le principe d'honnêteté ;
- développer l'agilité de l'administration et des autres organes publics ;
- promouvoir un leadership, capable d'entraîner le changement et d'assurer la nécessaire transformation du Maroc au moyen d'une vision clairvoyante et porteuse de sens dont les contours sont tracés par la Constitution de 2011 et par les Hautes Orientations Royales.

En outre, le nouveau modèle de développement gagnerait à reposer sur **un contrat social renouvelé** plus efficient, prenant appui sur le développement du capital immatériel, avec ses différentes composantes humaine, sociale, institutionnelle… ainsi que sur l'amélioration des qualifications sur le marché de l'emploi et sur la contestabilité des marchés.

4. Vers de nouvelles politiques centrées sur l'emploi

L'emploi devrait être placé au centre de toute politique publique. Il doit être consacré comme objectif majeur de toute stratégie de développement à venir.

Des réformes simultanées et rapides, notamment la mise en valeur du capital humain, la levée des barrières freinant l'investissement privé, la réforme de la fiscalité, la flexibilisation du marché du travail, pourraient, à la fois, améliorer la croissance économique et réduire le chômage.

Le Maroc gagnerait à accroitre la productivité du travail en vue d'améliorer la compétitivité de l'économie afin de l'insérer davantage dans la compétition mondiale et de passer vers une économie humaine créatrice d'emplois. Pour cela, **l'investissement massif dans le capital humain est primordial**, en accordant la priorité aux secteurs qui touchent directement le citoyen et, en particulier, l'éducation, la santé et l'habitat.

4.1. Sur le plan du capital humain

Notre pays devrait faire évoluer son système d'éducation, d'une **éducation basée sur la quantité à un système davantage orienté vers la qualité**. L'accent devrait être mis sur la formation professionnelle, en tenant compte entre autres de la digitalisation, sur la préparation des jeunes au monde de demain ainsi que sur la mise en œuvre d'une politique d'attraction des talents.

La formation professionnelle, si elle est bien menée, pourra potentiellement favoriser l'employabilité des diplômés, offrir des emplois décents aux jeunes et réduire les inégalités sociales et spatiales à travers une meilleure professionnalisation des filières dans le cadre du développement d'un partenariat triangulaire entre l'Etat, la région et le secteur privé.

Le Maroc, qui vient de lancer une réforme importante de la formation professionnelle consistant, entre autres, en la création au niveau de chaque région d'une cité des métiers et des compétences, pourrait s'inspirer de l'expérience allemande dans le domaine de la formation par alternance.

Dans un contexte international marqué par l'accélération de la révolution digitale, la politique de la formation professionnelle devrait favoriser l'expérimentation, étant donné que l'innovation de rupture a besoin d'un terreau où s'exprimer et d'un terrain d'expérimentation, tels que les laboratoires vivants (*living labs*), pour que l'on en maîtrise tous les aspects.

FOCUS 1 : L'expérience allemande dans le domaine de la formation duale

La formation duale ou par alternance en Allemagne est dispensée en entreprise et en établissement d'enseignement. Il s'agit d'un processus qui implique l'Etat, les employeurs et les individus bénéficiant de la formation. Ce système vise à atteindre des objectifs communs en matière de qualité, de cohérence et d'adaptation de la formation aux besoins du marché du travail. La nature conservatrice de l'Etat-providence allemand ainsi que le degré élevé de dialogue avec les différents partenaires ont facilité le succès de ce modèle en Allemagne.

La formation par alternance coexiste avec l'enseignement supérieur universitaire et la formation professionnelle conventionnelle. Elle débute après 10 à 13 années d'enseignement fondamental général et dure deux à trois ans et demi. Ce système a fait ses preuves avec l'amélioration de l'employabilité des lauréats dont le taux de chômage est bien inférieur à ceux issus de la formation professionnelle conventionnelle.

Les bénéficiaires de la formation par alternance travaillent en entreprise du lundi au mercredi et passent le reste de la semaine au sein des établissements de formation professionnelle dans lesquels, les deux-tiers du temps sont consacrés à la formation professionnelle et le temps restant à une formation générale de type universitaire.

La formation duale constitue un système gagnant pour l'ensemble des parties prenantes. Pour les employeurs, il s'agit de former une main d'œuvre compétente et fiable à travers un cursus moderne et qualifiant dont ils seront potentiellement les premiers bénéficiaires. Le gouvernement allemand vise, pour sa part, à réduire le taux de chômage des jeunes. Il a mis en place le cadre réglementaire de l'opération, finance et supervise les établissements de formation professionnelle prenant part au système. Ce système constitue, enfin, une opportunité pour les bénéficiaires de la formation duale. Ils apprennent un métier et améliorent leurs chances de trouver un emploi à l'issue de la formation tout en étant rémunérés.

Les partenaires sociaux, les représentants des travailleurs et du patronat accompagnent le processus de formation en contribuant à l'élaboration et à la modification des standards, en négociant les niveaux de rémunération des personnes en formation et en participant aux comités d'examen. Pour leur part, les chambres professionnelles se chargent d'évaluer la formation, d'accréditer les employeurs, d'organiser les examens et d'arbitrer en cas de différends.

Le système allemand de la formation duale est confronté, toutefois, à des défis qui remettent en question sa durabilité. Le premier défi est lié à la décroissance du nombre de jeune en Allemagne, âgés de 15 à 24 ans, qui passerait de 8,6 millions en 2015 à 7,7 millions en 2050. Le second défi concerne l'attractivité de ce système par rapport au système académique pour lequel optent près de 60% des jeunes Allemands. Le manque d'investissement dans le système de formation professionnelle et les disparités régionales en la matière constituent, également, des défis majeurs.

Le système d'éducation-formation au Maroc devrait, en outre, préparer les jeunes au monde de demain, notamment aux nouvelles formes du travail qui sont en train d'émerger (économie de partage, économie du résultat, économie à la demande (sur missions ponctuelles), *gig economy),* grâce au développement des intelligences multiples, à l'apprentissage des langues étrangères et à l'acquisition d'un esprit critique et systémique, de compétences en matière de leadership, de gestion de projets collaboratifs, de *management* de l'agilité, d'interdisciplinarité, d'expérimentation...

Sur un autre registre, une réflexion mériterait d'être menée autour de la question de la fuite des cerveaux et de celle de la mobilité universitaire des enseignants-chercheurs, qui est très limitée du fait des règles rigides de la fonction publique. La valorisation des rémunérations, la promotion de cadres de travail plus motivants ainsi que la création de projets à même de créer l'adhésion et l'engagement sont autant de pistes à développer dans le cadre d'une véritable politique d'attraction des talents.

4.2. Sur le plan législatif et réglementaire

En plus de l'investissement dans le capital humain, il serait judicieux de :

- reconnaitre immédiatement et effectivement le droit de tout être humain à travailler en tant qu'indépendant, sans avoir à subir les procédures d'une bureaucratie handicapante **;**
- réviser la législation du travail qui génère des rigidités contraignantes pour l'investissement et pour la gestion des ressources humaines ;
- créer un statut spécial de «jeune entreprise» qui permet d'embaucher et de licencier librement et facilement et qui offre un accès privilégié aux emprunts et aux fonds d'investissement de type «épargne de proximité» ainsi que la possibilité de bénéficier d'une taxation minimale, afin d'encourager la création d'entreprises et leur développement;
- parachever la réforme judiciaire et d'enregistrer de nouveaux progrès en matière de moralisation et d'intégrité, y compris dans l'accélération de l'exécution des décisions;
- lancer la réforme du foncier qui revêt une importance capitale pour dynamiser l'investissement privé;
- encourager la Recherche & Développement par le biais, notamment, de l'instauration d'avantages fiscaux comme le crédit impôt qui peut permettre à de nombreuses initiatives entrepreneuriales de voir le jour;
- mettre en place un cadre juridique et fiscal attractif pour l'entreprenariat social, notamment dans le domaine agricole, ainsi qu'un écosystème propice à la création et au financement des *startups* qui peuvent jouer un rôle important en matière de création de valeur et, par ricochet, d'emplois.

4.3. Sur le plan économique et financier

Les pouvoirs publics devraient :

- prendre en considération le potentiel de création d'emplois avant toute décision d'investissement public ;
- développer les externalités positives pour les entreprises en investissant davantage dans le renforcement et le développement des infrastructures de réseaux (hydraulique, énergie, numérique et télécommunications, transports, logistique) ;
- soutenir les gains de productivité internes aux entreprises, en maintenant la politique de réduction du coût des équipements ;
- ne pas taxer lourdement la main d'œuvre qualifiée pour favoriser son recrutement ;
- soutenir le développement de l'offre de services de qualité par les très petites, petites et moyennes entreprises ;
- poursuivre la facilitation de l'accès au financement des très petites, petites et moyennes entreprises et favoriser la mutualisation et l'entraide, à travers la conclusion de partenariats public-privé ;
- assurer la contestabilité des marchés et des décisions, en réduisant notamment les barrières à l'accès à de nouveaux entrants et en favorisant une allocation plus concurrentielle et plus transparente des ressources publiques ;
- intégrer l'économie numérique comme catalyseur de productivité et d'entreprenariat ;
- faciliter l'émergence de l'économie de plateformes et promouvoir l'économie du bas de l'échelle qui devrait permettre aux personnes les moins nanties non seulement de développer des moyens de subsistance mais encore de bénéficier de produits de première nécessité, comme les médicaments par exemple, à des prix accessibles ;
- encadrer la libéralisation de l'ensemble des échanges de particuliers à particuliers, selon un système de taxation préférentiel ;
- étudier la possibilité d'instaurer un revenu universel afin de lutter contre la précarité et la pauvreté.

4.4. Sur le plan spécifique à l'emploi

Il serait opportun de :

- réviser les programmes actuels d'incitation à l'emploi en améliorant leur mode de gouvernance et en les ancrant au niveau territorial tout en mettant l'accent sur le renforcement des capacités des acteurs régionaux, pour aider les régions à mieux s'approprier les compétences nouvellement transférées;
- passer progressivement d'un paysage fragmenté des politiques actives de l'emploi à un guichet unique au niveau local qui se chargerait d'informer, d'orienter et d'appuyer les demandeurs d'emploi. En effet, un meilleur système d'information sur le marché du travail peut améliorer la productivité, la compétitivité et la croissance économique tout en réduisant les inégalités sociales;
- affiner la connaissance du marché du travail à un niveau plus granulaire (par territoire, par genre, par tranche d'âge, par niveau de formation...) et de mieux prendre en compte les besoins des personnes moyennement qualifiées au lieu de se concentrer uniquement sur les diplômés chômeurs ;
- développer les partenariats avec la société civile, en particulier, les associations de promotion et d'intermédiation de proximité, en vue de renforcer les efforts de l'Agence Nationale de Promotion de l'Emploi et des Compétences (ANAPEC), compte tenu de l'importance des besoins;
- faciliter le redéploiement des travailleurs entre les entreprises, les secteurs et les régions, et prêter assistance aux travailleurs ayant perdu leur emploi, moyennant une aide au revenu à la fois ciblée et générale et une aide au retour à l'emploi, conjuguées à des mesures de prévention et d'intervention rapide;
- offrir une protection adéquate à tous les salariés, indépendamment de leur contrat de travail;
- anticiper le changement, en favorisant un dialogue participatif sur l'avenir du travail avec les partenaires sociaux et, le cas échéant, en adaptant les politiques d'emploi et de compétences et les politiques sociales aux besoins nouveaux d'un monde de travail en perpétuelle évolution.

4.5. Zoom sur les retours d'expériences de deux entreprises privées marocaines créatrices d'emplois

Dans le cadre des «*best practices*», deux expériences ont été présentées, la première dans le domaine de la monétique et la seconde dans celui de l'outsourcing. Deux expériences qui mettent en évidence la capacité du Maroc à créer des emplois et à s'insérer au niveau de la compétition mondiale.

Les retours d'expériences de ces entreprises révèlent l'importance des éléments ci-après :

- la définition d'une vision et d'une ambition claires ;
- l'élaboration d'une stratégie globale basée sur l'excellence opérationnelle ;
- le développement d'un système de gouvernance et un capital organisationnel favorisant le management de l'agilité ;
- la construction et l'entretien d'un capital de marque ;
- la valorisation du capital humain notamment par le biais de sa formation continue ;
- la poursuite d'une politique d'attraction des compétences aussi bien nationales qu'étrangères, notamment par le biais d'un système de rémunération incitatif ;
- l'investissement dans le domaine de l'innovation sociale dans le but d'améliorer les conditions de travail.

HPS pour «*Hightech Payment Solutions*» est une entreprise marocaine spécialisée dans le paiement électronique et qui dispose de nombreuses filiales à travers le monde. Ses solutions sont utilisées par plus de 400 banques dans pas moins de 90 pays.

Dès sa création en 2019, HPS a développé **une vision de fournisseur de classe mondiale pour les solutions de paiement en ligne, une stratégie basée sur l'excellence opérationnelle et une gouvernance appropriée. Le capital organisationnel** (agilité, proximité) et **le capital marque** jouent un rôle clé dans le succès de l'entreprise qui recrute des profils hautement qualifiés et emploie actuellement pas moins de 600 ingénieurs sur tous les pays dans lesquels elle est implantée.

Intelcia est, pour sa part, une **entreprise marocaine** qui opère **dans le secteur de l'*offshoring***, en particulier dans sa composante gestion de la relation clients. Également implantée à l'étranger, elle dispose de pas moins de 13.300 collaborateurs.

Conscientes que l'une des principales richesses de toute entreprise repose sur son **capital humain**, HPS et Intelcia ont instauré des politiques de ressources humaines à même de valoriser les compétences de chacun et d'accompagner

le développement des équipes. Les deux entreprises ont mis en place un ensemble formel de règles et de principes dans le but de créer les conditions propres à favoriser l'épanouissement des collaborateurs et leur évolution pour participer à la performance de l'entreprise.

Hightech Payment Solutions ne voit pas de problème à recruter dans les quatre coins du monde, là où elle trouve les profils qualifiés. HPS a, cependant, été amenée à revoir sa grille salariale récemment lorsqu'elle s'est rendu compte qu'elle n'arrivait plus à attirer les jeunes ingénieurs à leur sortie des grandes écoles. L'entreprise cherche à tendre vers l'équilibre homme-femme de ses ressources humaines. En effet, seuls 30% des employés de HPS sont des femmes. Le recrutement de collaborateurs féminins se heurte souvent aux nombreux déplacements qu'exigent les postes à pourvoir.

Bien que les centres d'appels offrent des salaires confortables par rapport au marché de l'emploi marocain et que les conditions de travail y soient relativement avantageuses, le secteur est peu attractif et confronté à un fort taux de *turnover*. Pour pallier cette situation, **Intelcia réalise des investissements importants dans l'innovation sociale** en cherchant à améliorer davantage les conditions de travail. L'entreprise travaille sur son image de marque pour attirer des profils. Elle organise par exemple des journées portes ouvertes destinées aux parents de potentiels employés souvent réfractaires à ce choix de carrières pour leurs enfants.

FOCUS 2 : Le secteur de l'offshoring : un secteur inclusif et créateur d'emplois

L'offshoring a été identifié par le Maroc comme l'un des métiers mondiaux à même de constituer un véritable levier de développement économique. Il emploie actuellement plus de 70.000 personnes au Maroc. Ce chiffre devrait atteindre 100.000 personnes en 2020. L'offshoring participe de manière importante à la création de valeur avec 8 milliards de dirhams de chiffre d'affaire à l'export en 2018. Le secteur contribue, également, au développement d'une classe moyenne au Maroc (avec des salaires compris entre 2 et 5 fois le salaire minimum) et à la promotion de l'emploi de la femme puisque 55% des employés sont des femmes.

Il s'agit d'un secteur inclusif pour les personnes qui ont perdu confiance ou qui se sont éloignées du marché du travail pendant une longue période. En outre, l'offshoring est inclusif pour les primo-accédant au marché de l'emploi, en particulier les jeunes, qui y apprennent des softs skills comme la négociation et la gestion de la pression, mais également des valeurs comme la diversité et la multiculturalité. Ces compétences acquises constituent souvent un tremplin vers un second emploi.

Le Maroc dispose d'atouts certains pour attirer les donneurs d'ordre étrangers, notamment en raison de sa position géographique, de la qualité de ses infrastructures et de sa stabilité. En revanche, l'offre est devenue moins compétitive. Le secteur appelle à la révision du Plan Emergence V2 (aussi appelé plan d'accélération industriel), à la simplification des dispositifs d'incitations fiscales et à une réforme du système des subventions et des contrats ANAPEC.

Programme

09h00	**MOT D'OUVERTURE**
09h15.10h15	**SESSION 1: PROBLEMATIQUE DE L'EMPLOI : ENJEUX ET CONTRAINTES** • *Quelle est la situation du marché de l'emploi dans le monde et quelles sont les tendances lourdes et émergentes, les nouvelles mutations ainsi que les facteurs de rupture inhérents à l'évolution de l'emploi ? Par* **M. Stefan KÜHN**, Economiste Senior, Organisation internationale du travail • *Quelle est la situation du marché de l'emploi au Maroc et quelles perspectives à long terme de l'emploi en prenant en considération, entre autres, l'évolution démographique ? Par* **M. Abdesslam FAZOUANE**, Démographe, Enseignant-Chercheur à l'Institut National de Statistique et d'Economie Appliquée • *Quels sont les enjeux de la transformation digitale dans le domaine de l'emploi ? Par* **M. Ahmed BOUNFOUR,** Professeur des universités, titulaire de la chaire européenne de l'immatériel, Université Paris-Sud, Senior Fellow, IRES • *Comment réinventer le cadre institutionnel pour l'emploi de demain ?* *Par* **M. Saad BELGHAZI,** Professeur d'économie et consultant
10h15.10h45	**DISCUSSION** **Modérateur** **M. Noureddine EL AOUFI**, Membre résident, Académie Hassan II des Sciences et Techniques
10h45.11h00	**PAUSE CAFE**
11h00.12h00	**SESSION 2: MODELE DE DEVELOPPEMENT, EMPLOI ET INCLUSIVITE** • *Quel modèle de développement pour le Maroc ? Par* **M. Mohammed Tawfik MOULINE**, Directeur Général de l'Institut Royal des Etudes Stratégiques (IRES) • *Comment promouvoir la création de l'emploi par le secteur privé ? par* **M. Mohamed HORANI,** Président-Directeur Général de Hightech Payment Systems • *Quel rôle des PME en matière de création d'emplois décents et productifs ? Retours d'expérience ? par* **M. Karim BERNOUSSI,** Président-Directeur Général de INTELCIA
12h00.12h30	**DISCUSSION** **Modérateur** **M. Mohamed KABBAJ,** Membre résident, Académie Hassan II des Sciences et Techniques
13h00	**DEJEUNER**

14h00.14h45	**SESSION 3 : CAPITAL HUMAIN ET MOBILITES** • *Face aux mutations du marché de l'emploi, quelles politiques de formation des compétences humaines de demain faut-il adopter ? Enseignements utiles tirés de l'expérience allemande en la matière. Par* **M. Gernot Carlos NAHRUNG**, Conseiller politique d'un membre de l'assemblée parlementaire de la République fédérale d'Allemagne • *Comment faire de la mobilité un facteur de promotion de l'emploi ? Quelles politiques mettre en place pour lutter contre la fuite des cerveaux et attirer les compétences étrangères ? Par* **M. Driss EL YAZAMI,** Président du Conseil de la communauté marocaine à l'étranger • *Comment réinventer le cadre institutionnel pour l'emploi de demain ? Par un expert international (à confirmer)*
14h45.15h30	**DISCUSSION** **Modérateur** **M.Rachid BENMOKHTAR,** Académie Hassan II des Sciences et techniques
15h30.16h30	**PANEL : QUEL EMPLOI POUR QUEL DEVELOPPEMENT ?** • **M. Mohammed KABBAJ,** Ancien Ministre, Membre résident, Académie Hassan II des Sciences et Techniques • **M. Rachid BENMOKHTAR BENABDELLAH,** Ancien Ministre, Membre résident, Académie Hassan II des Sciences et Techniques • **M. Mohammed Tawfik MOULINE**, Directeur Général de l'IRES • **M. Noureddine EL AOUFI,** Membre résident, Académie Hassan II des Sciences et techniques
16h30.17h00	**DISCUSSION** **Modérateur** **M. Mohamed BERRIANE**, Membre résident, Académie Hassan II des Sciences et Techniques
17h00	**CLOTURE DES TRAVAUX**

Les iniquités en santé au Maroc : une initiative vers une évaluation participative

Présentation

1. Contexte et justificatif

Durant les deux dernières décennies, les grandes orientations des stratégies adoptées, dans le secteur de la santé par les pouvoirs publics, visaient l'amélioration de l'accès de la population à la santé, l'élargissement des moyens de prévention, l'amélioration de la gouvernance, la diversification des sources de financement et l'élargissement de la couverture médicale.

Le bilan de la mise en œuvre de ces orientations montre que le système national de la santé a connu des améliorations au cours des dernières années, comme le révèlent les indicateurs de performance utilisés par l'OMS, notamment l'allongement de l'espérance de vie, le net recul de la mortalité infantile, la baisse de la mortalité maternelle, etc.

Cependant, en dépit de ces performances, les données disponibles indiquent que les progrès accomplis n'ont pas profité à tous de manière équitable. En effet, et à titre d'exemple, les inégalités territoriales approchées par la mortalité maternelle enregistrent des écarts importants entre le milieu rural et le milieu urbain avec respectivement des taux de 111 et 44,6 pour cent mille. De même, si on considère le taux de couverture médicale comme déterminant pour garantir l'équité en matière de santé, la différence est très importante entre le premier quintile (26,2%) et le cinquième quintile (56%) de niveau de vie.

En fait, les institutions internationales et les centres de recherche scientifique spécialisés en la matière affichent un intérêt particulier à la question de l'iniquité en santé[1] en tant que déterminant essentiel pour l'amélioration des performances de la santé des individus. A cet effet, la Commission des déterminants sociaux de la santé (CDSS) de l'OMS recommande que la réduction des inégalités sociales de santé[2] devrait être un objectif totalement intégré dans le développement des actions d'éducation et de promotion de la santé. La communauté internationale a conforté cet objectif en l'inscrivant dans l'Agenda 2030, qui place l'équité au centre de ses préoccupations en matière de santé.

Le Maroc, dans le cadre de la mise en œuvre des dispositions de la constitution de 2011, dont l'article 31 stipule «de faciliter l'égal accès des citoyennes et des citoyens notamment aux soins de santé et à la protection sociale, à la couverture médicale et à la solidarité mutualiste ou organisée par l'État», devrait renforcer l'équité quant à l'accès aux soins de santé dans un contexte marqué par une double transition démographique et épidémiologique.

2. Les objectifs de l'initiative

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques en partenariat avec l'Observatoire National du Développement Humain (ONDH), le Conseil Economique, Social et Environnemental (CESE), le Ministère de la Santé, l'Agence Nationale d'Assurance Maladie (ANAM) et la participation des institutions nationales et internationales, a organisé un atelier de réflexion sur les enjeux des iniquités en matière de Santé au Maroc. Cette initiative s'appuie sur le besoin de générer des connaissances scientifiques solides, dont le but, à terme, est de fournir les données les plus fiables afin d'éclairer les politiques pour la prise de décision, d'élaborer des politiques et le développement de stratégies basées sur les données factuelles, d'informer le public et d'engager les citoyens dans l'action concertée et participative.

Aussi, l'utilité de mener cette réflexion a été dictée par le fait que les analyses disponibles sont basées sur la confection d'indicateurs relatifs aux inégalités de santé et de recours aux soins au Maroc, mais laissent souvent de côté des critères d'équité dont les implications n'ont pas toujours été mises en avant et ne sont pas toujours explicitement posées.

Plus spécifiquement, cette initiative a visé quatre grands objectifs, à savoir :

- Diagnostiquer la situation des données relatives aux iniquités en santé afin de relever les insuffisances en matière de production de l'information dans ce domaine et informer les décideurs sur cette problématique ;

1- Equity Articles in Medline, 1980–2005. Analyzing Health Equity Using Household Survey Data. World Bank, 2008.

2- Selon l'OMS (2005) l'équité en santé désigne «l'absence de différences systémiques et potentiellement remédiables, dans un ou plusieurs aspects de la santé parmi la population qui sont définis socialement, économiquement, démographiquement ou géographiquement».

- Sensibiliser les parties prenantes sur leur rôle et leur contribution respectifs dans les déterminants socioéconomiques de la santé (iniquités en santé) et identifier les moyens pour renforcer la collaboration intersectorielle sur le long terme ;
- Approfondir la réflexion sur les déterminants socioéconomiques des iniquités en santé et identifier les réformes et les politiques à mettre en œuvre pour les réduire ;
- Encourager la recherche pour mettre en évidence les déterminants contextuels et structurels des inégalités par l'implication des chercheurs universitaires, experts et praticiens avec pour objectif l'élaboration d'un rapport sur les iniquités en santé au Maroc en utilisant les données issues des enquêtes menées par le Ministère de la Santé complétées par celles de l'ONDH, le Haut commissariat au plan et d'autres structures ;

Ainsi, cette réflexion cherche à contribuer par des orientations permettant l'élaboration d'une feuille de route déterminant les priorités en vue d'améliorer la santé tout en réduisant les distributions inéquitables dans ce domaine.

3. Le déroulement de cette réflexion

Répondre à toutes ces questions nécessite :

1- La disponibilité des données probantes permettant d'aider à analyser les fondements sociaux et structurels des inégalités liées à la santé afin d'engager un dialogue politique éclairé sur des solutions efficaces et mesurables en matière d'équité en santé.

2- Le choix des indicateurs constitue un enjeu important pour approcher la situation des iniquités en santé. En fait, plusieurs indicateurs sont utilisés dans la littérature pour la mesure de l'état de santé ou du recours aux soins selon la disponibilité des données. Les indicateurs de mesure peuvent aller du simple, comme les indicateurs pour approcher les disparités territoriales et par sexe (taux de mortalité par région, nombre de médecins par habitants, etc.), aux indicateurs pour mesurer la concentration et la progressivité des dépenses de soins de santé, ainsi que l'incidence de ces dépenses sur les populations pauvres.

3- L'utilisation des modèles et des outils pour expliquer les déterminants et la dynamique des iniquités en matière de santé. Dans ce cadre, les analyses multi-variées et les méthodes de décomposition sont souvent les plus utilisées pour évaluer l'impact des programmes et des politiques publiques pour la réduction des iniquités.

L'objectif est de déterminer les contributions des facteurs comme l'éducation ou le financement, le milieu de résidence ou d'autre variable d'ordre socioéconomique, dans l'explication des iniquités en matière de santé. Ainsi, la réflexion a visé à :

- Partager les connaissances et faire le point sur les données et rapports disponibles en matière d'iniquités en santé au Maroc;
- Discuter et valider l'(es) approche(s) et la méthodologie(s) pour compléter les données et les analyses manquantes;
- Proposer un programme de travail pour conduire les types d'études et les analyses inhérentes en vue de produire un rapport suffisamment complet en la matière;
- Discuter et arrêter le processus de dissémination des conclusions du workshop pour une sensibilisation la plus large possible de la communauté scientifique et des différents partenaires institutionnels et organisations non gouvernementales (ONGs).

Des représentants de départements sectoriels en lien avec les déterminants socioéconomiques de la santé (éducation, logement, emploi, transport, environnement, INDH, etc…), de la communauté scientifique, du Collaboratif pour la Gouvernance des Systèmes de Santé ainsi que de la société civile ont été invités à partager leur expérience dans le domaine.

L'OMS, l'UNICEF, le PNUD, le FNUAP, la Banque Mondiale, la Banque Africaine de Développement, la représentation de la Commission Européenne/ section santé ont été invités également à prendre part à ce workshop étant donné leur intérêt et les projets qu'ils conduisent en la matière.

A l'issue du workshop, le ministre de la santé a crée une Commission pour préparer un rapport sur les iniquités en santé, en partenariat avec l'Académie Hassan II, l'ONDH, le CESE, l'ANAM, le HCP et le ministère de l'intérieur.

L'Institute of Health Equity de Londres, dont le directeur, Sir Michael Marmot et son directeur adjoint, Jessica Allen, ont animé 2 conférences pendant le workshop, a également été associé à cette initiative et viendra par son expertise soutenir le travail de la commission sur l'Equité en Santé.

Une première réunion de la commission est prévue début février 2020.

Allocution du Pr. Omar Fassi-Fehri

Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Monsieur le Ministre,
Honorable assistance,
Chers invités,
Mesdames et Messieurs,

Je voudrais d'abord exprimer le plaisir que j'éprouve de prendre la parole à l'ouverture de ce workshop, organisé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques à travers le Collège «Sciences et techniques du vivant» en partenariat avec le Ministère de la Santé, le Conseil Economique, Social et Environnemental, l'Observatoire National du Développement Humain et l'Agence Nationale d'Assurance Maladie sur le thème «**Les iniquités en santé au Maroc : une initiative vers une évaluation participative**».

Je remercie chaleureusement tous ceux qui ont répondu à notre invitation et leur souhaite la bienvenue à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Je tiens aussi à remercier les organisateurs de cette importante rencontre, pour le choix du thème amplement justifié par l'intérêt et l'importance qu'occupe aujourd'hui l'équité en santé.

L'importance de cette rencontre est aussi exhaussée par l'élan de mobilisation d'un nombre important d'académiciens, de professeurs, de chercheurs, de personnalités scientifiques et de représentants de départements sectoriels concernés par les déterminants socioéconomiques de la santé ; ils sont ainsi invités à débattre des dernières données relatives aux inégalités et iniquités en santé, à réfléchir sur les meilleurs moyens pour les réduire, et à renforcer les liens de coopération intersectorielle.

Mesdames et Messieurs,

Comme vous le savez, certainement mieux que moi, l'équité en santé implique la répartition appropriée des ressources nécessaires pour assurer la santé, l'accès adéquat aux possibilités offertes et le soutien équitable offert à toute la population en cas de maladie. Pour atteindre cet objectif, on a besoin de disposer des données recueillies par les différents organismes notamment par le Conseil Economique, Social et Environnemental et l'Observatoire National du Développement Humain et surtout que soient renforcées la collecte et l'utilisation de données sur la situation relative aux iniquités en santé, sur les tendances dans ce domaine et sur les interventions permettant de s'attaquer à ces inégalités pour pouvoir orienter l'intervention et mesurer les progrès accomplis.

Parmi les objectifs assignés à votre rencontre, selon la note de cadrage, préparée par les organisateurs, c'est celui d'encourager la réflexion sur ces questions pour mettre en évidence les déterminants contextuels et structurels des inégalités et iniquités injustes et évitables, en matière de soins en santé par l'implication des chercheurs, des experts et des praticiens nationaux en utilisant les données factuelles disponibles.

A cet égard, et comme vous le savez aussi, le Maroc, à l'instar des autres pays, a bénéficié des avancées réalisées dans le domaine de la santé grâce notamment aux progrès scientifiques et technologiques. Ainsi, le programme d'immunisation a permis d'éradiquer certaines maladies ; les mesures de prévention et l'adoption de traitements appropriés ont permis d'éradiquer de nombreuses maladies et de contrôler bon nombre d'autres ; tandis que l'utilisation adéquate des technologies de pointe a contribué à améliorer la prise en charge des maladies et à diversifier l'offre de soins au Maroc. Concernant le contrôle des maladies infectieuses et épidémiques, le Maroc a relevé plusieurs défis, notamment l'amélioration de l'espérance moyenne de vie, et de la situation en matière de mortalité infanto-juvénile. Toutefois, ces résultats restent malheureusement parmi les plus préoccupants dans la région MENA et sont

liés à la pauvreté et la ruralité, et aussi à la difficulté d'accessibilité géographique aux services de soins de base (thème de votre workshop aujourd'hui).

Mesdames et Messieurs,

L'atelier que vous tenez aujourd'hui est une occasion de réfléchir et échanger sur les dernières données en iniquités en santé dans notre pays. Dans ce cadre, l'Académie agit essentiellement comme facilitateur entre différents organismes qui, eux, sont en charge de recueillir les données sur le système de santé et, le cas échéant, les iniquités de ce système; je pense notamment au Ministère de la santé et à cette initiative mise en place depuis 2005 par Sa Majesté Le Roi, que représente l'INDH. L'Académie quant à elle se préoccupant, selon la Loi la créant, surtout de la promotion de la recherche scientifique, de la diffusion de la culture scientifique et du développement de l'enseignement des sciences.

Mesdames et Messieurs,

Ayons toujours présent à l'esprit les objectifs fixés par Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu Le garde, dans Son message adressé aux participants à la célébration de la Journée mondiale de la santé, organisée pour l'année 2019 à Rabat sous le thème «Soins de santé primaires: la voie vers la couverture santé universelle», en déclarant que «*L'amélioration du système des soins de santé primaires devra s'inscrire comme un des piliers majeurs d'une nouvelle dynamique, concomitamment à l'engagement de progresser vers l'atteinte de la couverture santé universelle, à l'horizon 2030*».

Chers amis,

Permettez-moi à la fin de cette brève allocution, de renouveler mes sincères félicitations aux organisateurs de cette rencontre et aussi de présenter mes vifs remerciements aux éminentes personnalités scientifiques présentes avec nous, ils contribueront tous, j'en suis sûr, à enrichir vos débats. A tous je souhaite notamment la bienvenue aux collègues.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, qui s'enorgueillit d'être sous la protection tutélaire de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde, suivra avec beaucoup d'intérêt vos débats et les résultats de vos travaux et sera attentive à vos recommandations qui pourraient faire l'objet ensuite d'un rapport.

Je souhaite plein succès à votre journée et vous remercie pour votre attention.

Challenges and new perspectives in Mathematics

Présentation

Dans le cadre de ses activités, le Collège des Sciences de la Modélisation et de l'Information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a organisé les 14 et 15 novembre 2019 une rencontre scientifique autour des nouvelles perspectives et défis en mathématiques. L'objectif est de faire le point sur les avancées récentes dans divers problèmes d'actualité en Analyse, Géométrie, Probabilités et Equations aux dérivées partielles. Sept exposés d'une heure et quinze minutes chacun ont été présentés par des chercheurs confirmés dans leurs domaines respectifs et deux exposés de quarante minutes par de jeunes chercheurs. Cette rencontre a vu la participation de plus d'une soixantaine de chercheurs venus de plusieurs universités marocaines.

Allocution du Pr. Omar Fassi-Fehri

Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Honorables invités,

Chers collègues,

Mesdames et Messieurs,

Je voudrais tout d'abord exprimer le plaisir que j'éprouve de prendre la parole à l'ouverture de ces importantes journées sur le thème «**Défis et nouvelles perspectives en mathématiques**», organisées par le Collège des Sciences de la Modélisation et de l'Information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. L'importance de ces journées est rehaussée davantage par la présence des chercheurs confirmés venant de France et de Norvège ainsi que des doctorants venus plus particulièrement de différentes Universités marocaines. Je voudrais saisir cette occasion pour remercier vivement toutes les personnes présentes parmi nous, et féliciter les organisateurs, plus particulièrement, Messieurs les Professeurs Omar El-Fallah, El Maati Ouhabaz et Youssef Ouknine, chevilles ouvrières de ces deux journées, pour le choix du thème de cette rencontre amplement justifié par l'importance des mathématiques dans le développement des connaissances et du savoir et dans le progrès socio-économique des sociétés.

Cette rencontre scientifique est certainement une excellente opportunité pour débattre et réfléchir sur les défis et les nouvelles perspectives en mathématiques ainsi que sur l'évolution des mathématiques aujourd'hui et sur leur contribution dans la recherche scientifique et l'innovation technologique. C'est aussi une occasion pour renforcer davantage les relations de coopération scientifique et les liens de collaboration et de partenariat entre chercheurs marocains et leurs collègues étrangers.

Mesdames et Messieurs,

Les mathématiques comme vous le savez sont devenues aujourd'hui un outil transversal pour l'avancement de la technologie et de l'innovation. Au-delà de l'enseignement et du simple intérêt de l'avancement de la science et de la connaissance, les mathématiques jouent un rôle de plus en plus fondamental dans le développement économique et technologique. De nos jours, de nombreux problèmes en économie, en biologie, en santé, en communications, en énergie, etc., sont décrits par des équations ou des modèles mathématiques. Et pour étudier ces problèmes de manière rigoureuse et efficace, il faut faire des maths! Il faut savoir utiliser les outils mathématiques existants, mais aussi développer de nouveaux outils, et il faut donc faire de la recherche. Car ce qui s'écrit en langage mathématique doit être étudié avec les outils que cette science possède ou développe.

Les mathématiques sont devenues également un outil indispensable dans l'activité financière et notamment bancaire; tant au niveau de la modélisation et de la simulation de l'industrie financière qu'au niveau de la gestion du risque. Cette activité, comme vous le savez aussi, connaît aujourd'hui un essor profond et se détache à présent de ses points d'ancrage classiques pour prendre une entière autonomie en faisant appel à des théories nouvelles et complexes telles que le calcul stochastique, la statistique et l'analyse fonctionnelle. La révolution numérique et ses applications en matière d'intelligence artificielle et de "Big Data" ouvre des perspectives inimaginables dans pratiquement tous les domaines d'activité de l'homme.

Tout ça pour dire que contrairement à ce que peuvent penser certaines personnes, la recherche mathématique est aujourd'hui en pleine expansion et plus vivante que jamais, et cela en grande partie parce qu'elle doit répondre aux nombreux défis posés par le progrès technologique et ouvrir de nouvelles perspectives pour nos sociétés.

Mesdames et Messieurs,

Cette vivacité que connaissent les mathématiques à l'échelle internationale est aussi perceptible dans notre pays. Cela apparaît clairement dans le nouveau rapport institutionnel sur l'état de la recherche scientifique au Maroc que l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a édité en janvier 2019 où l'analyse bibliométrique, à partir de la base de données WOS, montre que les mathématiques occupent ces dernières années la première place dans la production scientifique marocaine, et qu'elles participent à hauteur de plus de 3‰ à la production mondiale. Ce qui les classe en tête par rapport aux autres disciplines. Un autre constat témoignant de la vivacité des mathématiques est le nombre important de manifestations scientifiques organisées chaque année dans notre pays, notamment par les chercheurs universitaires marocains. Ces deux constats montrent qu'il faut entretenir et renforcer davantage le potentiel scientifique en mathématiques dans notre pays et encourager de plus en plus la tenue de telles rencontres et multiplier les actions en faveur de la fluidification des transferts de connaissances et de la fertilisation croisée entre l'enseignement, la recherche et le monde des entreprises dans le respect des objectifs et des compétences de chacun.

L'organisation de votre rencontre a le mérite de contribuer à la réflexion sur ces questions et de dégager une vue d'ensemble sur les meilleurs moyens permettant le développement des mathématiques dans nos différents pays.

Cette situation nous a poussé à créer une structure pour des mathématiciens performants au Maroc et à l'étranger dédiée au développement au Maroc de la formation et de la recherche scientifique en mathématiques.

Les débats et les discussions issus de vos travaux de ces deux journées permettront également d'établir et de consolider une collaboration continue dans le temps, susceptible d'intégrer les utilisateurs de la recherche en mathématiques, par cercles concentriques, ce qui contribuera au développement de cette recherche afin qu'elle remplisse pleinement sa fonction comme moyen d'aide à la prise de décision et comme outil rapide et efficace adapté aux besoins de nos sociétés.

La tenue de cette rencontre est aussi une occasion privilégiée pour nos jeunes chercheurs de se tenir au courant des derniers développements dans le domaine de la recherche en mathématiques.

En conclusion, je voudrais renouveler mes félicitations aux organisateurs de cette journée et remercier les collègues étrangers présents et leur souhaiter la bienvenue dans notre pays.

Je souhaite plein succès aux travaux de ces journées et je vous remercie pour votre attention.

Advanced applications of emergent materials

Workshop international organisé par le Collège Sciences physiques et chimiques

Présentation

Le développement des "smart technologies" ces deux dernières décennies du 21ème siècle a entraîné l'apparition de nouveaux matériaux aux comportements parfois insolites. Conçus pour répondre à des besoins très spécifiques, ces matériaux dits émergents forment à eux seuls un domaine de recherche dont la vitalité et la capacité d'innovation sont sans égales. Qu'ils soient métalliques, céramiques ou polymères, qu'ils possèdent des structures inhabituelles (quasi cristaux, nanotubes de carbone,…) ou des propriétés extraordinaires (supraconductivité, mémoire de forme, capacité de stockage et de conversion de l'énergie), les matériaux émergents ont reçu un grand intérêt cette dernière décennie surtout après deux grands progrès en sciences des matériaux à savoir la découverte du graphène (Nobel de physique de 2010) et la découverte d'états exotiques de la matière caractéristiques de la phase topologique de la matière (Nobel de physique de 2016).

Stimulée par le développement des techniques expérimentales, telles que le grand succès des dispositifs à base de graphène, la dernière décennie tout particulièrement a été marquée par le développement rapide d'une longue liste de matériaux émergents avec une large gamme d'applications dans les domaines des dispositifs électroniques, la spintronique, la photonique, les technologies de communication et cryptage, de l'énergie, de la médecine et la santé, de l'espace et de l'environnement, … etc.

Plusieurs de ces applications ont été débattues dans l'atelier international organisé par le Collège des sciences physiques et chimique (CSPC) de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, en collaboration avec l'Université Mohammed V de Rabat et l'Université Euro med de Fès. Cet évènement scientifique a été inauguré officiellement par le professeur Omar Fassi-Fehri, Secrétaire Perpétuel de l'Académie, en présence de plusieurs personnalités nationales et internationales. En plus d'une septantaine de chercheurs et de doctorants nationaux, une vingtaine de participants étrangers ont contribué à cette rencontre internationale. Ces derniers sont venus d'une douzaine de pays étrangers d'Europe, d'Afrique, du Monde Arabe et même de la Russie et des USA.

Cette rencontre scientifique, organisée en neuf sessions animées par des experts, était une occasion aux participants d'exposer leurs résultats et leurs projets de recherche en cours. Cette manifestation scientifique internationale était aussi une opportunité aux chercheurs nationaux d'explorer les possibilités d'échanges scientifiques et techniques avec leurs collègues internationaux. Elle s'est étalée sur quatre journées; la première au siège de l'Académie; la deuxième et la troisième journée à la faculté des sciences et à l'institut scientifique de l'université Mohammed V de Rabat; et la quatrième journée à l'université Euromed de Fès.

Mot du président de l'Université Mohammed V de Rabat lu par monsieur Ismail Kassou, Vice-président de la recherche scientifique et de la coopération, en présence de Omar Fassi-Fehri, secrétaire perpétuel de l'Académie, Abdelilah Benyoussef, directeur du CSPC et Lalla Btissam Drissi, coordinatrice du workshop.

Allocution du Pr. Omar Fassi-Fehri

Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Honorable assistance,

Chers invités,

Mesdames et Messieurs,

D'abord, je me permets d'exprimer mon plaisir de participer, avec vous, à cette séance d'ouverture du workshop international sur le thème «les applications avancées des matériaux émergents», l'importance de cette rencontre est incontestable et je suis particulièrement reconnaissant au Collège des sciences physiques et chimiques de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et du Comité d'organisation pour une telle initiative dont l'intérêt, tant sur le plan scientifique que technologique, est incontestable.

Je voudrais donc souhaiter la bienvenue à tous les participants et un agréable séjour dans notre pays à ceux venus de plusieurs pays (France, Allemagne, Suède, Espagne, Italie, USA, Russie, Soudan, Algérie, Mauritanie, Côte d'ivoire, Tunisie); comme je félicite le comité d'organisation et tous les responsables de cette manifestation et à leur tête Mme Lalla Btissam Drissi.

Mesdames et Messieurs,

Le thème que vous avez choisi pour votre rencontre, à savoir «les applications avancées des matériaux émergents» est un thème très intéressant car le développement de presque tous les produits repose de manière très importante sur celui des matériaux. Ainsi l'avènement, par exemple, des matériaux composites ou les matériaux électroniques organiques a conduit à un saut technologique très marqué. Une nouvelle génération de matériaux, les matériaux dits «intelligents» ou «adaptatifs», devrait conduire dans les prochaines années à un nouveau saut technologique.

La disponibilité de ces nouveaux matériaux, répondant à des spécifications toujours plus exigeantes en termes de performances techniques spécifiques, de fiabilité, d'économie d'élaboration, de durabilité, d'impact environnemental et de capacité de recyclage, figure aujourd'hui au cœur de la recherche-développement de pointe et du processus d'innovation. Cette capacité de recherche et d'innovation repose sur la conception originale de composants avancés pour les nouvelles technologies utilisées dans les domaines de la sécurité globale, de l'énergie, de l'information et de la santé.

Conscients de ces enjeux, les physiciens et les chercheurs s'orientent vers la mise au point de matériaux et des processus émergents, tels que les matériaux biologiques pour des applications durables, les métaux pour les besoins du transport, des matériaux sophistiqués pour la technologie numérique et les applications biomédicales.

Comme vous le savez, la production de ces matériaux émergents (matériaux piézoélectriques (structures adaptatives pour le contrôle de vibration) ou ceux qui sont en train d'émerger (polymères électroactifs, matériaux biologiques) ont des applications pratiques et vont de plus en plus occuper un rôle majeur dans la production industrielle de demain, par exemple signalons pour les matériaux à mémoire de forme dits pseudo-élastiques, application : changement de réseau cristallin, après changement de température et déformation (retrouvent la forme initiale – applications puits.

Grâce au couplage des effets mécaniques avec des effets électriques, magnétiques..., ces matériaux se déforment sous l'action de forces, bien sûr, mais aussi de différences de potentiel, de champs

magnétiques... Inversement, lorsqu'ils sont soumis à des déformations, ils génèrent des différences de potentiels, des champs électriques. Ces propriétés d'interactions et de «régénération» permettent de les utiliser dans plusieurs technologies en tant qu'actionneurs ou capteurs pour effectuer le contrôle adapté de structures.

L'évolution de la recherche scientifique durant ces dernières années dans le domaine des sciences des matériaux, combinée à la modélisation mathématique et au calcul scientifique, ouvrent des horizons très prometteurs. Il est donc nécessaire que notre pays s'implique avec force pour développer ces nouveaux matériaux, soutenir et renforcer nos capacités scientifiques et techniques dans ce domaine et développer des compétences dans le domaine des matériaux intelligents et structures adaptatives.

Les champs variés d'applications rendent donc les sciences des matériaux omniprésentes dans la vie quotidienne des citoyens notamment dans le secteur des transports, de santé, de logement et de l'environnement.

Mesdames et Messieurs,

Votre workshop qui réunit des chercheurs, des spécialistes, des enseignants-chercheurs et des doctorants, venus de plusieurs pays, ainsi que des opérateurs intéressés et concernés par les thèmes de vos travaux est une excellente occasion pour élaborer une collaboration continue dans le domaine des sciences des matériaux.

Je voudrais en conclusion encore féliciter les organisateurs de cette rencontre et tous ceux qui y ont contribué à sa préparation et à sa tenue, je remercie vivement les collègues étrangers venus participer aux travaux de cette manifestation et leur souhaite la bienvenue dans notre pays. Je souhaite enfin à vos travaux réussite et succès.

Merci pour votre attention.

Activités de l'Académie

Activités des Collèges

Le second semestre de l'année 2019 a été riche en activités diverses organisées par les 6 Collèges scientifiques qui constituent l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Conférences internationales, ateliers, séminaires ou sessions ordinaires ont connu un réel succès auprès du grand public comme du côté des chercheurs et des décideurs. Les jeunes ont aussi montré un intéressement de plus en plus marqué lors de la manifestation annuelle dite «Les jeunes et la science au service du développement» organisée comme de coutume avec la collaboration de nos académiciens.

Les manifestations des Collèges ont ainsi touché à plusieurs disciplines telles que les mathématiques, la chimie, la physique, les sciences de la Terre, les sciences du vivant ou encore l'économie, donnant ainsi la parole à d'éminents intervenants nationaux ou étrangers. L'Académie a également montré ses préoccupations dans le développement de secteurs tels que la santé au Maroc, l'emploi, ou encore la relation université-entreprise, en organisant des journées d'études dans ces domaines en partenariat avec des organismes nationaux.

1. La célébration par les Nations Unies de l'Année internationale du Tableau périodique des éléments chimiques de Mendeleïev, a été adopteé par l'Académie pour en faire le thème principal des journées «Les jeunes et la science au service du développement» organisées du 19 novembre au 26 décembre 2019 à travers le Royaume. A cet égard, Monsieur Le Secrétaire Perpétuel a donné une conférence au cours de la cérémonie de lancement de ces journées sur le thème : «Genèse des éléments chimiques dans l'univers primordial».

Quatre Collèges ont également contribué à ces journées :

- **Collège «Sciences physiques et chimiques» :** quatre conférences ont été données par :
  - Pr. El Mokhtar Essasi «*Sciences physiques et Tableau périodique*»,
  - Pr. Rajaa Cherkaoui El Moursli «*Comment s'est créée la matière ?*»,
  - Pr. Abdelilah Benyoussef «*Matériaux pour la conversion et le stockage de l'énergie*»
  - Pr. Lalla Btissam Drissi et collaborateurs. «*Historique de la classification périodique des éléments*».

Un atelier de formation sur l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) a par ailleurs été organisé au Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation (CRMEF) de la région Fès-Meknès. Très sollicitée, cette activité a contribué, entre autres, à la formation de professeurs du cycle secondaire (filière sciences physiques et chimiques) ainsi que des élèves du CRMEF, qui ont été initiés aux méthodes d'enseignements pratiques assistées par ordinateur.

Participants à la séance d'ouverture de l'atelier sur l'ExAO au CRMEF de la Région Fès-Meknès

- **Collège «Sciences et techniques du vivant»** : Trois conférences ont été données par :
  - Pr. Claude Griscelli «*Le système immunitaire, sa complexité dans la défense anti-infectieuse et en cancérologie*»;
  - Pr. Abdelkarim Filali-Maltouf «*Biodiversité végétale et microbienne au Maroc, atouts et acquis pour un investissement scientifique profitable*»;
  - Pr. Hassan Belarbi Haftallaoui «*Biotechnologie des micro-algues: opportunités commerciales*».

Par ailleurs, Pr. Abdelkarim Filali-Maltouf a organisé une visite des collections de l'Institut Scientifique de l'Université Mohammed V de Rabat qui a été suivie d'un débat avec les Doctorants.

Pr. Sellama Nadifi a animé plusieurs conférences à Casablanca et a organisé, au profit des élèves de quelques établissements secondaires, des visites de laboratoires à l'Institut Pasteur et à l'Université Internationale de Casablanca, la Faculté des Sciences de la Santé.

- **Collège «Ingénierie, transfert et innovation technologique» :** Trois conférences ont été animées par :
  - Pr. Ali Boukhari «*Histoire et contenu du Tableau de Mendeleïev*»;
  - Pr. Mahfoud Ziyad «*De l'atome à la molécule, le monde complexe des éléments du Tableau périodique*»;
  - Une troisième conférence fut animée par Pr. Abdeslam Hoummada sur le thème «*Genèse des éléments chimiques de l'univers primordial au supernovas*».
- **Collège «Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer» :** Trois conférences ont été données par Pr. Ahmed El Hassani sur la «*Promotion de la culture scientifique*» respectivement au Lycée Mohamed Ben Abdelkrim Khattabi à Nador, au Lycée Moulay Ismail de Meknès et à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

D'autres conférences ont été assurées par des professeurs universitaires durant les deux journées organisées à la ville de Nador (Lycée Mohamed Ben Abdelkrim Khattabi) avec le concours du «Club Scientifique» parrainé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Les thèmes abordés durant ces journées concernaient la promotion de la culture scientifique, le volcanisme et ses potentialités en géomatériaux, les géosites touristiques, l'écologie-biodiversité, les ressources en eaux et le risques sismique.

Le Programme a été couronné par la visite de l'aciérie SONASID où les élèves et leurs professeurs ont pu suivre avec intérêt le processus de laminage du fer dont l'utilité est très grande dans plusieurs domaines de la vie courante.

Les participants aux Journées «les Jeunes et la Science au service du développement» au Lycée Abdelkrim Khattabi de Nador

2. Autres activités des Collèges

- Rencontre nationale organisée à l'université Euromed de Fès (UEM) les 14 et 15 juillet 2019 par le **Collège «Sciences physiques et chimiques»** sur le thème «**Fabrication additive**». Cette rencontre a permis de réunir des chercheurs nationaux dans ce domaine de recherche scientifique et technique en vue de stimuler un réseautage dans cette thématique de recherche à fort potentiel de développement (industrie, smart technologies, santé ...). Elle a été aussi une occasion de débattre de l'état de la fabrication additive au Maroc.

- Atelier international organisé les 17 et 19 juillet 2019 à Rabat et à Tanger par le **Collège «Sciences physiques et chimiques»** sur le thème «**Soft Computing and data mining for energy, environment & health**». Cet atelier s'est focalisé sur des problématiques de l'énergie et de l'environnement mais aussi sur les applications avancées dans plusieurs domaines dont celui de la santé. Cette manifestation a été inaugurée par Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie, qui a prononcé une allocution suivie de conférences sur les divers aspects du soft computing, du traitement des "Big-data" et de "l'IoT", (l'internet des objets). Cette rencontre a connu la participation de chercheurs venus d'une dizaine de pays.

Les participants à l'atelier: Soft Computing and data mining for energy, environment & health

- «**Emploi et développement pour des politiques publiques centrées sur l'emploi**», conférence internationale organisée le 5 novembre 2019 au siège de l'Académie Hassan II des Sciences et Technqiues par le **Collège «Etudes stratégiques et développement économique»**, en partenariat avec l'IRES (Institut Royal des Etudes Stratégiques) ;

Pr Mohamed Berriane modérateur du panel «Quel emploi pour quel développement ?» auquel ont pris part M. Mohammed Tawfik Mouline, Directeur général de l'IRES et les membres de l'Académie, MM. Mohammed Kabbaj, Rachid Benmokhtar Benabdallah et Noureddine El Aoufi

Une vue de l'assistance

- «**Relation université - entreprise : les clés de la réussite**», séminaire organisé le 7 novembre 2019 au siège de l'Académie Hassan II par le **Collège «Ingénierie, transfert et développent technologique»**. Les objectifs de ce séminaire étaient les suivants : - rappeler les meilleurs pratiques internationales actuelles en la matière, en mettant l'accent sur les mécanismes de réussite disponibles; - tirer les enseignements sur les dispositifs pratiques actuellement opérationnels au Maroc et examiner les diverses propositions figurant dans les études réalisées; - révéler les principales entraves qui pèsent sur le système actuel et préconiser des solutions.

- «**Challenges and new perspectives in mathematics**», journées organisées les 14 et15 novembre 2019 par le **Collège «Sciences de la modélisation et de l'information»**;

- «**Les iniquités en santé au Maroc, une initiative vers une évaluation participative**», atelier organisé le 2 décembre 2019 par le **Collège «Sciences et techniques du vivant»**, en partenariat avec le Conseil Economique, Social et Environnemental, le Ministère de la Santé, l'Agence Nationale de l'Assurance Maladie et l'Observatoire National du Développement Humain. Cette initiative s'appuie sur le besoin de générer des connaissances scientifiques solides dont le but, à terme, est de fournir les données les plus fiables afin d'éclairer les politiques pour la prise de décision, d'élaborer des politiques et de développer des stratégies basées sur les données factuelles, d'informer le public et d'engager les citoyens dans l'action concertée participative.

- Atelier international sur les **«Matériaux Emergents et Applications Technologiques Avancées»**, organisé les 4 et 7 décembre par le **Collège «Sciences physiques et chimiques»**. Stimulée par le développement des techniques

expérimentales telles que le grand succès des dispositifs à base de graphène, la dernière décennie tout particulièrement a été marquée par le développement rapide d'une longue liste de matériaux émergents avec une large gamme d'applications dans les domaines des dispositifs électroniques, la spintronique, la photonique, les technologies de communication et cryptage, de l'énergie, de la médecine et la santé, de l'espace et de l'environnement, etc.

Une vingtaine de participants étrangers venus d'Europe, d'Afrique, du Monde arabe et même de la Russie et des USA, ont contribué, à côté des doctorants marocains, à la réussite de cette rencontre internationale qui s'est étalée sur 4 journées.

3. La troisième édition de l'Ecole d'été a été organisée du 11 au 13 juillet 2019 à Ifrane par le **Collège «Sciences et techniques du vivant»**, en collaboration avec l'Université Al Akhawayn, sur le thème «**Variations du génome humain et leurs applications en médecine et en identification génétique**». Elle a été destinée à une vingtaine de doctorants marocains et africains menant des recherches dans le domaine de la génomique humaine, les différentes sessions de l'école ayant été animées par des spécialistes reconnus du Maroc et de l'étranger. Le programme de cette manifestation scientifique s'est déroulé en quatre sessions dédiées aux applications des variations du génome humain dans le diagnostic et la recherche sur les maladies génétiques, dans la pharmaco génomique et la réponse aux traitements, dans l'identification génétique des personnes et dans la génétique des populations. Un Workshop a été consacré à l'utilisation des outils bioinformatiques pour mieux comprendre et interpréter les conséquences des variations du génome humain en pratique médicale.

4. Une session ordinaire organisée le 8 juillet 2019 a été consacrée à la présentation, par la Direction des programmes de l'Académie, du bilan du programme d'appui à la recherche scientifique et technique ainsi qu'à l'évaluation, en vue de son amélioration, de la procédure de sélection et de suivi des projets de recherche que l'Académie finance dans ce cadre.

5. Plusieurs réunions de travail relatives à la préparation de la Session plénière solennelle 2020 ont été nécessaires au **Collège «Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer»** pour tisser le programme final, qui a été discuté et validé lors de la session ordinaire du 27 septembre 2019. Cette Session plénière solennelle, dont le thème arrêté est : «**Patrimoine naturel et développement durable**», est programmée du 25 au 27 février 2020 et intéressera trois volets principaux (l'eau, la géologie et la forêt).

6. Une rencontre avec les lauréats **du Concours Général en Sciences et Techniques** (CGST) a eu lieu le 24 juillet 2019 au siège de l'Académie Hassan II. En présence des membres de l'Académie, des anciens et des nouveaux lauréats et de leurs familles, Monsieur Le Secrétaire Perpétuel a prononcé une allocution qui a été suivie de la cérémonie de remise, aux nouveaux lauréats, des attestations d'attribution de l'allocation d'excellence et d'une réception en l'honneur des présents. L'Académie Hassan II aura ainsi attribué, depuis l'année 2010, 78 bourses d'excellence dont 45 sont toujours reconduites certains lauréats ayant été financés jusqu'à obtention de leurs doctorats au sein d'universités prestigieuses.

7. Plusieurs réunions de travail du comité scientifique restreint de l'Académie ont eu lieu en cette fin d'année afin de préparer le **3ème congrès du Conseil africain de l'innovation scientifique et de la recherche (ASRIC)** dont l'Académie assure la vice-présidence. (voir Bulletin N°24 de décembre 2018, pp.113 et 114).

"Soft computing and data mining for energy, environment & health"

Les deux premières décennies du 21ème Siècle ont été marquées par une accélération dans le développement scientifique et technique; la connaissance humaine et le savoir-faire technique ont été poussés vers un horizon jamais atteint. Les machines ont acquis un degré d'intelligence artificielle plus avancé et prennent de plus en plus de place au détriment de l'humain. Dans ce contexte, le Collège des sciences physiques et chimiques (CSPC) de l'Académie Hassan II des sciences et techniques a organisé, en collaboration avec des partenaires nationaux et internationaux, un atelier sur le soft computing, le data mining axé sur des problématiques de l'énergie et de l'environnement mais aussi des applications avancées dans des domaines comme celui de la santé.

Séance d'ouverture de l'atelier par Monsieur le Secrétaire perpétuel de l'Académie Omar Fassi-Fehri, Monsieur le directeur du CSPC Abdelilah Benyoussef et Madame Lalla Btissam Drissi, coordinatrice de la rencontre.

La première journée de cette rencontre scientifique internationale a été inaugurée par monsieur le secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des sciences et techniques par une allocution sur des défis des premières décennies du 21ème siècle dont les problématiques de traitement de l'information et de l'analyse des grandes masses de données dans ses divers états. La suite de la journée a été animée par des conférenciers de renoms qui ont couvert plusieurs aspects du "soft computing", du traitement des grands amas de données et de l'IoT, (l'internet des choses). Cette rencontre a connu la participation de chercheurs venues d'une dizaine de pays.

Anders Bergman, Uppsala University, Sweden

Les autres journées de cette activité se sont déroulées en dehors des locaux de l'Académie. Une journée s'est tenue à l'université Mohammed V de Rabat; elle a été ouverte à tous les doctorants et les chercheurs nationaux travaillant dans ce domaine de grande actualité. Outre les présentations de chercheurs nationaux et étrangers, des contributions scientifiques de structure de recherche de la faculté des sciences de Rabat sous forme d'affiches a permis aux doctorants de présenter aussi leurs résultats et d'établir des contacts avec les chercheurs étrangers.

Une visite guidée, des participants à l'atelier international, à des plates formes scientifiques et techniques à Tanger a été effectuée. Cette visite a été coordonnée avec des chercheurs de l'École nationale supérieure de l'administration (ENSA) et de la Faculté des Sciences et Technqiues (FST) de l'université Abdelmalek Essaâdi. Outre la présentation de leurs résultats et le débat des problématiques et des applications dans cette thématique scientifique en plein essor, la rencontre scientifique du CSPC sur le "soft computing" et le "data mining" a été aussi un forum et un important rendez-vous aux chercheurs nationaux travaillant dans des domaines ayant trait à l'information et à l'exploration des données de se rencontrer et d'explorer les possibilités de coopération.

La fabrication additive

La rencontre nationale sur la fabrication additive a été organisée à l'université Euromed de Fès (UEMF) les 14-15 Juillet 2019 en étroite collaboration avec le Collège SPC de l'Académie Hassan II. Elle vise la contribution à réunir des chercheurs nationaux dans ce domaine de recherches scientifiques et techniques en vue de stimuler un réseautage dans cette direction de recherche qui dispose de nombreuses applications potentielles dans l'industrie, les "smart technologies", la santé entre autres.

Planifiée par le collège des sciences physiques et chimiques et coordonnée par L.B Drissi membre du CSPC, une recherche bibliographique sur ce qui se fait dans notre pays en ce qui concerne la fabrication additive a été entreprise ; et une première liste de chercheurs travaillant dans cette thématique a été élaborée. Des contacts ont été établis et un programme avec un recueil de résumés de présentations scientifiques pour une rencontre nationale du 14 au 15 juillet 2019 a été diffusé. La première journée de cette manifestation scientifique a été réservée à l'accueil des participants à cette édition nationale ; elle a été suivie d'une séance de présentation des participants, de leurs expertises ainsi que l'exploration des possibilités de mutualisation des moyens techniques et des compétences en vue de promouvoir une coopération dans cette thématique d'avant-garde. Durant cette réunion, L.B Drissi du Collège SPC et coordonnatrice de cette activité a présenté le principal objectif de cette rencontre et a saisi cette occasion pour transmettre aux participants à cette manifestation scientifique et technique les encouragements de Monsieur le secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II. Suite à cette séance de travail, une cellule de suivi, coordonnée par L.B Drissi, a été mise en place pour renforcer les contacts entre chercheurs nationaux dans ce domaine et pour la diffusion de l'information scientifique et technique.

La journée du 15 Juillet 2019 a démarré par un exposé de L.B Drissi du programme de la journée et du recueil des résumés des présentations scientifiques orales dont la première a été donnée par le président de l'Université Euromed de Fès. Dans son allocution, Professeur M. Bousmina a tout d'abord souhaité la bienvenue aux participants avec un bref aperçu sur les activités entreprises au sein de l'UEMF; en mettant l'accent sur celles ayant trait avec le domaine des sciences et techniques. Il a enchainé avec une présentation scientifique générale sur la fabrication additive dont l'UEMF est pionnière sur le plan national. Il a aussi survolé des progrès réalisés ces dernières années et des perspectives futures. Il a également invité les participants à développer des collaborations scientifiques dans cet axe de recherche.

La suite de la journée a fait l'objet de plusieurs présentations spécialisées données par une dizaine de chercheurs exerçants dans des institutions nationales (publiques et privées); et dont certains participent à la réalisation de projets de coopération nationaux ou internationaux. Ces présentations ont été une occasion aux orateurs pour répondre à plusieurs questions des participants notamment en ce qui concerne les applications potentielles de la fabrication additive (soustractive) dans l'industrie, l'environnement et la santé.

Prof Mosto Bousmina à la séance d'ouverture

Cette rencontre nationale a été aussi une occasion de débattre de l'état de la fabrication additive au Maroc. A cet égard, un certain nombre de structures de recherche nationales ont été identifiées lors de cette rencontre; nous citons : Le centre de recherche de l'université Euro med de Fès qui dispose de gros moyens techniques et d'un grand savoir-faire; Le LAMAT du Centre de recherche en Sciences et Technologies de l'Ingénieur et de la Santé (STIS) de l'Université Mohammed V de Rabat; les équipes de recherches MMC, IIMSI et GAT ainsi que Laboratoire des Technologies de l'Information et de la Communication de la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'université Abdelmalek Essaâdi; le Laboratoire de Modélisation des structures et systèmes mécaniques M2SM de l'École Normale Supérieure de l'Enseignement Technique de Rabat (ENSET); l'équipe de caractérisation des nouveaux matériaux de l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Meknès (ENSAM) de l'Université Moulay Ismail; et le Laboratoire des Technologies de l'Information et de la Communication de l'École Nationale des Sciences Appliquées de Tanger (ENSA). La rencontre a été également une opportunité d'avoir une idée sur l'ouverture des chercheurs nationaux sur le secteur privé et sur la coopération internationale où des initiatives ont été notées. Il s'agit de collaborations avec le Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance, Université de Bretagne occidentale; avec Thales 3D Maroc ainsi qu'avec Thales Las France SAS.

A la fin de ce bref rapport, nous signalons que lors de la pause déjeuner, le centre de recherche de l'Université Euromed de Fès, en coordination avec le CSPC, a organisé une visite guidée de la plateforme scientifique et technique de l'UEMF; cette visite très instructive a permis aux participants de découvrir des machines de la fabrication additive, leurs fonctionnements et ce qu'on peut fabriquer avec elles; des prototypes réalisés au centre de l'Université Euro med ont été examinés de près. Signalons aussi que lors de la séance de clôture de cette rencontre nationale, des participants à cet événement ont tenu à exprimer leurs vifs remerciements pour cette initiative au Collège SPC de l'Académie Hassan II et à l'Université Euro med de Fès, qui leurs a permis d'établir des contacts directs entre chercheurs nationaux dans ce domaine en plein essor et de voir de près de récents développements réalisés dans ce domaine.

Lalla Btissam Drissi
Coordinatrice de la rencontre

HASSAN II ACADEMY OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY
RABAT - MOROCCO

جامعة الأخوين
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵏ ⵓⵅⴰⵡⵉⵏ
AL AKHAWAYN
UNIVERSITY

Avec le support / With support from

AMCI

Summer School

Organized by the Hassan II Academy of Science and Technology, Rabat, in close cooperation with Al Akhawayn University, Ifrane, Morocco

on

Human genome variation: applications in human medicine and genetic identification

from 11 to 13 july 2019

Ecole d'été

organisée par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, en collaboration avec l'Université Al Akhawayn, Ifrane, Maroc

sur

Variations dans le génome humain: applications en médecine et en identification génétique

du 11 au 13 juillet 2019

Université Al Akhawayn, Ifrane, Maroc

L'**Académie Hassan II des Sciences et Techniques (AHIIST)**, en collaboration avec l'**Université Al Akhawayn** et avec le soutien de **l'Agence Marocaine de Coopération Internationale**, a organisé du 11 au 13 juillet 2019 à Ifrane, sa troisième Ecole d'été sur le thème : **"Variations du génome humain : application en médecine et en identification génétique"**.

Le choix par le Collège des Sciences et Techniques du Vivant (CSTV) de cette thématique a été inspiré par les progrès fulgurants réalisés ces dernières années dans le domaine de la génomique, de la bio-informatique et de la robotisation. Le séquençage du génome humain a révélé que 99,5% de l'ADN des êtres humains est identique. Les variations interindividuelles comprennent néanmoins quelques millions de variants, notamment des polymorphismes mononucléotidiques simples (SNP), des insertions et des délétions de séquences courtes (indels) et des variations de nombre de copies. En pathologie humaine, des variants génétiques rares, situés en particulier dans les régions codantes du génome, sont associés à des maladies héréditaires monogéniques. Des interactions complexes entre l'environnement et des variants génétiques plus fréquents, sont à l'origine de maladies chroniques comme le diabète ou l'hypertension artérielle. La variabilité interindividuelle de la réponse aux médicaments s'explique également par des polymorphismes génétiques, qui affectent des gènes codant pour des protéines impliquées dans le métabolisme des drogues. L'étude de la variabilité du génome humain, associée à la différence de réaction des patients aux médicaments est à la base de la pharmacogénomique et des nouvelles thérapies ciblées. Dans le domaine de l'identification génétique des personnes, l'engouement pour les variants SNP ne cesse de croître, aux dépens des variants STR (répétitions courtes en tandem) longtemps utilisés dans les applications médico-légales. Ces SNP sont également des marqueurs de choix en anthropologie moléculaire. Ils permettent d'élucider l'origine ethnique des individus et de suivre les mouvements migratoires des populations.

Pour débattre de l'apport de la génomique à ces différents domaines médico-scientifiques, l'AHIIST a invité à sa troisième Ecole d'été un parterre d'experts nationaux et internationaux de France, de Grèce et du Mali. 22 jeunes doctorants, sélectionnés sur dossier par un comité scientifique, ont participé à cette Ecole d'été. Ils ont été invités à présenter leurs travaux de recherche dans un cadre unique de partage et d'échange avec des experts de renom. Parmi ces doctorants, 5 sont originaires des pays africains (deux du Sénégal, un du Bénin, un de la République démocratique du Congo et un du Rwanda)

La cérémonie d'ouverture de la troisième Ecole d'été de l'AHIIST a été marquée par le discours d'ouverture du Professeur Sellama Nadifi, Directrice du Collège des Sciences et Techniques du Vivant (CSTV) de l'AHIIST, qui a souhaité la bienvenue, au nom du Secrétaire Perpétuel de l'AHIIST, aux différents participants nationaux et étrangers. Le Professeur Nadifi a remercié vivement le Président et le personnel de l'Université Al Akhawayn pour l'accueil chaleureux et pour le cadre agréable et les moyens logistiques qu'ils ont mis à la disposition des participants, afin de réussir cette manifestation scientifique. La Directrice du CSTV a fait également une brève présentation des missions de l'AHIIST dans le cadre desquelles est organisée cette Ecole d'été. Le Professeur Abdelaziz Sefiani, membre résident de l'AHIIST, est revenu sur les raisons du choix de la thématique de cette Ecole d'été et a présenté à l'assistance le programme scientifique et les principaux champs d'application du séquençage du génome humain qui seront débattus. Le Professeur Khalid Sendide, enseignant-chercheur à l'Université Al Akhawayn et membre du comité d'organisation de cette Ecole d'été, a souhaité dans son intervention, au nom du Président de l'Université Al Akhawayn, la bienvenue aux différents participants et a exprimé la grande satisfaction de l'Université Al Akhawayn de la collaboration avec l'AHIIST et a formulé les vœux de voir ces écoles d'été devenir une véritable tradition. Le Professeur Abdelkarim Filali-Maltouf, membre correspondant de l'AHIIST et du comité d'organisation, a donné à l'assistance des informations pratiques sur le déroulement des travaux de l'Ecole d'été organisée en 4 sessions thématiques et un atelier pratique.

La **première session** dédiée aux **"variants de l'ADN et les maladies génétiques** a été modérée par le Professeur Yaya Kassogue (Mali) et le Professeur M. ElFahim (CNRST, Rabat)

Le Professeur Nicolas LEVY, Chef du Département de Génétique Médicale, CHU Timone, AP-HM, et Fondateur de l'Institut de Génétique pour l'Innovation et la Science des Thérapies des Patients à Marseille, a présenté la première conférence de cette Ecole d'été intitulée : **"De la médecine génomique aux thérapies ciblées dans les maladies génétiques rares".** Après avoir rappelé la grande hétérogénéité génétique des maladies rares, plus de 8000 maladies touchant 50 millions de sujets dans la zone méditerranéenne, le Professeur Lévy a souligné l'extraordinaire évolution des technologies de séquençage de l'ADN, qui permettent aujourd'hui de lire le génome humain dans son intégralité en quelques jours, avec un coût abordable. Ce changement d'échelle permet aux médecins généticiens et aux chercheurs d'envisager l'utilisation de cet outil de séquençage pour mieux comprendre certaines maladies rares et rapidement les diagnostiquer. L'accélération des développements thérapeutiques sera, selon le Professeur Lévy, la prochaine révolution. En effet, plusieurs études thérapeutiques précliniques et cliniques sont en cours, utilisant des approches pharmacologiques et, plus récemment, des thérapies dites «innovantes» comme les thérapies géniques et cellulaires. Pour illustrer ses propos, le Professeur Lévy a donné des exemples issus des travaux de son équipe, en particulier certaines pistes thérapeutiques prometteuses dans des maladies musculaires et dans le vieillissement prématuré. Le Professeur Lévy a conclu son intervention en s'interrogeant, compte tenu du coût élevé de ces nouvelles thérapies destinées à de petites populations, sur la capacité à concevoir non seulement des traitements efficaces et sûrs, mais aussi des traitements éthiques et économiques, pour assurer un accès équitable des patients au meilleur traitement possible.

La deuxième conférence de cette première session intitulée : **"identification des variants d'ADN pathogènes dans les maladies héréditaires et impact sur la politique de santé marocaine"** a été présenté par **le Professeur Siham Chafai ElAlaoui**, médecin généticienne à l'Institut national d'hygiène et enseignante-chercheur à la Faculté de médecine et de pharmacie de Rabat. Le Professeur ElAlaoui a rappelé le fardeau que représente les maladies génétiques pour la santé publique au Maroc, en raison de leur hétérogénéité clinique et génétique, de leur morbidité et mortalité, et des handicaps physiques et mentaux qu'elles entrainent. Parmi les facteurs qui expliquent ce Fardeau, le professeur ElAlaoui a cité : les mariages consanguins et le manque de mesures de santé publique visant à prévenir ces maladies. L'introduction progressive des tests génétiques en santé publique permet d'améliorer la qualité des soins, grâce en particulier à des diagnostics plus précis et plus rapides et des conseils génétiques aux familles plus personnalisés. Le Professeur

ElAlaoui a souligné les efforts déployés par différents laboratoires marocains pour introduire, en diagnostic de routine, de nouvelles approches basées sur les explorations du génome humain. Le grand défi auquel sont confrontés ces laboratoires, est la mise au point de tests génétiques pertinents, adaptés à l'épidémiologie moléculaire de la population locale et surtout à des prix abordables pour le patient. Le Professeur ELAlaoui a expliqué à l'assistance que les stratégies de diagnostic génétique dépendent de l'hétérogénéité génétique et alléliques de la maladie, de la taille des gènes d'intérêt, de l'existence de mutations récurrentes ou de régions "hotspots" dans la population. Le diagnostic moléculaire peut faire appel à des tests simples comme la technique PCR ou le séquençage Sanger ciblé de l'ADN, comme il peut nécessiter un séquençage nouvelle génération et une expertise confirmée pour l'interprétation des résultats. Le Professeur ElAlaoui a exposé à travers des exemples, les efforts déployés par son équipe pour l'introduction des tests génétiques en pratique médicale et comment ces analyses permettent aujourd'hui des diagnostics précis et rapides réduisant ainsi la longue odyssée des patients et leurs familles en quête de diagnostics.

La **deuxième session** dédiée à la suite de la thématique **"Variants de l'ADN et les maladies génétiques** a été modérée par Evangelia-Eirini Tsermpini, Grèce et Joumana El Turk (Université Internationale de Casablanca)

Le **Docteur Lekbir BAALA**, Directeur de la plateforme Pangénomique et transcriptomique (GENOTRANS), Orléans, France, a présenté dans cette session une conférence sous le titre **"Hétérogénéité clinique et variations génétiques dans les ciliopathies".** L'orateur a commencé par rappeler l'important rôle joué par les cils des mammifères dans la signalisation cellulaire, le développement embryonnaire et dans les différentes voies de signalisation. Les anomalies de la structure ou de la fonction des cils cellulaires sont associées à un large spectre de pathologies cliniquement et génétiquement très hétérogènes, et qu'on groupe aujourd'hui sous le terme de ciliopathies. Ces pathologies concernent plusieurs organes et fonctions, avec de nombreux chevauchements phénotypiques et génétiques. Ces maladies représentent donc un continuum des mêmes anomalies sous-jacents. Pour illustrer cette grande hétérogénéité des ciliopathies, le Docteur Baala a présenté les résultats de travaux de recherche qui concernent le syndrome de Joubert et le syndrome de Meckel, appartenant tous les deux au groupe des troubles autosomiques récessifs du développement. Il a montré la puissance des analyses de liaison génomique, lorsque les familles étudiées sont soigneusement sélectionnées, et l'utilité de la génomique comparative dans des modèles murins. Ces approches ont permis au groupe du Docteur Baala d'identifier, dans ces deux syndromes, des mutations faux-sens et des mutations tronquantes dans un gène appelé *RPGRIP1L*. Ces résultats enrichissent les connaissances sur les ciliopathies et permettent de mieux comprendre leurs mécanismes biologiques et moléculaires. Le Docteur Baala a conclu son intervention en soulignant que l'identification des gènes impliqués dans les ciliopathies permet aujourd'hui de mettre en place des stratégies de diagnostic moléculaire spécifiques et adaptés à ces maladies.

La deuxième conférence de cette session, a été présentée par **Ahmed Bouhouche**, Professeur de génétique à la Faculté de médecine et de pharmacie de Rabat et responsable du laboratoire de neurogénétique, sous le titre **"Origine ethnique des groupes humains par l'étude des mutations fondatrices. Cas de l'Afrique du Nord et mutation LRRK2 G2019S responsable de la maladie de Parkinson".** L'effet fondateur, expliqué par le Professeur Bouhouche, est lorsqu'un petit groupe se sépare de la population d'origine pour former une nouvelle population avec moins de diversité génétique. Par exemple, plus on s'éloigne de l'Afrique, berceau de l'humanité, moins nous observons de diversité génétique. L'étude de l'effet fondateur, peut renseigner sur l'origine des populations et retracer l'histoire de leurs migrations. Pour déterminer l'origine de la population nord-africaine, l'équipe du Professeur Bouhouche a étudié la mutation fondatrice G2019S du gène *LRRK2*. Cette variation génétique est la mutation la plus fréquente dans la forme monogénique de la maladie de Parkinson. Sa fréquence varie considérablement selon les groupes ethniques et les régions géographiques, allant de moins de 0,1% en Asie à 40% en Afrique du Nord. Cette mutation a trois haplotypes distincts; l'haplotype 1 étant le plus ancien et le plus fréquent. Des études récentes ont daté l'apparition de cet haplotype 1 a environ 4000 ans, mais l'origine ancestrale, proche-orientale ou

nord-africaine-berbère, reste controversée. Pour déchiffrer cette histoire évolutive, l'équipe du Professeur Bouhouche a génotypé 10 marqueurs microsatellites couvrant une région de 11,27 Mb chez 57 patients marocains non apparentés, porteurs de la mutation G2019S et pour lesquels l'origine berbère ou arabe a été clairement établie sur 3 générations. Ces études ont montré que l'ancêtre commun a vécu il y a 159 générations pour les patients arabes et 200 générations pour les berbères. L'étude des marqueurs uniparentaux spécifiques de l'ADN mitochondrial et du chromosome Y a montré que la composante génétique autochtone atteignait 76% pour les premiers et 59% pour les seconds, suggérant ainsi que la mutation G2019S s'est produite dans un pool d'ADN autochtone. Le Professeur Bouhouche a conclu que la mutation LRRK2 G2019S provient très probablement d'un fondateur berbère qui a vécu il y a au moins 5000 ans.

La troisième session sur le thème **"Le polymorphisme de l'ADN, génétique médicolégale et génétique des populations"** a été modérée par Lekbir Baala, France et Ahmed Belmouden, Université Ibn Zohr, Agadir.

Le professeur Guillaume Achaz, a donné sa conférence programmée dans cette session sous le titre **"Quel(s) modèle(s) explique(ent) la diversité génétique humaine?".** Le séquençage haut débit de l'ADN génère aujourd'hui une quantité de données et un nombre de variants jusque-là jamais atteints. Les généticiens de population, qui s'intéressent aux facteurs influençant la diversité génétique, ont suffisamment de matière pour comparer et suivre l'évolution et les migrations de différentes populations. L'étude de cette diversité génétique des populations nécessite une modélisation mathématique. Le Professeur Achaz a rappelé dans cette conférence que depuis l'avènement de la théorie neutre de l'évolution moléculaire (Kimura 1968), c'est le modèle de référence basé sur un équilibre mutation-dérive (appelé modèle neutre standard) qui est utilisé dans presque toutes les analyses de génomique des populations. Dans ce modèle, on s'attend, explique Professeur Achaz, à ce que la diversité moyenne varie linéairement avec la taille de la population, lorsque la population est constante et non structurée. Après avoir donné quelques clés fondamentales pour comprendre le modèle neutre standard et quelques exemples de son application à la démographie humaine, le Professeur Achaz a conclu par dire que ce modèle neutre présente, comme tous les autres modèles, quelques limites.

La deuxième conférence de cette session a été présentée par le **Docteur Faiza Chbel,** du laboratoire de la police scientifique, sous le titre **"Variation du génome humain : application à des fins médico-légales".** Le Docteur Chbel a commencé par donner un bref aperçue sur la structure et l'organisation du génome humain. Elle a rappelé que l'essentiel du génome humain était localisé dans le noyau de la cellule, qu'il avait une organisation complexe avec à peu près 22 000 gènes et qu'il fournissait la grande majorité des informations génétiques essentielles à la vie cellulaire. Les mitochondries possèdent leur propre génome sous la forme de petit ADN circulaire simple d'organisation. La génétique moléculaire humaine explore les similitudes et les différences génétiquement déterminées entre les êtres humains. Elle peut répondre aux questions concernant l'hérédité des phénotypes humains, en particulier la recherche de variants génétiques rares associés à des maladies monogéniques, comme elle peut explorer les variations génétiques neutres, sans conséquences sur le phénotype, appelée aussi «polymorphisme». Cette dernière approche est utilisée dans la génétique médicolégale qui se base sur le principe qu'à l'exception des vrais jumeaux, la probabilité d'avoir la même distribution de variations génétiques alléliques réparties sur le génome humain chez deux individus non apparentés est presque nulle. Le développement de l'amplification de l'ADN par la méthode "PCR" a permis d'établir des profils génétiques à partir de petites quantités d'ADN souvent dégradé, extrait d'échantillons provenant des scènes de crimes par exemple. Le Professeur Chbel a énuméré les différents types de polymorphisme explorés en génétique médicolégale pour établir ces profils génétiques. Elle a ainsi cité : (i) les polymorphismes nucléotidiques uniques de l'ADN nucléaire, générés par des mutations ponctuelles (SNP pour Single Nucleotide Polymorphism); (ii) le polymorphisme de répétition, dû à la présence dans le génome de séquences répétées en tandem, avec des séquences centrales de différentes tailles. Ce dernier polymorphisme comprend les marqueurs «minisatellites» qui ont été à l'origine de la notion d'empreintes génétiques, introduite en1985 par Alec Jeffryes, et les «microsatellites» dont la répétition en tandem concerne des

séquences d'oligonucléotides très courtes (1–6 bases). Les microsatellites sont fréquents dans tous les organismes étudiés jusqu'à présent et peuvent être trouvés dans les régions non codantes, les introns, mais également, à des degrés divers dans les exons des gènes. De nombreux loci de microsatellites polymorphes sont aujourd'hui facilement typés par multiplexage et les profils correspondants alimentent des bases de données utiles pour les investigations policières. L'analyse de ces microsatellites par simple PCR restera, encore et pour quelques années, la méthode de choix en génétique médicolégale. Mais le séquençage haut débit de l'ADN, en permettant d'explorer un grand nombre de SNP, ouvre des perspectives très prometteuses pour la discipline, en particulier dans les catastrophes de masse. Avec ces nouvelles technologies il sera en effet possible d'analyser simultanément et rapidement à la fois les locus autosomiques standards, l'ADN mitochondrial et les marqueurs des chromosomes X et Y.

La quatrième session de cette Ecole a été consacrée à la thématique **"Variations de l'ADN et pharmacogénomique"** et a été modérée par Nicolas Lévy, Marseille, France et Sellama Nadifi, AHIIST.

Le Docteur **Evangelia-Eirini Tsermpini** du laboratoire de pharmacogénomique et de thérapie personnalisée, Faculté des Sciences de la santé, Université de Patras en Grèce, a donné la première conférence de cette session sous le titre **"Introduction de la pharmacogénomique en clinique".** Après avoir rappelé le rôle joué par les variations du génome humain dans la réponse aux drogues, le Docteur Tsermpini a remarqué que malgré les avancées scientifiques et cliniques dans le domaine de la pharmacogénomique, les applications en pratique médicale de routine de cette nouvelle science restent limitées. Un des principaux obstacles à l'application courante de la pharmacogénomique en est, selon le Docteur Tsermpini, l'absence d'études prospectives avec des panels englobant plusieurs biomarqueurs dont l'intérêt pharmacogénétique est prouvé. Toutes les études publiées à ce jour, concernent des paires simples médicament-gène. Pour pallier cette insuffisance, le Docteur Tsermpini a présenté à l'assistance le projet européen "Ubiquitous Pharmacogenomics Consortium" (U-PGx), financé par le programme Horizon 2020 de la Communauté européenne et dans lequel est impliqué un consortium de plusieurs laboratoires de sept pays (Pays-Bas, Espagne, Royaume-Uni, Italie, Autriche, Grèce, Slovénie). Le projet (U-PGx) est une étude clinique prospective, randomisée et contrôlée (PREPARE) qui cherche à prévenir les effets indésirables des médicaments chez les citoyens européens. Elle se base sur un génotypage préventif d'un panel de biomarqueurs cliniquement pertinents et pour lesquels des directives de dosage sont disponibles. L'impact de ce génotypage sera apprécié sur des patients suivis par les investigateurs pour des maladies cardiaques, neuropsychiatriques ou des cancers. La rentabilité du test sera également étudiée dans une approche multicentrique, multi-gène,

multi-médicament, multi-ethnique et multi-soins de santé. Le Docteur Tsermpini a annoncé que les premiers résultats de cette étude, unique en pharmacogénomique seront bientôt publiés, et a conclu sa conférence par le souhait de voir des équipes du sud de la Méditerranée s'intéresser plus aux études de pharmacogénomique et se joindre à des projets identiques. Le but ultime étant d'offrir aux prestataires de soins de santé une thérapie médicamenteuse plus personnalisée afin d'augmenter l'efficacité et la sécurité des traitements médicaux.

La dernière conférence de cette Ecole d'été a été présentée par le Professeur **Yaya Kassogue**, de l'Université des Sciences et des Technologies de Bamako au Mali sous le titre "**Pharmacogénétique des principales classes de gènes métabolisant les médicaments et impact dans la leucémie myéloïde chronique et le SIDA".** Le Professeur Kassogue a rappelé que la réponse aux médicaments varie considérablement d'un sujet à l'autre, tant sur le plan pharmacologique (efficacité) que toxicologique (effets indésirables). L'une des limites de la prescription de médicaments est la difficulté de prédire la variabilité de cette réponse. Les variations interindividuelles de la réponse thérapeutique et les effets indésirables des médicaments sont un problème majeur de santé publique. Le Professeur Kassogue a cité les facteurs principaux qui peuvent expliquer les variations interindividuelles de la réponse au traitement. Ces facteurs sont (i) l'état physiologique du patient (origine ethnique, grossesse, âge, sexe) ; les comorbidités en particulier l'altération de la fonction hépatique et/ou rénale; (iii) les facteurs environnementaux (tabac, alcool, alimentation). Les facteurs génétiques contribuent à plus de 20% de la variabilité thérapeutique interindividuelle. Le Professeur Kassogue a rappelé les champs scientifiques de la pharmacogénétique et la place qu'elle pourrait occuper dans la pratique médicale à l'ère post-génomique. Pour illustrer ses propos, le Professeur Kassogue a pris comme exemple trois grandes familles de gènes impliqués dans le processus du métabolisme des médicaments, le CYP450, le MDR1 et les gènes de la glutathion S-transférase et comme modèles de pathologies cibles pour l'application de la pharmacogénomique, le Professeur Kassogue a cité la leucémie myéloïde chronique et le SIDA.

La dernière matinée de l'Ecole d'été a été consacrée à un atelier de bio-informatique sur **"l'identification et l'interprétation en clinique des variants génétiques, avec présentation de cas"** animé par le **Professeur Jaber Lyahyai**, professeur de génétique à la Faculté de médecine et de pharmacie de Rabat et le **Professeur Abdelaziz Sefiani**, membre résident de l'AHIIST**.**

Cet atelier s'est déroulé dans une salle d'informatique, mis à la disposition des participants par l'Université Al Akhawayh. Chaque doctorant avait à sa disposition un poste informatique individuel avec accès internet qui lui permettait de suivre et appliquer les consignes données par les animateurs. Cet atelier, de type apprentissage basé sur l'étude de cas, avait comme objectif principal l'acquisition par les doctorants de compétences pratiques pour évaluer la pertinence d'un test génétique, pour concevoir l'approche la plus appropriée et la moins onéreuse pour le réaliser, et surtout pour savoir prédire la pathogénicité d'un variant génétique. Les doctorants ont été en premiers sensibilisés aux difficultés dues à l'hétérogénéité génétique et alléliques des pathologies héréditaires humaines. Avant toute conception d'un test génétique, il est primordial de connaitre les modes de transmission génétique de la pathologie en question, le nombre de gènes qui en sont responsables ainsi que la nature et la fréquence des mutations causales. Ces informations sont disponibles dans des bases de données dédiées **(Genetics Home reference, Omim, Genereviews, Clingen, Malacard, orphanet..)**. Les doctorants ont appris à interroger les sites qui renseignent sur la structure et l'organisation des gènes et leurs transcrits **(NCBI, USSC et Ensembl)**. Ils ont appris à localiser sur le génome humain, n'importe quel variant génétique, connu ou nouvellement identifié, présenté selon les recommandations de l'HGVS **(Human Genome Variation Society)**. Les étudiants ont manipulé également, lors de cet atelier, des outils bio-informatiques utilisés pour chercher la fréquence d'un variant dans différentes populations **(gnomAD, 1000-genome, ExAC….)** ou pour chercher l'effet pathogène ou non d'un variants **(ClinVar, SIFT, PolyPhen2, Mutation-tester).** Pour réaliser un test génétique, très souvent il est nécessaire de faire une amplification de l'ADN par PCR. Les différents logiciels qui permettent le choix et le "design" des amorces pour réaliser ces PCR ont été également revus lors de cet atelier.

Présentation des travaux de recherche des doctorants

Parallèlement aux conférences données par les experts nationaux et étrangers, 16 doctorants participant à cette troisième Ecole d'été de l'AHIIST sur les Variations du génome humain, ont été invités à présenter des communications orales, relatant les travaux de recherche qu'ils réalisent dans le cadre de leurs thèses et les résultats, même préliminaires, qu'ils ont obtenus. Les travaux de 6 autres doctorants ont été présentés sous la forme de communications affichées. Chaque session de cette Ecole d'été a vu ainsi la présentation de 4 communications en rapport avec la thématique débattue. Globalement, les travaux présentés par les étudiants étaient de bonne qualité, ayant parfois déjà donné lieu à des publications dans des revues internationales. La plupart des doctorants étaient très convaincants, certains ont beaucoup impressionné et séduit les experts par la maîtrise de leur sujet et par la valeur technique et scientifique de leurs résultats. Les sujets présentés lors de ces communications, et les méthodes d'approches appliquées étaient très variés. Les travaux présentés par certains étudiants ont fait appel à des techniques modernes de séquençage haut débit de l'ADN humain, d'autres doctorants ont présenté des résultats intéressants, obtenus par des tests moléculaires beaucoup plus simples. Les sujets de recherche présentés dans ces communications concernaient les gènes et les mutations associés aux maladies monogéniques rares, les études d'association entre variants génétiques et maladies complexes et les études de marqueurs polymorphes ayant un intérêt pharmacogénétique. A l'issue de ces présentations, les échanges entre les doctorants et l'assistance étaient d'une grande richesse et ont permis aux doctorants de recueillir les points de vue des experts sur la pertinence de leurs thèmes de recherche, sur les méthodologies et les techniques utilisées et sur la qualité et la puissance des résultats obtenus. Les doctorants étaient très attentifs aux critiques et aux suggestions qui amélioreront et valoriseront certainement leurs travaux.

Faits marquants et recommandations

De l'avis de tous les participants, La 3ème Ecole d'été de l'AHIIST a été une grande réussite. Elle a relevé le défi de réunir des experts nationaux et internationaux avec des jeunes doctorants, pour débattre des applications actuelles de la génomique et des conséquences du séquençage du génome humain sur différents champs du savoir.

De manière globale, les jeunes doctorants ont jugé que cette Ecole d'été a répondu largement à leurs attentes. Ils ont estimé que le contenu des sessions était riche et intéressant, et que les interventions des experts ont été excellentes suivies d'échanges francs et fructueux.

Les doctorants ont déploré comme seul point faible, la durée courte de l'atelier de formation en bio-informatique. Ils ont jugé cette initiative louable et répondait parfaitement à leurs préoccupations. Tous les doctorants ont exprimé le souhait de voir ce type d'ateliers en bio-informatique s'organiser régulièrement et sur au moins une ou deux journée.

Les doctorants originaires des autres pays africains ont exprimé leurs sincères remerciements aux organisateurs de l'Ecole d'été de l'AHIIST pour l'opportunité qui leur a été offerte de participer à cet évènement scientifique. Ils ont formulé comme recommandation à l'endroit des différentes institutions scientifiques marocaines, de faciliter la collaboration Sud-Sud, car ils ont jugé l'expertise des laboratoires et des équipes marocaines plus intéressante car plus proche de leurs réalités et parce que les pays africains et le Maroc partagent de nombreux points communs.

Le Professeur Nicolas Lévy a exprimé, au nom des experts étrangers, ses vifs remerciements aux organisateurs pour l'invitation à participer à cette Ecole d'été, qui a été selon lui une réussite surpassant les attentes. Le Professeur Lévy a souligné l'indéniable valeur ajoutée que peut apporter ce type de rencontres aux deux rives de la Méditerranée et a exhorté les chercheurs marocains à s'impliquer plus dans les études de la génomique des maladies rares dans le bassin méditerranéen.

Concernant les travaux présentés par les jeunes doctorants, et suite à la redondance de certains sujets de recherche, et dans le souci de préserver l'originalité des études, il a été recommandé, par différents experts, de mettre en place une instance de coordination des sujets de doctorats.

Au cours de la cérémonie de clôture de la troisième Ecole d'été de l'AHIIST, et après avoir procédé à l'attribution des attestations de participation, le Professeur Sellama Nadifi, Directrice du CSTV, a pris la parole pour remercier tous les participants pour leur active contribution à la réussite des travaux de cette manifestation scientifique. Elle a renouvelé également ses remerciements aux équipes de l'Université Al Akhawayn pour leur dynamisme et les efforts déployés pour assurer le succès et le bon déroulement de l'Ecole.

Journées "Les Jeunes et la Science au service du développement"

14ème édition

Dédiées aux élèves des établissements scolaires, les journées «**les jeunes et la science au service du développement**» sont un événement scientifique et éducatif annuellement co-organisé par le Ministère de l'Éducation Nationale, de la Formation Professionnelle, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Cette année, la 14ème **édition** organisée du **19 novembre au 26 décembre 2019**, revêt un caractère particulier; elle coïncide avec le 150ème anniversaire de la création du tableau périodique des éléments chimiques par le physicien russe Dmitri Ivanovitch Mendeleev.

La thématique générale de cette édition, «***Le tableau périodique des éléments chimiques au cœur de l'ordre de la matière et de l'univers***» est en relation avec l'année internationale du tableau périodique des éléments chimiques, proclamée par l'UNESCO et l'Assemblée Générale des Nations Unies.

Les retombées attendues de ces journées, au niveau de l'éducation et de la formation de nos jeunes ainsi que la diffusion de la culture scientifique au sein de la société peuvent être résumées comme suit :

- aider les jeunes élèves à définir leur parcours pédagogique et de formation et les sensibiliser à intégrer les formations dans les disciplines scientifiques;
- encourager la prise d'initiatives, la recherche scientifique et le travail collectif et collaboratif au niveau des clubs scientifiques au sein des écoles, collèges et lycées à travers le Royaume.

A l'instar des années passées depuis la création de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, les journées «**les jeunes et la science au service du développement**» sont une opportunité pour sensibiliser les collégiens et les lycéens au rôle que joue la science dans le processus du développement de l'humanité. Elles sont aussi une occasion pour contribuer au développement de la culture scientifique parmi les jeunes et valoriser à leurs yeux les activités scientifiques tant sur le plan personnel et intellectuel que sur le plan professionnel et également un moyen incitatif de promotion des filières scientifiques pour drainer le maximum de nos jeunes à y poursuivre leurs études.

Tels sont les principaux objectifs assignés à ces journées conformément aux orientations de Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu L'assiste, lors de l'installation de l'Académie le 18 Mai 2006, «**contribuer à relever les défis de développement et principalement ceux du développement humain**».

Le programme de cette année élaboré conjointement par les Collèges scientifiques de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, l'Université Euro-Méditerranéenne de Fès, l'Université Internationale de Casablanca, l'Université Mohammed VI des Sciences de la Santé de Casablanca, les Académies Régionales de l'**Éducation** et de la Formation (AREF) ainsi que le réseau des théories des systèmes et le réseau Valorisation des Géomatériaux et des Géosites Volcaniques du Maroc (V2GV), couvre l'ensemble des **régions du Royaume.**

A ce titre, des conférences, des ateliers ainsi que des visites de laboratoires et d'entreprises, des sorties de découverte de la nature, et des projections de films documentaires, ont été programmés à travers les différentes régions du Royaume.

Visite des élèves de Casablanca à l'Université Internationale de Casablanca

Ces journées ont été lancées le 19 novembre 2019 lors de la session ordinaire de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques avec notamment une conférence du Secrétaire perpétuel de l'Académie sur la «Genèse des éléments chimiques dans l'univers primordial». Plus de 150 élèves et une cinquantaine d'enseignants ont été invités à cette session ainsi que les membres de l'Académie et du Ministère de l'Éducation Nationale, de la Formation Professionnelle, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Le programme de cette édition a été très riche et varié et a comporté des conférences et ateliers d'une grande qualité, à titre d'exemple, nous citons le programme du lycée Abdelkarim Al Khattabi de Nador, co-organisé par la Faculté Poly-disciplinaire de Nador, l'AREF de la Région de l'Oriental et le Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer. Ce programme d'animation a été assuré par les enseignants-chercheurs et les doctorants du réseau Valorisation des Géomatériaux et des Géosites Volcaniques du Maroc (V2GV) des Universités, Mohammed V de Rabat, Hassan II de Casablanca et Mohamed 1er d'Oujda.

Lieu de la manifestation : La ville de Nador
Public cible : Élèves et enseignants du lycée Abdelkrim Al Khattabi (Nador)
Date : Vendredi 06 et samedi 07 décembre 2019

Programme de la journée du vendredi 06 décembre 2019 : Exposés et Posters

Matinée 09h à 13h :

Exposé 1 : Aperçu sur la géologie du Rif nord oriental	Prof. A. Azdimoussa
Exposé 2 : Métier de chercher, comment et pourquoi ?	Prof. A. El Hassani
Exposé 3 : Les géoressources du Rif nord-oriental	Prof. I. El Amrani
Exposé 4 : Les potentialités géotouristiques du Rif	Prof. T. Remmal
Exposé 5 : Ecologie de la lagune de Marchica	Prof. H. Bazairi
Exposé 6 : La séismicité de la région NE du Maroc	Prof. M. Cherkaoui

Discussion (questions-réponses)

Après-midi 15h-17h :

Séance de posters animée par les doctorants du réseau Valorisation des Géomatériaux et des Géosites Volcaniques du Maroc (V2GV)

Table-ronde avec discussion entre les élèves et les professeurs enseignants-chercheurs

Programme de la journée du samedi 07 décembre 2019 : Sortie de terrain

La sortie de terrain se déroulera le long de la journée du 07 décembre de 08h à 17h a regroupé 45 élèves, 5 enseignants et 10 enseignants-chercheurs.

Un circuit établi pour visiter et donner des explications, par les différents enseignants-chercheurs, sur une dizaine de sites d'intérêt scientifique (écologique, géologique, géophysique, etc.) de la région de Nador.

En conclusion, à l'échelle nationale, l'édition de cette année est caractérisée par l'appropriation de plus en plus prononcée de ces journées par les AREFs, le programme national a comporté environ une centaine de manifestations dont une bonne partie sous forme d'ateliers, visites de terrains, projections de films et expositions diverses et a été réalisé ou en cours de réalisation par environ une dizaine d'AREFs.

Direction des Sciences

Journée nationale sur la pratique de l'ExAO en sciences expérimentales : Filière Sciences Physiques et Chimiques

L'édition 2019 des journées "les jeunes et la science au service du développement" a été placée sous le thème du tableau périodique des éléments chimiques au cœur de l'ordre de la matière et de l'univers. Dans ce contexte, le collège SPC en collaboration avec le coordonnateur du projet «phase topologique de matière et ses applications dans le domaine des matériaux émergents», soutenu par l'académie Hassan II a organisé le 10 novembre un atelier sur l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) est l'utilisation des TICE en sciences expérimentales.

Participants à la séance d'ouverture de l'atelier

Cet atelier de formation qui s'est tenu au Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF) Fès-Meknès a connu la participation d'une centaine de professeurs (collèges et lycées) et d'élèves professeurs et aussi une dizaine d'inspecteurs de l'éducation nationale. Il a été animé par des chercheurs du projet sus-mentionné et de professeurs chercheurs de l'université Mohammed V de Rabat. Cette rencontre, qui a été coordonnée du côté CSPC par L.B Drissi est aussi le fruit d'une étroite collaboration avec le Réseau National des Jeunes en Sciences présidé par R. Ahllaamara et l'équipe de recherche «pratiques enseignantes en sciences» supervisée par K. Htoutou du CRMEF-Meknès.

L'objectif de cette activité, très sollicitée par les corps enseignants des collèges et des lycées des Académies Régionales de l'Education et de la Formation (AREF) est double : Il vise la contribution à la formation de professeurs du cycle secondaire de la filière sciences physiques et chimiques ainsi que des élèves professeurs du CRMEF aux méthodes d'enseignements pratiques assistés par ordinateur. Ensuite, il concerne le côté pédagogique de la formation visant le développement des activités de modélisation et des outils d'investigation informatiques illustrés par des images et des films vidéo.

Rappelons par l'occasion qu'une chaîne d'ExAO repose essentiellement sur quatre éléments : 1. Un capteur faisant d'une grandeur physique mesurable une tension électrique qu'on peut visualiser sur un écran; 2. Une interface d'acquisition; 3. Un ordinateur permettant la mémorisation et le traitement des mesures; et 4. des logiciels spécifiques permettant d'effectuer de façon automatique des calculs de divers types et des analyses spectrales entre autres.

La séance de clôture de cette rencontre a été une occasion pour les participants pour exprimer leurs vifs remerciements aux organisateurs et leurs souhaits de promouvoir ce type d'activités dans le futur.

Collège des sciences physiques et chimiques

Journées «Les jeunes et la Science au service du développement»

Edition 2019
Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer

Ahmed EL HASSANI
Directeur du Collège STETM
Avec la collaboration de : Iz-eddine El Amrani, Tajeddine Cherkaoui, Hassan Belarbi-Haftallaoui, Halima Jounaid, Toufiq Remmal et Ali Azdimoussa.

Le Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement de la terre et de la Mer, en collaboration avec l'équipe de recherche du projet V2GV (financé par l'Académie) ont participé cette année aux journées «Les Jeunes et la Science au service du développement» dans la ville de Nador pour l'illustration d'une partie de son plan d'action et aussi pour inciter les jeunes bacheliers à choisir les carrières scientifiques une fois à l'Université.

Photo montrant l'équipe des conférenciers au Lycée Abdelkrim El Khattabi de Nador

L'équipe des conférenciers, coordonnée par Prof Ahmed ELHASSANI, Directeur du Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, est composée de (de gauche à droite):

- Prof Ali Azdimoussa, Doyen de la Faculté Polydisciplinaire de Nador et spécialiste de la géologie du Rif Oriental.
- Prof Tajeddine Cherkaoui, Université Mohammed V de Rabat, spécialiste en sismologie.
- Prof Halima Jounaid, Université Hassan II de Casablanca, spécialiste en Hydrogéologie.
- Prof Ahmed El Hassani, Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Géosciences.
- Prof Izeddine El Amrani (Responsable du Projet V2GV), Université Mohammed V de Rabat, spécialiste en géomatériaux.
- Prof Toufiq Remmal, Université Hassan II de Casablanca, spécialiste en Volcanologie et Géotourisme.

Le programme a été établi en collaboration étroite avec le «Club Scientifique» du Lycée Abdelkrim El Khattabi, parrainé par l'AH2ST, ainsi qu'avec le décanat de la Faculté poly-disciplinaire de Nador. Ce programme, de deux journées, s'est focalisé sur la sensibilisation des élèves du Lycée Abdelkrim El Khattabi de la ville de Nador sur les sujets qui intéressent, plus particulièrement, leur région à savoir : la promotion de la culture scientifique, le volcanisme et ses potentialités en géomatériaux, les géosites touristiques, l'écologie-biodiversité, les ressources en eaux et le risques sismique.

Toutes les manifestations se sont déroulées dans de très bonnes conditions avec une intégration parfaite et remarquable de la Déléguée AREF-Nador, du Directeur du Lycée Abdelkrim Khattabi et Coordinateur SVT pour la Province de Nador. Par ailleurs, nous avons constaté un grand dévouement des élèves ayant participé à ces deux journées.

Photo montrant une partie de l'audience au Lycée Abdelkrim Khattabi de Nador.

- Prof Hassan Belarbi Haftallaoui, Université d'Almería (Espagne) et Académie Hassan II des Sciences et Techniques, spécialiste en Biotechnologies.
- Mr Mostafa Kharkhache, Directeur du Lycée Abdelkrim Khattabi.

Ces manifestations, se sont déroulées en présence du Directeur de l'AREF, des Responsables du Lycée, des Professeurs en SVT (essentiellement) et d'environ 120 élèves, choisis parmi l'élite du Lycée (diveres branches des sciences).

Prof. Ahmed ELHASSANI : Promotion de la culture scientifique

Prof Ahmed ELHASSANI a donné une conférence introductive dans laquelle il a d'abord présenté l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, son historique, ses composantes et les organes qui la constituent. Il a aussi mis l'accent sur le nouveau programme de l'Académie qui encourage l'excellence scientifique en octroyant chaque année 10 bourses aux meilleurs bacheliers du Pays, en collaboration avec le Ministère de l'Education Nationale, de la Formation Professionnelle, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Ce dernier point a été longuement débattu avec les élèves avides de savoir, notamment en ce qui concerne les conditions d'accès au concours national. Il a été également évoqué avec l'Administration du Lycée Abdelkrim Khattabi du fonctionnement du Club Scientifique (parrainé par l'AH2ST).

Par la suite, le conférencier a abordé la question : qu'est-ce qu'être scientifique ? Tout en rappelant que c'est un choix et qu'on ne fait pas de la science sa profession uniquement pour sécuriser un revenu, même si tout travail mérite un salaire. Être scientifique, c'est dédier ses activités à la science, faire des recherches en vue de produire et de développer des connaissances scientifiques sur le monde qui nous entoure et ses phénomènes, de la manière la plus élémentaire possible.

Être une scientifique ne va pas de soi, surtout que les idées reçues, ainsi que les pressions sociales font que les élèves ne se dirigent pas vers les sciences de façon naturelle. il reste une démarche réellement volontaire, il faut vraiment oser, oser l'être. Adopter ce choix … c'est d'ailleurs l'objectif principal des journées «Les Jeunes et la Science au service du développement».

Parmi les qualités que doit développer un scientifique, la plus importante est sa passion pour la science, c'est à dire aimer découvrir, observer pour expliquer le monde sous toutes ses facettes; avoir la curiosité de la découverte (qui est à la base de la passion), l'intelligence, l'objectivité, l'esprit d'observation, la rigueur, l'inventivité, la persévérance, l'intégrité...,

La motivation est aussi un critère important. C'est la curiosité et la passion des découvertes scientifiques, la passion de se lever tous les matins, d'observer ce monde qui nous entoure et de vouloir expliquer les phénomènes. D'autre part, un élément important dans le choix de ce métier est le travail en équipe ; Bien sûr, cela a une grande importance dans tout métier, mais en sciences, c'est extrêmement important de travailler en équipe et les scientifiques l'apprécient beaucoup. **L'avantage qu'on déduit de ce qu'on fait tous les jours, c'est l'occasion qui nous est constamment donnée de le partager avec les autres**.

Prof. Ali Azdimoussa : Paysage géologique du Rif oriental: Géodynamique, Ressources Naturelles et Développement Durable

Prof Ali Azdimoussa a retracé les grandes lignes de la géologie du Maroc Nord-oriental

La chaîne rifaine est située au nord de la Meseta occidentale et du Moyen Atlas. Il y a d'abord une transition, le Rif externe, ainsi nommé parce qu'il est à l'extérieur de l'arc que la chaîne dessine autour de la Méditerranée d'Alboran. Puis apparaissent des unités issues d'un océan entièrement suturé il y a environ 20 Ma, les nappes des Flyschs maghrébins (présents tout le long du Maghreb), charriés sur les zones externes. Enfin, chevauchant l'ensemble, viennent les nappes des Zones internes. Celles-ci sont issues de la paléomarge nord de l'océan des flyschs maghrébins (la Téthys alpine), c'est-à-dire du bord sud de l'Europe avant l'Oligocène.

La naissance de cette chaîne résulte de la convergence entre la plaque africaine et la plaque eurasienne (Europe) au Crétacé supérieur-Tertiaire.

C'est donc une chaîne de type collision qui recèle, en un petit espace, bien plus de complications qu'une vaste chaîne intracontinentale comme l'Atlas ! Deux grandes failles sénestres recoupent l'arc rifain, la faille de Jebha et la faille du Nekor. La première est principalement une rampe latérale affectant les nappes du domaine d'Alboran. La faille du Nekor est une rampe latérale sénestre de chevauchement dans les zones externes. Ces deux failles soulignent l'obliquité de la collision du domaine d'Alboran contre la paléomarge

En coupe, le Rif ne présente qu'une seule vraie suture (océanique), celle des Flyschs maghrébins. Dans le Rif, cette suture n'est pas jalonnée d'ophiolite – seulement des écailles à coussins de lave. En revanche, elles sont présentes en Algérie, et surtout dans l'Apennin (Italie). La lithosphère océanique correspondant au bassin des flyschs a sombré entièrement dans le manteau asthénosphérique, où on peut l'apercevoir par tomographie sismique. Cependant, le Rif possède un massif de roches ultrabasiques parmi les plus grands de l'espèce, le massif des Beni Bousera. Il s'agit essentiellement de lherzolites à spinelle affleurant sous une enveloppe de roches crustales continentales – des granulites tout d'abord, des gneiss et des micaschistes au-dessus, où l'on reconnaît d'anciennes roches de la croûte hercynienne très amincie pendant l'ouverture de la Téthys alpine au Jurassique. Cet ensemble de roches (lherzolites mantéliques et roches crustales) se trouvent dans les nappes inférieures du domaine d'Alboran, appelées Sebtides (Alpujarrides en Andalousie, avec les péridotites de Ronda). En outre, une autre zone ayant subi un amincissement crustal extrême existe à l'intérieur de la marge nord-africaine, entre deux des zones externes, l'Intrarif et le Mésorif. Elle est marquée par la présence d'une écaille de péridotites serpentinisées et de métabasites, l'écaille des Beni Malek (au Nord du village d'Iguermaouass), que l'on suit en profondeur par l'anomalie magnétique qui s'y rattache. L'amincissement intramarge correspondant est lui aussi daté de la fin du Jurassique.

La construction de la chaîne rifaine ne peut se comprendre qu'à l'échelle de la Méditerranée occidentale, et le scénario interprétatif doit expliquer à la fois la formation des chaînes alpines et celle de la Méditerranée, née en même temps qu'elles ! Le mécanisme mis en œuvre est celui de la subduction de la lithosphère océanique téthysienne (océan liguro - maghrébin), accompagné du retrait de la plaque plongeante entraînant l'extension arrière-arc.

Prof. Tajeddine Cherkaoui: La sismicité dans la province de Nador

L'examen de la sismicité historique et instrumentale montre que la région de Nador -Melilla a connu de nombreux violents séismes par le passé comme celui 1848 qui provoqua d'importants dégâts à Melilla et ferma la lagune de Marchica.

Cette activité sismique est généralement due au rapprochement des deux plaques lithosphériques Afrique – Eurasie avec un taux de rapprochement de 0,4 cm/an au niveau du détroit de Gibraltar. En 2004, la province de Nador a connu une activité sismique assez intense où 165 séismes ont été enregistrés entre les 2 et 16/12/2004. La secousse principale (M_w = 5,2, I_o = VII MSK-64) a été localisée à quelques kilomètres seulement au sud de Nador, et a été ressentie dans toute la province provoquant quelques dégâts matériels.

S'il n'est pas possible d'agir sur l'aléa sismique, c'est-à-dire sur l'ampleur et l'occurrence des séismes, il est en revanche possible de réduire le risque sismique par des actions de prévention à savoir **(i)** l'application rigoureuse du règlement de construction parasismique (RPS 2000) **(ii)** le renforcement des structures des constructions existantes **(iii)** l'organisation de campagnes d'information et d'éducation de la population et (iv) l'élaboration de plan de secours.

Prof. Halima Jounaid : Ressources en eau dans la plaine de Taourirt-Naima: Potentialités et défis

L'intervention a consisté d'abord en la vulgarisation de la discipline de l'hydrogéologie en mettant l'accent sur l'intérêt de cette discipline et ses différents champs d'application. L'intervention a également permis d'expliquer aux élèves la

nécessité de préserver les ressources en eau dans un contexte de changement climatique, de surexploitation de ces ressources et de dégradation de leur qualité.

L'application de la discipline de l'hydrogéologie a été expliquée et montrée aux élèves à travers une étude de cas concernant les ressources en eau dans le bassin de Moulouya. L'étude présente les potentialités des ressources en eau et les défis de leur gestion face à une demande en eau croissante conjuguée à la rareté, l'irrégularité des précipitations et à la baisse de la capacité de stockage des barrages Mohammed V et Mechra Hammadi (principales sources d'alimentation en eau potable de la région). C'est pourquoi il a été proposé de renforcer l'alimentation en eau potable (AEP) à partir des ressources en eau souterraines par identification de sites de forage où la nappe est la plus productive et où la qualité des eaux est conforme aux normes marocaines relatives aux eaux destinées à la production d'eau potable.

Prof Hassan Belarbi : Biotechnologie des microalgues: opportunités commerciales

Les micro-algues sont des organismes microscopiques formant une partie du plancton des océans et des eaux douces et sont à la base de la chaîne alimentaire de tous les êtres vivants présents dans les océans et les milieux aquatiques. Les micro-algues constituent un groupe extrêmement hétérogène regroupé autour d'une cohérence physiologique : la photosynthèse oxygénée.

Les micro-algues trouvent des utilisations dans divers domaines, comme la nutrition humaine et animale, et en tant qu'ingrédient dans les produits cosmétiques ou comme source de molécules à haute valeur ajoutée. Les suppléments thérapeutiques des micro-algues comprennent un marché important dans lequel des composés tels que le β-carotène, l'astaxanthine, les acides gras polyinsaturés (PUFAS) tels que le DHA et l'EPA et les polysaccharides tels que le β-glucane dominent. Cependant, ce sont les objectifs énergétiques qui ouvrent la voie à l'énorme développement que connaissent les micro-algues aujourd'hui. En plus, les micro-algues peuvent contribuer, au cours de leur croissance, á réduire les émissions de CO_2 par biomitigation biologique et d'intervenir dans le traitement des eaux usées.

Prof Izeddine El Amrani : Valorisation des géomatériaux de la province volcanique plio-quaternaire du Rif nord-oriental

Les travaux de recherche menés par notre équipe V2GV sur les géomatériaux d'origine volcanique du Rif nord-oriental ont abouti à des résultats de valorisation intéressants que nous présenterons d'une manière simple et rapide :

A rappeler que nos travaux ont portés sur les géomatériaux suivants :

- La bentonite : (argile smectique très absorbante, d'origine volcanique). Plusieurs gisements de bentonites existent et sont exploités à proximité du Nador. Les carrières de Providencia et de Trébia sont très célèbres et offrent une bentonite de très bonne qualité dont une grande partie est exportée à l'état brute

- L'halloysite : (argile kaolinique hydratée à structure tubulaire et qui résult de l'altération de produits silico-alumineux d'origine volcanique). L'halloysite se trouve dans la région de Nador sous forme de couches et lentilles peux épaisses intercalées dans les calcaires et sables du bassin de Melilla au pied du volcan de Gourougou (vallée de Maaza).

- La perlite : (verre volcanique hydraté de composition rhyolitique). La perlite forme des couches épaisses au niveau du Jbel (volcan) de Tidiennit et se présente en coulée de teinte gris noir débité en boules ou perles, d'où l'appellation «perlite».

Dykes du Gourougou.
Le sommet du Gourougou offre une vue panoramique sur le dyke trachy-andésitique, en contre-bas la ville de Nador.

L'actualisation de la caractérisation physico-chimique et minéralogique, effectuée par notre équipe de recherche, des géomatériaux volcaniques du Rif NO a permis de bien cerner leurs propriétés technologiques.

Les géomatériaux du Rif NO se sont avérés très intéressants pour des applications industrielles innovantes dans les domaines de la synthèse : 1/ des céramiques-réfractaires de haute performance mécanique et thermique; 2/ les membranes de filtration des eaux usées; 3/ les nanocomposites légers et; 4/ les géopolymères.

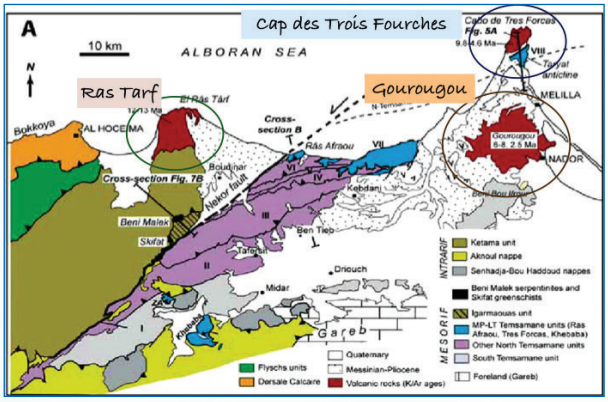
Des recherches restent encore nécessaires pour pousser encore plus loin la caractérisation de ces géomatériaux rifains afin de leur trouver de nouvelles applications industrielles et surtout plus valorisantes.

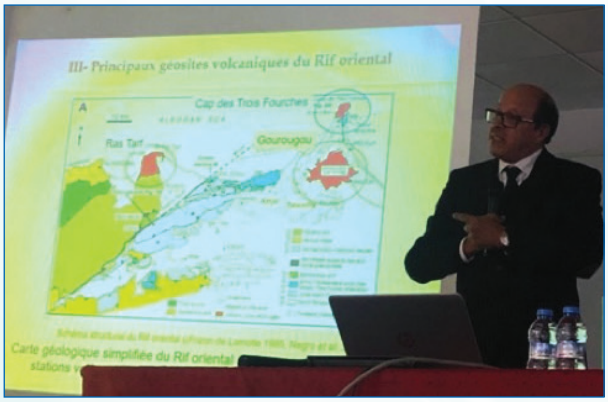
Prof Toufiq Remmal : Les potentialités géotouristiques du Rif nord-oriental : Plan d'action de valorisation des géosites volcaniques rifains

Le Rif Nord oriental et ses vastes espaces naturels est aussi un pays de volcans récents aux formes bien préservées. L'ensemble volcanique est remarquable, tant par sa densité que par la qualité des formes volcaniques.

Le stratovolcan de Gourougou, situé au NW de Nador, se compose d'un massif central d'environ 15 km de diamètre. Il culmine à 900 m d'altitude. et s'entoure d'appareils satellitaires (Cap des Trois Fourches, Bou Touil Tidiennit, Beni Bou Ifrour, Amjar, …)

Le Cap des Trois Fourches correspond à un massif volcanique satellite du stratovolcan de Gourougou. Il se situe à l'extrémité nord de la Province de Nador et de Melilla. Il donne sur la mer méditerranéenne par trois façades : nord , est et ouest.





Le petit massif de Ras Tarf fait une dizaine de km de diamètre bordant la côte méditerranéenne et se situe à 20 km à l'est d'Al Hoceima. Il se localise au voisinage d'une grande zone de décrochement limitée par le bassin post-nappes de Boudinar.

Surplombant les villes de Nador et Melilla, le massif de Gourougou est situé dans la Province de Nador (Maroc-Rif Oriental). Son sommet atteint 893m d'altitude et sa superficie dépasse 5200 hectares. Le Gourougou est un massif volcanique, formé principalement par deux types de roches: andésites et basaltes, d'autres types de roches sont distincts.

Panorama du Volcan du Gourougou
(vue depuis le Sud-Est)

Le Plan d'action pour la valorisation de cette région consiste à réfléchir sur les produits à créer (Circuits de visites, Produits du terroir, Documents de découvertes des caractéristiques de la région (histoire humaine, curiosités

paysagères dont volcanique, faune, flore, artisanat, Création/amélioration de l'hébergement et de la restauration, Web…) et s'approprier des modes de gouvernance et de développement de la transversalité (associations locales qui développent des hébergements ; parcs nationaux vecteurs d'actions de sensibilisation; associations internationales; guides animateurs; intégration du Ministère de l'Education pour la sensibilisation des scolaires locaux).

Des pistes de réflexion relatives à la valorisation de ce territoire peuvent alors être tracées:

- «Griffer» clairement la région en tant que «région volcanique à découvrir» (dans la forme comme dans le fond) ;
- Cibler clairement les zones géographiques à valoriser prioritairement, tout en restant dans un schéma de valorisation globale à terme ;
- Sensibiliser la population et les acteurs économiques locaux (hôtellerie, restauration, boutiques), via le tissu associatif, à l'adoption de comportements durables permettant de proposer une région propre et accueillante,
- Élément déterminant pour une attractivité touristique forte (en particulier pour un tourisme international) ;
- Confier à des étudiants locaux une mission d'étude pour mieux définir et hiérarchiser les besoins, les moyens et les publics potentiels de cette région dans le domaine touristique.

Table-ronde avec discussion entre les élèves et les professeurs enseignants-chercheurs

Par ailleurs les élèves ont assurés trois exposés :

- Le Volcanisme
- Le tableau de Mendeleïev
- Les extinctions des espèces animales

Photos montrant les exposés des élèves et la discussion avec les encadrants

Posters des doctorants appartenant à l'équipe de recherche V2GV :

Dans le cadre des activités scientifiques et culturels des journées «Les Jeunes et la Science au service du développement» organisées par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, l'équipe du projet V2GV s'est proposée d'animer deux journées d'étude et de sensibilisation à Nador. Des posters préparés par les Doctorants et Masters de l'équipe V2GV ont été présentés et discutés pour animer l'après-midi de la première journée de cette rencontre. Posters dont les thèmes portent essentiellement sur la valorisation des géomatériaux de la région volcanique de Nador.

Poster 1 (Travail de thèse de doctorat de M. Abdelilah EL HADDAR) : Caractérisation et application de l'halloysite de la région de Nador (Rif oriental - Maroc) dans le domaine de la céramique. Auteurs : A. EL HADDAR, E. GHARIBI, A. AZDIMOUSA, N. FAGEL, M. EL OUAHABI & I. EL AMRANI EL HASSANI

Cette étude montre que l'halloysite de Nador constitue un bon géomatériau pour la synthèse d'une céramique de bonne qualité technologique. L'ajout à cette halloysite de proportions précises d'autres matériaux locaux (marne, sable siliceux diatomite,...) et même des rejets industriels (alumine de recyclage) permet d'améliorer la performance mécanique de ces céramiques. Les résultats de cette étude contribuent à la promotion des géomatériaux de la région du Nador et permettent de résoudre partiellement les problèmes écologiques, liés au stockage des rejets industriels de nature alumineuse.

Poster 2 (Travail de thèse de doctorat de Mme Hanae OUADDARI) : Valorisation de la bentonite de Nador : technologies d'adsorption et de membrane dans le traitement des eaux usées et de teinture synthétique. Auteurs : H. OUADDARI, A. KARIM, B. ACHIOU, A. AADDANE, J. BENNAZHAA, I. EL AMRANI EL HASSANI, M. OUAMMOUA et A. ALBIZANE

Le problème de l'élimination des polluants dans l'eau et les eaux usées s'est accru avec l'industrialisation rapide. Les industries telles que le textile, le papier, le plastique, etc. génèrent une quantité considérable d'eaux usées colorées. À cette fin, plusieurs méthodes physiques, chimiques et combinées ont été utilisées. Toutes ces méthodes ont des capacités différentes d'élimination de la couleur, des coûts en capital et des taux d'exploitation différents. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'applicabilité de processus combinés tels que les traitements physico-chimiques et les technologies membranaires pour l'élimination des solutions de teinture synthétiques. L'adsorption sur des matériaux à faible coût et l'ultrafiltration à l'aide d'une membrane céramique ont été testées. La bentonite de Nador a été étudiée dans son état brute en tant qu'adsorbant du colorant cationique méthylène bleu «MB» , elle a été aussi testée dans son état purifié pour l'élaboration d'une membrane d'ultrafiltration à faible coût. Les résultats obtenus ont montré que les deux méthodes «adsorption et filtration sur membrane» sont considérées comme traitement prometteur et efficace pour le traitement des effluents modèles.

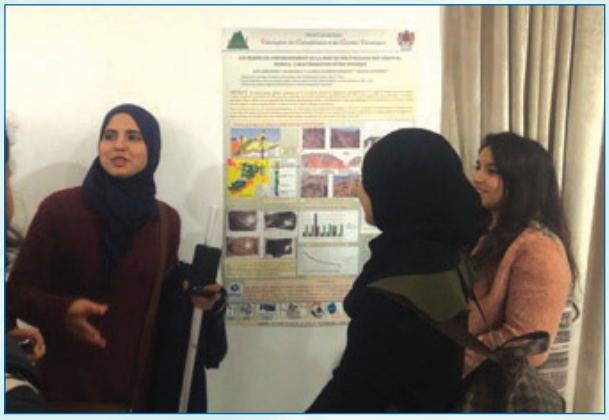
Poster 3 (Travail de thèse de doctorat de M. Chawki SADIK) : Effects of expanded perlite addition in mullite matrix on the thermal characteristics of ceramics. Auteurs : Chawki

SADIK, Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI & Abderrahman ALBIZANE

Production of porous and lightweight ceramics with acceptable flexural strength and thermal conductivity is accomplished. Expanded perlite was used as an additive to an earthenware sample to produce the pores. Microstructural investigation was carried out by both natural light microscopy and polarized light microscopy. The results obtained showed that the samples tested here maintained their shape without undergoing any deformation up to 1600°C. The use of expanded perlite decreased the fired density of the bricks down to 1.55g/cm^3. The formation of cracks decreases the velocity of ultrasonic pulses travelling in the ceramics. The thermal shock resistance shows the ability of the samples to withstand rapid changes in temperature.

Poster 4 (Travail de thèse de doctorat de M. Ayoub AZIZ) : Synthèse de nouveaux ciments géopolymères à base de perlite et d'argile kaolinitique naturelles d'origine marocaine. Auteurs : A. AZIZ, I. EL AMRANI EL HASSANI1, A. EL KHADIRI, A. EL BOUARI, C. SADIK et A. EL HADDAR

La présente étude porte sur la synthèse de nouveaux géopolymères à base d'un mélange de poudre fine de perlite naturelle de Nador (PN) et d'argile kaolinique d'Oulmès calcinèe (AKC). Les géopolymères synthétisés à base de 90% de PN + 10% d' AKC affichent une bonne performance physico-mécanique (Mv = 1732 kg/cm3; Rc = 36 MPa) et répondent ainsi aux normes des matériaux de construction porteurs. Les géopolymères préparés à partir 50% de PN et 50% d'AKC, présentent une plus faible densité et une résistance mécanique moyenne (Mv = 1483 kg/cm^3; Rc = 10 MPa), sont plutôt plus appropriés pour une utilisation comme matériaux d'isolant thermo-acoustique.



Poster 5 (Travail de Master de Mme Somaya Arrazouki) : Les skarns de l'environnement de la mine de fer d'Ouixane (Rif oriental, Maroc): caractérisation pétro-physique. Auteurs : Somaya ARRAZOUKI, Rachid HLILA, Iz-Eddine ELAMRANI ELHASSANI Abdelilah ELHADDAR

Des concentrations minières, notamment de fer, se trouvent associées au magmatisme plio-quaternaire de la région de Nador (Rif Nord-oriental). L'origine des gisements ferrifères des Béni Bou Ifrour serait liée à la circulation des fluides hydrothermaux issus d'injections magmatiques granodioritiques. L'encaissant Jurassique-Crétacé inférieur de ces granodiorites, de nature essentiellement calcaire, a été affecté par l'action hydrothermale et s'est transformé en un éventail de faciès métasomatiques : marbres, cipolins, skarns à reliques calcaires, skarns rubanées, et cornéennes. Dans la présente étude on s'est intéressé principalement aux mécanismes de skarnification développés au niveau de la périphérie des granodiorites (endoskarn) ainsi qu'au niveau des bandes internes de l'encaissant granodioritique (exoskarn). Par ailleurs, une analyse pétro-physique à été menée sur quelques faciès de ces skarns de la région de Nador afin de déterminer leurs propriétés technologiques et apprécier leurs éventuelles utilisations industrielles.

Poster 6 (Travail de Master de Mme Lina Msaadi): Potentialités géotouristiques de la province volcanique néogène et plio-quaternaire du Rif nord-oriental. Auteurs : Lina MSAADI, Lahcen ASEBRIY, A. AZDIMOUSA, Toufik REMMAL et Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI

Outre l'intérêt scientifique du volcanisme néogène et plio-quaternaire du Rif oriental, ses trois principaux complexes volcaniques (Gourougou, Cap des Trois Fourches et Ras Tarf) offrent des paysages très intéressants sur le plan géotouristique. En effet, ces complexes offrent de très beaux paysages et affleurement géologiques qui méritent d'être mis en valeurs et promus auprès des amateurs de la nature et du volcanisme

plus particulièrement. Aussi proposons-nous, dans ce travail, un circuit géotouristique, passant par les plus intéressants géosites de cette province volcanique (dépôts de tufs, laves en coussins, basalte prismé, verre volcanique perlé, etc.). Des explications simples et concises sont apportées afin de permettre au visiteur profane de connaitre la nature, la composition et le mode de genèse de l'objet géologique composant chaque géosite.

Poster 7 (Travail de Master de Mme Ichrak BOUHOUCHE) : Synthèse et caractérisation de céramqiues à base d'halloysite de Nador (Maroc) pour application en dentaire. Auteurs: Ichraq BOUHOUCHE, Abdelilah EL HADDAR, Ayoub AZIZ, Ahmed MANNI, Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI

Un travail de recherche appliqué a été réalisé au laboratoire de Géomatériaux et Géoenvironnement (GeoM&E) de l'Institut Scientifique afin de tester l'intérêt de l'utilisation de l'argile kaolinique d'Oulmès et l'halloysite de Nador pour la préparation de céramiques dentaires. Les résultats préliminaires se sont avérés prometteurs, notamment pour l'halloysite de Nador. La céramique synthétisée à partir de cette dernière, à laquelle ont été ajoutés des quantités bien déterminées de sable siliceux, feldspath potassique et alumine de recyclage présente une couleur blanche et une bonne performance physico-mécanique : Densité = 1,75 ; Porosité = 22% ; Absorption d'eau = 18%, Résistance à la compression = 31 Mpa et Vitesse des ondes P = 1.813 m/s.

VISITE DE L'USINE DE LAMINAGE (SONASID) DE NADOR

Photos montrant une partie des élèves et encadrants ayant participés à la visite de SONASID-Nador

La presse électronique locale a fait un large écho de la manifestation avec des reportages photos et vidéos où les encadrants ont relaté l'importance de cette manifestation et son impact sur les jeunes de cette province.

Focus

Ingénierie de la pauvreté et développement

Rédouane TAOUIL

Université Grenoble Alpes, France

Le prix de la Banque de Suède en sciences économiques en mémoire d'Alfred Nobel vient d'être décerné à Abhijit Banerjee, Esther Duflo et Michael Kremer pour leurs travaux sur des expériences de lutte contre la pauvreté menés au sein d'un laboratoire de recherche du MIT (Massachusetts Institute of Technology), l'Abdul Latif Jameel Poverty Action Lab (J-PAL). Dans cet article, Rédouane Taouil, professeur à l'université de Grenoble Alpes, livre des éléments de réflexion sur l'approche des lauréats en questionnant le contexte de son affirmation, son impact sur l'économie du développement et sa pratique d'expérimentation.

Un trait saillant semble marquer le parcours de la science économique depuis l'orée du XXI[ème] siècle : le reflux de l'intérêt pour la théorie. La proclamation de la révolution de la crédibilité en économétrie (Angrist et Pischke 2010), la dénonciation de «l'aveuglement devant la théorie» (Kahnman, 2011) comme le choc computationnel de *big data analisis* ont largement contribué à ce tournant qui s'incarne, selon Cartelier (2017), dans une triple tendance : la part de plus en plus étendue des travaux empiriques dans les divers lots de la discipline, la reformulation du paradigme du choix individuel par la démarche comportementale, l'option prioritaire en faveur de l'évaluation et la prescription. C'est dans cette dynamique que s'inscrit l'approche du J-Pal comme vogue au sein de l'économie du développement dont la visée d'ensemble est l'évaluation de comportements dans le cadre de pratiques expérimentales de lutte contre la pauvreté en vue de produire des preuves, appuyées sur les données engrangées, pertinentes pour l'action (Duflo 2010a, 2010b). A cet égard, elle fait usage d'un modèle fondé sur des techniques micro-économétriques qui ont pour fonction d'identifier des relations causales, selon un schéma contrefactuel, à partir de l'observation du déroulement d'expérimentations aléatoires. Cette approche a contribué à l'essor des études quantitatives des économies du Sud produites par les avancées des techniques et l'amélioration des informations de sorte qu'on évoque une «nouvelle économie du développement» qui privilégie le témoignage des données par la quête d'identifications sur une échelle locale (Labrousse 2010; Rodrik 2008). A ce titre, elle participe d'une réduction, sous les auspices de la primauté des comportements individuels, de l'objet et des enjeux du développement dans les termes d'une microéconomie évaluative à fondements empiriques restreinte à la thématique de la pauvreté (Banerjee et Duflo 2009). A interroger ce projet à l'aune de son modèle, qu'elle hisse au rang de *gold standard*, on s'aperçoit que les preuves de causalité sont fragiles. L'absence de correspondance entre les conditions de la randomisation et les hypothèses sous-jacentes aux outils statistiques, l'évacuation de l'hétérogénéité consécutive à la détermination de l'effet moyen, l'impossible reproductibilité des expériences sont autant de limites qui mettent en doute la possibilité de démêler l'écheveau des liens de cause à effet sur la base de résultats concluants[1].

La quête de la preuve par la microéconomie expérimentale

La stratégie du J-Pal entrelace trois postures pour légitimer son domaine d'analyse, sa démarche et ses préférences de politiques publiques. D'abord, l'approche en termes d'expérimentations aléatoires prend le contrepied de la macroéconomie qu'elle juge inadéquate à un double point de vue : d'une part, elle considère que la technique des régressions, qui consiste à étudier la relation entre une variable à expliquer et une ou plusieurs variables, est impropre à détecter des causalités (Banerjee 2010; Montalvo 2008); d'autre part, elle postule que la complexité du développement ne se laisse pas défricher dans la perspective macroéconomique plaidant ainsi pour l'analyse séparée d'objets, tels que la santé, l'éducation, le micro-crédit ou la corruption, sous le primat des choix des agents. Ensuite, le J-Pal met en

1- C'est la conclusion que livre Anne Fagot-Largeault en s'interrogeant sur des expériences médicales : «la chaîne causale peut être longue et compliquée, voire touffue, elle peut sembler ténue, ou se perdre» (2017, p.13).

avant le recours aux évaluations aléatoires de terrain apparentées aux essais cliniques, dont il se revendique, comme la marque distinctive de son alternative. Enfin, il affiche ses orientations normatives en rattachant son projet à l'évaluation de l'efficacité des programmes publics ou privés et à son corollaire, la définition de politiques fondées sur des preuves (*evidence-based policy*).

Cette stratégie, qui s'inscrit en faux «contre l'économie politique»[2], revendique l'élaboration d'une ingénierie de la pauvreté orientée par l'impératif empirique[3] (Banerjee et Duflo 2010). Ainsi, elle remet sur le métier la causalité statistique adhérant ainsi au principe d'autonomie, détrônée au demeurant par l'argument de la charge théorique des expérimentations qui stipule que les faits sont descriptibles en dehors de présupposés théoriques[4]. Le savoir sur le développement s'en trouve restreint à la production d'énoncés observationnels dans un contexte inférentiel à l'aide de techniques d'évaluations contrôlées dont la finalité est d'appréhender l'impact d'une variable sur une autre. Pareille réduction implique que la structure des relations des modèles ne découle pas de l'application d'une grille théorique à travers des correspondances entre concepts et variables[5]. L'ordre causal postulé, déterminé par l'estimation des effets des variations exogènes de l'environnement au moyen de données expérimentales, est bien empirique[6]. Affranchie de restrictions *a priori* imposées par des considérations théoriques, l'approche du J-Pal accorde moins d'importance à l'explication des comportements et de leurs déterminants qu'à la mesure de l'efficacité des interventions et, par conséquent, à la dimension opérationnelle. Les expérimentations contrôlées s'assignent ainsi le but d'appréhender l'impact d'actions menées par l'Etat, la société civile ou des agences afin d'en mesurer l'efficacité. A cet effet, sont comparés les résultats de groupes aléatoirement constitués, l'un soumis au traitement, l'autre servant de témoin. L'estimation quantitative s'appuie sur l'effet causal par la construction d'un contrefactuel qui quantifie la situation de l'individu à la suite de sa participation au traitement et celle associée au cas où il appartient à l'échantillon de contrôle. Comme il n'est pas possible d'observer ces deux situations, le mode d'évaluation définit l'effet moyen du traitement en supposant que le résultat moyen du groupe bénéficiaire du programme est égal à celui du groupe témoin. L'impact effectif se mesure par celui exercé sur la population des traités. Ainsi conçue, cette technique est censée éviter le biais de sélectivité : le tirage au sort débouche sur la formation d'échantillons comparables susceptibles de garantir l'isolement des effets à la différence des expériences en laboratoire. La contre-factualité requiert ainsi la comparabilité entre les individus au moyen de variables qui supposent une homogénéité dont le corollaire est la mise en équivalence et l'agrégation par l'intermédiaire d'un ensemble de propriétés

2- L'argument central de cette récusation, qui est le fil directeur de la légitimation de l'entreprise du J. Pal, est que la macroéconomie du développement n'apporte pas des réponses appropriées aux «grandes questions» de la cause ultime de la pauvreté, des vertus du marché, de l'utilité de la démocratie et du rôle de l'aide au développement.

3- Cette démarche n'est pas sans rappeler le nouvel expérimentaliste en physique qui, au cours des années 1970, en appelle à la réhabilitation des pratiques expérimentales à l'encontre de la prééminence de la théorie. Une illustration en est fournie par Hacking (1983) : les expérimentateurs procèdent à la manipulation des électrons sans rattacher la conception de leurs instruments à la physique quantique ou à la théorie de David Bohn.

4- Cette position est à contre-courant de de la thèse de *laden-theory* qui considère que les observations et les données expérimentales sont marquées du sceau de contenus théoriques qui leur octroient leur signification et orientent le processus de leur interprétation. En dehors de l'affirmation réitérée de l'adhésion au «verdict des faits», battu en brèche par le critère Duhem-Quine, le J-Pal n'avance pas d'arguments à l'encontre de cette thèse tenue pour acquise par de larges pans de l'épistémologie générale. S'il n'y a pas d'accords sur les places respectives de la théorie et de l'empirie dans la constitution des savoirs, les principes d'imprégnation (Kuhn), de surdétermination (Quine) ou de construction (Putnam) des faits scientifiques par la théorie sont largement partagés.

5- La trajectoire de l'économétrie, depuis la création du NBER (National Bureau of Economic Research) jusqu'à aujourd'hui, est scandée par le débat récurrent entre les tenants du primat de théorie dans la construction des inférences et les avocats de l'investigation empirique sur la base d'observations et de quantifications. Les controverses Koopmans-Mitchell, Koopmans-Vining, autant que les querelles sur les auto-régressions vectorielles et la critique de Lucas en témoignent avec éloquence. La question de «mesure sans théorie», soulevée par Koopmans en 1947, résume bien ces enjeux.

6- Cooley et Roy (1985) établit une différence entre les modèles selon les ordres causalités en prenant en compte l'importance relative des vocations descriptive et opérationnelle.

de comportement. Pour autant, le J-Pal tient le principe de la dépendance contrefactuelle pour la clé de la causalité en cherchant à importer la crédibilité des sciences biologiques et médicales.

L'engouement pour l'approche du J-Pal, qui s'est au demeurant ralenti, est dû à trois facteurs. Les expérimentations aléatoires ont bénéficié de cet élan qui s'est accompagné du recul de l'intérêt pour la théorie au profit d'études locales faisant massivement appel au témoignage des données. *Secundo*, contrairement à une idée répandue y compris chez des critiques de l'approche du J-Pal, celle-ci ne se démarque pas du consensus de Washington, paradigme du développement dominant : outre qu'elle fournit une caution aux programmes de ciblage de la pauvreté, elle participe de la consécration du référentiel du marché et de ses politiques conjoncturelles et de ses réformes structurelles qui est le noyau dur de ce consensus. *Last but not least*, à la différence de nombre d'approches, les randomisations manifestent une étroite imbrication entre les dimensions analytique et prescriptive et la traduction pratique. Cette imbrication est visible à travers l'intervention du J-Pal dans le forum scientifique, par le truchement de réseaux d'universitaires, permettant la diffusion des recherches et la promotion académique, dans le forum de l'expertise par le biais de la conduite d'expérimentations, et politiquement au moyen de lancement de programmes avec acteurs publics et privés nationaux et internationaux. Cette intervention multiforme fait du J-Pal une institution au service de la «recherche-action»[7].

L'approche du J-Pal, apparait, à l'examen, participer d'une conception rétrécie de l'objet et de la problématique de l'économie du développement. En ramenant la question du développement à la production de savoirs quantifiés arc-boutés à des actions de lutte contre la pauvreté, elle procède d'une réduction qui accorde un statut hégémonique aux comportements (Servet 2018). L'attitude tranchée face à la macroéconomie entraîne de multiples conséquences. En premier lieu, elle cantonne le champ du développement à l'étude des préférences et choix d'individus privés qui ont bien accès à certains biens, à l'évaluation de la capacité de micro-dispositifs à modifier les comportements. Dans ce contexte, le bien-être social se résume à ces changements. En second lieu, elle disqualifie la capacité des politiques économiques à produire des transformations d'ampleur dans la répartition des ressources et des opportunités, des droits et libertés. Ce faisant, elle évacue les enjeux démocratiques des choix publics à commencer par des mesures destinées à atténuer la pauvreté dans les domaines sanitaire et éducatifs. Au nom de savoirs «pratiques et modestes», l'Etat doit renoncer à l'incorporation de la question de la pauvreté et celles corrélatives d'équité, de lutte contre les inégalités de capacités d'action, de cohésion sociale et de croissance dans l'*agenda* de ses actions.

Le golden standard à l'aune de ses procédures

Les techniques d'évaluation comme la mise en pratique des randomisations ont suscité un large débat qui a pointé l'intérêt du modèle expérimental et ses limites. Ce débat s'est structuré rapidement autour du double examen de la validité interne, qui recouvre la qualité de l'inférence causale, et la validité externe afférente à l'extrapolation des estimations de comportement à d'autres populations. Un large consensus a alors émergé reconnaissant que les expérimentations contrôlées ont à leur actif la satisfaction aux critères de validité interne suite à l'éviction du biais de sélectivité ; l'autre forme de validité, quant à elle, n'est pas acquise (Favereau 2014 ; Rodrik 2008). L'une des conséquences de ces termes du débat est que l'analyse causale, qui est la pierre angulaire de l'expérimentation, n'a guère sollicité la réflexion (Paulré, 2007). C'est à l'aune du déploiement de cette procédure que l'évaluation d'impact doit être appréciée. L'effet Hawthorne, qui exprime le changement de comportement produit par l'intérêt de participer à une expérience, et l'attrition correspondant au retrait d'un programme causé par sa mise en œuvre, souvent minorés, n'échappe pas à l'objection conçue par Collins (1994) sous le vocable de régression de l'expérimentateur. Selon cette objection, les résultats expérimentaux sont affectés par des perturbations qui tiennent à des artefacts sous forme d'incongruences ou d'entorses de comportement au protocole expérimental. Ces artefacts, qui reflètent la dépendance à l'égard du contexte de l'expérimentation, impliquent que les résultats sont nécessairement ambigus et la relation causale suspecte (Heckman 1991).

7- Selon Couttelec «La position du chercheur dans une RA [recherche-action] n'a plus *simplement* le rôle d'expérimentateur, d'expert ou de consultant mais aussi de participant à une construction collective de connaissances» (2012, p. 164).

Cette contingence, caractéristique de la démarche empirique, a pour conséquence la variabilité et, par conséquent, la précarité des énoncés (Taouil 2018). La comparaison des *outcomes* des sous-groupes de test et de contrôle, lorsque ce dernier bénéficie d'une compensation pour pallier son exclusion du traitement, est nécessairement altérée. Ce changement de comportement peut survenir dans un dispositif éducatif lorsque les parents d'élèves ou les enseignants appliquent le programme réservé aux individus traités. Ces interactions, que le modèle d'évaluation, fausse, à l'évidence, l'estimation de l'effet moyen.

Le privilège octroyé au calcul des moyennes élude la manifestation de résultats différenciés associés aux cas où le résultat moyen est supérieur à celui du groupe de contrôle. L'arbitrage favorable à l'expérimentation au regard de l'effet moyen n'échappe pas à l'équivoque. La nécessaire contingence retentit sur la pertinence du contrefactuel. L'hétérogénéité inévitable, que gomme la compression des données par l'intermédiaire des moyennes, omet les écarts et s'oppose ainsi à la comparabilité au sein des deux sous-populations (Jatteau 2017).

Qui plus est, la quête de l'effet causal poursuivie par l'action expérimentale est contrainte par la satisfaction de conditions impliquées par les techniques quantitatives. Le modèle de base du J-Pal suppose que le résultat potentiel d'un individu dépend de sa seule participation au traitement. Cette hypothèse, qui est nécessaire à l'estimation de la moyenne des observations des groupes test et témoin, implique l'absence d'interactions entre les unités. Dans le même temps, l'impact sur un individu A est considéré comme identiquement égal à celui produit sur un individu B. La combinaison de ces hypothèses a pour corollaire l'indifférenciation des individus. Si de telles hypothèses peuvent être admises dans le cadre d'une inférence théorique, elles sont à questionner dès lors qu'elles sont mobilisées par une démarche qui prône l'impératif de *hard evidence*. L'analyse de diverses expériences dont celles mises en valeur par le J-Pal révèle des interdépendances entre les promoteurs des programmes et les participants comme entre ces derniers qui compromettent la mesure des effets et plus encore la détermination de l'effet causal. La multiplication des expériences, justifiée par le principe qu'une base empirique variée et étoffée garantit des assertions de plus en plus assurées est, par construction, inapte à éliminer les contingences. Les données obtenues à l'occasion de chaque intervention, restent toujours tributaires de la définition des programmes, des relations entre les parties prenantes, du dispositif expérimental, des procédures et attitudes des uns et des autres. L'extension du répertoire des résultats même convergents ne renforce en rien la portée générale de la démarche. Il n'y a aucun critère pour procéder à des extrapolations : le nombre des essais, leur durée ou la taille des échantillons, étant purement arbitraires, ne peuvent être sollicités à cet égard.

Au vu de ces limites, l'approche du J-Pal ne saurait assurer une extension de son champ de connaissances et un ajustement de ses techniques permettant de bâtir une base empirique ferme. Cette cumulativité est soumise à indétermination suite au problème de l'imputation du facteur causal aux artefacts des conditions d'expérimentation, à l'activité d'observation ou à la seule intervention sujette à évaluation. Cette ambiguïté se double de celle du passage, par voie inductive, à des conclusions générales par des réplications (Cartwright 2007, 2011). La flexibilité interprétative, pour sa part, n'est pas sans compromettre la valeur de l'accumulation de compte rendu de données. La multiplicité et la divergence des interprétations confèrent aux assertions produites un caractère occasionnel : leur contenu varie selon les conditions de leur énonciation d'autant que la plausibilité empirique est reléguée au second plan, dans le processus de validation des connaissances et de détermination des choix politiques, au profit de la reconnaissance auprès des acteurs et du jeu d'intérêts. Ce défaut de cumulativité est dû au déficit de théorie. L'analyse par variables ne contient pas en propre de critères de jugement de la pertinence des conclusions et des implications opérationnelles. En l'absence de ces critères, l'approche expérimentale ne peut résoudre le choix des énoncés à admettre comme acquis et consolider sa base empirique. Il y a loin entre l'incertitude de cette base et l'ambition d'établir des preuves en faveur des propriétés révélées par l'expérimentation. Cartwright ne manque pas de souligner à cet égard que «Le bénéfice des conclusions dérivées dans le cas idéal [des expérimentations], a pour contrepartie un coût exorbitant : l'étroitesse de la portée» (2007, p. 13).

Ces difficultés sont, comme le relève avec force Desrosières (2014), la marque d'une tension entre le savoir pour la connaissance et le savoir mis au service de la décision et l'action. En

accordant la priorité à l'ingénierie, le J-Pal en vient à mettre l'accent sur l'évaluation de l'efficacité globale en comparant des moyennes, comme en témoigne la prévalence du critère *it works or not* (Deaton, 2009). Sous ce rapport, l'administration des preuves de causalité cède la place à des quantifications destinées à justifier des dispositifs d'incitation.

Au total, le passage des données à l'effet causal que les observations sont censées instancier, par l'intermédiaire de la contre-factualité, rencontre un double écueil. D'une part, les énoncés empiriques ne peuvent, au regard de leur caractère nécessairement contingent, assurer la dérivation causale. De ce fait, ils ne sauraient servir d'instance judicative de la pertinence des actions. D'autre part, des indices d'efficacité des pratiques expérimentales ne peuvent tenir lieu d'argument attestant la capacité de la quête cognitive à détecter des causalités. Quelle que soit l'importance de l'amarrage aux données, le langage statistique, n'a pas, faute de grille théorique préalable, pouvoir constitutif d'assertions stables et d'heuristiques susceptibles de trancher entre des résultats et implications normatives concurrents. Le terme grec *empiricos* qualifiait une catégorie de médecins, qui, à la différence de leurs confrères spécifiés comme l*ogikoi,* avait une préférence pour la consignation des cas particuliers. S'interroger sur l'approche des expérimentations aléatoires fait immanquablement écho à cette tension originelle qui perdure jusqu'à aujourd'hui. René Thom ne s'est exclamé, en réaction au discrédit injustifié jeté sur la théorie «à notre époque c'est plutôt la pensée qu'il faudrait sauver de l'arrogante autorité de l'expérimentation» (1986, p. 18).

Le modèle causal de l'évaluation d'impact

Le modèle de base, issu d'un transfert du domaine bio-médical à l'évaluation des politiques publiques, participe d'une démarche d'identification des conditions causales. La pierre angulaire en est la formulation des résultats potentiels (*outcomes potentiels*), esquissée par Neyman (1923) et mise au point par Rubin (1974) et Holland (1986), qui consiste à examiner l'efficacité d'une intervention à l'aide de procédures contrefactuelles[8].

L'identification de l'effet causal repose sur l'estimation de l'impact d'un traitement D sur une variable de réponse Y pour une population U pour : i = 1,2,..,N.

En supposant que le traitement est binaire, chaque unité de la population est associée à un couple de résultats y_{1i} et y_{0i} qui expriment respectivement la valeur de la variable y en présence de traitement (x=0) et en son absence (x=1). La réponse de chaque individu s'écrit sous la forme :

$$d_i y_{1i} + (1 - d_i) y_{01}$$

Les participants à l'expérimentation peuvent être décrits par l'ensemble $(y_{0i}, y_{1i}, d_i, x_i, \varepsilon_i)$

Les termes x_i et ε_i représentent respectivement les attributs spécifiques des unités et les caractéristiques non observables.

La population est segmentée en un groupement de traitement, $B = \{(i \in U | d_i = 1)\}$ et un groupe de contrôle

$$N = \{(i \in U | d_i = 0)\}$$

L'effet du traitement individuel noté δ est mesuré par :

$$\delta = y_{1i} - y_{Oi}$$

Comme tel, il ne peut être identifié par ce que les réponses sont conditionnelles à deux conditions d'expérimentation qui ne sont pas passibles d'observations simultanées. Une même unité ne peut appartenir aux deux groupes des participants. Pour échapper à cet écueil de l'inférence pointé par Holland, le recours à la dépendance contrefactuelle est nécessaire. La recherche de l'effet causal s'appuie sur la distribution de l'impact de l'intervention sur la population à partir de l'effet moyen du traitement (*Average Treatment effect,* ATE) :

$$\delta = E(y_1 - y_0) = E(y_1) - E(y_0)$$

Cette différence représente l'espérance du résultat potentiel et celui où l'individu n'est pas soumis à l'intervention. La manifestation d'un effet causal présuppose la condition :

$$E(y_1) - E(y_0) \neq 0$$

8- La référence essentielle en la matière est donnée par les travaux de Lewis sur la causalité et les contrefactuels. Nous pensons – écrit Lewis- à une cause comme faisant une différence, et la différence que fait cette cause doit être une différence par rapport à ce qui se serait passé en son absence» (1973, p. 557)

L'estimation du changement induit par la réponse d'un individu participant s'obtient par la différence des moyennes observées :

$$\hat{\delta} = \frac{1}{n_b}\sum_{i\in B} y_i - \frac{1}{n_n}\sum_{i\in N} y_i = \left(\bar{y}|i \in B - (\bar{y}|i \in N)\right)$$

n_b est le nombre d'unités de l'échantillon traité et celui de l'autre échantillon.

Cet estimateur est affecté d'un biais de sélection quand le cas où le couple de caractéristiques (x_i,ε_i) entre les deux sous-populations est différent. L'existence de différence a priori a pour conséquence :

$$E(y_1 - y_0) \neq E((y|d = 1) - E((y|\, d = 0)$$

La détermination de ces paramètres d'intérêt requiert la réunion d'hypothèses identificatrices.

H1 : l'indépendance statistique des résultats potentiels vis-à-vis de l'accès au traitement, $(y_0,y_1\ \Pi\ d)$, implique que chaque individu a la même probabilité de recevoir le traitement. Cette propriété permet d'éliminer le biais de sélection.

ATE devient :

$$\begin{aligned}\hat{\delta} &= E(y_1 - y_0)\\ &= E(y_1) - E(y_0)\\ &= E((y_1|\, d = 1) - E((y_0|d = 0)\\ &= E((y|d = 1) - E((y|\, d = 0)\end{aligned}$$

L'effet moyen du traitement sur les traités est, quant à lui, donné par :

$$\begin{aligned}\hat{\delta}^B &= ATT = E(y_1 - y_0|\, d = 1)\\ &= E((y_1|\, d = 1) - E((y_0|d = 1)\end{aligned}$$

L'identification de ce second paramètre appelle une hypothèse moins forte : il suffit que les résultats y_0 soient indépendantes en moyenne de d. Dans ce cas, il vient :

$$E(y_0|d = 1) = E(y_0|d = 0)$$

Les deux paramètres d'intérêt sont égaux sous les deux conditions afférentes à chacun et l'estimateur n'est autre que la différence des moyennes observées des deux groupes :

$$\begin{aligned}E(y_1 - y_0|\, d = 1) &= E((y_1|\, d = 1) - E(y_0|d = 1)\\ &= E((y_1|\, d = 1) - E(y_0|d = 0)\\ &= E((y|d = 1) - E((y|\, d = 0)\end{aligned}$$

H2 : Les résultats du traitement doivent être constants dans le temps :

$$Y_i^B = Y_k^B \text{ et } Y_i^N = Y_k^N$$

Pour tout i et t.

H3 : Cette invariance temporelle est associée à l'homogénéité des unités que l'effet produit par une intervention sur unité i est égal à celui correspondant à l'individu k :

$$Y_i^B = Y_k^B \text{ et } Y_i^N = Y_k^N$$

H 4 : Cet impact est supposé être le même sur chaque unité de la sous-population traitée. Comme tel, il implique que les effets moyens sont égaux :

$$\delta_i = \delta_k \text{ soit } Y_i^B - Y_i^N = Y_k^B - Y_k^N$$

Ces réquisits, qui découlent de l'isolement de l'impact d'une variable sur une autre, vont de pair avec l'hypothèse que l'effet produit sur l'échantillon témoin ne se répercute pas sur les bénéficiaires. Ce faisceau d'hypothèses écarte la variabilité intra-individuelle et entre individus en vertu de la clause *ceteris paribus*. L'identification comprend, en définitive, deux moments : la génération des données expérimentales et l'estimation de l'effet causal par une mise en variable centrée sur la densité des observations.

Références bibliographiques

Angrist D. et Pischke J-S. [2010], «The Credibility Revolution in Empirical Economics: How Better Research Design Is Taking the Con out of Econometrics», *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 24, N°2, p. 3-30.

Banerjee A.V. [2010], *Making Aid Work*, Cambridge, MIT Press.

Banerjee A.V. et Duflo E. [2010], *Repenser la pauvreté*. Paris, Editions du Seuil, 2012.

Banerjee A.V. et Duflo E. [2009], «L'approche expérimentale en économie du développement», *Revue d'économie politique*, vol. 119, n°, pp. 691-726.

Cartelier J. [2017], «L'état de la science économique : vers une disparition de la théorie économique», *La science dans tous ses états*, Académie Hassan II des sciences et techniques, Rabat.

Cartwright, N. [2011], «Evidence, external validity and explanatory relevance», in *Philosophy of science matters: the philosophy of Peter Achinstein*. New-York: Oxford University Press.

Cartwright N. [2007], «Are *RCTs* the *gold* standard?», *BioSocieties*, vol. 2, °1, pp.11-20.

Collins H. et Pitch [1994], *Tout ce que vous devriez savoir sur la science*, Paris, Seuil.

Cooley T. et Roy S. [1994], «A theoretical macroeconometrics: A critique», *Journal of Monetary Economics*, vol. 16, issue 3, pp. 283-308.

Couttelec J. [2012], «Comment la recherche-action déplace les frontières», *Epistémologie des frontières*, A-F. Schmid (Ed., Transphilosophiques, Editions Petra, Paris.

Deaton A. S. [2009], «Instruments of development: Randomization in the tropics, and the search for the elusive keys to economic development», *NBER Working Paper*, n°14690.

Desrosières A. [2014], *Prouver et gouverner, une analyse politique des statistiques publiques*, Paris, La découverte.

Duflo E. [2010a], *La politique de l'autonomie, Lutter contre la pauvreté,* tome II, Paris, Seuil, La République des idées.

Duflo, E. [2010b], *Le développement humain, Lutter contre la pauvreté*, tome I, Paris, Seuil, La République des idées.

Duflo E. [2009], *Expérience, science et lutte contre la pauvreté*, Paris, Fayard.

Duflo E. [2009], Glennerster R. et Kremer. *R. Using Randomization in Development Economics Research* : A Toolkit, *NBER Technical Working Paper*, n° 333.

Fagot-Largeaut A. [2017], «Sur la polysémie du vocabulaire causal», *La causalité dans les sciences biologiques et médicales*, Académie des Sciences, Edp Sciences, les Ulis, pp. 7-17.

Favereau J. [2014], *La lutte contre la pauvreté à l'épreuve des essais cliniques. Réflexion sur l'approche expérimentale de l'économie du développement,* CES Working Papers, Université Paris 1.

Hacking I. [1993], *Concevoir et expérimenter*, Paris, Christian Bourgois.

Heckman J. J. [1991], «*Randomization and Social Policy Evaluation», NBER Technical Working Paper,* n° 107.

Holland P.W. et Rubin D. B. [1988], «Causal inference in Retrospective Studies», *Evaluation Review*, vol. 12, n°13, pp 203-231.

Holland P. W. [1986], «Statistics and Causal Inference», *Journal of the American Statistical Association*, vol. 81, n° 396, pp. 945-960.

Kahneman D. [2011], *Thinking, Fast and Slow*. New York, Farrar, Straus and Giroux.

Jatteau A. [2017], «Faire preuve par le chiffre ? Le cas des expérimentations aléatoires en économie», *Revue de la régulation*, n°1.

Labrousse A [2010], «Nouvelle économie du développement et essais cliniques randomisés: une mise en perspective d'un outil de preuve et de gouvernement», *Revue de la régulation*, 1er semestre, spring.

Lewis D. [1973], *Coutrefactuals*, Blackwell, Oxford.

Montalvo J. G. [2008], *Analisis experimental de la ayuda al desarrollo, la evaluacion de lo functiona y lo que no functiona*, Bilbao, Fundacion BBVA.

Neyman J. [1990], «On the Application of Probability Theory to Agricultural Experiments. Essay on Principles», *Statistical Science*, vol. 5, n°4. pp. 465- 480, repris des *Annals of Agriculture*, 1923.

Rodrik D. [2008], «The new development economics: we shall experiment, but how shall we learn?», Paper prepared for the *Brookings Development Conference*, May, n° 29-30, 2008.

Rubin D. B. [1974], «Estimating causal effects of treatments in randomized and nonrandomized studies», *Journal of Educational Psychology*, vol. 6-, n°5, pp.688-701.

Paulré B. [2007], «Mise en perspective et approches opérationnelles», *Leçons de philosophie économique, tome III : science économique et philosophie des sciences,* A. Leroux et P. Livet, Paris, Economica.

Servet J. M. [2018], *L'économie comportementale en question*, Paris, Ed. Charles Leopold Mayer.

Taouil R. [2018], «La macroéconomie est-elle une discipline empirique», *Revue d'histoire de la pensée.* vol. 2, n°6.

Thom R. [1986], «La méthode expérimentale : un mythe des épistémologues (et des savants)», *La philosophie des sciences aujourd'hui*, J. Hamburger (ed.) Académie des Sciences, Ghautier-Villars, Paris.

Nouvelles des académiciens

Prix d'excellence en enseignement décerné au Pr Daoud AIT KADI, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

L'Institut d'Émission d'Outre-Mer (IEOM) Society International a décerné le 25 octobre 2019 le prix d'excellence à Daoud AIT KADI, professeur associé en génie industriel dans l'Université Laval, Québec, Canada.

Cette distinction reconnaît sa contribution exceptionnelle à l'enseignement et à la recherche dans le domaine du génie industriel. Selon l'IEOM, le professeur Ait-Kadi est un modèle positif puisqu'il stimule la curiosité intellectuelle de ses étudiants, fait preuve d'engagement envers leur apprentissage et se soucie de l'amélioration continue de ses pratiques.

La mission de l'IEOM est de promouvoir, à l'échelle internationale, la pensée critique dans les domaines du génie industriel et de la gestion des opérations en offrant des moyens de communication et de mise en réseau entre des personnes diversifiées, issues en particulier des pays émergents, qui sont motivées par des intérêts communs.

Toutes nos félicitations au Pr Daoud AIT KADI