



ROYAUME DU MAROC

Académie Hassan II des Sciences et Techniques

**ACTES
DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE**

Année 2012

Rabat : 15 - 17 février 2012



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



ROYAUME DU MAROC

Académie Hassan II des Sciences et Techniques

**ACTES
DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE**

Année 2012

Rabat : 15 - 17 février 2012

© Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Rabat
Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers)
Rabat, Royaume du Maroc

Dépôt légal : 2013 MO 0314
ISBN : 978-9954-520-08-6

Réalisation : **AGRI-BYS S.A.R.L. (A.U)**

Achevé d'imprimer : février 2013
Imprimerie Lawne : 11, rue Dakar, Océan, 10040 - Rabat, Maroc

SOMMAIRE

Avant-propos	9
Forword	13
CÉRÉMONIE D'OUVERTURE	17
Mot du Directeur des Séances Ahmed EL Hassani	19
Discours d'ouverture du Secrétaire Perpétuel Omar Fassi-Fehri	21
Introduction aux Sciences et Ingénierie Numériques Abdelhaq El Jai, Nadia Ghazzali et Malik Ghallab	27
Allocution Madame Catherine Bréchignac.....	33
LES DÉFIS INTERDISCIPLINAIRES EN SCIENCES ET INGÉNIERIE NUMÉRIQUES (SIN)	37
Désignation du nouveau Directeur des Séances	39
<i>SIN en Sciences de la vie</i>	
Imagerie médicale et informatique : vers un patient numérique personnalisé Nicholas Ayache.....	41
Modélisation des épidémies : de l'approche mathématique à l'approche interdisciplinaire Abdessamad Tridane	57
Réseau de régulation pour l'immunologie et l'embryogenèse Jacques Demongeot	59
La modélisation des relations individu-groupe-population : de la cellule aux ensembles urbains Hassan Hbid	61
<i>SIN en Physique, Chimie et Ingénierie</i>	
Simulation en temps réel des procédés chimiques : rêve ou réalité ? Jinghai Li	65
Revue sur les volumes finis adaptatifs en science et ingénierie : rôle des simulations en dynamique des fluides dans l'industrie Fayssal Ben Khaldoun	69

Revue sur les volumes finis adaptatifs en science et ingénierie : rôle des simulations en dynamique des fluides dans les domaines de l'eau et de l'environnement	
Mohammed Seaid	95

Défis liés aux données de l'expérience ATLAS au LHC du CERN-Genève	
Rajaa Chekaoui El Moursli.....	111

SIN en Sciences de l'Environnement

Système de prévision numérique des fluides géophysiques	
Eric Blayo	123

De l'écologie théorique à l'ingénierie écologique : place de la modélisation	
Daniel Auclair	125

Panel : SIN interdisciplinaires en sciences de la vie, des matériaux et de l'environnement

Rajae El Aouad, Gérard Fuller et Driss Ouazar.....	127
--	-----

MÉTHODES ET OUTILS DES SIN.....	135
--	------------

Mathématiques et informatique

Systèmes dynamiques	
Jean-Christophe Yoccoz, invité spécial de la session plénière 2012.....	137

TIC – un outil de transformation interdisciplinaire utile pour la science et l'innovation	
John O'Reilly	155

Allocution	
François Guinot.....	159

Allocution	
Arantes Olivera	163

Simulation et calcul de haute performance

Calcul haute performance : défis et réalisations	
Marc Parizeau	165

Simulations complexes, interaction, exploration et réalité virtuelle	
Bruno Arnaldi.....	167

Modèles alternatifs et représentations

La méthode de «Réseau-Boltzmann» et ses applications en sciences et ingénierie	
Bastien Chopard.....	173

Synchronisation et contrôle du chaos dans les automates cellulaires	
Franco Bagnoli.....	179

Données et connaissances

Données massives en sciences et nuage numérique	
Fabrizio Gagliardi	181

Prise en compte, en conception, de la fiabilité et de la maintenabilité des systèmes	
Daoud Ait Kadi	187

Panel : SIN, outils et méthodes

Erik Sandwall, Rachid Benmokhtar et Philippe Tanguy.....	205
--	-----

SÉANCE SUR «LA FORÊT» EN COMMÉMORATION DE L'ANNÉE INTERNATIONALE DE LA FORÊT

211

La foresterie et les espaces boisés en Méditerranée et au Maroc - Rapport de synthèse	
Albert Sasson	213

La forêt marocaine : faits et défis	
Abdeladim Lhafi	217

Les espaces boisés méditerranéens	
Jean-Paul Lanly.....	225

Recherche forestière au Maroc	
Said Hajib.....	237

Session interne de l'Académie

Rapport d'Activité de l'Académie (2010-2011)	
Omar Fassi-Fehri	251

Compte rendu de la session plénière 2012	285
---	-----

Conclusions de la session plénière 2012	293
--	-----

Liste des participants et des orateurs invités.....	299
--	-----

Discours d'ouverture du Secrétaire Perpétuel (en arabe)	
--	--

Message adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI (en arabe).....	
--	--

Compte rendu de la session plénière 2012 (en arabe)	
--	--

Avant-propos (en arabe)	
--------------------------------------	--

AVANT-PROPOS

Les mathématiques sont probablement les précurseurs du savoir scientifique quantitatif, du raisonnement logique et de l'abstraction des concepts. Il semble même qu'elles ont permis à la pensée humaine de se structurer, et sur le plan scientifique de traduire les concepts et les mécanismes en équations quantitatives ayant souvent force de loi. Elles ont aussi permis aux sociétés anciennes de mesurer, de compter et de déduire, pour une organisation cohérente de la société, comme la fabrication des objets, la construction de l'habitat, la gestion de l'agriculture et des récoltes, le commerce, et également la détermination du temps, l'établissement du calendrier et la prédiction des événements y compris astronomiques, etc.

Elles ont aidé par la suite à formuler les lois qui gouvernent de manière quantitative le fonctionnement et l'évolution de la nature. L'invention de la machine, de sa miniaturisation (découverte de l'électronique) et de son contrôle (informatique), a eu un impact sans précédent sur la vie de tous les jours et sur le fonctionnement de la société dans son intégralité. La révolution informatique et l'utilisation de l'ordinateur par les scientifiques, par l'industrie ou encore par le public ont changé radicalement notre rapport aux concepts physiques, à la conception et la fabrication ou encore à l'information et son traitement.

L'évolution des mathématiques appliquées et des outils informatiques a permis de développer une nouvelle branche de la science qualifiée de Sciences et Ingénierie Numériques (SIN). Sous leur forme la plus simple, les SIN reposent sur un ensemble de techniques de raisonnement logique permettant de simplifier, de séquencer et de résoudre des problèmes complexes en utilisant des modèles physiques, décrivant le problème en question, et des techniques mathématiques, algorithmiques et informatiques. Elles permettent l'acquisition et le traitement de l'information de façon aisée et organisée, de simuler des événements difficiles à réaliser au laboratoire, de concevoir et de réaliser des maquettes et des prototypes industriels et de prédire, dans certains cas, le comportement des phénomènes de la nature, des procédés industriels et des objets lors de leur fabrication et leur utilisation. À titre d'exemples, les SIN permettent de concevoir et de mettre au point sur ordinateur les composantes d'un avion, d'une voiture et d'autres objets industriels, et de tester leur comportement d'abord de façon individuelle, puis de manière intégrée avant leur fabrication réelle en usine; elles permettent aussi de simuler les conditions climatiques et d'en prédire les effets; elles permettent également d'acquérir l'information, comme les signaux optiques des satellites, de la traiter et de la transformer en connaissance de l'univers, concernant par exemple la structure, les échelles et le mouvement des objets célestes, etc. Ce sont là quelques exemples simples permettant d'illustrer les implications des SIN.

Sous leur forme complexe, les SIN ne concernent pas uniquement l'acquisition et le traitement de l'information et la simulation des comportements, elles génèrent aussi de nouvelles connaissances et contribuent à l'avancement des connaissances et des compétences dans différents domaines scientifiques et techniques.

Les SIN ouvrent ainsi de nouveaux paradigmes d'investigation dans de nombreuses disciplines: physique, astronomie et astrophysique, chimie, sciences des matériaux, sciences de la vie, sciences de la terre, climatologie, architecture, économie et logistique et même dans les sciences humaines et sociales. Elles ont un fort impact sur la recherche, son organisation, ses méthodes d'évaluation et de dissémination. Elles révolutionnent l'ingénierie dans tous les domaines de production et de services, et elles ont complètement changé le processus de conception et les mécanismes d'innovation.

Aujourd'hui, dans chaque domaine scientifique et technologique, on rencontre des problèmes complexes, faisant ressortir des interactions entre plusieurs phénomènes. Chaque phénomène doit être traité en utilisant des approches appropriées et des représentations mathématiques adéquates tenant compte des différents effets interactifs impliqués. La complexité de ces couplages peut être surmontée en utilisant plusieurs techniques analytiques complémentaires, combinées à une approche cohérente et intégrée. Les possibilités pour l'intégration numérique des modèles multi-physiques et multi-échelles, la sophistication des mesures, le traitement des données, ainsi que le large accès aux banques de données et la puissance des codes de simulation et de visualisation et des supports informatiques, ouvrent des perspectives interdisciplinaires radicalement nouvelles et des développements technologiques importants. A titre d'exemple, dans le domaine des matériaux, la modélisation et les simulations moléculaires permettent dans certains cas de prévoir telle molécule ou combinaison de molécules pour telle application, leur stabilité et leurs propriétés avant leur synthèse au laboratoire. La modélisation multi-échelle combinée à la simulation numérique permet dans certains cas de choisir les composantes de base et leur proposition pour la fabrication d'objet en matériaux hétérogènes tout en prévoyant leurs propriétés (céramiques, mélanges de polymères, composites et nanocomposites, matériaux à structures lamellaires etc.).

La modélisation intégrée permet aussi de tenir compte de l'effet combiné de plusieurs paramètres à la fois via des couplages complexes de phénomènes physiques, chimiques et biologiques dans un même cadre de simulation et de prévision du comportement de l'ensemble des composantes mises ensemble. C'est le cas par exemple des modèles numériques, pour simuler le fonctionnement d'un organe tel que le système cardiovasculaire, qui doivent intégrer de multiples modèles reliés à l'électrophysiologie, la mécanique du muscle, l'écoulement du sang et de l'air, le métabolisme cardiaque, la perfusion du myocarde, etc. Ces modèles sont traités par couplage entre les différents phénomènes, dans une approche globale donnant des informations cruciales pour le fonctionnement du système cardiovasculaire en entier.

Malgré les progrès spectaculaires des SIN, des défis importants restent encore à surmonter; ils sont reliés aux modèles mathématiques multi-niveaux, aux techniques d'acquisition, de traitement des données, des simulations et à la précision des prévisions, notamment à long terme (prévision du climat et des catastrophes naturelles...) et à la puissance des calculateurs et des ordinateurs et l'optimisation des algorithmes de calcul.

Le Maroc utilise déjà dans de nombreux domaines des technologies relevant des SIN, mais il reste encore beaucoup à faire dans des domaines importants pour le développement du pays, comme notamment l'identification détaillée des ressources naturelles (affiner la carte géologique du pays avec le recensement des ressources minières, végétales, halieutiques et de la biodiversité nationale), l'aménagement du territoire, la gestion urbaine et rurale (circulation, aménagement et développement, etc.), la modernisation des services publics et privés, l'amélioration fonctionnelle du système de santé, tant sur

le plan de la planification qu'au niveau de la recherche et développement, et beaucoup d'autres applications industrielles permettant d'accompagner et de développer davantage les politiques sectorielles du pays (Plan Maroc Vert, Plan Azur, Plan Energétique, Plan Emergence, Plan Halieutis ...).

En plus de ces défis scientifiques et techniques aux solutions desquelles les chercheurs marocains doivent contribuer en les appliquant à leur champ disciplinaire, des défis sur les plans de la formation, de l'éducation restent posés. Contrairement à jadis, l'accès de façon massive à l'information technique et scientifique, aux outils de simulation, de visualisation et d'analyses s'est généralisé comme jamais auparavant, et ceci amplifie de façon significative l'impact de la maîtrise des outils des SIN sur l'activité professionnelle et sur la vie quotidienne des citoyens.

La session plénière 2012 a été l'occasion de discuter et débattre des défis scientifiques et technologiques reliés aux sciences et ingénierie numériques ainsi que des apports possibles pour le développement des différents secteurs d'activité au Maroc et des cursus de formation.

Ont été invités à la session plénière 2012 des personnalités scientifiques éminentes du Maroc et de l'étranger (France, USA, Royaume Uni, Suisse, Chine, Canada, Italie), ainsi que des décideurs et des opérateurs socio-économiques du Maroc et de l'étranger.

FOREWORD

Mathematics is probably the precursor of quantitative scientific knowledge, logical reasoning and abstract concepts. It even seems that it has allowed structure to human thought, and scientifically enabled to translate concepts and mechanisms in accurate quantitative equations. It has also permitted ancient societies to measure, count and deduct for the coherence of their organization, namely: the manufacture of objects, building construction, the management of agriculture and crops, trade, time determination, scheduling and also the prediction of events especially astronomical ones, etc...

Later on, Mathematics helped to formulate the laws that quantitatively govern nature's functioning and evolution. The invention of the machine, its miniaturization (electronic discovery) and control (IT) had an unprecedented impact on everyday life and on the functioning mode of society as a whole. The IT revolution and the computer use by scientists, industry or even by the mass, has changed our relationship with physical concepts, design, manufacture, information and its treatment.

The evolution of applied mathematics and computational tools has developed a new scientific branch called "Computational Sciences and Engineering" (CSE). In their simplest form, CSE are based on a set of logical reasoning techniques which enable to simplify, sequence, and solve complex problems, using physical models describing the problem in question, and mathematical, algorithmic and computing techniques. Moreover, Mathematics allows the organized acquisition and processing of information, the stimulation of difficult events to achieve in laboratories, the conception and realization of models and industrial prototypes. It also predicts, in some cases, the behavior of natural phenomena, industrial processes and objects in their manufacture and use. As examples, CSE can design and develop the computer-based components of an aircraft, a car and other industrial objects. Their individual behavior can be tested, especially before their effective realization. Climatic conditions can also be stimulated and their effects, predicted. CSE can also get information, such as optical signals from satellites, treat it and turn it into universal knowledge (such as for the structure, scales and motion of celestial objects, etc...). These are some simple examples illustrating the implication of CSE in many fields.

Under their complex form, CSE do not only concern information acquisition and processing, or behavior simulation, the discipline also generates new skills and contributes to the advancement of knowledge in different scientific and technical fields.

Thus, CSE open new paradigms of investigation in many disciplines: physics, astronomy and astrophysics, chemistry, material sciences, life sciences, earth sciences, climatology, architecture, economics and logistics, and even social and human sciences.

Moreover, they have a strong impact on research, its organization, its methods of evaluation and dissemination. They revolutionize engineering in all areas of production and services.

They have completely changed the conception process and mechanisms for innovation.

In today's every scientific and technological field, we encounter complex problems highlighting the interactions between several phenomena. Each phenomenon must be processed using appropriate approaches and adequate mathematical representations, taking into account the different interactive effects involved. The complexity of these couplings can be overcome by using several complementary analytical techniques, combined with a coherent and an integrated approach. The possibilities for integrating multi-physical and multi-scaled models, developing measures, data processing, wide access to databases, the strength of simulation and visualization codes as well as computing, open radically new interdisciplinary perspectives and important technological developments. For example, in the field of materials, modeling and molecular simulations can, in some cases, identify which molecule or combination is adequate to which application, their stability and properties before their synthesis in the laboratory.

Multiscale modeling combined with computational simulation enable, in some cases, to choose the basic components and their proposal for objects manufacture in heterogeneous materials, while providing their properties (ceramic, polymer blends, composites and Nano composites, materials with lamellar structures etc.). Integrated modeling can also consider the combined effect of several parameters at once, via the complex coupling of physical, chemical and biological phenomena, in a single frame of simulation and behavior prediction of all combined components. This case concerns computational models, to simulate organ functioning such as the cardiovascular system that must integrate multiple models linked to electrophysiology, muscle mechanics, blood and air flow, cardiac metabolism, myocardial perfusion, etc... These models are treated by coupling, in a comprehensive approach providing accurate information for the functioning of the general cardiovascular system.

Despite the spectacular progress of CSE, significant challenges remain to be overcome. They are generally connected to multi-leveled mathematical models, technological acquisition, data processing, simulations and accurate forecasting, notably for a long-term period (climate and natural disasters prediction...), calculators and computers' capacity, and algorithms optimization.

In many technological fields covered by CSE, Morocco is already operating. However, much remains to be done in some important areas for the national development of the country, notably the detailed identification of natural resources (refine the geological map of the country with the census of mineral resources, vegetation, fisheries and national biodiversity), regional planning, urban and rural management (traffic, planning and development, etc..), the modernization of public and private services, the functional improvement of health system, both in planning and in terms of research and development, and many other industrial applications permitting the support and development of the country's sectorial policies (Green Morocco, Azur plan, Energy Plan, Emergence Plan, Halieutis Plan,...).

In addition to these scientific and technological challenges to which Moroccan researchers have brought solutions trying to apply them in their disciplinary fields, training and education challenges still remain. Unlike the past, the massive access to technical and scientific information, to simulation, visualization and analysis tools, has become more widespread than ever, and this significantly amplifies the impact of CSE's control tools in professional activities and daily life.

The 2012 plenary session was a valuable opportunity to discuss and debate on the scientific and technological challenges related to Computational Sciences and Engineering, as well as the digital inputs available for the development of various sectors in Morocco, including capacity building.

Foreign eminent scientists, from France, USA, UK, Switzerland, China, Canada, Italy, Moroccan scientists, decision makers and a few national and international socio-economic operators were invited to the Solemn Plenary Session of 2012.

CÉRÉMONIE D'OUVERTURE



Parmi les invités de marque à la cérémonie d'ouverture, de droite à gauche, MM. :

- Abdelilah Benkirane, Chef du Gouvernement
- Lahcen Daoudi, Ministre de l'Enseignement Supérieur,
de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres
- Mohamed El Ouafa, Ministre de l'Education Nationale
- Abdelaziz Benzakour, Médiateur du Royaume
- Khalid Naciri, Directeur de l'Institut Supérieur de l'Administration

MOT DU DIRECTEUR DES SÉANCES

Pr. Ahmed EL HASSANI

Directeur des Séances



بسم الله الرحمن الرحيم وصلى الله وسلم على أشرف المرسلين.

- السادة الوزراء،
- السيد أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات،
- السيدة أمينة السر الدائمة لأكاديمية العلوم بفرنسا،
- السيد أمين السر الدائم لأكاديمية المملكة المغربية،
- السيد نائب أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات،
- السادة أعضاء أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات،
- السيدات و السادة ضيوف الأكاديمية،

باسم أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، نرحب بكم في افتتاح الدورة العامة الرسمية لسنة 2012 والتي تدرج تحت عنوان : العلوم والهندسة الرقمية. حياتنا اليومية مع متمنياتنا أن تكون هذه الدورة فرصة للإسهام في خدمة وطننا والإسهام في تنميته. ونتمنى أيضا أن تكون هذه الدورة بادرة تؤدي إلى خلق المعرفة العلمية وتساهم في بناء الفكر الإنساني. كما نرجو أن تساهم في التحديات العلمية والتقنية التي يجب على الباحثين تطبيقها إنطلاقا من اختصاصهم، خاصة وأن التحديات مازالت قائمة على مستوى التكوين والتربية حيث أصبحت المعلومات العلمية والتقنية أدوات المحاكاة والتصور والتحليل أكثر مما كان عليه الأمر في الماضي. وهذا يضاعف بشكل متميز آثار سيطرة العلوم والهندسة الرقمية على النشاط المهني وعلى الحياة اليومية للمواطن.

ولهذا، ستكون هذه الدورة إن شاء الله فرصة لمناقشة التحديات العلمية والتكنولوجية المرتبطة بالعلوم والهندسة الرقمية وبالتالي تنمية مختلف القطاعات والمناهج الدراسية في المغرب.

وفي الأخير نتمنى لضيوفنا مقاما طيبا وسعيدا بيننا في هذه الدورة الموفقة بإذن الله العلي الكريم، والسلام عليكم ورحمة الله تعالى وبركاته.

Je donne la parole maintenant à Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques : Pr. Omar Fassi-Fehri.



Le Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, prononçant le discours d'ouverture de la session plénière solennelle 2012.

DISCOURS D'OUVERTURE DU SECRÉTAIRE PERPÉTUEL

Pr. Omar FASSI-FEHRI

*Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



**Monsieur le Chef du Gouvernement,
Monsieur le Président de la Chambre des Conseillers,
Messieurs les Ministres,
Excellences,
Honorables invités,
Mesdames & Messieurs les Académiciens,
Mesdames & Messieurs,**

La session plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est toujours un moment privilégié qui nous permet de nous retrouver pour nous acquitter d'une des activités phares de notre Institution, celle, comme précisé dans la loi de sa création, de réunir de façon régulière l'ensemble de ses membres dans l'objectif de développer la concertation et l'échange entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale sur des questions majeures qui préoccupent notre société, et d'apporter un éclairage renouvelé sur l'évolution du savoir dans le monde.

La tenue de la session plénière solennelle de notre Académie nous permet également à chaque fois de nous enquérir de la mise en œuvre des missions de notre institution et de nous concerter sur la mobilisation des énergies et des voies appropriées pour mettre les résultats de la science au service du développement de notre pays.

Nous sommes particulièrement honorés qu'à l'ouverture de cette session soient présentes parmi nous toutes les personnalités qui ont bien voulu répondre à notre invitation. Nous les en remercions très sincèrement et leur souhaitons la bienvenue.

**Excellences,
Mes chers confrères,
Mesdames, Messieurs,**

Notre époque est aujourd'hui le théâtre de transformations et de bouleversements si puissants que certains n'hésitent pas à affirmer que nous vivons une troisième révolution industrielle –celle des nouvelles technologies de l'information et de la communication–. L'ampleur de ces transformations technologiques affecte, depuis déjà quelques décennies, les moyens de création, de transmission et de traitement des savoirs, et autorise à penser que nous vivons déjà dans ce qu'on peut désigner par l'«âge numérique».

Les produits issus des sciences et de la technologie représentent déjà, et représenteront encore davantage dans l'avenir, une part considérable dans la richesse collective. Les quatre géants (Google, Apple, Facebook et Amazon) se partagent le marché numérique et représentent à eux quatre 750 milliards de dollars. La compétition internationale du 21^{ème} siècle sera une compétition de l'intelligence et du savoir, c'est ce qui a fait dire à Ahmed Zewail, Prix Nobel de chimie en 1999 «la science et la technologie sont devenues la nouvelle devise forte du 21^{ème} siècle».

**Excellences,
Mes chers confrères,
Mesdames, Messieurs,**

Notre pays, connaît ces dernières années, sous la conduite éclairée de Sa Majesté Le Roi –que Dieu Le protège–, des mutations profondes traduisant la volonté de mettre le pays sur les rails du développement durable; dans cette bataille qui vise à affronter les défis de la mondialisation et ceux du développement durable, la science et la technologie jouent un rôle stratégique; cette bataille ne pourrait être gagnée si le monde scientifique et celui de l'entreprise n'y sont pas impliqués, l'objectif étant d'engager très vite le secteur de la recherche et de l'innovation vers la production de valeur ajoutée pour tous les secteurs de l'économie. C'est pourquoi il est urgent de mettre l'accent sur la nécessaire relance de la science et de la technologie marocaines, grâce à une politique audacieuse visant à former des chercheurs en nombre suffisant et d'abord dans les domaines où le Maroc dispose d'atouts naturels et occupe des positions significatives sur le plan international (comme les ressources du sous-sol, ou les ressources halieutiques, ou le secteur de la chimie...) et ensuite dans les domaines stratégiques comme les secteurs de l'énergie, de l'alimentation, de l'eau, de l'environnement...

En 2008, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a décidé, en auto saisine, d'examiner l'état de la science dans notre pays, et de faire des propositions susceptibles de renforcer l'efficacité des efforts déjà entrepris par les autorités, pour donner un nouvel élan à la politique nationale en la matière. Cette première réflexion a abouti à la publication, en mars 2009, du document intitulé «Pour une relance de la recherche scientifique et technique au service du développement du Maroc»; trois ans plus tard, nous pensons qu'il est utile, de mener, à la lumière en particulier du bilan du Plan d'urgence, une nouvelle réflexion sur la science et la technologie marocaines en nous intéressant à la fois aux données globales et nationales, et aux données par champ disciplinaire. Je me

permets de donner à cette occasion quelques unes des données recueillies tout récemment (données 2010) avec l'aide d'une équipe comprenant des représentants de divers acteurs de la recherche que je voudrais aujourd'hui remercier de manière toute particulière; elles indiquent entre autres que l'ensemble de l'effectif du personnel de la recherche scientifique est passé de 30 000 personnes en 2006 à plus de 36 000 en 2010. Sur le plan des ressources financières, la Dépense Intérieure brute de la Recherche-Développement (DIRD), a connu également une augmentation significative entre 2006 et 2010 (+54%), et la part de la DIRD en pourcentage du PIB, consacrée à la recherche-développement par notre pays, a évolué faiblement passant de 0,64% en 2006 à 0,74 en 2010, ce qui montre qu'on n'a pas encore pu atteindre en 2010 l'objectif de 1% fixé par la Charte de l'éducation et de la formation.

Sur le plan de la production scientifique, la base de données bibliographiques Web of Science (WOS) fourni par l'IMIST montre que le Maroc, en 2010, représente 0,12% de la part de la production scientifique mondiale, soit l'équivalent d'environ 1300 publications par an. Sur 120 pays du corpus global de la base de données de la production scientifique mondiale qui sont classés, le Maroc occupe la 60^{ème} place. En fait, depuis 2003 on assiste à une quasi stagnation de la production scientifique. L'ensemble des données obtenues dans le cadre de cette étude feront l'objet bientôt, d'une présentation par l'équipe mise en place; et à la lumière de ces données l'Académie élaborera un nouveau document analysant la situation scientifique et présentant des propositions pour le développement scientifique et technique de notre pays.

**Excellences,
Mes chers confrères,
Mesdames, Messieurs,**

Durant l'année écoulée notre Académie s'est ainsi attachée à remplir ses missions et développer ses différentes activités en ayant toujours pour souci principal celui de privilégier et rechercher l'excellence dans le cadre des différents programmes qu'elle met en œuvre en matière de diffusion de la culture scientifique, de développement de l'enseignement des sciences, de promotion de la recherche scientifique (A.O. 2011 – 40 MDH), de réalisation d'enquête sur le secteur, et de présence significative sur le plan international.

Avec la Haute Bénédiction de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI -que Dieu Le garde-, le thème scientifique général choisi pour notre actuelle session plénière solennelle porte sur «Sciences & Ingénierie numériques». Nous voulons à cette occasion exprimer notre profonde gratitude et nos remerciements déferents à Sa Majesté Le Roi -que Dieu Le protège- pour l'intérêt qu'Il n'a pas cessé de porter aux activités de notre Compagnie et pour Sa bienveillante sollicitude dont nous espérons être dignes et qui nous honore tout particulièrement.

Le choix du thème «Sciences & Ingénierie numériques» s'explique certes par le rôle crucial que jouent les mathématiques et les sciences numériques dans la vie courante, dans les technologies et bien entendu dans les autres sciences; il s'explique aussi, et je dirai surtout, par l'importance prise aujourd'hui par les sciences numériques dans la génération de nouvelles connaissances et dans l'avancement du savoir.

Les Sciences et Ingénierie Numériques (SIN) sont définies comme le résultat de l'évolution des mathématiques appliquées et des outils informatiques. Sous leur forme la plus simple, les SIN permettent l'acquisition et le traitement de l'information, de simuler des événements complexes, de concevoir et de réaliser des maquettes et des prototypes industriels, et de prédire, dans certains cas, le comportement des phénomènes de la nature, des procédés industriels et des objets lors de leur fabrication et leur utilisation. Elles sont le résultat d'une longue évolution marquée par de grandes étapes de la recherche scientifique qui va depuis la mise au point en 1645 de la machine de Pascal jusqu'aux plus récentes inventions du début de ce siècle avec la fabrication du premier processeur quantique par une équipe de l'Université de Yale; cette longue marche est aussi marquée de l'empreinte laissée par les travaux de plusieurs grands savants tels Pascal, Leibniz, Turing, Von Neumann qui se sont tous préoccupés de concevoir un langage permettant de formaliser le calcul; vous me permettez d'ajouter à cette liste le nom du grand savant mathématicien d'origine perse Al Khawarizmi inventeur de l'algèbre et dont le nom est à l'origine du mot «Algorithme», qui constitue aujourd'hui la base de la programmation informatique et qui est au cœur des sciences et ingénierie numériques.

Excellences,

Mes chers confrères,

Mesdames, Messieurs,

Notre pays utilise déjà, dans de nombreux domaines, des technologies relevant des SIN, mais il reste encore beaucoup à faire dans des domaines importants pour contribuer à leur développement, comme notamment l'identification détaillée et méticuleuse de nos ressources naturelles (à titre d'exemple, affiner la carte géologique et pédologique du pays avec le recensement des ressources minières, végétales, halieutiques et de la biodiversité nationale), l'aménagement du territoire, la gestion urbaine et rurale (circulation, aménagement et développement, etc.), la modernisation des services publics et privés, l'amélioration fonctionnelle du système de santé, tant sur le plan de la planification qu'au niveau de la recherche et développement, et beaucoup d'autres applications industrielles permettant d'accompagner et de développer les politiques sectorielles du pays dans le cadre des différents plans nationaux (Plan Maroc Vert, Plan Azur, Plan énergétique, Plan Emergence, Plan Halieutis...).

En plus de ces défis scientifiques et techniques, aux solutions desquelles les chercheurs marocains doivent contribuer, des défis importants sur les plans de la formation et de l'éducation restent posés. Contrairement à jadis, l'accès de façon massive à l'information technique et scientifique, aux outils de simulation, de visualisation et d'analyses s'est généralisé comme jamais auparavant, et ceci amplifie de façon significative l'impact de la maîtrise des outils des SIN sur l'activité professionnelle et sur la vie quotidienne des citoyens. Dans ce domaine, comme d'ailleurs dans tous les autres secteurs d'activité, la question de la formation des compétences est cruciale et décisive.

**Excellences,
Mesdames, Messieurs,**

Au cours de cette session, trois séances, d'une demi-journée chacune, seront consacrées aux questions scientifiques et technologiques reliés aux sciences et ingénierie numériques ainsi qu'aux apports possibles pour le développement des différents secteurs d'activité au Maroc et des cursus de formation.

Dans le cadre de cette session et à côté du thème scientifique général consacré aux «Sciences et ingénierie numériques» qui nous occupera pendant les deux premières journées, une séance sera consacrée le vendredi 17 février à la célébration de «l'Année mondiale de la forêt»; à cette occasion, je voudrais remercier le Haut Commissaire aux Eaux et Forêts et à la lutte contre la désertification, Dr. Abdeladim Lhafi, d'avoir accepté notre invitation pour présenter un exposé introductif portant sur «la forêt marocaine : faits et défis», et avec lequel nous aurons le plaisir de signer à l'issue de cette séance d'ouverture une convention de partenariat; nous aurons d'ailleurs le même plaisir à signer une convention de coopération avec l'Académie des Technologies française représentée par le Pr. François Guinot, convention qui vient enrichir celle déjà signée il y a trois ans avec l'Académie des Sciences de France.

Je voudrais également présenter mes vifs remerciements à M. le Chef de Gouvernement, à M. le Président de la Chambre des Conseillers, à Messieurs les Ministres et à toutes les personnalités qui nous honorent aujourd'hui de leur présence parmi nous.

Nous sommes particulièrement honorés de recevoir parmi nous Mme le Professeur Catherine Bréchnignac, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences de l'Institut de France, Mr. le Professeur Arantes e Oliveira, Vice-Président de l'Académie des Sciences de Lisbonne, et la délégation de l'Académie des Sciences de Malaisie dirigée par Dr. Hj Ahmad Zaidee Laidin, Vice-Président.

Je remercie aussi l'invité spécial de notre session, le Pr. J.C. Yoccoz, membre de l'Académie des Sciences de France et lauréat de la médaille Fields 1994, que nous écouterons avec plaisir et beaucoup d'intérêt, demain matin, lors de la séance consacrée au sous-thème mathématiques et informatique.

Mesdames, Messieurs,

A cette session participent d'éminents scientifiques venant du Maroc et de l'étranger (France, USA, Royaume-Uni, Suisse, Chine, Canada...) qui présenteront des conférences et des communications qui permettront d'animer la discussion et le débat sur la thématique de la session, je les remercie très sincèrement.

Je remercie tout particulièrement mon ami le Professeur Abdellatif Berbich, Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume et l'ensemble de son personnel pour l'aide qu'ils nous apportent, comme à l'accoutumée, dans l'organisation matérielle de notre session plénière.

Mes remerciements vont également à tous nos collègues associés pour leur contribution significative aux activités de notre Compagnie et dont la présence assidue à nos sessions plénières est toujours pour nous non seulement une cause de réconfort mais aussi d'encouragement.

Mes remerciements vont également à Monsieur le Chancelier de l'Académie, aux membres du Conseil d'Académie, de la Commission des Travaux, des collèges scientifiques, aux membres de l'Académie et à son équipe administrative pour leur contribution à la préparation de cette session; souhaitons lui tout le succès qu'elle mérite et à notre Académie d'être à la hauteur de l'objectif qui lui a été fixé par son Protecteur Sa Majesté Le Roi Mohammed VI -que Dieu Le protège- *«servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»*.

Je vous remercie pour votre attention.



Vue d'ensemble de la salle des conférences

Pr. Ahmed EL HASSANI (Directeur des Séances)

Depuis maintenant presque une année une équipe composée du Pr. Abdelhak El Jai, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, du Pr. Nadia Ghazzali, membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et du Pr. Malik Ghallab, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est à pied d'œuvre afin de préparer la session qui débute aujourd'hui. J'ai donc le plaisir de donner la parole au Pr. Malik Ghallab pour introduire la session.

INTRODUCTION TO COMPUTATIONAL SCIENCE AND ENGINEERING

Pr. Abdelhaq El JAI, University of Perpignan, France*
Pr. Malik GHALLAB, LAAS-CNRS, Toulouse, France*
Pr. Nadia GHAZZALI, Laval University, Québec, Canada*

**Member of The Hassan II Academy
of Science and Technology*



The recent development of three categories of conceptual and practical instruments for stating, formalizing and solving problems has dramatically amplified our means for understanding and acting in the world. These new engines of science and technology are:

- Computational models, simulation, and high performance computing;
- Sensing, instrumentation and imaging techniques, swarms of communicating sensors for the wide extraction of signals;
- Processing, visualization and storage of massive data, issued from sensors and/or simulations, together with automated search, mining, data association and machine learning techniques that enable the integration of signals into meaningful data, then into new knowledge.

The convergence of these three categories of instruments, their exceptional capabilities of integration, of composition from elementary components into complex models and systems, of networking and dissemination at scales undreamed of until now have revolutionized all fields of knowledge and engineering. These approaches are deeply changing the epistemic foundations as well as the conceptual and practical apparatus of scientists and engineers in order to:

- Observe, experiment widely in silico, acquire, visualize and process massive data;
- Represent and abstract these observations into meaningful relations and models;
- Prototype virtually, design artifacts and make decisions.

These approaches open up new paradigms of investigation in physics, astronomy, chemistry, life sciences, environment sciences, and even in humanities and social sciences. They have a deep impact on the production of research, on its organization, its methods of evaluation and its dissemination.

These approaches revolutionize engineering in all areas of production and services. They have completely changed the economics of the design process and have radically modified the mechanisms of innovation.

These approaches, referred to in various interdisciplinary fields as “*Computational Science and Engineering*” (CSE), appear today as a major strategic issue for the human and social development. Research agencies throughout the world are setting R&D programs and funding priorities for CSE. Organizations dedicated to CSE are created in various countries. Major universities have started teaching and research programs in CSE.

Computational Science

Every area of science today is addressing increasingly more complex problems and processes combining the interaction of several phenomena. Each phenomenon needs to be understood, using specific approaches and mathematical representations, not in isolation but coupled with all relevant interacting effects. The complexity of coupling problems can be mastered by using several complementary analytical techniques combined into a coherent, integrative approach. The possibilities for computational integration of multi-physics and multi-scale models, the capabilities of rich sensing, measurement, data fusion and processing, and the wide access to vast stores of data and powerful simulation and visualization codes, open radically new interdisciplinary perspectives. This is illustrated throughout numerous examples, among which the following are particularly relevant for Morocco :

- *Environmental and earth sciences* have initially focused on the development of fundamental knowledge in their basic disciplines such as geology, atmospheric chemistry, hydrology, glaciology, oceanography, or seismology. Coupling issues between these disciplines, and others from biophysics rose more recently with tremendous challenges, for example in climatology or ecology. These coupling problems set the paradigm of *Earth system science*. A growing field of knowledge is more and more summoned for addressing vital decisions and essential social demands through computational models. These models cannot rely on simple local approximations; they have to deliver reliable predictions over a long-term horizon. The field has to reach the stage of the *science of environmental applications*, so pervasive and mandatory for the human and social development.
- *Life and health sciences* demonstrate the success and challenges of CSE throughout their application areas. A computational model of an organ such as the cardiovascular system integrates numerous models ranging from electrophysiology to muscle mechanics, blood and air flow, cardiac metabolism and myocardium perfusion; these models are individualized with rich data and medical imaging techniques. Computational biochemistry leads to powerful screening techniques in pharmacology for predicting drug effects. It is allowing for more and more detailed models of cells and their interactions. Imaging and data intensive techniques have rapidly changed and improved most of medical practice.
- *Human and social sciences*: the demand for grounded and realistic economical models, for population and demographic studies, or for a precise understanding of the dynamics of cities and their complex organization open numerous challenges for new sensing and data gathering instruments, for computational models and simulation tools taking into account human behavior and social constraints.

- *Chemistry and materials science*: the study of the structure and properties of materials, from the atomic and molecular levels to the macroscopic and functional levels supports a huge spectrum of applications. These include in particular the applications of nanotechnologies, ranging from sensing, communicating and processing devices, to drug vectors and medical devices, as well as many others essential applications to Moroccan economy and development, such as, in particular, new materials for clay and phosphate industries. Here again, computational techniques have revolutionized the field, allowing for multi scale approaches in the understanding and design of heterogeneous materials: ceramics, metals, polymers, semiconductors, composite and even biomaterials. *In silico* screening techniques have already proved their exceptional potential in areas such as photovoltaic polymers, a promising field for the development of Moroccan solar projects and future industry.

Computational Engineering

The difference between the natural and the artificial is sometimes attributed to the fact that an artifact exists in the mind of its designer before it exists physically. Today, an artifact exists initially not in the mind of a single designer but as a large set of models, simulations, and data distributed over networks and computer clouds before it is actually built.

The design of complex systems is achieved nowadays by incremental composition of numerical models of components. These integration capabilities allow for formal proofs of properties, for realistic simulations, for the characterization and optimization of designed systems.

The power of this new design loop has broad impacts :

- It greatly reduces the cost and speed of the traditional engineering and prototyping steps and it shortens the design process;
- It allows to numerically explore, in a controlled way, a very large number of possible design alternatives, and even designs that appear a priori impossible;
- It permits the contribution to the design process of different specialists in a coordinated manner, and in some cases the uncoordinated anarchic contribution of crowd creativity (“crowd-sourcing”);
- Finally, it opens the door to powerful new functional and non functional properties (e.g., monitoring, diagnosis, life cycle) by integrating actuators, sensors, processors and communication components embedded as active and intelligent organs that bring completely new functionalities and performances to the designed system.

The development of computational engineering techniques can be illustrated by Airbus project to change its aircraft manufacturing development process from the “*Iron Bird*” to the “*Digital Mockup*”. The former, for a recent program, is a 5-storey building assembling a complete A380 prototype that will never fly. The latter will integrate numerically all the models of the aircraft parts and components, from the structure, aerodynamics and propulsion, to flight mechanics, embedded systems and avionics, to ensure that the first prototype of the next A350 program will actually fly.

The techniques of virtual prototyping and *in silico* experiments are already mature and widely used in the design of systems technically more homogeneous than aeronautics, such as electronic circuit design. Research issues for the development of these techniques are significant for almost all engineering fields. Particularly relevant for the development of the Moroccan economy are the following examples :

- *The field of energy*: here the spectrum ranges from new materials, devices and production processes to the integration of large energy systems within “smart grids”. Digital screening and other simulation techniques, already mentioned in photovoltaic materials, open a wide potential for the design of optimized and integrated renewable power systems. Work on smart grids illustrates computational engineering for the design and achievement of systems transporting and handling as much information as energy.
- *The field of transportation*: the car industry was a pioneer in CAD techniques; now it faces several challenges such as new propulsion engines, integration of vehicles into multimodal transport networks or electrical networks. These challenges lie at several levels, from vehicles and their components to integrated transport systems. They require models from mechanics and propulsion to the biomechanics of the user, but also to sociological and behavioral models of individuals and crowds, where realistic simulations are already beginning to be developed.
- *In the area of the building and housing* there are similar problems for modeling, designing and optimizing architectures at different levels, from their integration into physical and urban space, to their materials and sensing capabilities, their various and individualized uses, and their management and exploitation.
- *Digital cities* represent a critical development challenge for the Moroccan population that is very rapidly urbanizing. The issues involved here build up on all the problems in the above items together with a wealth of techniques necessary for the efficient organization of services of numerous kinds, the organization of work environments, of communication, culture, sports, entertainment and sociological networks.
- *Mining and process engineering*: computational techniques are providing precise models of complex chemical and biochemical processes and allowing their real-time control towards optimized yields. The study and control of the growth of micro-algae and phytoplankton for the production of biofuel illustrates a promising development. The applications of process engineering to phosphate industries are also critical to the Moroccan economy. Equally important are computational geophysics and seismic imaging techniques for the mining industry in Morocco, whose rich underground continue to be largely under exploited.
- *Agronomy* remains the backbone-engineering field of the Moroccan economy. Sensing, instrumentation and specific devices are essential for the improvement of agricultural techniques and the efficient management of scarce resources, water being the most constrained. Computational plants, i.e., models and simulations of the growth of plants and the evolution of their ecological environment, are providing new means for optimizing agriculture techniques and plant yields. They are already applied to the optimization of the culture of sugar beets in Morocco and are very promising in most agronomical areas.

Challenges

All the above scientific and engineering challenges in computational modeling and integration are clearly interdisciplinary, with a focus on applied mathematics and computer science, in particular in the following areas :

- Developing direct and inverse mathematical models;
- Creating effective algorithms to respond to the explosive growth of multi-scale model dimensions and effectively mapping these algorithms into intensive and high performance computing platforms, grids and suitable architectures;
- Computationally integrating heterogeneous mathematical formalisms, e.g., differential, geometric, combinatorial and stochastic, within algorithms and software components;
- Creating sensing equipment and measurement tools for a broad range of phenomena, on a large scale if necessary, for example on computational ecology sensor networks;
- Dealing with the challenges of data-enabled science by handling intelligently the huge amount of data assembled daily in many fields: multi-sensory fusion, interpretation, machine learning, data mining, crowd-sourcing, etc.;
- Combining models and data in real time: calibration, validation, classification of uncertainties, qualification of models and their range of applicability;
- Visualizing and manipulating predictions in a multimodal manner, designing and planning experiments, analyzing long-term scenarios for change, and performing essential *in silico* experiments, particularly when live experimentation is impossible or too complex.

In addition to these major scientific and technical challenges, to which Moroccan scientists have to contribute and which they have to apply to their own fields and problems, there are also educational, training and social issues at stake. Developed societies are witnessing the effects of massive access over the Web to large amount of technical and scientific data, to computational models, to simulations, to real-life visualization and interaction tools. This unprecedented wealth of broadly available information and means for exploiting it amplifies significantly the impact of science on the professional activity as well as on the daily life of educated citizens. It is the duty of scientists to provide this education.

Two levels of education have to be clearly identified and addressed through well-organized and deliberate actions :

- *Computer literacy* is today as important as the casual familiarity with pencil, paper and written texts. In many cases, the use of computer graphics, speech recognition and synthesis techniques have even opened training shortcuts and access to innovative applications to wide populations. The “digital divide” is at least as much as a training and an education issue as it is an issue about computer hardware and infrastructure (the blistering spread of cellular phones that required infrastructure but no training substantiates this view). Computer literacy should be started at elementary and middle schools. It should be offered widely to adult schools. It has to be perceived not only as a social necessity but also as a fantastic development opportunity for Morocco, that will open the way to new jobs, to new economic and social activities.
-

- *Computational thinking* has to be viewed today as the backbone of scientific training. It should be introduced early in high school and widely developed in all engineering schools and scientific departments of universities, including health, life and environment departments. Proficiency in computational concepts and in the basics of the science of computing (which is an entirely different issue from the proficiency in the use of computers) should be a requirement for every scientific degree. More developed and specialized syllabus should be offered in Mathematics, Computer Science and related areas. Moroccan universities and schools have to urgently catch up in the field of computational thinking in order to train future generation of scientists and engineers for the relevant concepts and tools of tomorrow.
-

Pr. Ahmed EL HASSANI (Directeur des Séances)

Mesdames, Messieurs, nous sommes honorés aujourd'hui de recevoir parmi nous le Pr. Catherine Bréchnac, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences de France, institution avec laquelle notre Académie a signé une convention de coopération du temps de son Secrétaire Perpétuel et actuel Secrétaire Perpétuel honoraire le Pr. Jean Dercourt, qui est également membre associé de notre Académie.

La parole est à Madame le Pr. Bréchnac.

ALLOCUTION de Madame Le Professeur Catherine BRÉCHIGNAC

Pr. Catherine BRÉCHIGNAC

***Secrétaire Perpétuel,
Académie des Sciences de France***



Monsieur le Secrétaire Perpétuel, chers confrères, chers amis, bonjour.

C'est un grand plaisir pour moi que de participer à l'ouverture de cette session plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. En 1993, dans sa sagesse, Votre Roi Hassan II a créé cette Académie qui est en quelque sorte l'homologue de notre Académie des Sciences, créée par Colbert en 1666 sous le règne de Louis XIV, et de notre toute jeune Académie des Technologies, créée en 2000 et dont les statuts sont inscrits dans la loi promulguée en 2006.

Un accord a été signé, comme vous venez de le dire, entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Académie des Sciences de France par mon prédécesseur Jean Dercourt et vous-même, mon cher Omar, le 19 novembre 2010 et un second accord le sera lors de cette session entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Académie des Technologies de France par François Guignot et par vous-même.

Les académies forment de par le monde un réseau d'institutions indépendantes qui se doivent d'être les garants de la sauvegarde, de la progression et de la transmission des savoirs. Elles doivent aussi être capables d'émettre des avis ou des recommandations en toute liberté que, naturellement, les politiques et les décideurs peuvent suivre ou ne pas suivre. C'est dans ce sens que les académies sont indépendantes.

Lors de la rencontre que nous avons eue en janvier à l'Institut de France avec les 17 académies africaines qui forment le NASAC, nous avons discuté des valeurs des académies. La valeur qui fut mise en tête était l'indépendance. Mais cette indépendance nécessite que la procédure que nous suivons pour donner des avis soit clairement affichée. C'est la raison pour laquelle notre Académie des Sciences se dote actuellement d'une charte de l'expertise.

La communauté des savants, des scientifiques de nos jours est la plus ancienne communauté au monde à avoir su effacer les frontières pour conserver le savoir. En quelque sorte, elle a su se mondialiser avant l'heure. Le savoir fut préservé chez les uns et les autres en fonction de l'histoire des peuples. Au moyen âge, il était plutôt de ce côté-ci de la Méditerranée; aujourd'hui, il est plutôt de l'autre côté. C'est pourquoi à titre de symbole et afin de sceller la collaboration qui existe entre nous, notre académie vous offre cet ouvrage qui trouvera sa place dans votre bibliothèque comme il a su trouver la sienne dans celle de l'Institut de France. Il s'agit d'une copie d'un éternel de Léonard de Vinci.

Léonard de Vinci est arrivé d'Italie en France sous le règne de François 1^{er} il y a 500 ans avec ses carnets scientifiques et technologiques. Ce trésor de savoirs est conservé par l'Institut de France. Les manuscrits sont rédigés en écriture spéculaire où les lettres et les mots s'ordonnent dans le sens inverse du mode de lecture normale de la langue. Pour déchiffrer correctement le texte rédigé ainsi, il est préférable d'avoir recours à un miroir. De surcroît, les textes sont parfois écrits en boustrophédon dont le tracé du système d'écriture change alternativement de sens ligne après ligne à la manière du bœuf marquant les sillons dans les champs de droite à gauche puis de gauche à droite. Pourquoi écrit-il ainsi? Est-ce parce que Léonard de Vinci était gaucher ou bien voulait-il montrer qu'accéder au savoir doit se mériter et nécessite un effort évoquant ainsi le côté ludique du plaisir de l'effort.

Si nous devons veiller à conserver le savoir, nous devons aussi le faire croître et le transmettre, c'est le but du colloque que vous organisez sur les prochains jours sur les sciences et ingénierie numériques à la convergence des mathématiques appliquées et de l'informatique. Au vu du programme et des orateurs, et aussi de l'introduction qui en fût faite, je suis convaincue que cette rencontre sera stimulante et je vous remercie.

Pr. Ahmed El Hassani (Directeur des Séances)

Mesdames, Messieurs, chers collègues,

Nous allons maintenant procéder à la signature de deux conventions de coopération.

La première, entre notre honorable Académie et le Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, signée par le Pr. Omar Fassi-Fehri et le Dr. Abdeladim Lhafi.



La deuxième, entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Académie des Technologies de France, signée par le Secrétaire Perpétuel Pr. Omar Fassi-Fehri et par Monsieur François Guignot, Président Honoraire.



**LES DÉFIS INTERDISCIPLINAIRES EN
SCIENCES ET INGÉNIERIE NUMÉRIQUES
(SIN)**

DÉSIGNATION DU NOUVEAU DIRECTEUR DES SÉANCES

Pr. Ahmed EL HASSANI (Directeur des Séances sortant)

Chers collègues, Mesdames et Messieurs,

Une année est vite écoulée et je voudrais remercier l'ensemble des académiciens, à leur tête Monsieur le Secrétaire Perpétuel et notre Chancelier également, pour la confiance qu'ils m'ont faite toute l'année pour diriger les séances de l'Académie. Il est donc temps de prendre congé de vous et de céder la place à un nouveau Directeur des Séances. Pour cela je propose d'être succédé par Madame Rajae El Aouad.



Pr. Rajae EL AOUAD (Nouveau Directeur des Séances)

Chers collègues,

Je suis très honorée d'occuper cette place au bout de 5-6 ans de notre nomination et notre appartenance à cette Académie. Je voudrais tout d'abord remercier et féliciter mon prédécesseur pour l'excellent travail et pour son investissement à diriger nos travaux pendant cette année. Je suppose que ça ne s'est pas fait tout seul et donc j'ai pu bénéficier de la confiance de notre Secrétaire Perpétuel et de notre Chancelier et très probablement de la Commission des Travaux. Je suis donc très honorée de cette confiance et j'espère me porter à la hauteur.



Je suis d'autant plus fière que notre Académie donne pour cette année une position privilégiée aux femmes et je m'en réjouis au nom de toutes les femmes et je souhaite que bon nombre d'hommes parmi vous s'en réjouissent également. Je me ferai un plaisir de vous accompagner durant cette année à cet effet-là. Et si l'occasion m'est donnée, je vais peut-être dire quelque chose et je m'en excuse d'avance; j'ai peut-être l'habitude et la réputation d'être un peu stricte et très rigoureuse. J'ai été encouragée dans cette démarche, je vais être plutôt intransigente sur le respect du temps. Je suis persuadée que ça rendra service à tout le monde, nous ne serons que plus ravis et reposés d'avoir des séances de travail qui respectent les temps impartis par les organisateurs.

Sans tarder, je donne la parole à Monsieur Nicholas Ayache pour nous parler de : ***l'imagerie médicale et l'informatique - vers un patient numérique personnalisé.***

IMAGERIE MÉDICALE ET INFORMATIQUE : VERS UN PATIENT NUMÉRIQUE PERSONNALISÉ

Pr. Nicholas AYACHE

*Institut National de Recherche en Informatique
et en Automatique (INRIA), France*



Résumé

Au cours de ces dernières années, des progrès importants dans l'analyse informatique des images médicales et dans la modélisation biomathématique et biophysique ont rendu possible la construction de modèles numériques et personnalisés d'organes et de tissus humain. Ces modèles informatiques sont personnalisés car ils reproduisent l'anatomie et la physiologie de patients spécifiques. Ils permettent d'analyser et de quantifier le fonctionnement ou le comportement mécanique d'organes et de simuler certaines thérapies pour en évaluer le bénéfice espéré. Dans cet article nous décrivons des travaux de recherche récents réalisés sur ce thème au sein de l'équipe projet Asclepios à l'Inria, en collaboration avec d'autres équipes Inria et des partenaires extérieurs académiques, cliniques et industriels. Si de grands défis en modélisation informatique et mathématique doivent encore être relevés avant une utilisation clinique généralisée du patient numérique personnalisé, ces premiers résultats annoncent une nouvelle génération d'outils de médecine numérique pouvant contribuer plus largement à une médecine personnalisée plus préventive et plus prédictive.

Summary

During the last past years, significant progress in Medical Image Analysis, in biomathematics and biophysics have led to development of the personalized digital models of human organs and tissues. These digital models are *personalized* which means they can reproduce the anatomy and physiology of *specific patients*. They allow the quantitative analysis of the organ function or mechanical behavior and the simulation of some therapies to evaluate their expected benefit. In this article we describe some recent

research work done on these topics in our project team Asclepios at Inria, in collaboration with other Inria teams and external academic, clinical and industrial partners. If a number of challenges in mathematics and informatics still have to be solved before such personalized digital models can be generalized in current clinical practice, these first results announce a new generation of tools in *digital medicine*, which can contribute more widely to a more *preventive* and more *predictive* personalized medicine.

Computational Medical Imaging
Towards a Personalized Digital Patient

Imagerie Médicale et Informatique
vers un patient numérique personnalisé

Nicholas Ayache

15 Février 2012

Académie Hassan II
des Sciences et Techniques
Rabat
Maroc




1632...



The Anatomy Lesson of Dr. Tulp
Rembrandt

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients




2



Musculoskeletal
System

Dennis P. J. Rutgers

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients




3

... 1895...



1901 : Willem Roentgen
First Nobel Prize in Physics



Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients




4

Physics
Chemistry
Medicine

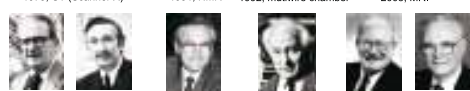
Nobel Prizes

1901X Rays 1903, natural radioactivity 1935, artificial radioactivity 1952, NMR



Wilhelm Röntgen Henri Becquerel Marie Curie Pierre Curie Irène Joliot Frédéric Joliot Felix Bloch Edward Purcell

1979, CT (Scanner X) 1991, NMR 1992, multiwire chamber 2003, MRI



Alan Cormack Godfrey Hounsfield Richard Ernst Georges Charpak Paul Lauterbur Peter Mansfield

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

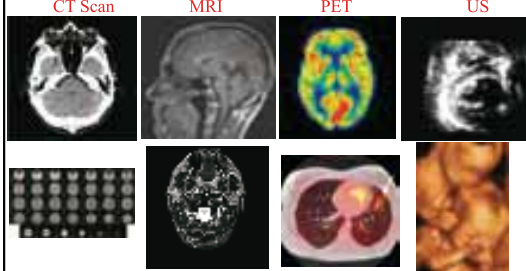
Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients




5

Medical Imaging

CT Scan MRI PET US



Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

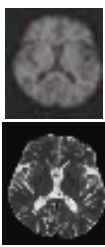
Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients



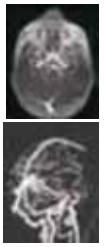

6

MR Images

MRI T1, T2



Angio MRI



DTI



fMRI



Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria

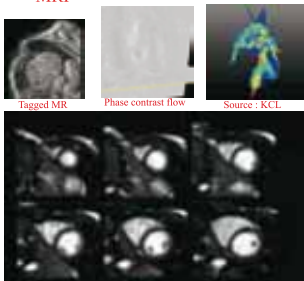
7

Dynamic Images (4-D)

CT Scan



MRI



Tagged MR Phase contrast flow Source : KCL

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

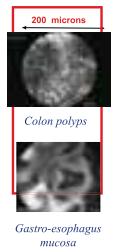
Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria

8

More Images

- Spectroscopic MRI
- MEG, EEG, EP Maps
- Elastography (MR, US, etc.)
- *in vivo* Confocal Endomicroscopy
- Optical Coherent Tomography (OCT)
- Terahertz Imaging
- etc.



200 microns
Colon polyps
Gastro-esophagus mucosa

Biospace, Mauna Kea Technologies, Supersonic Imagine...

Source : Mauna Kea Technologies

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria

9

Computational Medical Image Analysis (1980 - Today)

- Assist Diagnosis
 - Objective quantitative measurements
 - fusion of multimodal, multidimensional, multiparameter images
- Assist Therapy
 - Plan, simulate (*before*)
 - Control (*during*), follow-up (*after*)

J. Duncan & N. Ayache, *Medical Image Analysis, Progress over two decades and the challenges ahead*, IEEE - Pami, 2000.

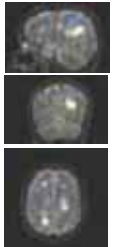
Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria

10

Spatio-Temporal Cartography of Multiple Sclerosis Lesions







Collaboration with Harvard & Microsoft Research Cambridge

D. Rey, G. Subsol, H. Delingette, N. Ayache : *Automatic Detection and Segmentation of Evolving Processes in 3D Medical Images: Application to Multiple Sclerosis*. Medical Image Analysis, 6(2):163-179, June 2002.

E. Geremia, B.H. Menze, O. Clatz, E. Konukoglu, A. Criminisi, and N. Ayache. *Spatial Decision Forests for MS Lesion Segmentation in Multi-Channel Magnetic Resonance*. Computational Medical Imaging. 11

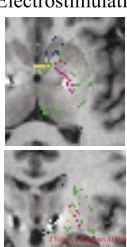
Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

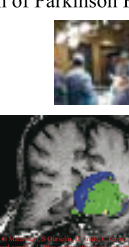
Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

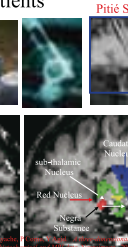
Inria

Image-Guided Neurosurgery

- Electrostimulation of Parkinson Patients









INRIA
Pitié Salpêtrière

subthalamic Nucleus
Red Nucleus
Nigra Striata

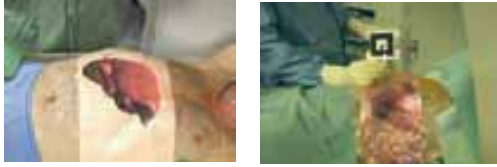
Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria

12

Augmented Reality



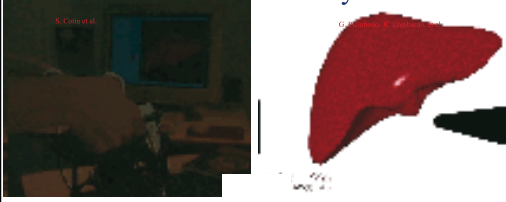
RadioFrequency Ablation of Liver Tumors

Collaboration with IRCAD, J. Marescaux

S. Nicolau, A. Garcia, X. Pennec, L. Soler, and N. Ayache. Augmented reality guided radiofrequency tumor ablation. *Computer Animation and Virtual World* 16(1) 2005.



Virtual Reality

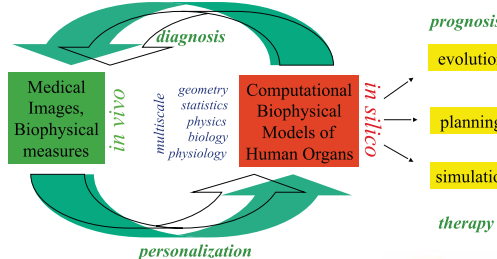


H. Delingette, X. Pennec, L. Soler, J. Marescaux and N. Ayache. *Computational Models for Image Guided, Robot-Assisted and Simulated Medical Interventions*. Proceedings of the IEEE, Sept. 2006.

INRIA-IRCAD



Towards Personalized Virtual Patients



• *Computational Models for the Human Body*, N. Ayache, Ph. Ciarlet, J.L. Lions (Editors), 2004
 • *Virtual Physiological Human (VPH)* European Program (2008-2012)

Nicholas Ayache 15 Feb. 2012 Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients  15

Three Illustrations

1. Computational Anatomy *Geometry, Statistics*
2. Computational Oncology *Geometry, Physics, Physiopathology*
3. Computational Cardiology *Geometry, Statistics, Physics, Physiology*

Multilevel & transverse nature of models
modalities, organs, medical disciplines

Nicholas Ayache 15 Feb. 2012 Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients  16

Computational Anatomy



- Model and Analyze Variability of Human Anatomy

X. Pennec and S. Joshi, *Mathematical Foundations of Computational Anatomy*, MICCAI'06 & 08 workshops.

Other work : F. Bookstein, C. Davatzikos, I. Dryden, O. Faugeras, T. Fletcher, P. Golland, G. Gerig, H. Tagare, S. Joshi, M. Miller, M. Styner, P. Thompson, C. Twining, B. Vemuri, etc.

Nicholas Ayache 15 Feb. 2012 Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients  17

Do we all have the same brain?

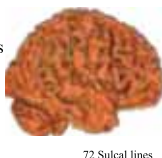


- Mean Structure?
- Variability around mean?
- Detect abnormal variations?

Nicholas Ayache 15 Feb. 2012 Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients  18

Statistics on Anatomical Manifolds

- Method M. Miller, *NeuroImage* 2005
 - Extract Geometric Anatomical Primitives
 - Frames, tensors, curves, surfaces, volumes
 - Match them (transformations)
 - Estimate probability distributions
- Difficult Problem
 - Noise, Algorithmic complexity
 - Statistics on manifolds which are not vector spaces



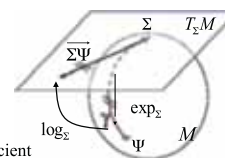
72 Sulcal lines

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

19

Mathematical & Computational Framework

- Riemannian Framework
 - Exp and Log Maps
 - Metric and Geodesics
 - Fréchet Mean, Covariance Matrix
 - Mahalanobis Distance,
 - etc.
- Gradient descent algorithms for efficient computation



X. Pennec : *Intrinsic Statistics on Riemannian Manifolds: Basic Tools for Geometric Measurements*. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 25(1):127-154, July 2006.

X. Pennec & N. Ayache: *Uniform distribution, distance and expectation problems for geometric features processing*. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol.9, pp. 49-67, 1998.

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

20

Tensor Computing

- Affine-invariant metric

$$\text{dist}(\Sigma, \Psi)^2 = \left\langle \Sigma \Psi \mid \Sigma \Psi \right\rangle_{\Sigma} = \left\| \log(\Sigma^{-1/2} \Psi \Sigma^{-1/2}) \right\|_{L_2}^2$$

X. Pennec, P. Fillard, N. Ayache: *A Riemannian Framework for Tensor Computing*. *Int. J. of Computer Vision*, 2006.

- Log-Euclidean metric (vector space)

$$\text{dist}(\Sigma, \Psi)^2 = \left\| \log(\Sigma) - \log(\Psi) \right\|^2$$

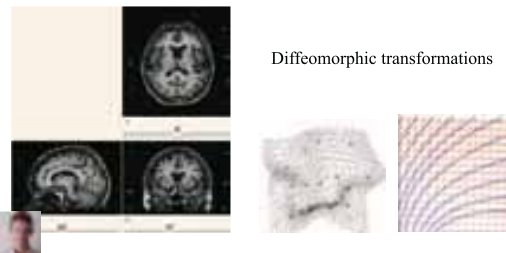
V. Arsigny, X. Pennec, P. Fillard, N. Ayache: *Fast and Simple Calculus on Tensors in Log-Euclidean Framework*. *SIAM'06*
Other works : Sanguinetti, Pennec, N. Ayache, Flixner, Joshi '04, Lenglet-Deriche '04, Batchelor '05, Alexander, Basser, Yemini et al., *Mathematics* '07

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

21

Efficient Non-Rigid Registration

Diffeomorphic transformations



T. Vercauteren, X. Pennec, A. Pechant, and N. Ayache, *Diffeomorphic Demos: Efficient Non-parametric Image Registration*. *NeuroImage*, 2009

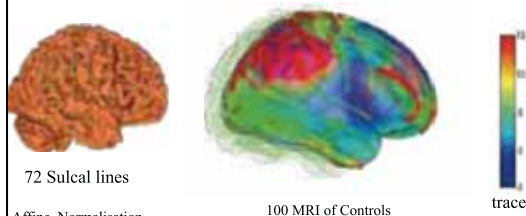
J.M. Peyrat, H. Delingette, M. Sermesant, C.Y. Xu, and N. Ayache, *Registration of 4D Cardiac CT Sequences Under Trajectory Constraints With Multichannel Diffeomorphic Demos*. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2010.

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

22

Cortical Sulcal Lines Variability

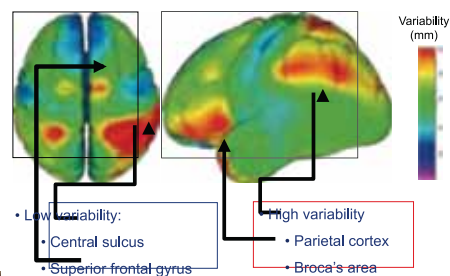
With LONI, UCLA

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

23

Cortex Variability Map

With LONI, UCLA



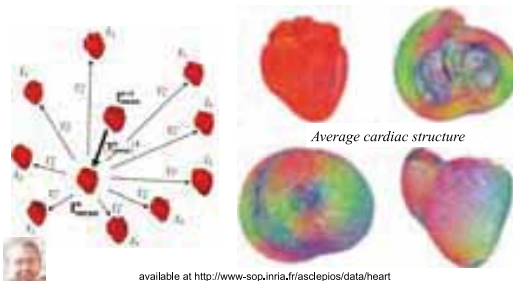
P. Fillard, V. Arsigny, X. Pennec, P. Thompson, N. Ayache: *Extrapolation of Sparse Tensor Fields Modeling of Brain Variability*. *NeuroImage* 2007

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

24

Statistics on Cardiac DTI

With NIH, Bethesda

available at <http://www.sop.inria.fr/ascepios/data/heart>J.M. Peyrat, M. Sermesant, X. Pennec, H. Delingette, C. Xu, E. McVeigh, N. Ayache. *Computational Framework for the Statistical Analysis of Cardiac Diffusion Tensors: Application to a Small Database of Canine Hearts*. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2007.Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria 25

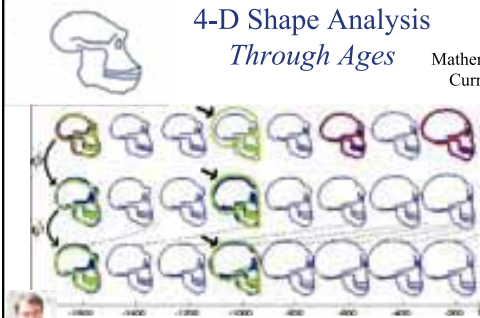
Analysis of Spine Shape

With Ste Justine
Hospital, MontrealSpine : set of 3-D rigid transformations
6-D manifold

Statistics : principal modes (scoliotic patients)

Boisvert, Cheriet, Pennec, Labelle, Ayache. *Geometric Variability of the Scoliotic Spine using Statistics on Articulated Shape Models*. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2008.Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

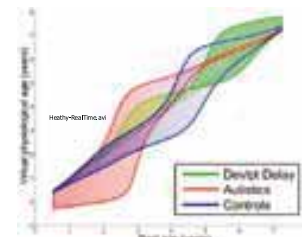
Inria 26

4-D Shape Analysis
Through AgesMathematical
CurrentsS. Durrleman, X. Pennec, A. Trounev, N. Ayache, J. Braga. *Comparison of the endocast growth of chimpanzees and bonobos via temporal regression and spatiotemporal registration*. J. of Human Evolution 2012.Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

27

Brain Development of Children
Through Aging

With SCI Institute, Utah

Mathematical
CurrentsS. Durrleman, X. Pennec, A. Trounev, G. Gerig, and N. Ayache. *Spatiotemporal Atlas Estimation for Developmental Delay Detection in Longitudinal Datasets*. MICCAI 2009; submitted to Int. J. of Computer Vision.Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

28

Evolution of Heart RV Shape
Children with Tetralogy of FallotWith Necker &
Gosh Hospitals
+ SiemensStatistical Model of RV Growth
(BSA from 0.9 to 2.1, $\pm 2SD$ of population)

Health-e-Child

T. Mansi, I. Voigt, B. Lussardi, X. Pennec, S. Durrleman, M. Sermesant, H. Delingette, A. M. Taylor, Y. Boujardine, G. Pongiglione, N. Ayache. *A Statistical Model for Quantification and Prediction of Cardiac Remodelling: Application to ToF*. IEEE Trans. on Medical Imaging, 2011.Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria 29

Three Illustrations

- Computational Anatomy *Geometry, Statistics*
- Computational Oncology *Geometry, Statistics
Physics, Physiopathology*
- Computational Cardiology

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria 30

With MIT, Harvard, CAL and MSR

Modeling Brain Tumor Growth

glioblastoma T2 MRI

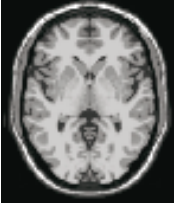
- Characterize *past* evolution
- Predict *future* progression
- Extrapolate *present* extension beyond visible boundary
- Personalize diagnosis and therapy

March September

Preivous work : Tracqui, Swanson, Byrne, Murray, Chaplain, Cristini, etc.

Nicholas Ayache 15 Feb. 2012  Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients  31

1. Geometrical Model



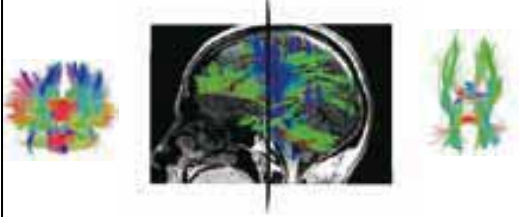
Segmented T1 MRI
(Brainweb)
GM, WM, CSF, Skull, etc.



DTI
Main fiber bundles of WM

Nicholas Ayache 15 Feb. 2012  Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients  32

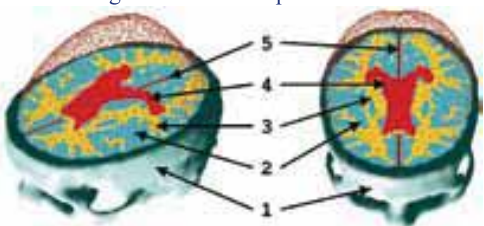
Fiber bundles from DT-MRI



Nicholas Ayache 15 Feb. 2012  Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients  33

2. Biomechanical Model

Inhomogeneous Anisotropic Linear Elastic



1 Skull. 2 Grey matter 3 White matter.
4 Ventricles. 5 Falx cerebri

Nicholas Ayache 15 Feb. 2012  Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients  34

3. Physiopathological Model

Fisher Kolmogorov

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla c) + \rho c(1-c) + BC$$

Anisotropic Cellular Invasion



c: Tumoral Cell Concentration

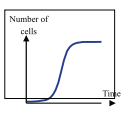
Biomechanical Coupling

$$\text{div}(\sigma - \alpha c I_1) + Fc = 0$$

Mass Effect



Cellular Proliferation

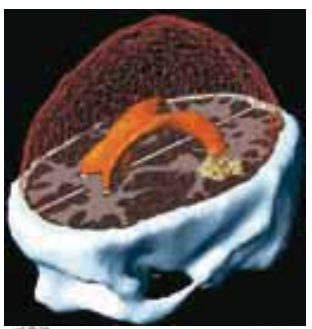


Logistics Law

Collaboration Centre Antoine Lacassagne & Harvard  

O. Chazot, M. Sermesant, P.-Y. Bondiau, H. Delingette, S. Warfield, G. Malandain, N. Ayache. Realistic Simulation of the 3D Glioblastoma Tumors in MR Images Including Biomechanical Coupling. *Transactions on Medical Imaging*, 34 (15 Feb. 2015), Oct. 2005.

Tumor Growth Simulation



Predict Evolution

Parameters estimated during first 210 days

space

time

210 days

390 days (+180)

48

Nicolaus et al. 02-Tate, B.H. Menze, M.A. Weber, D. Schnabel, Medical Imaging towards Personalized Digital Patients, IEEE Transactions on Medical Imaging 2010

Medical Perspectives

- Parameters of 3-D model to guide therapy
 - Surgery, radiotherapy, chemotherapy
- Personalization of dosimetry planning



Radiotherapy margins



Cyberknife @ CAL, Nice



Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients



40

Three Illustrations

- Computational Anatomy *Geometry, Statistics*
- Computational Oncology *Geometry, Statistics, Physics, Physiopathology*
- Computational Cardiology *Geometry, Statistics, Physics (mechanics, electricity, hemodynamics), Physiology*

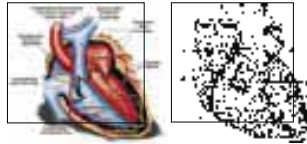
Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients



42

Cardiovascular Diseases



First cause of death in the world
30% of deaths, 17.3 millions in 2008 (WHO)

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012



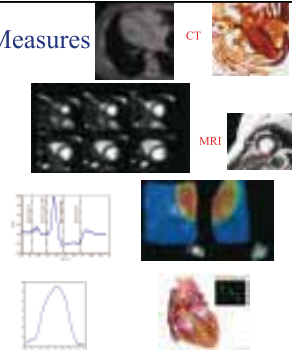
Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients



43

Cardiac Images and Measures

- Images
 - MRI, CT, US, NM
- Electrophysiology
 - ECG, VCG, BSPM, intra-cardiac measures
- Hemodynamics
 - Pressure, Doppler, etc.
- Biomarkers, etc.



Nicholas Ayache
15 Feb. 2012



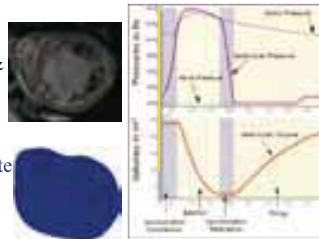
Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients



44

Computational Biophysical Model

- to Integrate
 - imaging & electrical & hemodynamic & biological measures
- to Quantify & Simulate cardiac function



Stéphane Marchandise et al.

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012



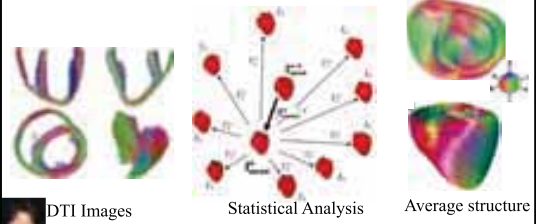
Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients



45

1. Geometry & Statistics

- Heart Database (NIH & Creatis)



DTI Images

Statistical Analysis

Average structure

H. Lombaert, JM Peyrot, P. Crouille, S. Rapacchi, L. Faton, P. Clarysse, H. Delingette, N. Ayache, Statistical Analysis of the Human Cardiac Fiber Architecture from DT-MRI, FIMH 2011

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

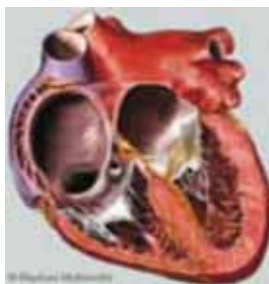


Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients



46

2. Electrophysiology (EP)



Nicholas Ayache
15 Feb. 2012



Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients



47

Electrophysiology

- a) Ionic models
Hodgkin-Huxley, Luo-Rudy, Noble
- b) Phenomenological models
Nagumo, Aliev-Panfilov, Mitchell-Schaeffer, FitzHugh
- c) Eikonal Equation
Keener, Colli-Franzone

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \text{div}(D \nabla u) + f(u) - z \\ \frac{\partial z}{\partial t} = h(u - cz) \end{cases}$$

u action potential
 D Diffusion tensor (fiber orientation)
 z repolarization variable

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012



Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients



48

3. Mechanics

Inspired by Hill-Maxwell rheological model and Huxley sliding filament model

active non-linear viscoelastic anisotropic incompressible material

$$\rho(\dot{I}^2 - 2I\dot{I}) + (K_1 + K_2)I + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8 + K_9 + K_{10} = 0$$

$$\rho(\dot{K}_1 + K_2) + (K_1 + K_2) + (K_3 + K_4) + (K_5 + K_6) + (K_7 + K_8) + (K_9 + K_{10}) = 0$$

$$\rho(\dot{K}_3 + K_4) + (K_3 + K_4) + (K_5 + K_6) + (K_7 + K_8) + (K_9 + K_{10}) = 0$$

stiffness K
action potential u
strain ϵ
stress σ

Nicholas Ayache 17 Feb. 2012 Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients Inria 49

Electro-Mechanical Simulation

Action potential u controls contractile element:

- $u > 0$: Contraction
- $u < 0$: Relaxation

u also modifies stiffness λ of the material.

action potential u

Nicholas Ayache 17 Feb. 2012 Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients Inria 50

Electro-Mechanical Simulation

4 Physiological Phases:

- Filling
- Isovolumetric Contraction
- Ejection
- Isovolumetric Relaxation

2 Volumetric Conditions:

- Pressure fixed in the endocardium
- Isovolumetric Contraction of myocardium

action potential u

Nicholas Ayache 17 Feb. 2012 Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients Inria 51

Personalization: in vivo XMR Imaging

EuHeart Project

Step 1: Patient (King's College Hospital) in the scanner

Step 2: Image acquisition and processing

Step 3: Image reconstruction and visualization

Nicholas Ayache 17 Feb. 2012 Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients Inria 52

Clinical Case: Geometric Personalization

Woman, 60 years, 100, LBBB

Raw Image → Image Preparation → Interactive Segmentation → Volumetric Model

Fiber map

Nicholas Ayache 17 Feb. 2012 Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients Inria 53

Electrical Personalization

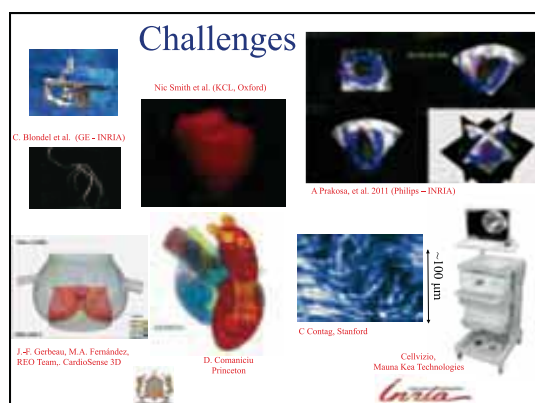
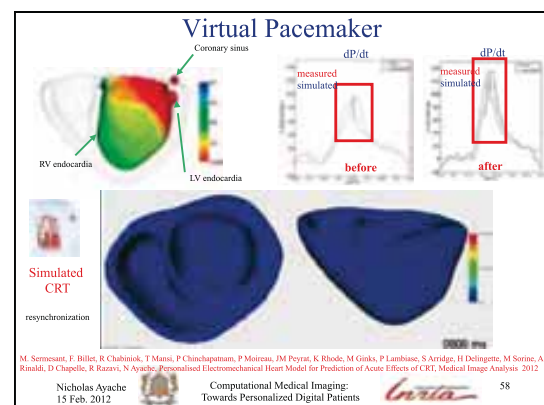
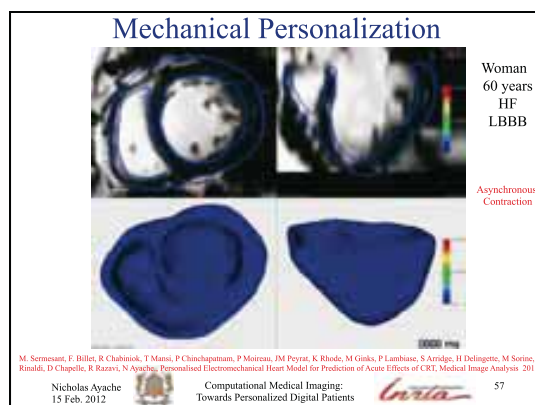
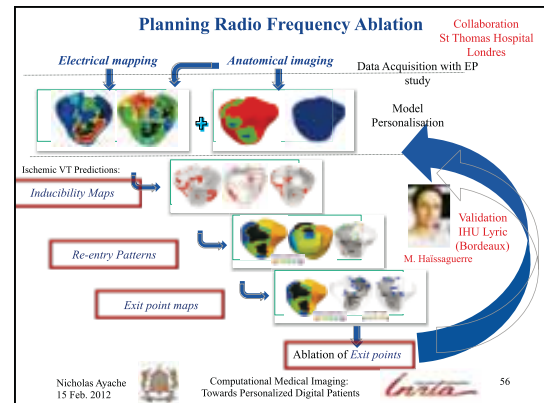
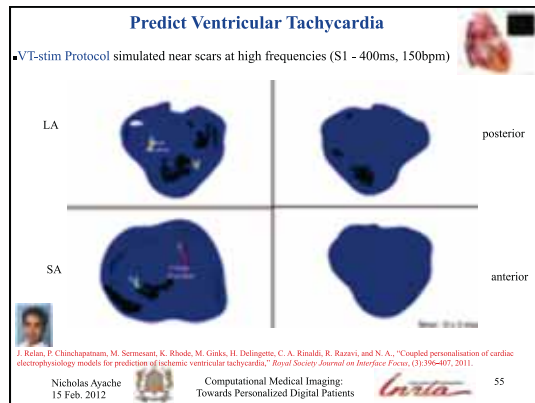
Parameter ϵ_{max} Conduction

Parameter ϵ_{max} Conduction

Parameter ϵ_{max} Conduction

Parameter ϵ_{max} Conduction

Nicholas Ayache 17 Feb. 2012 Computational Medical Imaging: Towards Personalized Digital Patients Inria 54



To Conclude :

Previous models were mostly
macroscopic...

can we include personalized
microscopic models?

Smallest microscope

In vivo Clinical Microscopic Imagery



300 microns

gastro-esophagus Mucosa

Pr A. Meining, Munich

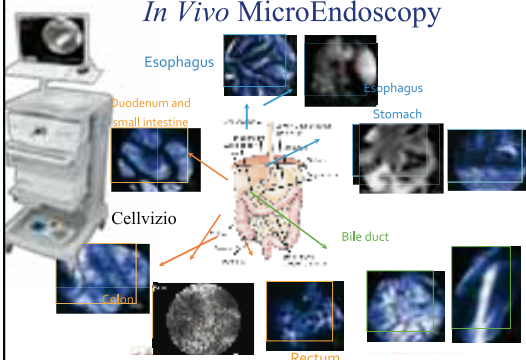
Cellvizio®, Mauna Kea Technologies (MKT), Paris

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

61

In Vivo MicroEndoscopy



Esophagus

Stomach

Bile duct

Rectum

Cellvizio

Colon

Duodenum and small intestine

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

62

Challenges

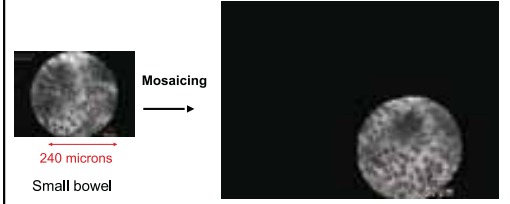
1. From *micro-* to *mesoscopic* scales
2. From *unknown* to *similar* images

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

63

1st Challenge: Computational Mosaicing



Mosaicing

240 microns

Small bowel

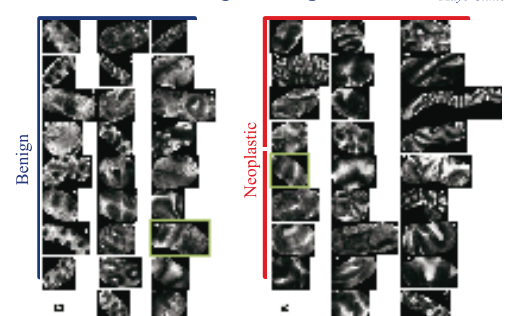
T. Vercauteren, A. Perchant, X. Pennec, G. Malandain, N. Ayache, *Robust Mosaicing with Correction of Motion Distortions and Tissue Deformation for In Vivo Fiberoptic Microscopy*, Medical Image Analysis, 10(5):673-692, October 2006.

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

64

2nd Challenge: Interpretation *With MKT & Mayo Clinic*



Benign

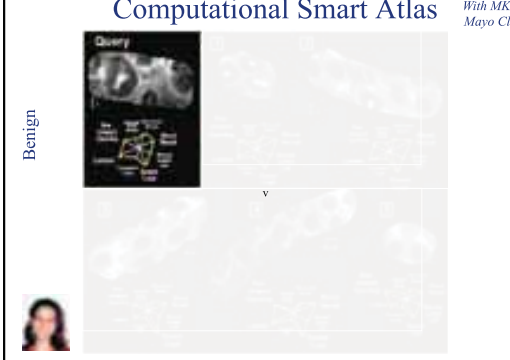
Neoplastic

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

65

Computational Smart Atlas *With MKT & Mayo Clinic*

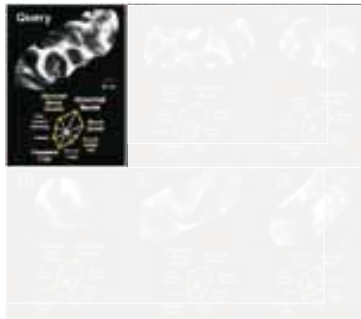


Query

Benign

Barbara André, T. Vercauteren, M. B. Wallace, A. M. Buchner, and N. Ayache, *Endomicroscopic video retrieval using mosaicing and visual words*, Medical Image Analysis Journal, 2011

Computational Smart Atlas With MKT & Mayo Clinic



Neoplastic

Barbara André, T. Vercauteren, M.B. Wallace, A.M. Buchner, and N. Ayache. Learning Semantic and Visual Similarity for Endomicroscopy Video Retrieval. IEEE Trans. on Medical Imaging, 2012 (minor revisions)

More Challenges

- Combine with robotized endoscopy
 - Relocalization
 - Time-series
- Personalize anatomical & physiological models at various scales
 - micro, meso and macro



Imperial college

Nanran & Yang, MICCAI 2010





Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria

68

Computational Medical Imaging & Virtual Physiological Patient

Emerging field which opens new frontiers

- A paradigm shift from
 - reactive standardized medicine
- Towards
 - preventive predictive personalized

Medicine of 21st century.



Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria

69

MICCAI 2012

1-5 October
Nice, France

15th International Conference
On Medical Image Computing
and Computer Assisted Interventions

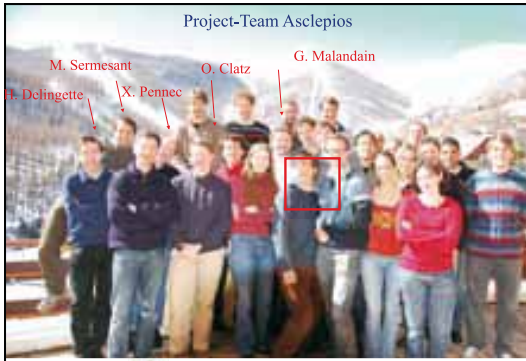


Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria

Project-Team Asclepios



M. Sermesant
A. Delingette
X. Pennec
O. Clatz
G. Malandain

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria

Academic, Industrial and Clinical Partners

- INRIA: Sisyphe: M. Sorine, Macs: D. Chapelle, Reo: J.F. Gerbeau
- Philips: P. Allain, P. Cathier, P. Etyngier, S. Makram, N. Villain J. Weese, etc.
- Siemens: D. Comaniciu, T. Mansi, O. Ecabert, etc.
- GE Buc: R. Vaillant, etc.
- MSR: A. Criminisi, E. Konukoglu,
- MKT: T. Vercauteren, B. André, etc.
- Dosisoft: H. Kafrouni
- etc.
- St Thomas Hospital: R. Razavi, K. Rhode Nic Smith, P. Chinchapatnam, P. Beerbaum, CA Rinaldi, P. Lambiase, etc.
- IHU Bordeaux: M. Haissaguerre, H. Cochet, M. Hocini, P. Jais, P. Ritter, A. Jadidi etc.
- IHU Strasbourg: J. Marescaux, L. Soler, S. Cotin, S. Nicolau, C. Forest, etc.
- IHU Pitié-ICM: S. Durrleman, O. Colliot, D. Dormont
- CHU Nice/ CAL: C. Lebrun, J. Darcourt, etc.
- CHU Caen: E. Saloux
- Creatis: P. Croisille, P. Clarysse, I. Magnin, etc.
- Toronto: M. Pop, G. Wright, etc.

Nicholas Ayache
15 Feb. 2012

Computational Medical Imaging:
Towards Personalized Digital Patients

Inria

72

Références

1. N. Ayache, editor. Computational Models for the Human Body, Handbook of Numerical Analysis (Ph. Ciarlet series editor). Elsevier, 670 pages. 2004.
2. N. Ayache, Boissel J-P, Brunak S, Clapworthy G, Lonsdale G, Fingberg J, Frangi A, Deco G, Hunter P, Nielsen P, Halstead M, Hose R, Magnin I, Martin-Sanchez F, Sloot P, Kaandorp J, Hoekstra A, Van Sint Jan S, Viceconti M, Towards Virtual Physiological Human (VPH), European White Paper, edited by DG INFSO & DG JRC, Nov. 2005
3. N. Ayache, editor. First international conference on computer vision, virtual reality and robotics in medicine, CVRMed'95, volume 905 of Lecture Notes in Computer Science, Nice, France, April 1995. Springer
4. J. Duncan and N. Ayache. Medical Image Analysis: Progress over two decades and the challenges ahead. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(1):85-106, 2000.
5. N. Ayache and H. Delingette, editors. Proceedings of the International Symposium on Surgery Simulation and Soft Tissue Modeling, volume 2673 of Lecture Notes in Computer Science, Juan-les-Pins, France, June 2003. Springer
6. N Ayache, S Ourselin, and A Maeder, editors. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI 2007 - Part I, volume 4791 of LNCS, Brisbane, Australia, October 2007. Springer. Note: 1001 pages
7. N Ayache, H Delingette, and M Sermesant, editors. Functional Imaging and Modeling of the Heart - FIMH 2009, volume 5528 of LNCS, Nice, France, June 2009. Springer. Note: 537 pages
8. N. Ayache, Olivier Clatz, Hervé Delingette, Grégoire Malandain, Xavier Pennec, and Maxime Sermesant. Asclepios: a Research Project-Team at INRIA for the Analysis and Simulation of Biomedical Images. In Y. Bertot, G. Huet, J.-J. Lévy, and G. Plotkin, editors, From semantics to computer science: essays in honor of Gilles Kahn, pages 415-436. Cambridge University Press, 2009

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Ayache de cet exposé exhaustif et très intéressant; en tout cas personnellement je me suis sentie très à l'aise, c'est mon domaine et je vous en remercie. Nous avons 10 minutes et la parole est à la salle pour des questions ou des commentaires complémentaires.

DISCUSSION

Pr. Nicholas AYACHE (INRIA, France)

J'ai montré effectivement sur quelques exemples, et notamment pour des gliomes de Bagrad, la possibilité de prédire à partir d'une personnalisation du modèle l'évolution de la tumeur. Le modèle que j'ai présenté ne prend pas en compte l'action d'une drogue entre deux acquisitions. Bien sûr qu'aussi bien les modèles que j'ai présentés que les modèles plus sophistiqués peuvent prendre en compte l'action d'une drogue, voir même aller jusqu'à prendre en compte le rythme circadien. Pour l'instant, il y a très peu de modèles qui sont confrontés au domaine en raison du peu de moyens pour les valider et à partir d'observations microscopiques. Ce que j'ai montré est assez limité dans la mesure où on n'a que des observations macroscopiques, et je pense que la révolution dans les années à venir proviendra de la confrontation avec des données également microscopiques.

Pr. Jacques DEMONGEOT (Université Joseph Fourier, Grenoble, France)

L'anatomie du cœur adulte est très dépendante de sa construction embryonnaire, donc il y a énormément de travaux de modélisation qui essaient d'expliquer la géométrie finale bien adaptée par la fonction par toute l'histoire naturelle de sa construction. Est-ce que vous vous dirigez vers une modélisation de ce type-là surtout dans des pathologies par exemple qui seraient issues de défauts de construction embryonnaire?

Pr. Nicholas AYACHE (INRIA, France)

Merci Jacques pour cette question. Effectivement, il y a une impasse que l'on fait sur le modèle géométrique actuel dans lequel on utilise pour la direction de la structure des fibres cardiaques des informations qui proviennent d'un Atlas qu'on a construit avec le NIH (USA) et plus récemment avec une équipe à Lyon. A partir du moment où l'on utilise un Atlas, on fait l'hypothèse que la distribution des fibres cardiaques va être la même sur le patient et on sait que cela n'était pas correct. Or, il y a actuellement des travaux auxquels nous sommes associés avec l'hôpital de Londres et également l'Ecole de Zürich pour faire de l'IRM de diffusion in vivo sur le cœur du patient. Des premiers résultats vont être présentés dans le cadre de la thèse de Nicholas Toussaint et ça permettrait de prendre en compte des variabilités individuelles que tu as évoquées dans ta question. Et ça c'est pour le futur.

Membre de l'audience

Je voudrais vous remercier pour la très bonne présentation. Vous avez couvert un certain nombre d'aspects sur le plan cardio-vasculaire, je voulais juste vous demander c'est quoi les prédictions et la participation anticipée du modeling dans la télémétrie cardiaque notamment par exemple les défibrillateurs et les pacemakers. Merci.

Pr. Ali BOUKHARI (CITIT)

Tout d'abord, je tiens à remercier le Pr. Ayache pour cet exposé qui m'a fait personnellement rêver parce qu'on voit la réalité des choses. Ma question est la suivante : votre exposé sur les rythmes cardiaques et la modélisation du cœur n'est pas une chose facile. Alors, comment vous prenez en compte dans cette modélisation tout ce qui est émotion, tout ce qui est sentiment et tout ce qui est perturbation hormonale. Merci.

Pr. Nicholas AYACHE (INRIA, France)

J'ai deux questions sur le cœur qui me demandent de prendre en compte dans la simulation plus d'informations. Actuellement, un des modèles que j'ai présentés prend déjà en compte la fréquence cardiaque pour l'identification des paramètres de conductivité et de

durée des potentiels d'action. C'est déjà un progrès qui permet de détecter l'apparition possible de courants de réentrée et donc une possible tachycardie ventriculaire par rapport à des modèles antérieurs qui figeaient ces paramètres indépendamment de la fréquence cardiaque. Il est évident qu'il y a d'autres paramètres supplémentaires, notamment biologiques, qui peuvent être pris en compte pour affiner ces modèles, mais il faut garder présent à l'esprit que par la suite il faut pouvoir identifier les paramètres que l'on a rajoutés et donc il y a un compromis entre la complexité de ce qui est modélisé et ensuite le modèle personnalisé. L'avenir permettra certainement d'améliorer grandement ces premiers exemples de modèles personnalisés du corps humain.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci encore une fois Pr. Ayache pour cet excellent exposé et pour ces éclaircissements. J'invite le Dr. Abdessamad Tridane de l'Université de l'Etat d'Arizona (USA) pour nous entretenir de : ***la modélisation des épidémies – de l'approche mathématique à l'approche interdisciplinaire***. Vous avez une trentaine de minutes et je vous demanderai de vous y conformer. Merci beaucoup.

MODELING EPIDEMICS : THE JOURNEY FROM THE MATHEMATICAL APPROACH TO THE INTERDISCIPLINARY APPROACH

Dr. Abdessamad TRIDANE

***Department of Applied Sciences and Mathematics
College of Technology and Innovations
Arizona State University at Polytechnic Campus
Mesa, Arizona, USA***



Abstract

Since the first mathematical model of the smallpox by Daniel Bernoulli, the epidemics modeling has been taking different challenges to solve problems related to the public health. These challenges had contributed to the evolution of the mathematical epidemiology, as well as adapting new modeling tools to handle the complexity of the factors that dictate spread diseases, which leads to synergy in epidemics modeling research.

The aim of this talk is to highlight the new interdisciplinary nature of this field, and how researchers from applied mathematics, computer engineering, epidemiology, biology, social and cognitive sciences are team-up to solve critical questions on epidemics to the decision makers.

In this talk we also show some promising technological outcomes of this collaborative research and how optimization and optimal control is used for the prevention and drug adherence in HIV, and surveillance and containment of Influenza pandemic.

References

- [1] Diekmann O. and Heesterbeek J.A.P. *Mathematical Epidemiology of Infectious Diseases*. Wiley series in Mathematical and Computational Biology, Wiley (2000).
- [2] Hethcote, H.W. *The mathematics of infectious diseases*. SIAM Review 42, 599–653 (2000).

- [3] Stroud P.D., Del Valle S.Y., Mniszewski, M., Riese, J.M., Sydorik S.J. *Using a Massive Agent-based Model to Study the Spread of Pandemic Influenza*, Associate Directorate for Theory, Simulation, and Computation, Modeling Complex Networks, pp.184-185, <http://www.lanl.gov/orgs/adtscc/docs/2Stroud.pdf>
- [4] Shi V., Tridane, A. Kuang, Y. *A viral load-based cellular automata approach to modeling HIV dynamics and drug treatment*, *J. of Theor. Biol.*, 253, 24-35 (2008).
- [5] Tridane A., White J. *Optimization of antiviral treatment and vaccination distribution in influenza pandemic: Which age is critical?* BMB, 2011.

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci beaucoup Dr. Tridane pour cet exposé et pour le respect du temps. On prendra deux questions et, si vous permettez, on regroupera les réponses pour économiser un peu de temps pour pouvoir récupérer sur notre retard.

Membre de l'audience

Very nice presentation, so I am going ahead to the points. I have two very quick questions. First, I would like to know the predictive value of your modeling that you just presented. Second, I assume that this model is intended to be global and you mentioned also the medication adherence, how did you account or adjust for the geographical-socio-cultural and socio-economic issues since you know Africa is not United States? Thank you.

Pr. Abdessamad TRIDANE (Université de l'Etat d'Arizona - USA)

To answer the last part, we are developing applications for epidemiological model but we are taking EMOCA only for influenza and we are trying it in US. The ultimate goal is to have it for different diseases. In fact there are a couple of applications but they are not a modeling fact, just a data collection of GIS type and using it for modeling to forecast the possible outcome of the infection.

As far the social interactions, we are using the gay community, on voluntary basis, and we are tracking them and their connections through Facebook, Twitter, etc...and trying to see if they hang out together or anything.

As far as adherence, these are voluntary people when they take medication they get noticed that you have to take your medication. If they don't answer, actually even the platform of the phone changed and became dark. Regarding the efficiency of the endemic model, we are very efficient as far as first of all evaluating our model to the actual Google model which is one of the most efficient, but the only problem of the Google flu is State based. It does not give prediction for region or county in the State. We are doing beyond that, if somebody is taking his vaccination, we are getting information about his location and what is the most frequent place he goes to. Does that answer your questions?

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci beaucoup Dr. Tridane et je donne tout de suite la parole au Pr. Jacques Demongeot de l'Université Joseph Fourier de Grenoble en France pour nous entretenir des **réseaux de régulation génétique pour l'immunologie et l'embryogenèse**.

GENETIC REGULATORY NETWORKS FOR IMMUNOLOGY AND EMBRYOGENESIS

Pr. Jacques DEMONGEOT

Laboratoire AGIM

Domaine de la Merci. 38710 La Tronche, France



The general architecture of a genetic regulation network consists of strong connected components of its interaction graph, to which are attached three kinds of sub-structures :

- a set of up-trees, issued from the sources of the interaction graph of the network, made either of small RNAs (like the microRNAs or mitomiRs, translational inhibitors respectively of the messenger RNAs and of the tRNAs), or of genes repressors and/or inductors, self-expressed without any other genes controlling them
- a set of circuits in the core (in graph sense) of the strong connected components of the interaction graph. These circuits are unique or multiple, reduced to one gene or made of several ones, negative (having an odd number of negative interactions) or positive, and disjoint or intersected;
- set of down-trees going to the sinks of the interaction graph, i.e., to genes controlled, but not controlling any other genes.

The various state configurations it is possible to observe in the above sub-structures correspond to different dynamical behaviours. We show that these dynamics have in general a small number of attractors, corresponding to the functions of the tissue they represent in the Delbrück's paradigm.

Examples of such dynamics will be given in embryology (feather morphogenesis in chicken, gastrulation and wings morphogenesis in *Drosophila*) as well as in immunology (rearrangements of the genes of the TCR α receptors in mice).

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Demongeot, j'étais très excité de par ma spécialité, je m'attendais à voir des réseaux qui me sont familiers. La parole est à la salle.

Pr. Malik GHALLAB (CSMI)

Jacques, j'ai une question au sujet des interactions dans ton réseau public, tu as une machine à états?

Pr. Jacques DEMONGEOT (Université Joseph Fourier, Grenoble, France)

La réalité est absolument terrible. Il y a une horloge à l'intérieur du noyau que l'on appelle *l'horloge chromatinienne*, et cette horloge qui décide du timing c'est-à-dire les endroits où l'on va faire des blocs séquentiels mais à l'image des gènes, cette horloge c'est des protéines qui sont eux-mêmes sous la dépendance des gènes. C'est non homogène, c'est l'horreur absolue sur le plan mathématique. On va laisser ça aux générations futures, on ne connaît pas très bien l'horloge chromatinienne et c'est évidemment pas un système classique. Je ne dirai pas plus. Mais au sens de nos maîtres (Gastinel, François-Robert, etc...) c'est une énergie cinétique discrète pour des vitesses et c'est assez drôle que finalement il se rapproche de paradigmes qui viennent de la mécanique et heureusement il y a aussi des simplifications dans les outils de sorte qu'il y a une réingénierie d'outils.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

J'interpelle à l'indulgence de la salle et je vais arrêter les questions, nous aurons tous nos orateurs ensemble en fin de journée et nous débattrons de toutes les questions. J'appelle le prochain orateur le Pr. Hassan Hbid de l'Université Cadi Ayyad de Marrakech pour nous entretenir de ***la modélisation des relations individu-groupe de populations: de la cellule aux groupes urbains.***

LA MODÉLISATION DES RELATIONS INDIVIDU - GROUPE - POPULATION : DE LA CELLULE AUX ENSEMBLES URBAINS

Pr. Hassan HBID

*Laboratoire de Mathématiques et Dynamique de Populations
Département de Mathématiques, Faculté des Sciences,
Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc*



Résumé

La dynamique de population traite de l'évolution temporelle de populations d'individus dans des contextes aussi variés que l'astrophysique, la chimie, l'écologie, la biologie, la médecine et la démographie humaine. La description d'une population peut être faite à différents niveaux : de l'individu à la population en passant par des niveaux intermédiaires, cohortes d'âge, de taille, essaims, communautés, écosystèmes. Le niveau de l'individu permet de prendre en considération des caractéristiques observées ou mesurées chez l'individu, vitesse de nage d'un poisson par exemple, ou encore, stratégie d'attaque d'une proie par un prédateur. Un tel niveau de détail s'obtient au prix d'une variabilité individuelle inévitable. À l'autre extrême, la population évolue de manière quasi-déterministe, la variabilité individuelle étant en quelque sorte moyennisée.

Les observations faites à des niveaux différents ont souvent un caractère de complémentarité : chacune étant insuffisante, elles peuvent, utilisées ensemble, améliorer notre connaissance des mécanismes étudiés. Une difficulté fondamentale dans cette voie est d'établir le lien entre les différents niveaux d'observation et d'appréhension. Une raison majeure pour étudier cette question découle de l'importance du concept d'émergence.

On appelle propriété émergente une propriété existant à un certain niveau, résultant de propriétés d'un niveau inférieur (voir [16]). Ce concept tend à occuper une place de plus en plus importante dans le champ de l'écologie théorique et dans d'autres domaines, comme par exemple la modélisation des comportements individuels ou l'intelligence artificielle.

Le cadre général de l'étude des relations entre l'évolution d'une population et celle des individus (ou des groupes) qui la composent constitue un axe de recherche important

qui intéresse plusieurs groupes de recherche aujourd'hui. Il se développe autour de la question suivante : A partir de relations supposées ou connues entre des niveaux différents d'organisation (ou, d'agrégation) (ou, de granularité) d'une population (depuis l'individu jusqu'à la population entière) est-il possible de décrire l'évolution de cette population? Cette question est centrale en dynamique des populations; nous nous intéressons plus particulièrement aux aspects suivants : quels sont les niveaux d'organisation qui influent sur la dynamique de la population? Y a-t-il un niveau d'organisation minimal qui permet de restituer la dynamique de la population (le niveau individuel paraissant trop petit dans le cas de grandes populations)?

Nous allons essayer de montrer l'importance de cette question dans différents contextes à savoir les populations marines exploitées, les cellules et la dynamique urbaine. Pour ce faire nous présentons des modèles élaborés et analysés dans ces différents contextes, en insistant sur le cas des populations marines où des conjectures faites par des écologistes marins ont été confirmées. Nous donnerons aussi un aperçu sur les diverses questions et techniques mathématiques liées à la modélisation des processus qui régissent ces relations individus - groupes et populations.

Références

- [1] M. Adimy, F. Crauste, My L. Hbid et R. Qesmi. Stability and Hopf bifurcation for a cell population model with state-dependent delay. *SIAM J. Appl. Math*, 70 (5), 1611-1633 (2010).
- [2] A.Kebir, S. Ben Miled, M.L. HBID and R. Bravo de La Parra, Effects of density dependent sex allocation on the dynamics of a simultaneous hermaphroditic population: Modelling and analysis *Journal of Theoretical Biology*, Volume 263, Issue 4, 21 April 2010, Pages 521-529.
- [3] S. Ben Miled, A. Kebir and M.L. Hbid, Mathematical modeling describing the effect of fishing and dispersion on hermaphrodite population dynamics, (*Models and Methods of Natural Phenomena*) (2010).
- [4] A. Kebir, S. Ben Miled and M. L. HBID, Individual based model for grouper population, *Actabiotheoritica* (2010).
- [5] Fabien Crauste, M. Lhassan Hbid, Abdelaziz Kacha, A delay reaction-diffusion model of the dynamics of botulinum in fish, *Mathematical Biosciences*, Volume 216, Issue 1, November 2008, Pages 17-29
- [6] J. El Ghordaf, M.L. Hbid, A Mathematical Analysis of a model of the evolution of a Regional Population Distribution. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, Vol 16, N° 3 pp 347 - 374 (2006).
- [7] E. L. Charnov. Simultaneous hermaphroditism and sexual selection. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 76(5) :2480-2484, May 1979.
- [8] E. L. Charnov. The theory of sex allocation., volume 18 of *Monogr. Popul. Biol.* Princeton University Press, november 1982.
- [9] J. M. Cushing and J. Li. Intra-specific competition and density dependent juvenile growth. *Bulletin of mathematical biology*, 54 :503-519, 1992a.
- [10] J. M. Cushing and J. Li. Individual Based Modeling : Concepts and Models, Chapter 6: The dynamics of a size-structured intraspecific competition model with density dependent juvenile growth rates, pages 112-125. Chapman & Hall, 1992b.

- [11] E. A. Fischer. Sexual allocation in a simultaneously hermaphroditic coral reef fish. Amer. Nat, 117 :64-82, 1981.
 - [12] E. A. Fischer. Local mate competition and sex allocation in simultaneous hermaphrodites. The American Naturalist, 124(4) :590-596, Oct. 1984. ISSN 0003-0147.
 - [13] Adioui, Contribution a l'étude de modèles mathématique et informatique de comportements collectifs, Thèse en co-tutelle entre Université de Marrakech et Université Paris 7 (2004).
 - [14] M. Adioui, J.P. Treuil, and O. Arino, Aligement in a fish school : a mixed Lagrangien Eulerien Approach, Ecological modeling (2003).
 - [15] D.Grunbaum et A.Okubo, "Modelling social aggregations" dans Frontiers of Theoretical Biology, Lect.Notes in Biomathematics, vol.100, (1994).
 - [16] Schweitzer F, Brownian Agents and Active Particles, Collective Dynamics in the Natural and Social Sciences, Springer -Verlag (2003).
 - [17] A. Okubo "Dynamical aspects of animal grouping : swarms, school, flocks, and herds", Adv. Biophys., vol.22, 1-94, (1986).
-

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Hbid du respect du temps et de l'excellente conférence, j'appelle pour une question seulement et s'il n'y a pas de question, nous levons la séance pour le déjeuner.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Bien, on reprend notre séance de l'après-midi. Il m'a été demandé de rappeler aux orateurs de ce matin de bien vouloir laisser auprès du secrétariat de l'Académie le texte intégral de leur présentation et, le cas échéant, de l'envoyer dans les 15 jours qui suivent.

Je voudrais inviter le Pr. Jinghai LI de l'Institut du génie des Procédés de Pékin en Chine pour nous entretenir de ***la simulation en temps réel des procédés chimiques – rêve ou réalité.***

Pr. Jinghai, you have 35 minutes. First of all I would like to thank you for responding positively to the invitation of The Hassan II Academy of Science and Technology and I know you had a very long flight, so I hope you are in good shape to share your experience with us. Thank you.

REAL-TIME SIMULATION OF CHEMICAL PROCESSES DREAM OR REALITY?

*Pr. Jinghai LI, Wei GE, Pr. Wei WANG
and Pr. Ning YANG*

*Institute of Process Engineering,
Chinese Academy of Sciences
P. O. Box 353, Beijing 100190, China*



Abstract

With the dramatic development of computational science and technology, computer simulation is playing an increasingly important role in scientific research and engineering practice, and is believed to bring about a profound revolution to the mode and means of these activities. For chemical engineering, it will promote the transition from an experience-and-experiment-based research and development mode to the one based on virtual process engineering (VPE). However, such a revolution still requires tremendous improvements in the Accuracy of physical modeling and numerical methods, the Capability of the computing hardware and software, and the Efficiency of the simulation activities, or in short, ACE. This article will systematically review the 30-year endeavors at IPE, CAS (Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences) on upgrading ACE for VPE by establishing a multi-scale computing paradigm focusing on meso-scale structures. We also report recent developments in this direction with projections on future work.

Meso-scales refer to the intermediate scales at which the discrete elements in a system interact to shape the global behavior of the system. Reasonable description of the structures at such scales is a bottleneck for reliable and accurate modeling of global behaviors. To address this problem, we started from gas-solid flow, proposing the energy minimization multi-scale (EMMS) model to quantify the hydrodynamics of meso-scale structures in gas-solid fluidization. This model, that is, its stability condition, was thoroughly analyzed and verified by the pseudo-particle modeling (PPM) method and other systems, such as turbulence and gas-liquid flow, were then studied following the

same strategy, revealing the general existence of stability conditions for meso-scale structures as a result of the compromise among different dominant mechanisms, and leading to a generalized model mathematically formulating them as a multi-objective variational (MOV) problem. Meanwhile, along with wider industrial applications of the EMMS-based simulation methods, common features were recognized that ACE requires consistency among the simulated problem, the physical model, the numerical software and the computing hardware under the umbrella of MOV, which we have named as the EMMS Paradigm.

The EMMS Paradigm was first implemented from the software level using traditional computing hardware to achieve Accuracy. Since 2007, with the advent of general-purpose GPU (graphic processing unit) computing, CPU (Central Processing Unit)-GPU hybrid computing was deployed to implement the Paradigm from the hardware level, which elevated the Capability to Petaflops range. In applying the Paradigm to the development of industrial petro-chemical process (maximizing isoparaffin, MIP), enabling technologies such as pre- and post-processing, error-tolerance, network-based computing, and seamless integration of different simulation methods are now under development, which will greatly improve the Efficiency. A demonstration virtual laboratory featuring the comparison and interaction of online measurement and real-time computing is in construction. With these endeavors, an industrial process can be simulated globally in almost real-time, and different levels of details can be traced from the global distribution of flow parameters in a reactor to the inner-channels of catalytic particles at a perceivable evolution speed. The realization of VPE is, therefore, in the foreseeable future.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Thank you Pr. Jinghai. I will take only one question.

Member from the audience

Wonderful presentation on the impact of how important is multidisciplinary approach. I have many questions but I will keep to one. In fact, we are most often looking at designing materials with specific physical properties meaning that we start with molecular simulation and then try to make the material that we have simulated initially. How do you think we can couple molecular simulation with middle scale approach, especially in context where if right now we are able, and you showed that, to build computing architecture that blend CPU and GPU? Unfortunately, the trend with new discoveries and microprocessors is to integrate the GPU into the CPU meaning that we are going to lose one degree of freedom. So how do you see the future with this?

Pr. Jinghai LI (Academy of Sciences, China)

In fact, you have two questions.

The first, if you start with molecular simulation of the material that probably needs huge computer capacity which will be a limiting factor. But from our studies we believe this is not the way at this moment. We need to establish the middle-scale modeling to describe

the dominant mechanism for the meso-scale structure. If we use this meso-scale modeling towards the simulation, that will reduce the computation cost very much. So that is why we see that the meso-scale is so critical.

The second is the integration between the CPU and the GPU. That is a very good idea but it is limited to the field of computer technology. If the chemical engineering joins for the new processing unit, I believe it's good. If we could have the meso-scale process unit, that will make something different and open a new era for the computer science. I discussed with many computer manufacturers, they are very interested to use something new to have the market. That's my personal opinion. Thank you very much for your very good questions.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Pr. Faissal Benkhaldoun de l'Université Paris 13 en France qui a pour titre : ***les volumes finis adaptatifs en sciences et ingénierie – rôle des simulations en dynamique des fluides dans l'industrie.*** Vous avez 25 minutes.

SURVEY ON ADAPTIVE FINITE VOLUME IN ENGINEERING AND SCIENCE : COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ILLUSTRATIONS

Pr. Fayssal BENKHALDOUN

*LAGA, Université Paris 13
99, Avenue J.B. Clement, 93430 Villetaneuse, France*



Abstract

We present a survey on adaptive finite volume methods for computational fluid dynamics. Mathematical modelling of fluid dynamics in flow systems is based on the formulation and solution of the appropriate equations of continuity and motion of fluid. For example, tidal flows represent a three-dimensional turbulent Newtonian flow in complicated geometrical domains. The costs of incorporating three-dimensional data in natural water courses is often excessively high. Computational efforts needed to simulate three-dimensional turbulent flows can also be significant. In view of such considerations, many researchers have tended to use rational approximations in order to develop two-dimensional hydrodynamical models for tidal flows. Indeed, under the influence of gravity, many free-surface water flows can be modelled by the shallow water equations with the assumption that the vertical scale is much smaller than any typical horizontal scale. These equations can be derived from the depth-averaged incompressible Navier-Stokes equations using appropriate free-surface and boundary conditions along with a hydrostatic pressure assumption. The shallow water equations in depth-averaged form have been successfully applied to many engineering problems and their application fields include a wide spectrum of phenomena other than water waves. For instance, the shallow water equations have applications in environmental and hydraulic engineering, for example, for tidal flows in an estuary or coastal regions, rivers, reservoir and open channel flows. Such practical flow problems are not trivial to simulate since the geometry can be complex and the topography irregular.

In this survey we review an adaptive finite volume method for a wide applications in computational fluid dynamics. More precisely, we discuss the application of this method for the following applications :

- Shallow water flows
- Transport of pollutants in water free-surface flows
- Morphology and suspended sediments
- Flows in porous media
- Streamer propagation in cold Plasma
- Combustion and diffusion flames

Simulations and results are presented to verify the considered models. A special attention is given to two realistic applications :

- Tides and water exchange in the Strait of Gibraltar
- Transport of pollutants in the Nador lagoon

We demonstrate the models capability of capturing the correct flow features over complex bathymetry.

General introduction

The objective of this presentation is to introduce a survey on efficient numerical adaptive finite volume methods for sti problems in computational fluid dynamics.

Mathematical modelling of fluid dynamics in flow systems is based on the formulation and numerical solution of appropriate equations of conservation of mass, momentum and energy. In most realistic applications analytical solutions of these models do not exist and numerical methods are therefore required for their simulations and consequently understanding their dynamics. Irregular domains and complex input data are among the difficulties encountered when designing numerical techniques for this class of application in modern technology. However, with the high improvements achieved in the computer resources, high computing performance could be a key in simulating these challenging problems with reasonable accuracy using personal computers and laptops. In particular, developing an adaptive finite volume black-box has become one of the active research fields worldwide.

In this survey we present a review on recent advances in adaptive finite volume methods for industrial applications. More precisely, we discuss the application of this class of methods to the following situations:

- Combustion
- Plasma Physics
- Flows in porous media

Simulations and results are presented to verify the considered adaptive finite volume models. A special attention is given to three realistic applications widely discussed in the

CFD community. The first part of this work presents a combustion problem where we address the numerical simulation of a triple flame ignition. This phenomena is of great importance for car design industries among others.

In the second part plasma physics problems are considered. From a physical perspective, the model accounts for interactions between electrons and photons resulting in a multi-scale and challenging problem to deal with from both theoretical and numerical frameworks. For example, these models lead to a very stiff phenomena (also known as Thunderbolt in real-life) and the research in this field is crucial for example for the treatment of contaminated media, for ITER Tokamak safety issues (nuclear industry) and for fast laser assisted combustion in aerospace engineering. Here we focus mainly on a propagation phenomena of the streamer discharge in cold plasma.

The last section of this presentation is focused on practical problems for multiphase flows in porous media. This part of our survey covers engineering problems in petroleum industry as well as the CO₂ storage in conned and unconned aquifers.

FLAME IGNITION AROUND A DROPLET

in collaboration with Roland Borghi¹ and Imad Elmahi²

¹ *Professeur emerite de l'Universite de Marseille - France*

² *Professeur de l'Enseignement Suprieur, ENSA, Oujda - Maroc*

1. Introduction

The numerical study of droplet ignition and burning is a subject of great interest since the droplet inflammation process occurs in many practical combustion devices such as liquid-fuelled rockets or diesel engines, and has an important impact on the production of pollutants in a wide range of technological applications.

The propagation of a flame zone in a premixed spray made with fuel droplets dispersed in an oxidizing gaseous medium is also of great interest for safety problems.

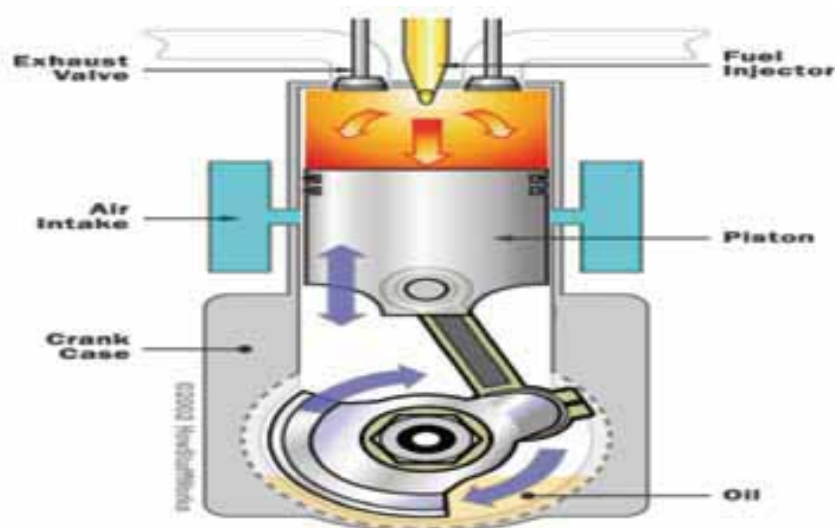


Figure 1: Diesel Two-Stroke Engine

Roland Borghi Triple Flame Conjecture (1994)

In Borghi [7], a discussion concerning the structures of the flames is presented. It is classical to consider that when the droplets are sufficiently small they can be fully vaporized in the preheating zone of the flame. In this case, the spray flame greatly resembles a classical gas phase premixed flame; the only difference is that there is a sink of heat in the preheating zone, due to the vaporization. The flame propagates towards the unburnt mixture due to the heat and mass diffusion from the burnt gases. But this regime is no longer possible when the time necessary for droplet vaporization is larger than the transit time in the preheated zone. For large droplets, one can expect that liquid droplets can be found behind the premixed flame. This implies that the premixed flame can be broken locally when the droplet passes through it because the droplet is surrounded by a mixture too rich to allow a flame to persist.

The premixed flamelet at the leading edge of the flame zone is necessary in order to allow flame propagation. In many locations, this premixed flamelet is connected with a diffusion flamelet that envelopes a droplet or a group of droplets, showing a so called triple flame. Due to the presence of droplets, the propagation of the premixed flamelet does not happen homogeneously all along the leading edge. When the premixed flamelet approaches a new droplet, one can suspect that the normal propagation is no longer possible because the gaseous mixture here is too fuel rich. The flame will then be broken, and a ring of triple flame will propagate around the droplet.

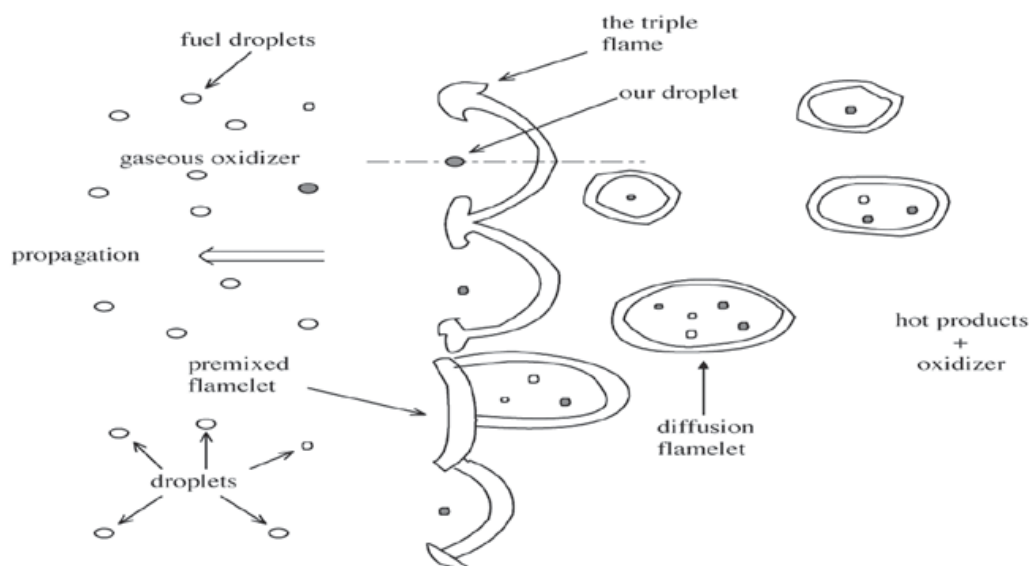


Figure 2: Burning droplets

1.1. Triple flame structure

A triple flame is a flame structure generated by flame propagation in a partially premixed system. In a partially premixed eld, the mixture fraction Z determines the local equivalence ratio and thereby the value of the burning velocity s_L . Since premixed flame speeds are maximum for near-stoichiometric conditions, a flame in a partially premixed eld propagates preferentially along surfaces of stoichiometric mixture, i.e. near $Z = Z_{st}$. On the fuel-lean side of such a surface, there is a lean premixed flame branch, and on the fuel-rich side, there is a rich premixed flame branch, both propagating with a lower burning velocity than the leading edge of the flame, called the triple point. For very rich

or lean mixtures, the mixture fraction is beyond the flammability limits and the flame extinguishes. Behind the partially premixed flame front, two streams, one containing unburnt intermediates like CO and H₂, and the other unburnt oxidant, come together and burn as a diffusion flame.

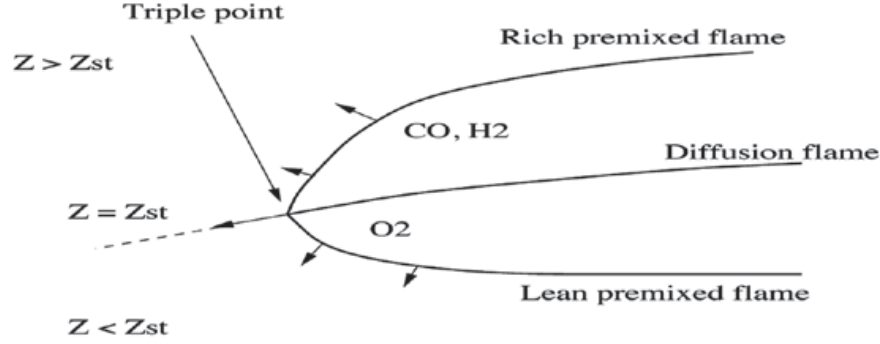


Figure 3: Triple flame scheme

Figure 3: Triple flame scheme

The interest in triple flames is largely motivated by the potential role these structures play in flame propagation in partially premixed mixtures. Triple flames are of fundamental interest for the understanding of stabilization of lifted (turbulent) diffusion flames. In addition to diffusion flame stabilization, triple flames can also play an important role in the ignition processes of non-premixed systems. It is known nowadays that flame propagation in turbulent partially premixed systems is governed by triple flames. In addition, NO_x emissions are likely to be large in such transient cases, and therefore a better understanding of triple flames can provide essential information concerning pollutant formation. We assume here that the fuel combustion process is described by one-step overall chemical reaction. The fuel vapor reacts with oxidizer following the reaction $Fuel + \nu Oxidizer \rightarrow Products$, where ν represents the stoichiometric oxidizer/fuel mass ratio. Briefly, this model solves the full transient equations of continuity, fuel species diffusion, and energy in the vapor phase. For an axisymmetric coordinate system, the set of these equations can be written as:

2. Mathematical Model

$$W_t + F_{nv}(W)_x + G_{nv}(W)_y = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial(F_{nv} + F_v)(W)}{\partial x} + \frac{\partial(G_{nv} + G_v)(W)}{\partial y} = S(W) \quad (1)$$

$$W = (\rho, \rho u, \rho v, E, \rho Y_F, \rho Y_O)^t,$$

$$F_{nv}(W) = (\rho u, \rho u^2 + P, \rho uv, (E + P)u, \rho u Y_F, \rho u Y_O)^t,$$

$$G_{nv}(W) = (\rho v, \rho uv, \rho v^2 + P, (E + P)v, \rho v Y_F, \rho v Y_O)^t,$$

$$F_v(W) = (0, -\sigma_{xx}, -\sigma_{yx}, -(u\sigma_{xx} + v\sigma_{yx} - q_x), -D\frac{\partial Y_F}{\partial x}, -D\frac{\partial Y_O}{\partial x})^t,$$

$$G_v(W) = (0, -\sigma_{xy}, -\sigma_{yy}, -(u\sigma_{xy} + v\sigma_{yy} - q_y), -D\frac{\partial Y_F}{\partial y}, -D\frac{\partial Y_O}{\partial y})^t,$$

$$S(W) = (0, 0, 0, \omega \Delta Q, -M_F \omega, -\nu M_O \omega)^t.$$

3. Numerical Treatment of the Convection Part

We present an upwind scheme based on a Roe's approximate Riemann solver. Consider the hyperbolic part of the equations (1)

$$W_t + F_{nv}(W)_x + G_{nv}(W)_y = 0 \quad (2)$$

classically called the Euler equations.

The hyperbolic contribution of the residual, requires the evaluation of the term

(We note $\mathcal{F}_{nv}(W, \vec{n}) = n_x F_{nv}(W) + n_y G_{nv}(W)$):

$$\int_{\Gamma_{ij}} \mathcal{F}_{nv}(W, \vec{n}) d\sigma = \Phi(W_i, W_j, \vec{n}_{ij}) meas(\Gamma_{ij})$$

where Γ_{ij} is the interface between two triangles T_i and T_j .

Roe proposed a particular choice of $\Phi(W_i, W_j, \vec{n}_{ij})$ based on the resolution at each time step of approximate linear Riemann problems on each cell boundary of the mesh, knowing the initial left state W_i and right state W_j (Roe 1981):

$$\begin{aligned} \Phi(W_i, W_j, \vec{n}_{ij}) &= \frac{1}{2} [\mathcal{F}_{nv}(W_i, \vec{n}_{ij}) + \mathcal{F}_{nv}(W_j, \vec{n}_{ij})] \\ &- \frac{1}{2} |A(\tilde{W}, \vec{n}_{ij})| (W_j - W_i) \end{aligned} \quad (3)$$

The Roe-averaged value $\tilde{W}$ is related to W_i and W_j and is taken such that the conservativity condition

$$\mathcal{F}_{nv}(W_j, \vec{n}_{ij}) - \mathcal{F}_{nv}(W_i, \vec{n}_{ij}) = A(\tilde{W}, \vec{n}_{ij})(W_j - W_i)$$

is satisfied exactly.

3.1 Second order extension for the spatial approximation

For the first order accurate scheme described above, the values of the variables at a cell face are taken to be the cell-centered values on either side of the face. The scheme obtained is monotone but has a poor accuracy, due to the large amount of numerical dissipation. The extension to second order upon unstructured meshes is realized here by supposing that the states are in a set of linear piecewise functions in each control volume, and using the MUSCL technique due to Van Leer (1985).

4 The Diffusive Flux

When discretizing the diffusive part of (1), one has to evaluate term such as

$$\int_{\Gamma_{ij}} (a' \frac{\partial a}{\partial x} n_x + b' \frac{\partial b}{\partial y} n_y) d\sigma$$

where a (respectively b) is either u , v , T , Y_F or Y_O ; a' (respectively b') is either u , v , P , Y_F or Y_O .

One constructs the co-volume C_{dec} centered at the interface Γ_{ij} and connecting the barycenters G_i and G_j of the triangles that share this edge and the two endpoints N and S of Γ_{ij} as sketched in figure below.

4.1 The Green-Gauss divergence Theorem

The gradients, which are supposed to be constants upon the co-volume C_{dec} , are computed using the values of the data on the nodes G_i , G_j , N and S as follows:

$$\frac{\partial a}{\partial x}|_{\Gamma_{ij}} \simeq \frac{1}{meas(C_{dec})} \sum_{\varepsilon \in \partial C_{dec}} \frac{1}{2}(a_{N_1} + a_{N_2}) \int_{\varepsilon} n_{x\varepsilon} d\sigma$$

where N_1 and N_2 are the nodes of an edge ε of ∂C_{dec} . a_{N_1} and a_{N_2} are respectively the values of the state a on the node N_1 and N_2 .

4.2 VFdiamond scheme

To obtain the values at a node N of the mesh, a specific least square linear interpolation based on the set of cells sharing the vertex N is employed, ensuring weak consistency of the scheme. This gives the following expression of the reconstructed gradient:

$$\nabla_{\sigma} u_h = \frac{1}{2|D_{\sigma}|} [(u_L - u_K)|\sigma|\mathbf{n}_{K,\sigma} + (u_S - u_N)|s_{\sigma}|\mathbf{n}'_{\sigma}] .$$

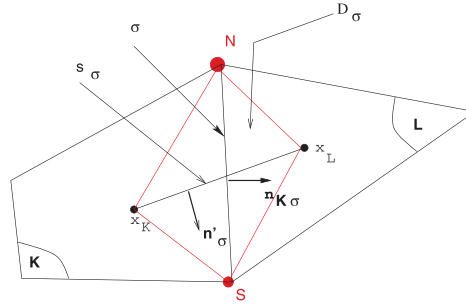


Figure 4: Diamond shaped co-volume

5 Numerical Investigation

5.1 Adaptive Mesh Refinement

The phenomena under study exhibits a high degree of stiffness due to the very different space and time scales, and which appears essentially through thinness of the reaction zone L_r compared to the flame width L_f and to the domain size. Hence to simulate the ignition of the droplet accurately enough and then to obtain a correct physical behavior, a mesh adaptation method is needed during the calculation.

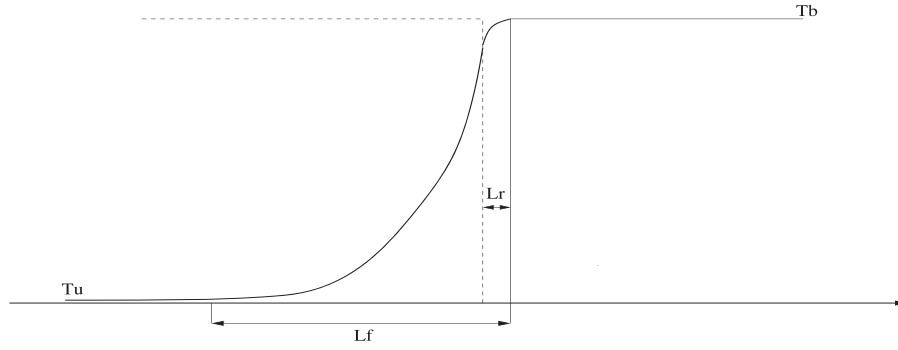


Figure 5: Flame structure (Temperature): Domain size = 20 to $200L_f$ and $L_f = 5$ to $10L_r$

Here, we present briefly an adaptive procedure based on multi-level refinement and unrefinement, aimed at constructing an adaptive mesh which dynamically follows the flame front during its motion around the droplet. Following the local values of some criterion, denoted in our case by the reaction rate of the mixture, one establishes a list S of triangles which need to be refined and those to be unrefined, by using, for all the macro-element K , an integer array called IADIV. At time $t^n = n\Delta t$ and for a macro-element K , $IADIV(K) = m$ means that K has to be divided into 4^m triangles, or equivalently that K has to be divided into 4 sons, and that each of these sons has to be divided into 4^{m-1} sub-triangles. The algorithm is then based upon a multi level hierarchical tree data structure as showed in the example below,

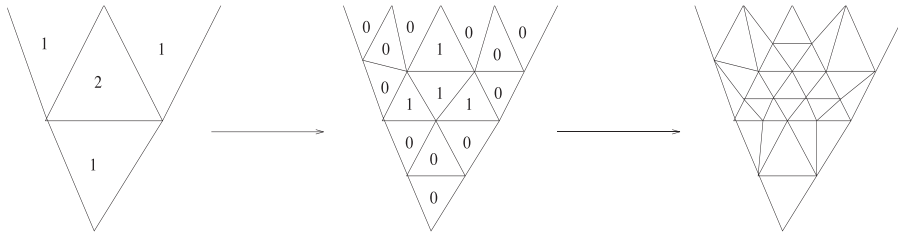


Figure 6: Refinement process

5.2 Numerical experiment and results

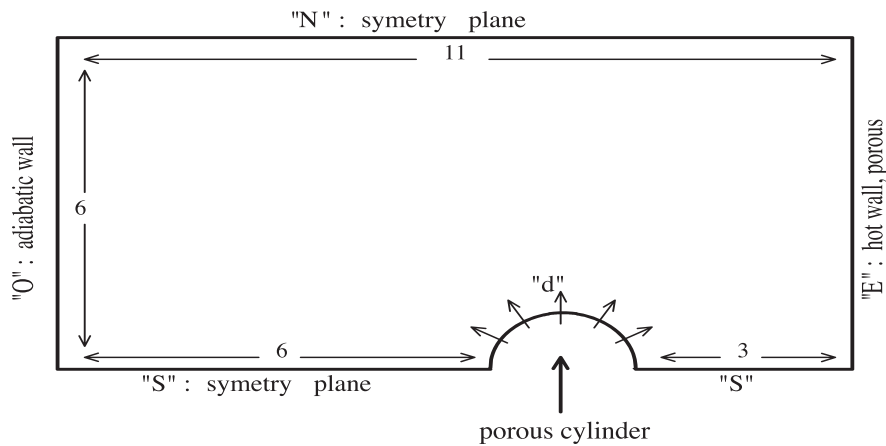


Figure 7: Simplified configuration

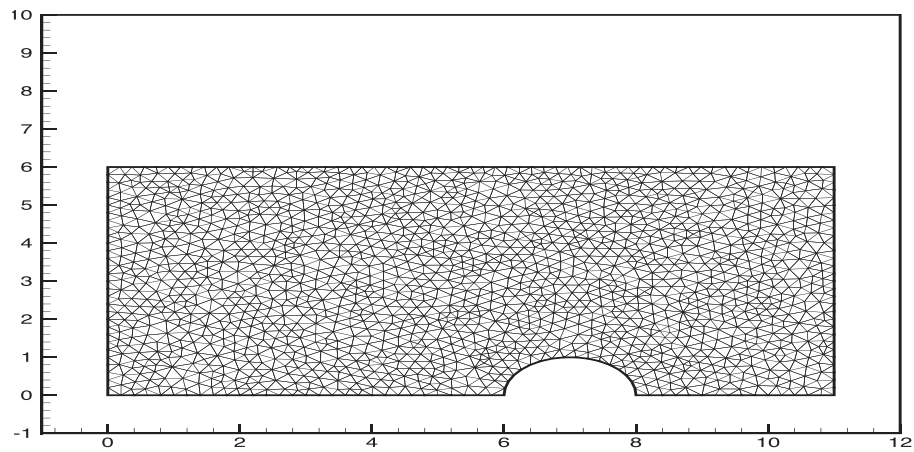


Figure 8: Initial mesh

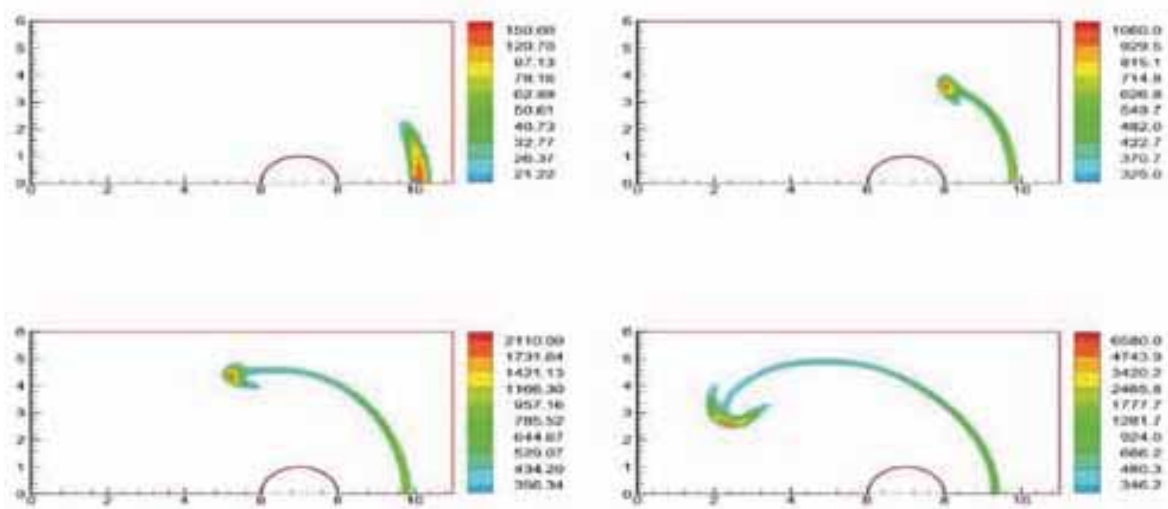


Figure 9: Reaction rate isovalues evolution

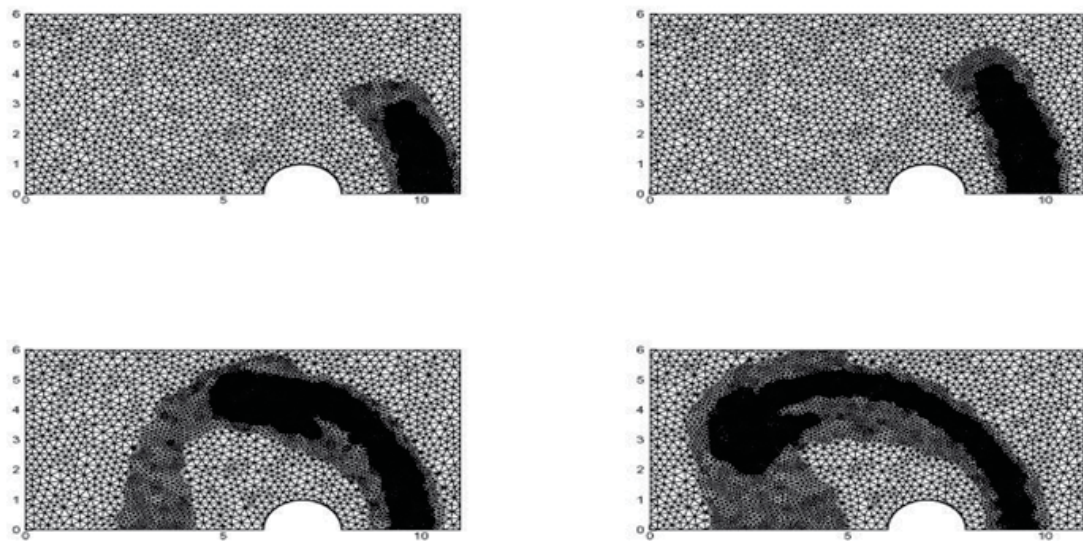
Figure 8: Non-dimensioned Adaptive meshes at times $4.80 \cdot 10^{-7}$, $7.74 \cdot 10^{-7}$, $1.17 \cdot 10^{-6}$ and $1.58 \cdot 10^{-6}$ s

Figure 10: Adaptive mesh

6. Conclusion

A numerical study of the special model problem dened here gives results relevant for the study of the ignition of droplets in a spray, when a flame is propagating through it. It can be shown that the ignition of droplets may occur by involving a triple flame propagation, provided that the reactions are fast enough or droplets large enough (i.e. Damkohler number is high enough).

The calculations presented here have been obtained only because a mesh adaption, allowing renements and unrenements, has been successfully implemented. This has been possible with a triangular unstructured mesh. In addition, a nite volume formulation, allowing perfect conservative discretization of the balance equations, is necessary. The Green Gauss type interpolation used for the approximation of the diusion is found to be very interesting for our model, where the calculations are done in a rened triangular mesh.

References

- [1] I. Elmahi, F. Benkhaldoun, R. Borghi, S. Raghay, «Ignition of fuel issuing from a porous cylinder located adjacent to a heated wall: a numerical study», *Combust. Theory Modelling*, 8 (2004) pp 789-809.
- [2] I. Elmahi, F. Benkhaldoun, R. Vilsmeier, O. Gloth, A. Patschull, D. Hanel, «Finite Volume Simulation of a Droplet Flame Ignition on Unstructured Meshes», *Journal of Applied and Computational Mathematics*, Volume 103, Issue1, (1999), pp 195{213.
- [3] F. Benkhaldoun, R. Borghi, M. Gonzalez, «A nine point nite volume computation of droplet flame ignition», *Comp. Meth. in Applied Mech. and Eng.*, (1994), 114 pp 295{305.
- [4] J A van Oijen and L P H de Goey, A numerical study of conned triple flames using a flamelet-generated manifold *Combust. Theory Modelling*, 8 (2004) pp 141-163
- [5] Coudiere Y, Vila J P and Villedieu, Convergence of a nite volume scheme for a diusion problem *First Int. Symp. on Finite Volumes for Complex Applications (Rouen, France)*, (1996) pp 161-168
- [6] Borghi R, The links between turbulent combustion and spray combustion and their modelling *Transport Phenomena in Combustion*, (1995), vol 1, ed S H Chan (London: Taylor and Francis) pp 1-18
- [7] Borghi R, Spray in combustion: can we build models unied with turbulent combustion? *ICLASS-94 Invited Plenary Paper*, (1994), IP-3, Rouen, France

PROPAGATION OF STREAMER DISCHARGE IN COLD PLASMA

in collaboration with

Jaroslav Fort¹, Khaled Hassouni² and Jan Karel³

¹Department of Applied Mathematics CTU Prague

²Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux, CNRS - France

³Czech Technical University (CTU) of Prague

1 Introduction

1.1 Hot plasma: Nuclear fusion

The production of energy from nuclear fission relies on the breaking up of heavier nuclei into lighter, more stable ones. The energy released comes in the form of increased binding energy which is manifest in a difference in the masses of the constituent parts when compared to whole nuclei. The process of nuclear fission is driven by the decay of elements down in mass to approach iron. However, it is also possible for energy to be released by combining elements to form heavier elements. It is this process that is known as nuclear fusion.

The release of energy by nuclear fusion is demonstrated everyday at sunrise, as it is the process by which the Sun produces its energy. The Sun uses the fusion of hydrogen to helium by using deuterium as an intermediary. In order to produce energy from fusion it is necessary to confine the plasma for long enough to allow the fusion reaction to take place. The confinement is achieved by using magnetic fields, in a device known as a tokamak.

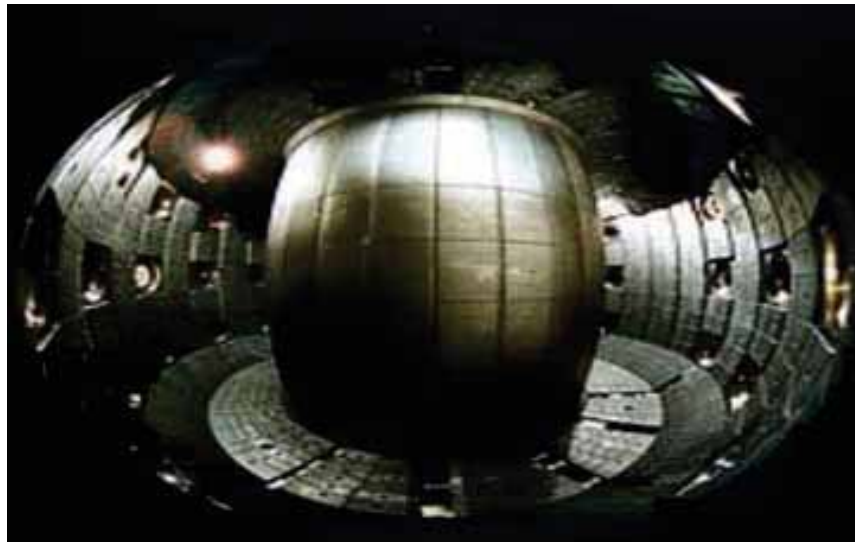


Figure 11: Tokamak view

1.1.1 Tokamaks

In order for fusion to occur, the high temperature fusion plasma must be confined. The temperatures required for fusion mean that any material that comes into contact with the plasma will be destroyed. The solution to confining a plasma is to use magnetic

fields, and the leading type of magnetic confinement fusion (MCF) device is the tokamak. The next generation of tokamak, ITER, is presently under construction in Cadarache, France and it is expected that first plasma operation will occur in 2018. The tokamak uses a combination of magnetic fields to confine a plasma against the effects of plasma pressure and particle drifts.

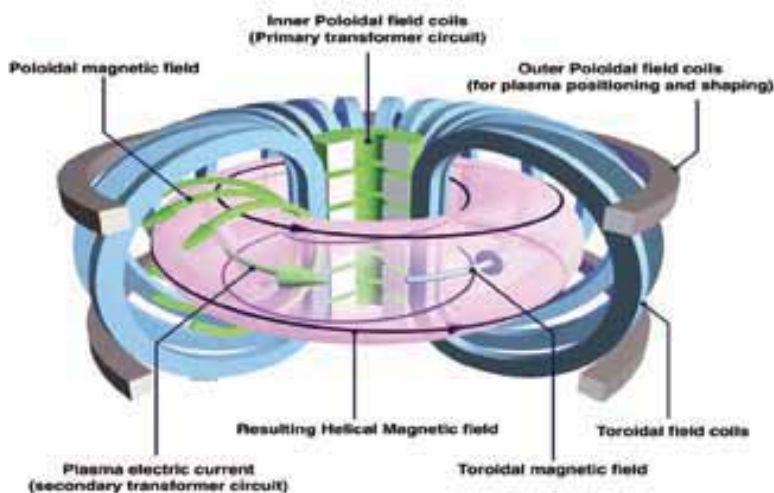


Figure 12: Schematic view of a Tokamak

1.1.2 Disruptions

There are several challenges that must be resolved before commercial energy generation from fusion can be a reality. The current focus of tokamak research is concentrated on these areas in order to refine and finalise the design for ITER, which is presently under construction.

A key area of research is the study of transient events which are short lived events that have the capability to generate large heat loads and vessel forces. A disruption in a tokamak is a sudden, uncontrolled loss of plasma confinement. The causes of disruptions are many and varied, often consisting of a sequence of events, such as increased density, mode growth or plant failures, which ultimately lead to disruption.

The main motivation for studying disruptions and their mitigation is the damaging effect they can have on tokamak components. The loss of confinement during a disruption causes all of the energy stored in the plasma, both thermal and magnetic, to be lost.

1.2 Cold Plasma: treatment of gas pollution in catalytic reactor

The use of cold plasmas has a number of advantages for the removal of NO_x gas at atmospheric pressure. This technique is selective, the largest amount of the energy of the streamer discharge produces high energy electrons, without the need to heat the gas. The obtained electron temperatures are 2 to 10 eV, while the gas remains at a temperature close to ambient temperature. The high energy electrons excite, dissociate and ionize the gas molecules, thus generating many chemically active species, which react and decompose the pollutant molecules. The used technologies aim to meet future European environmental standards (NO_x emissions must be reduced from 180 to 80 mg / km in 2014) but still has too high energy costs (representing over 4 percent of fuel consumption).

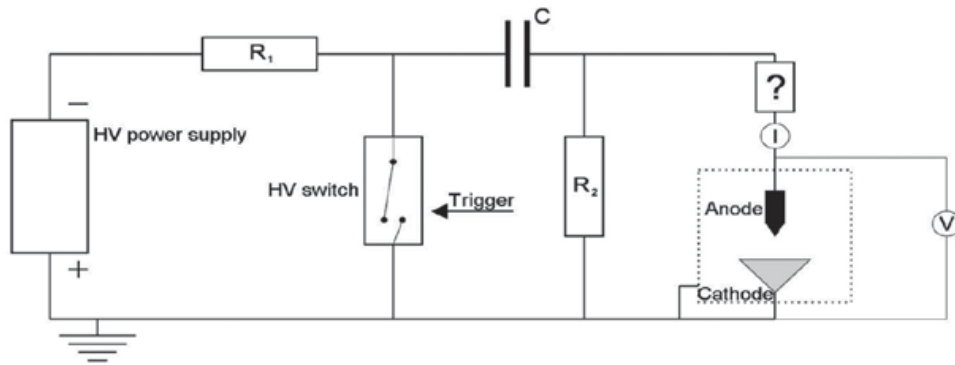


Figure 13: Electric circuit for pulses up to 30 kV.

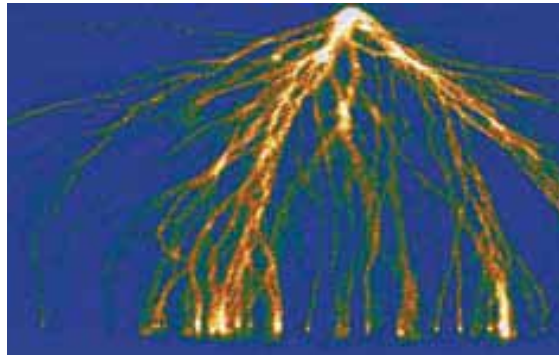


Figure 14: Positive streamers with a gap of 25 mm shows 70 branches

1.3 Cold Plasma: streamer discharges for flame ignition

Transient plasma or corona discharges are used for the initiation of combustion in propulsion systems and internal combustion engines.

Corona discharges have the potential to overcome many of the limitations of conventional electric discharges and laser discharge for reasons that include:

- (1) there are many streamers, each of which has a similar energy content, as opposed to a single, unnecessarily large and intense arc, which in turn can initiate combustion in a larger volume,
- (2) the size and shape of the ignition volume can be tailored using the geometry of the anode and cathode.

With recent advances in pulsed power electronics, such discharges can be produced with very high wall-plug efficiencies in a system of reasonable cost, size and weight.

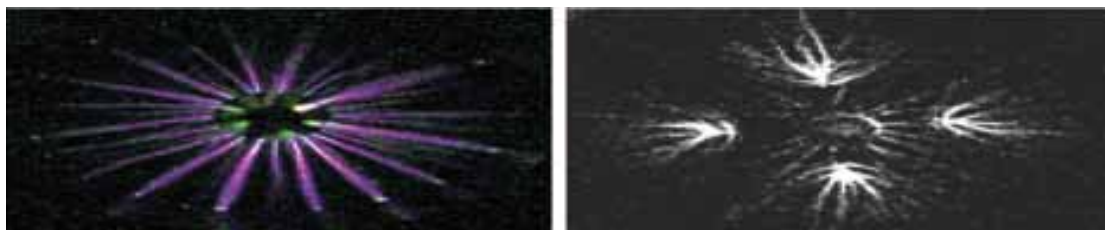


Figure 15: Images of corona discharges with plain rod electrode.
 Left: axial view of corona discharge using smooth disk attached to electrode to concentrate discharge at one axial location;
 Right: axial view with 4-needles attached to electrode to concentrate discharge at one axial location and 4 azimuthal locations

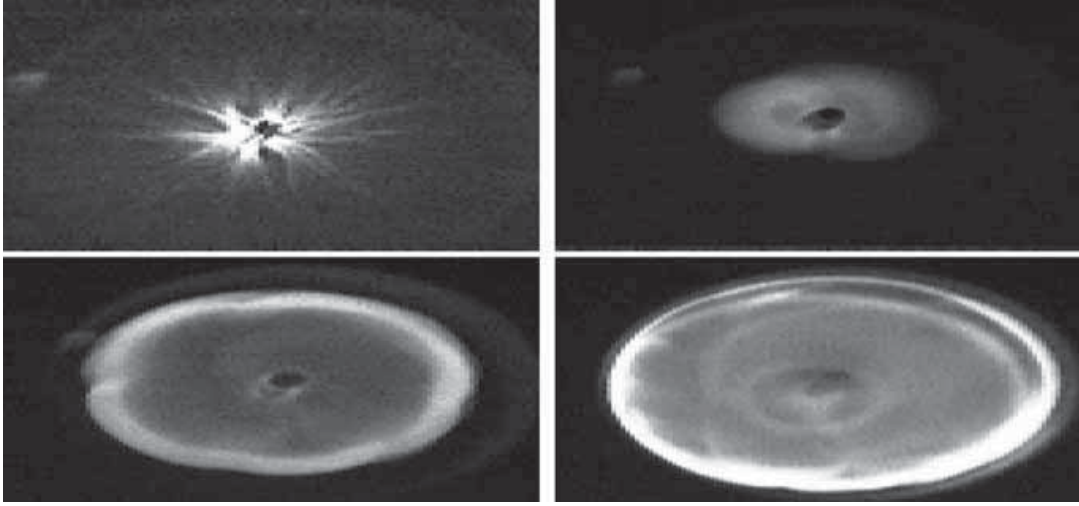


Figure 16: Sequential photographs (33 ms between images) of axial view of corona discharge ignition of a 6.5% CH₄-air mixture at 1 atm, pulse energy 464 mJ, plain electrode. Chamber diameter is 51 mm.

2. Numerical simulation of streamer discharge in cold plasma

Non-equilibrium ionization processes (discharges) occur when a neutral gas is exposed to high intensity electric eld. They can appear in various forms de pending on the electric eld and on the pressure and the volume of the medium. One distinguishes the dark, glow or arc discharges that are stationary, and transient non-stationary phenomena su $\vec{E} = -grad(V)$.ch as leaders and streamers. We focus on streamers that are growing laments of plasma whose dynamics are controlled by highly localized and nonlinear space charge regions. Because of the reactive radicals they emit, streamers are used for the treatment of contaminated media like exhaust gasses, polluted water or biogas. Many papers deal with the numerical simulation of streamer propagation. They are based on mathematical models of dierent levels of complexity. Most of these models make use of the so called hydrodynamic approximation.

2.1 Physical model

This persentation deals with the numerical solution of a basic 2D model of streamer motion. It consists of a convection - diffusion equation for electrons and a simplified equation for ions coupled with a Poissons equation for electric eld potential. The difficulty of the described problem is connected with the coupling of the electric eld and electron motion, sti source terms and very steep gradients of unknowns in region of moving front of streamer.

2.2 General form of streamer equation

The general form of the streamer equations writes:

$$\begin{aligned} \frac{\partial n_e}{\partial t} + div(n_e \vec{v}_e - De \vec{\nabla} n_e) &= S_e, \\ \frac{\partial n_i}{\partial t} &= S_e, \\ \Delta V &= k \cdot (n_e - n_i), \end{aligned}$$

where unknowns have following meanings: n_e - electron density, n_i - ion density, v_e - electron drift velocity, D_e - diffusion coefficient, S_e - source term, V - electric potential, $k = \frac{e}{\epsilon_0}$ is constant with e - elementary charge, ϵ_0 - permittivity of vacuum. The system of equation (4) is closed by following formulas (equations). Intensity of electric field E is computed as minus gradient of electric potential

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}(V).$$

The electron drift velocity is a function of the intensity of electric field and we've got different formulas for four intervals of electric field:

$$\begin{aligned} \text{if } \frac{\|\vec{E}\|}{n} &> 2 \cdot 10^{-15}, & v_e &= - \left[7.4 \cdot 10^{21} \cdot \frac{\|\vec{E}\|}{n} + 7.1 \cdot 10^6 \right] \cdot \frac{\vec{E}}{\|\vec{E}\|}, \\ 10^{-16} < \frac{\|\vec{E}\|}{n} &\leq 2 \cdot 10^{-15}, & v_e &= - \left[1.03 \cdot 10^{22} \cdot \frac{\|\vec{E}\|}{n} + 1.3 \cdot 10^6 \right] \cdot \frac{\vec{E}}{\|\vec{E}\|}, \\ 2.6 \cdot 10^{-17} < \frac{\|\vec{E}\|}{n} &\leq 10^{-16}, & v_e &= - \left[7.2973 \cdot 10^{21} \cdot \frac{\|\vec{E}\|}{n} + 1.63 \cdot 10^6 \right] \cdot \frac{\vec{E}}{\|\vec{E}\|}, \\ \frac{\|\vec{E}\|}{n} &\leq 2.6 \cdot 10^{-17}, & v_e &= - \left[6.87 \cdot 10^{22} \cdot \frac{\|\vec{E}\|}{n} + 3.38 \cdot 10^4 \right] \cdot \frac{\vec{E}}{\|\vec{E}\|}, \end{aligned}$$

with $n = 2.5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. The diffusion coefficient D_e is a function of the electron drift velocity v_e and the intensity of electric field E

$$D_e = \left[0.3341 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{\|\vec{E}\|}{n} \right)^{0.54069} \right] \cdot \frac{\|\vec{v}_e\|}{\|\vec{E}\|}.$$

The source term S_e depends on the drift velocity v_e and the electron density n_e

$$S_e = \frac{\alpha}{n} \cdot \|\vec{v}_e\| \cdot n_e \cdot n,$$

where $\frac{\alpha}{n}$ is computed by following formula

$$\begin{aligned} \text{if } \frac{\|\vec{E}\|}{n} &> 1.5 \cdot 10^{-15}, & \frac{\alpha}{n} &= 2 \cdot 10^{-16} \cdot \exp \left(\frac{-7.248 \cdot 10^{-15}}{\|\vec{E}\|/n} \right), \\ \text{else,} & & \frac{\alpha}{n} &= 6.619 \cdot 10^{-17} \cdot \exp \left(\frac{-5.593 \cdot 10^{-15}}{\|\vec{E}\|/n} \right). \end{aligned}$$

2.3 Finite Volume method

The system of equations is solved by finite volume method on unstructured triangular adaptive grid. The upwind scheme for convective term and diamond scheme for diffusion term are used for discretization of convection - diffusion equation. The diamond scheme is also used for discretization of Poisson's equation together with UMFPAK solver of the sparse linear equation system. Numerical results of the model problem of streamer motion in external electric field generated by planar electrodes are presented.

3. Numerical results

The outline of the section is the following: we will first show the results obtained for the discharge propagation and the electron avalanche phenomenon obtained with a second order upwind scheme on adapted grids. A second series of tests will be discussed to show the impact of the adaptation criterion on the results when using a first order scheme. We end by a comparison of results obtained by a first order and a second order upwind scheme for convection, on different uniformly refined grids and on adapted grids.

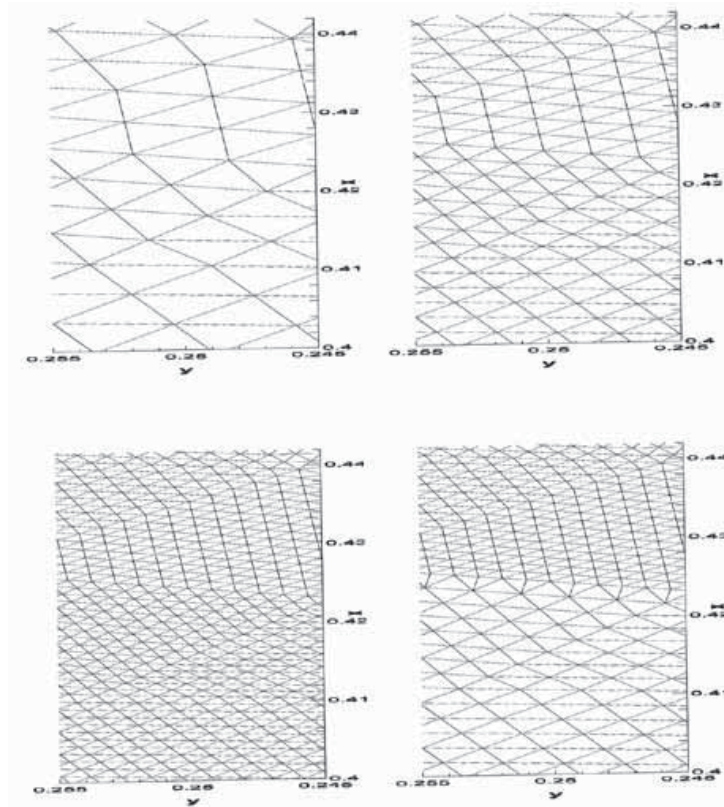


Figure 17: Fixed mesh with 2, 3, 4 levels of refinement and adaptive mesh

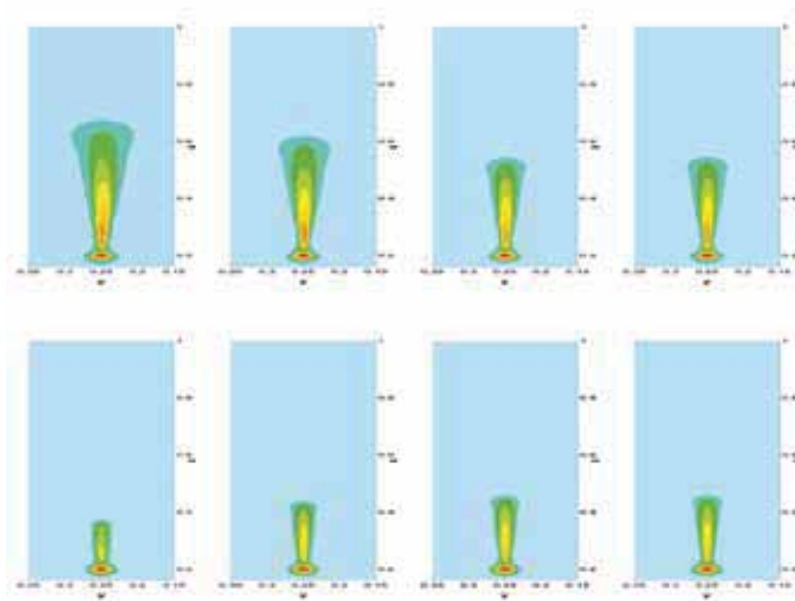


Figure 18: Electron density. First order (rst row), Second order (second row)

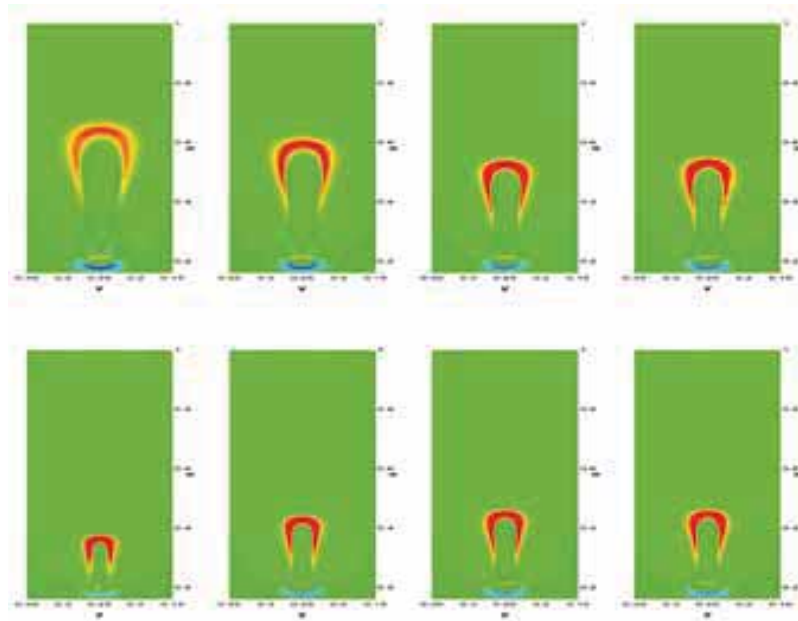


Figure 19: Net charge density ($n_e - n_i$). First order (rst row), Second order (second row)

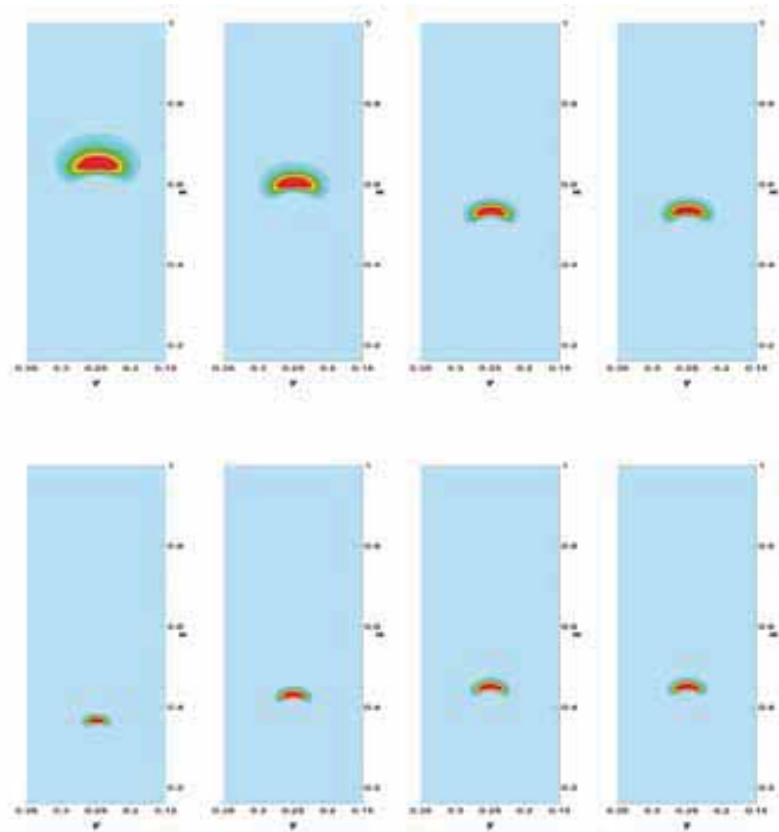


Figure 20: Source term. First order (rst row), Second order (second row)

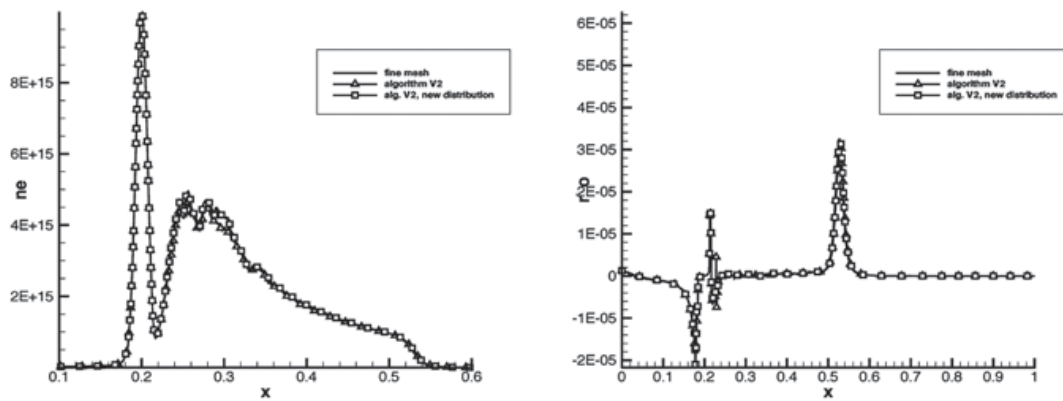


Figure 21: First order, comparison of electron density (left) and net charge density (right) computed on fine mesh and mesh with dynamic adaptation

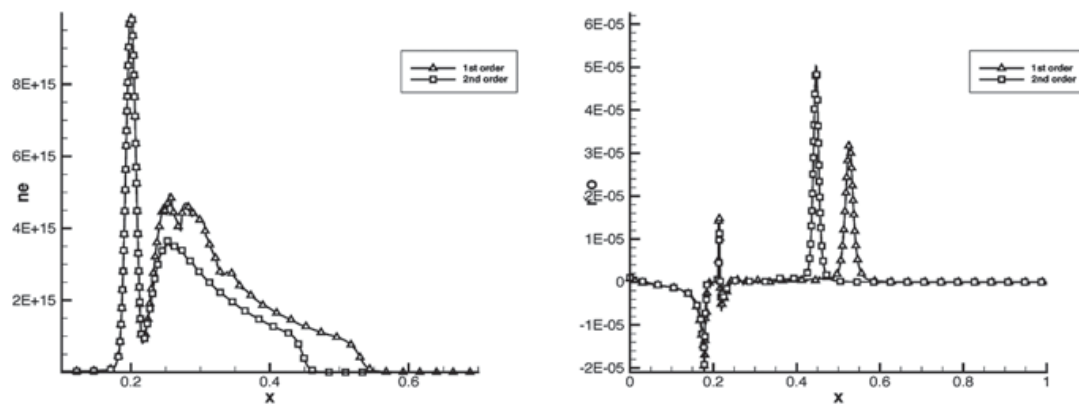


Figure 22: Comparison of electron density (left) and net charge density (right) for first and second order schemes, grid with 4 levels of refinement

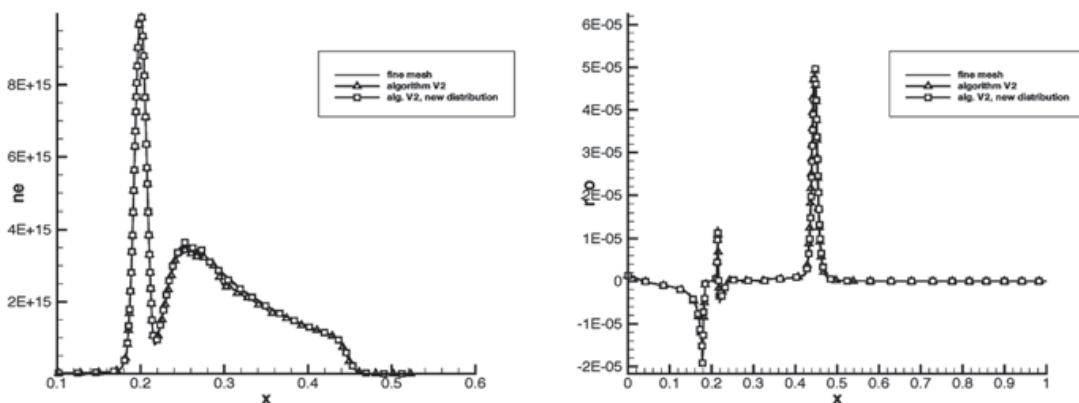


Figure 23: Second order, comparison of electron density (left) and net charge density (right) computed on fine mesh and mesh with dynamic adaptation

3.1 CPU time comparison

	cells	nodes	iterations	CPU time
2 levels uniformly rened grid	75200	37893	2184	1
3 levels uniformly rened grid	300800	150985	4899	8.158
4 levels uniformly rened grid	1203200	602769	11222	58.663
Adapted grid to 4 levels	18636	9392	10845	1.084

Table 1: CPU time at $t = 5.25 \cdot 10^{-8}$ s using 2nd order precision

4. Conclusion

We presented a finite volume method based on dynamical unstructured mesh adaptation, applied to streamer discharge problem. The accuracy and efficiency of mesh adaptation is studied in a 2D framework. The obtained results show first that from a qualitative point of view, the finite volume scheme is able to capture the expected phenomenon of electronic avalanche even with a first order scheme on a relatively poorly adapted grid. The results also show that it is crucial to simultaneously increase the accuracy of the scheme and use a refined grid to reduce the numerical diffusion. This is done with the use of a second order scheme for convection and a dynamically refined grid. The comparison of the CPU time necessary to obtain an accurate result on an adapted grid and on a 4 levels uniformly refined grid, shows that achieving accurate enough simulation of the ionization front propagation with a reasonable computation cost, requires using a dynamic mesh adaption, especially when envisaging simulation for a 3D geometry and streamer ramification phenomena.

References

- [1] F. Benkhaldoun, J. Fort, K. Hassouni, J. Karel, «Simulation of Planar ionization wave Front Propagation on Unstructured Adaptive Grid», accepted in J. Comput. Appl. Math.
- [2] F. Benkhaldoun, J. Fort, K. Hassouni, Jan Karel, Numerical Solution of 2D Streamer Propagation by Finite Volume Method on Unstructured Grid., *2nd European Seminar on Coupled Problems*, June 28-July 2, 2010, Pilsen, Czech Republic
- [3] Andrew Thornton The impact of transient mitigation schemes on the MAST edge plasma, *University of York*, (2011), Thesis.
- [4] A. Bourdon, V. P. Pasko, N. Y. Liu, S. Celestin, P. Segur and E. Marode, Ecient models for photoionization produced by non-thermal gas discharges in air based on radiative transfer and the Helmholtz equations, *Plasma Sources Sci. Technol.*, 16 (2007) 656-678.
- [5] A. Bourdon, D. Bessieres, J. Paillol, A. Michau, K. Hassouni, E. Marode, P. Segur, Influence of numerical schemes on positive streamer propagation, *Proceedings of the 27th International Conference on Phenomena in Ionized Gases*, Eindhoven, The Netherlands, (2005), pp. 17422.

TRANSPORT IN POROUS MEDIA

in collaboration with Amadou Mahamane ¹ and Mohammed Seaid ²

¹ *Professeur at Bamako University, Mali*

² *Professor at School of Engineering, Durham University, UK*

1. Introduction

1.1. Porous medium

A porous medium is a material containing pores (voids). The skeletal portion of the material is the «matrix» or the «frame». The pores are typically filled with fluid (liquid or gas). The skeletal material is usually a solid, but foams are also often analyzed using the concepts of porous media.

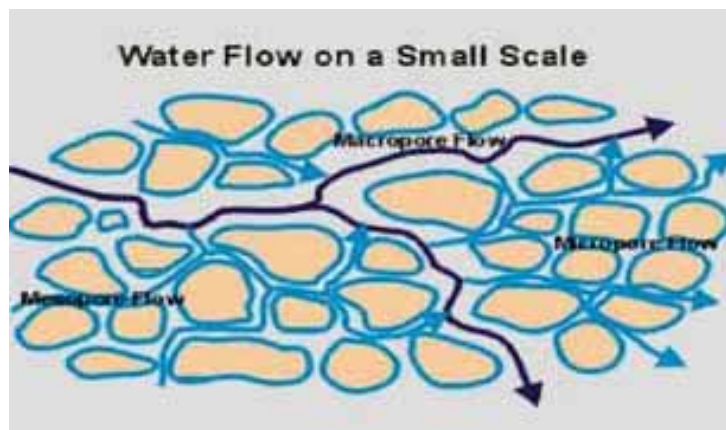


Figure 24: Flow in porous medium

1.2 Multiphase flows

The liquid phase contained in the solid pores of materials plays a fundamental role in many civil engineering or environmental problems. It insures the transport of substances or the exchanges between solid phases, allows chemical reactions, and by its phase changes (crystallization, evaporation) induces significant mechanical stresses. The physics of «simple» porous media - a pure liquid phase in a simple porous solid - is now relatively well known. This is not the case for the porous materials in civil engineering or environment, which are generally multi-component, multi-phase and multi-scales.

1.3 Oil reservoirs

Multi-phase and multi-component processes are a key issue to many engineering applications in hydrocarbon and geothermal reservoirs. There is a wide range of applications, from reservoir simulation to CO₂ storage and fundamental flow physics in porous media. Hence the latest advances in numerical methods are applied to pore and reservoir-scale simulation of multi-phase multi-component processes.

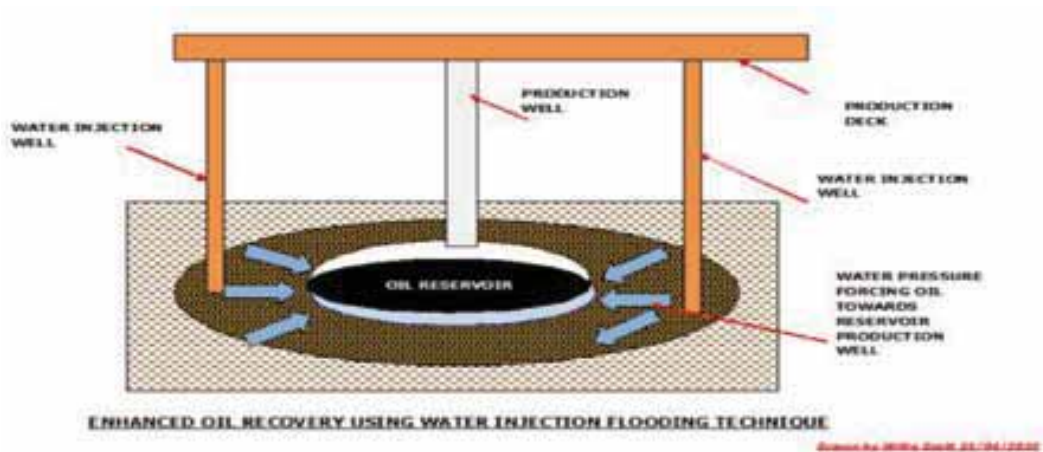


Figure 25: Reservoir scheme

1.4. CO₂ storage

The transport of dissolved chemical components (e.g., CO₂, NaCl, CH₄) in different fluid phases (e.g., water, oil, gas) occupying the pore space of geological formations underground is of fundamental importance to a large number of geological and reservoir engineering processes.

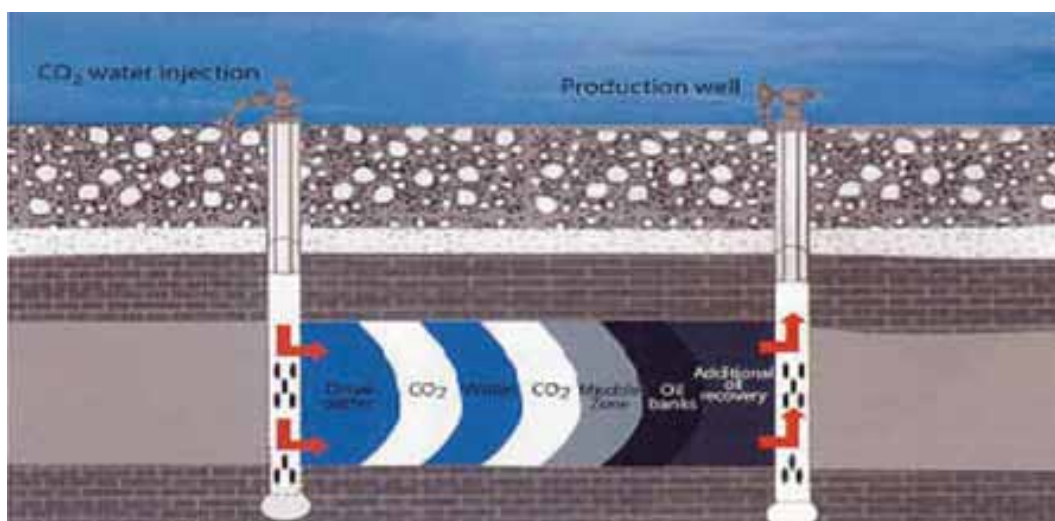
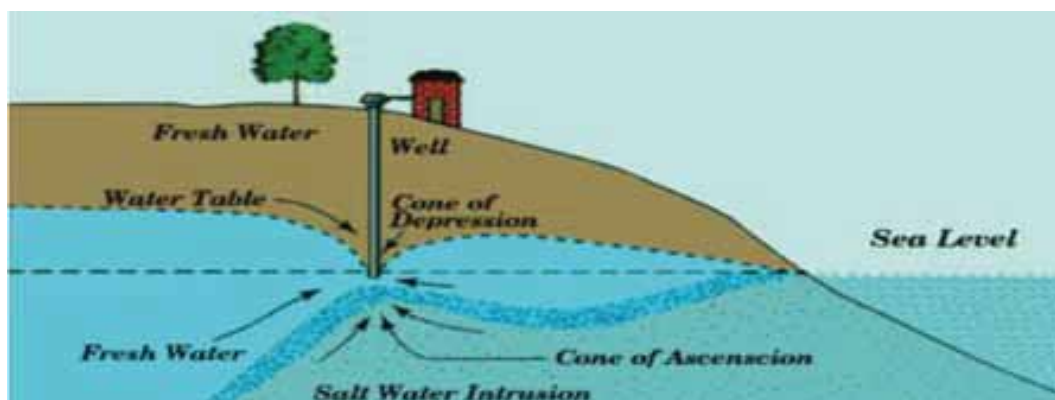
Figure 26: Enhancing oil recovery and CO₂ storage

Figure 27: Groundwater aquifer

1.5. Space-time multiscale process

In various porous media applications, flow and transport processes occur on different spatial and temporal scales and also differ locally. Highly complex processes may take place in one part of the system necessitating a fine spatial and temporal resolution, while in other parts of the system, physically simpler processes take place allowing an examination on coarser scales. Considering the porous medium, its heterogeneous structure shows a high dependence on the spatial scale.

1.6. Darcy law

Darcy law is the simplest and, by far, the most popular law to describe the filtration of a fluid through porous medium. It states that the filtration velocity of the fluid is proportional to the difference between the body force and the pressure gradient.

2 Governing equations for multiphase flow in porous media

The governing equations consist of the pressure equation:

$$\begin{aligned} \mathbf{q} &= -d(u)\mathbb{K}(\mathbf{x})\nabla p, & (\mathbf{x}, t) \in \Omega \times (0, T], \\ \nabla \cdot \mathbf{q} &= 0, & (\mathbf{x}, t) \in \Omega \times (0, T], \\ \mathbf{q} \cdot \mathbf{n}|_{\Gamma_1} &= -1.4, \quad \mathbf{q} \cdot \mathbf{n}|_{\Gamma_2} = 0, \quad p|_{\Gamma_3} = 0, & t \in (0, T], \end{aligned}$$

and the saturation equation

$$\begin{aligned} \phi(\mathbf{x}) \frac{\partial u}{\partial t} - \nabla \cdot (b(u)\mathbf{q} - \mathbb{K}(\mathbf{x})a(u)\nabla u) &= 0, \quad (\mathbf{x}, t) \in \Omega \times (0, T], \\ u|_{\Gamma_1} &= 1, \quad \mathbb{K} \cdot \mathbf{n}|_{\Gamma_2} = 0, \quad u|_{\Gamma_3} = 0, \quad t \in (0, T], \\ u(\mathbf{x}, 0) &= u_0(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in \Omega, \end{aligned}$$

p : Pressure,

$\mathbf{q}$: Darcy velocity, u : Saturation,

$\mathbb{K}$: Permeability of the medium,

ϕ : Porosity

$d(u) = k_w(u) + k_o(u)$: Total mobility.

$$b(u) = \frac{k_w(u)}{k_w(u) + k_o(u)}, \quad a(u) = \frac{k_w(u)k_o(u)}{k_w(u) + k_o(u)}p'(u),$$

$p(u)$: capillary pressure.

The initial condition u_0 is defined as:

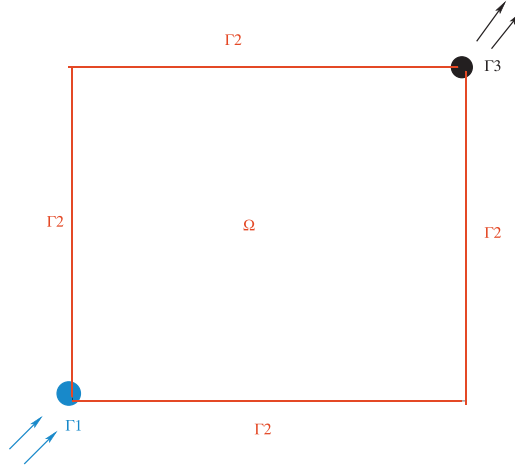
$$u_0(\mathbf{x}) = 1 \quad \text{if } \mathbf{x} \in \Gamma_1 \text{ and } 0 \text{ elsewhere}$$

3. Finite Volume Method

The system of equations is solved by the finite volume method on unstructured triangular adaptive grid. The upwind scheme and a diamond gradient reconstruction are used for the discretization of convection and diffusion equation. The diamond scheme is also used for the discretization of Darcy equation together with GMRES solver of the sparse linear system of equations.

4. Numerical simulation

Ω is a square, $\partial\Omega = \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3$.



Initial & boundary conditions

$$u^0(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in \Gamma_1 \\ 0 & \text{si } x \in \Omega \setminus \Gamma_1. \end{cases}$$

$$\mathbf{q} \cdot \mathbf{n}|_{\Gamma_1} = -q_d, \quad \mathbf{q} \cdot \mathbf{n}|_{\Gamma_2} = 0, \quad P|_{\Gamma_3} = 0$$

$$u_{\Gamma_1} = 1, \quad \nabla \alpha(u) \cdot \mathbf{n}|_{\Gamma_2} = 0, \quad u_{\Gamma_3} = 0$$

Capilarity and mobility models

$$p_c(u) = -[(1-u)/u]^{\frac{1}{2}}.$$

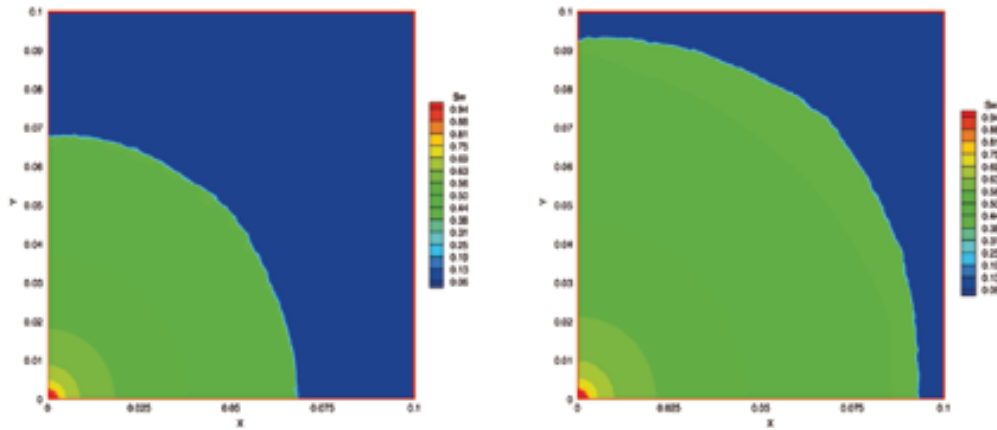
$$k_w(u) = \frac{1}{2\mu_w} u^{r_1}, \quad k_o(u) = \frac{(1-u)^{r_2}}{\mu_o}.$$

4.1 Results

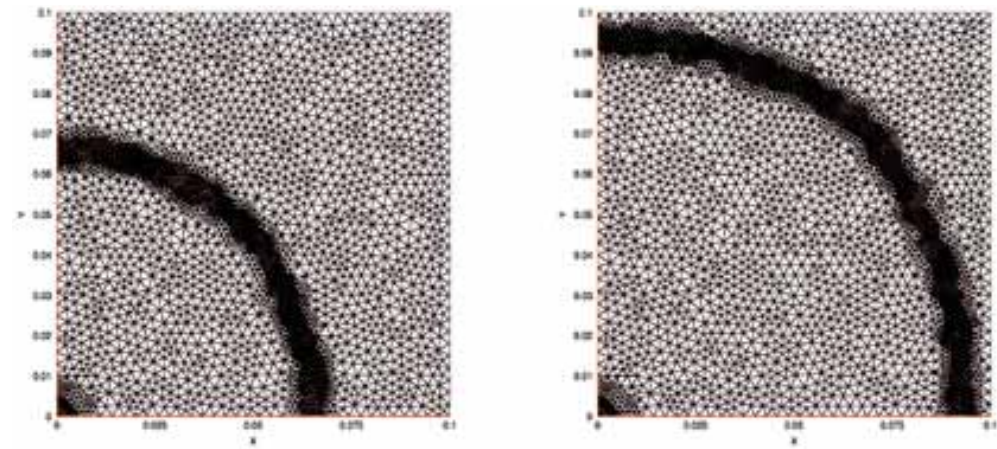
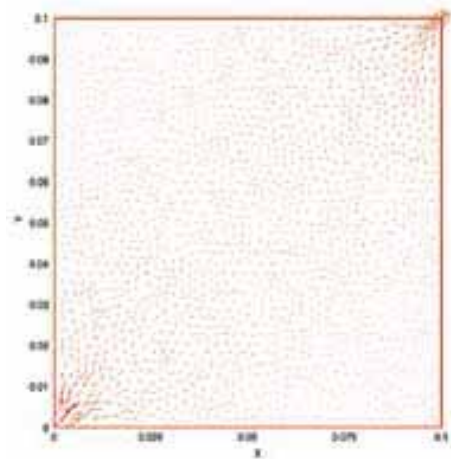
Homogeneous Isotrope Reservoir

$$\Omega =]0, 0.1[^2, \quad q_d = 1.4, \quad \mu_w = 1, \quad \mu_o = 3, \quad r_1 = 5, \quad r_2 = 3$$

Saturation u



Adaptive mesh

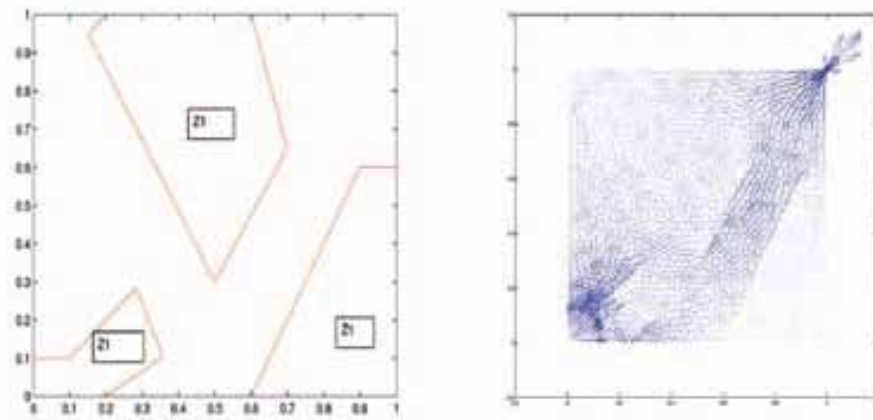
Velocity field $\mathbf{q}$ 

Heterogeneous Reservoir

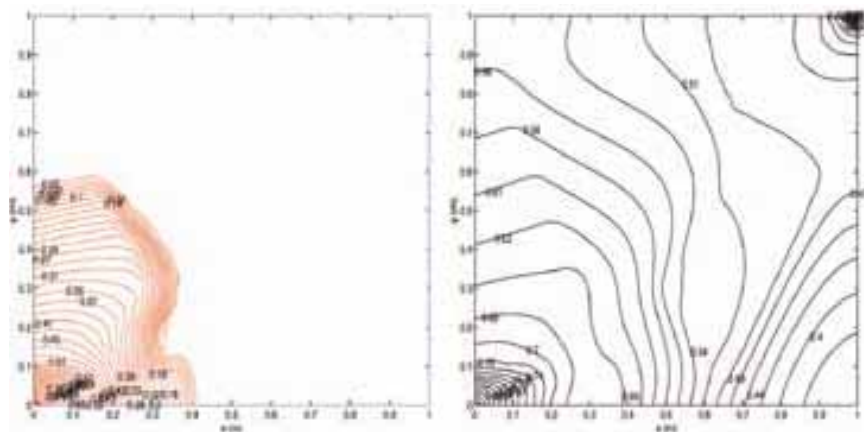
$$\Omega =]0, 1[^2, \quad q_d = 0.5, \quad \mu_w = 1, \quad \mu_o = 10, \quad r_1 = 3, \quad r_2 = 3$$

$$\mathbb{K}(\mathbf{x}) = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0.1 & 0.03 \\ 0.03 & 0.1 \end{bmatrix} & \text{si } \mathbf{x} \in Z_1 \\ \begin{bmatrix} 1 & 0.3 \\ 0.3 & 1 \end{bmatrix} & \text{si } \mathbf{x} \in \Omega \setminus Z_1 \end{cases}$$

Heterogeneous domain and velocity



Saturation u



5. Conclusion

In this work we emphasised that the interaction between the Darcy pressure and the saturation is well detected across the reservoir during simulation time. It can be clearly seen that the structure of the saturation propagating front is well captured by the cell-centered finite volume method, both in the homogeneous and the heterogeneous cases. Another important result is that positions of the saturated waves are not deteriorated by the multiple mesh adaptations.

Our adaptive cell-centered finite volume method applied to the problem of two phase flow in porous media, results in a significant reduction of the computational cost and greatly enhances the accuracy, compared to a cell-centered finite volume method on a fixed mesh.

In addition, the comparison with similar numerical results available in the literature on the same test case is also satisfactory.

In a future work we will focus on the development of the adaptive finite volume method for flow in porous media in a three-dimensional framework.

References

- [1] F. Benkhaldoun, A. Mahamane, M. Seaid, «Adaptive cell-centered finite volume method for non-homogeneous diffusion problems: Application to transport in porous media», *Finite Volumes for Complex Applications VI*, Vol. 2, pp: 79-87 (2011)
- [2] F. Benkhaldoun, A. Mahamane, M. Seaid, A comparative study of some time integration schemes for the finite volume solution of heterogeneous diffusion problems, (2010), IT AS CR, ISBN 978-80-87012-25-3, pp: 11-14.
- [3] A. Mahamane, F. Benkhaldoun, O. Diallo, «Simulation numérique par volumes finis d'un écoulement diphasique eau-pétrole en milieu poreux». (French) [Numerical finite volume simulation of two-phase (oil-water) flow in porous media], *Afrika Math.* (3) 20 (2009), 85-103.
- [4] A. Mahamane, Analyse et estimation d'erreur en volumes finis, Application aux écoulements en milieu poreux et à l'adaptation de maillage, Dissertation, Université Paris 13, 2009.
- [5] J. Niessner, R. Helmig Multi-physics modeling of flow and transport in porous media using a downscaling approach, *Advances in Water Resources*, 32 (2009) 845-850
- [6] Eduard Marusic-Paloka, Igor Pazanin, Sanja Marusic, Comparison between Darcy and Brinkman laws in a fracture, *Applied Mathematics and Computation*, Under press.
- [7] Sebastian Geiger, Karen S. Schmid, Yan Zaretskiy, Mathematical analysis and numerical simulation of multi-phase multicomponent flow in heterogeneous porous media, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, Under press.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Benkhaldoun. La parole est à la salle. Sinon, il serait peut-être intéressant d'enchaîner avec le prochain orateur qui va poursuivre sur la même thématique. J'appelle le Pr. Mohammed Seaid de l'Université de Durham (UK) pour nous parler en 25 mn de : *l'intérêt et le rôle des simulations en dynamique des fluides dans le domaine de l'eau et de l'environnement.*

REVUE SUR LES VOLUMES FINIS ADAPTATIFS EN SCIENCE ET INGÉNIERIE : RÔLE DES SIMULATIONS EN DYNAMIQUE DES FLUIDES DANS LES DOMAINES DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

Pr. Mohammed SEAID

Université de Durham UK



Motivation



Mohammed Seaid - Adaptive Finite Volume Method in SW

H2AST, Plenary Session, February, 15-17, 2012, Rabat, Morocco

Motivation



Mohammed Seaid - Adaptive Finite Volume Method in SW

H2AST, Plenary Session, February, 15-17, 2012, Rabat, Morocco

Overview

- Numerical models can help to:
 - Understand the hydraulic structures
 - Predict the sediment transport
 - Minimize the environmental damages
- Numerical models need:
 - A mathematical model for tidal flow
(Navier-Stokes equations, shallow water equations ...)
 - A mathematical model for sediment transport
(Exner, Advection-diffusion equations, particles, ...)
 - A numerical method for solution procedure
(Finite element method, finite volume method, ...)
 - Spatial and temporal scales?

Mohammed Seaid - Adaptive Finite Volume Method in SW

H2AST, Plenary Session, February, 15-17, 2012, Rabat, Morocco

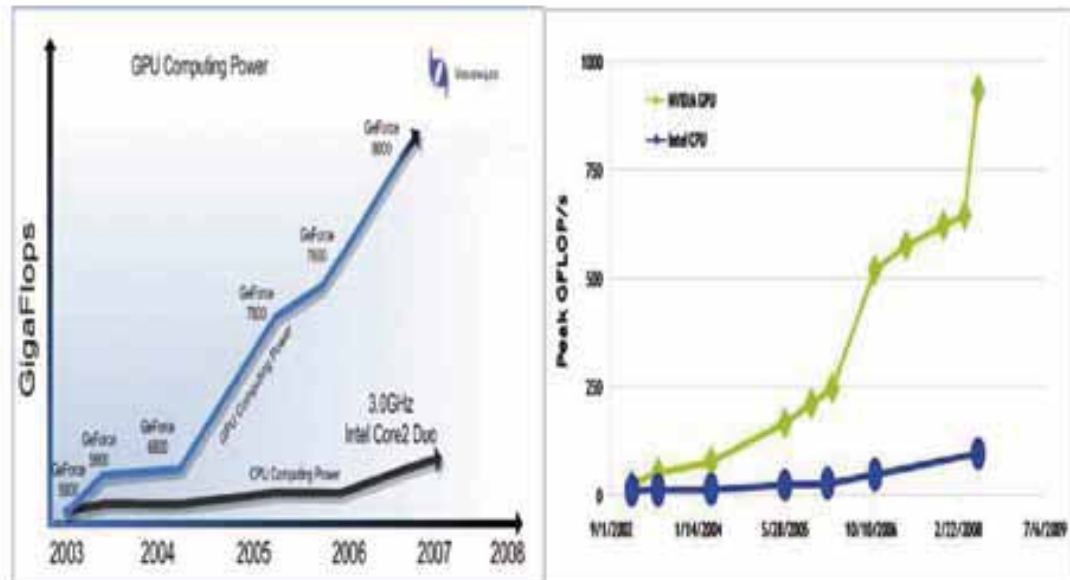
Recent Trends and Challenges

- Development of unified computer code
- Calibration and validation problems
- Simulation in real time

Mohammed Seaid - Adaptive Finite Volume Method in SW

H2AST, Plenary Session, February, 15-17, 2012, Rabat, Morocco

Recent Trends and Challenges



Mohammed Seaid - Adaptive Finite Volume Method in SW

H2AST, Plenary Session, February, 15-17, 2012, Rabat, Morocco

Some References

-  F. Benkhaldoun, S. Sari, M. Seaid. *A flux-limiter method for dam-break flows over erodible sediment beds*, (2012) *Applied Mathematical Modelling*. In press
-  F. Benkhaldoun, S. Daoudi, I. Elmahi, M. Seaid. *Numerical modelling of sediment transport in the Nador lagoon (Morocco)*, (2012) *Appl. Numer. Math.* In press
-  F. Benkhaldoun, S. Sahmim, M. Seaid. *Mathematical development and verification of a finite volume model for morphodynamic flow applications*, (2011) *Advances in Applied Mathematics and Mechanics*. Vol 3, pp:470-492
-  F. Benkhaldoun, I. Elmahi, M. Seaid. *A new finite volume method for flux-gradient and source-term balancing in shallow water equations*, (2010) *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. Vol 199, pp:49-52
-  F. Benkhaldoun, S. Sahmim, M. Seaid. *A two-dimensional finite volume morphodynamic model on unstructured triangular grids*, (2010) *Int. J. Num. Meth. Fluids*. Vol 63, pp:1296-1327
-  F. Benkhaldoun, S. Sahmim, M. Seaid. *Solution of the Sediment Transport Equations using a Finite Volume Method based on Sign Matrix*, (2009) *SIAM J. Sci. Comp.* Vol 31, pp:2866-2889
-  F. Benkhaldoun, I. Elmahi, M. Seaid. *Well-balanced finite volume schemes for pollutant transport on unstructured meshes*, (2007) *J. Comp. Physics*. Vol 226, pp:180-203

Mohammed Seaid - Adaptive Finite Volume Method in SW

H2AST, Plenary Session, February, 15-17, 2012, Rabat, Morocco

I. Review on Mathematical Models in Hydraulics

Navier-Stokes equations

The starting point is the 3D incompressible Navier-Stokes equations,

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_V \frac{\partial u}{\partial z} \right) - f_v, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_V \frac{\partial v}{\partial z} \right) + f_u, \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_V \frac{\partial w}{\partial z} \right) - g,\end{aligned}$$

Navier-Stokes equations

The boundary conditions at the water free-surface are specified by the prescribed wind stresses T_x^ω and T_y^ω

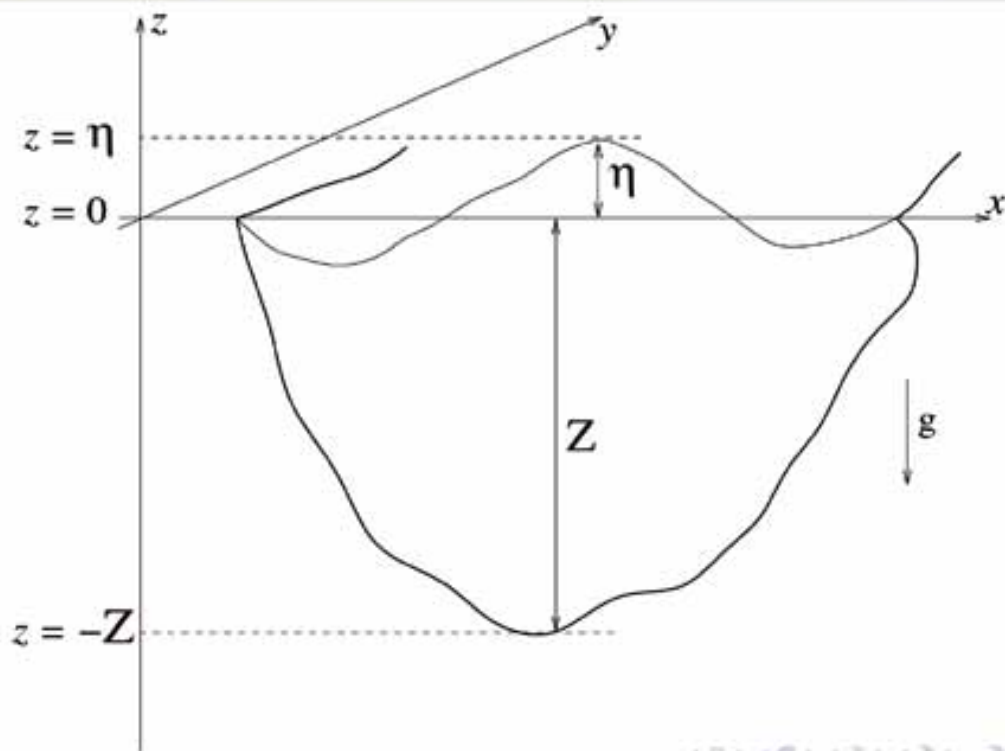
$$\nu_V \frac{\partial u}{\partial z} = T_x^\omega, \quad \nu_V \frac{\partial v}{\partial z} = T_y^\omega,$$

with the wind stresses T_x^ω and T_y^ω are given by a quadratic function of the wind velocity $(\omega_x, \omega_y)^T$ as

$$T_x^\omega = C_\omega \omega_x \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}, \quad T_y^\omega = C_\omega \omega_y \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2},$$

where C_ω is the coefficient of wind friction.

Depth-averaged equations



Mohammed Seaid - Adaptive Finite Volume Method in SW

H2AST, Plenary Session, February, 15-17, 2012, Rabat, Morocco

Depth-averaged equations

After standard approximations on convective terms, we obtain the two-dimensional vertically averaged shallow water equations

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial (HU)}{\partial x} + \frac{\partial (HV)}{\partial y} = 0,$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \frac{T_x^\omega}{H} - \frac{T_x^b}{H} - fV,$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) + \frac{T_y^\omega}{H} - \frac{T_y^b}{H} + fU,$$

where U and V are the depth-averaged horizontal velocities

$$U = \frac{1}{H} \int_{-Z}^{\eta} u \, dz, \quad V = \frac{1}{H} \int_{-Z}^{\eta} v \, dz.$$

Mohammed Seaid - Adaptive Finite Volume Method in SW

H2AST, Plenary Session, February, 15-17, 2012, Rabat, Morocco

Shallow water equations

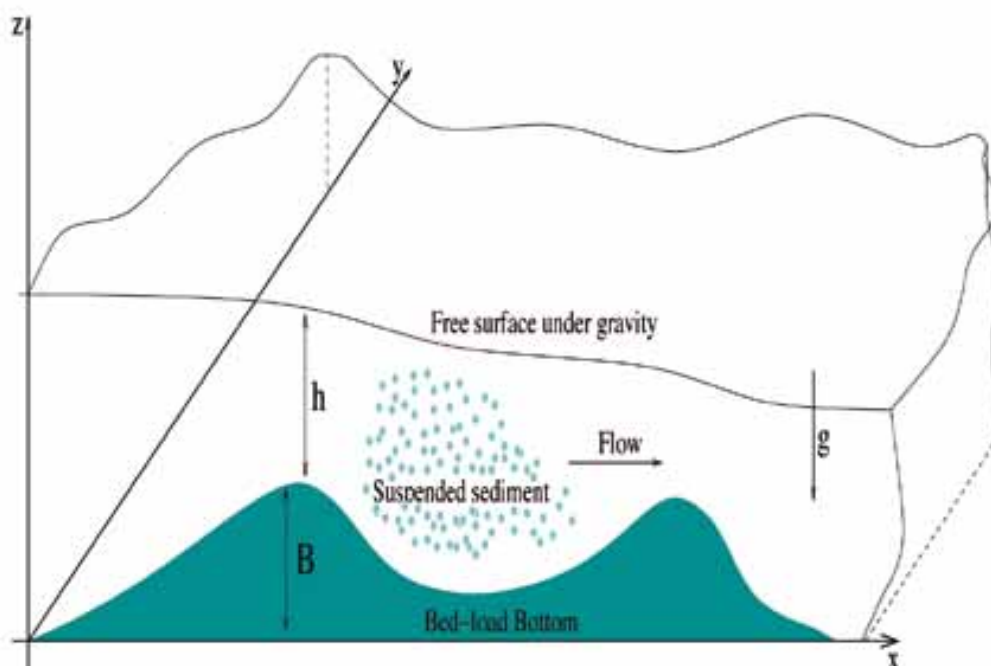
In a conservative form, the shallow water equations are given by

$$\begin{aligned} \partial_t h + \partial_x(hu) + \partial_y(hv) &= 0, \\ \partial_t(hu) + \partial_x\left(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2\right) + \partial_y(huv) &= \nu\left(\partial_x(h\partial_x u) + \partial_y(h\partial_y u)\right) \\ &\quad - gh\partial_x B - fhv - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\tau_{wx}}{\rho}, \\ \partial_t(hv) + \partial_x(huv) + \partial_y\left(hv^2 + \frac{1}{2}gh^2\right) &= \nu\left(\partial_x(h\partial_x v) + \partial_y(h\partial_y v)\right) \\ &\quad - gh\partial_y B + fhu - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\tau_{wy}}{\rho}, \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} \tau_{bx} &= \rho C_b u \sqrt{u^2 + v^2}, & \tau_{by} &= \rho C_b v \sqrt{u^2 + v^2}, \\ \tau_{wx} &= \rho C_w w_x \sqrt{w_x^2 + w_y^2}, & \tau_{wy} &= \rho C_w w_y \sqrt{w_x^2 + w_y^2}. \end{aligned}$$

Sediment Transport



Sediment Transport

Shallow water equations for hydrodynamics:

$$\partial_t h + \partial_x(hu) + \partial_y(hv) = \frac{E - D}{1 - \epsilon},$$

$$\begin{aligned} \partial_t(hu) + \partial_x\left(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2\right) + \partial_y(huv) &= \nu\left(\partial_x(h\partial_x u) + \partial_y(h\partial_y u)\right) \\ &- gh\partial_x B - \frac{(\rho_s - \rho_w)}{2\rho}gh^2\partial_x c - \frac{(\rho_0 - \rho)(E - D)}{\rho(1 - \epsilon)}u - fhv - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\tau_{wx}}{\rho}, \\ \partial_t(hv) + \partial_x(huv) + \partial_y\left(hv^2 + \frac{1}{2}gh^2\right) &= \nu\left(\partial_x(h\partial_x v) + \partial_y(h\partial_y v)\right) \\ &- gh\partial_y B - \frac{(\rho_s - \rho_w)}{2\rho}gh^2\partial_y c - \frac{(\rho_0 - \rho)(E - D)}{\rho(1 - \epsilon)}v + fhu - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\tau_{wy}}{\rho}, \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} \tau_{bx} &= \rho C_b u \sqrt{u^2 + v^2}, & \tau_{by} &= \rho C_b v \sqrt{u^2 + v^2}, \\ \tau_{wx} &= \rho C_w w_x \sqrt{w_x^2 + w_y^2}, & \tau_{wy} &= \rho C_w w_y \sqrt{w_x^2 + w_y^2}. \end{aligned}$$

Sediment Transport

▷ Sediment Transport

$$\partial_t(hc) + \partial_x(huc) + \partial_y(hvc) = \kappa\left(\partial_x(h\partial_x c) + \partial_y(h\partial_y c)\right) + E - D$$

▷ Bed-load morphodynamics

$$(1 - \epsilon)\partial_t B + \partial_x Q_{bx} + \partial_y Q_{by} = \zeta\left(\partial_{x^2}^2 B + \partial_{y^2}^2 B\right) - \frac{E - D}{1 - \epsilon}.$$

Grass fluxes:

$$Q_{bx} = A_g u (u^2 + v^2)^{\frac{m-1}{2}}, \quad Q_{by} = A_g v (u^2 + v^2)^{\frac{m-1}{2}}.$$

Peyer-Peter and Müller fluxes:

$$\begin{aligned} Q_{bx} &= A_p \left(\frac{n_b^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{(s - 1)d_{50} h^{\frac{1}{3}}} - 0.047 \right)^{\frac{3}{2}}, \\ Q_{by} &= A_p \left(\frac{n_b^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{(s - 1)d_{50} h^{\frac{1}{3}}} - 0.047 \right)^{\frac{3}{2}}. \end{aligned}$$

Coupled Hydrodynamics & Morphodynamics

$$(1 - \epsilon) \partial_t B + \partial_x \left(A_g u (u^2 + v^2)^{\frac{m-1}{2}} \right) + \partial_y \left(A_g v (u^2 + v^2)^{\frac{m-1}{2}} \right) = 0,$$

where

- ▷ ϵ is the sediment porosity.
- ▷ A_g is a given experimental constant and $1 \leq m \leq 4$ is a chosen parameter both of which are specific to the particular sediment transport formula.

$$A_g = 0.001$$

$$A_g = 1$$



II. Adaptive Finite Volume Methods

Equations in Conservative Form

$$\partial_t \mathbf{W} + \partial_x \left(\mathbf{F}(\mathbf{W}) - \tilde{\mathbf{F}}(\mathbf{W}) \right) + \partial_y \left(\mathbf{G}(\mathbf{W}) - \tilde{\mathbf{G}}(\mathbf{W}) \right) = \mathbf{S}(\mathbf{W}) + \mathbf{Q}(\mathbf{W}),$$

where

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} h \\ hu \\ hv \\ hc \\ (1 - \epsilon)B \end{pmatrix}, \mathbf{S}(\mathbf{W}) = \begin{pmatrix} 0 \\ -gh\partial_x B - \frac{(\rho_s - \rho_w)}{2\rho} gh^2 \partial_x c \\ -gh\partial_y B - \frac{(\rho_s - \rho_w)}{2\rho} gh^2 \partial_y c \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \tilde{\mathbf{F}}(\mathbf{W}) = \begin{pmatrix} 0 \\ \nu \partial_x (hu) \\ \nu \partial_x (hv) \\ \kappa \partial_x (hc) \\ \zeta \partial_x B \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{F}(\mathbf{W}) = \begin{pmatrix} hu \\ hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \\ huv \\ huc \\ Au (u^2 + v^2)^{\frac{m-1}{2}} \end{pmatrix}, \mathbf{G}(\mathbf{W}) = \begin{pmatrix} hv \\ huv \\ hv^2 + \frac{1}{2} gh^2 \\ hvc \\ Av (u^2 + v^2)^{\frac{m-1}{2}} \end{pmatrix}, \tilde{\mathbf{G}}(\mathbf{W}) = \begin{pmatrix} 0 \\ \nu \partial_y (hu) \\ \nu \partial_y (hv) \\ \kappa \partial_y (hc) \\ \zeta \partial_y B \end{pmatrix}.$$

Formulation of the Method

The integral form of the shallow water equations over a fixed volume V is given by

$$\partial_t \int_V \mathbf{W} dV + \int_V \left(\partial_x (\mathbf{F}(\mathbf{W}) - \tilde{\mathbf{F}}(\mathbf{W})) + \partial_y (\mathbf{G}(\mathbf{W}) - \tilde{\mathbf{G}}(\mathbf{W})) \right) dV = \int_V \mathbf{S}(\mathbf{W}) dV,$$

that, using divergence theorem for the second integral leads to

$$\partial_t \int_V \mathbf{W} dV + \int_{\partial V} \mathcal{F}(\mathbf{W}; \mathbf{n}) d\sigma - \int_{\partial V} \tilde{\mathcal{F}}(\mathbf{W}; \mathbf{n}) d\sigma = \int_V \mathbf{S}(\mathbf{W}) dV,$$

where

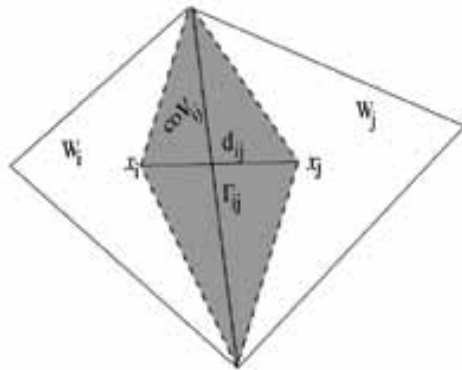
$$\mathcal{F}(\mathbf{W}; \mathbf{n}) = \mathbf{F}(\mathbf{W})n_x + \mathbf{G}(\mathbf{W})n_y, \quad \tilde{\mathcal{F}}(\mathbf{W}; \mathbf{n}) = \tilde{\mathbf{F}}(\mathbf{W})n_x + \tilde{\mathbf{G}}(\mathbf{W})n_y.$$

and ∂V is the surface surrounding the volume V . Here, $\mathbf{n} = (n_x, n_y)^T$ denotes the unit outward normal to the surface ∂V .

The SRNH scheme uses:

- ▷ Finite volume method for spatial discretization
- ▷ Two-step Runge-Kutta scheme for time integration
- ▷ Well-balanced treatment of the source terms
- ▷ Second-order MUSCL reconstruction with slope limiters
- ▷ Centered-vertex method for diffusion operators

Finite Volume Discretization



$$\mathbf{W}_i = \frac{1}{|T_i|} \int_{T_i} \mathbf{W} dV,$$

$$\begin{aligned} \mathbf{W}_i^{n+1} = & \mathbf{W}_i^n - \frac{\Delta t}{|T_i|} \sum_{j \in N(i)} \int_{\Gamma_{ij}} \mathcal{F}(\mathbf{W}^n; \mathbf{n}) d\sigma + \\ & \frac{\Delta t}{|T_i|} \sum_{j \in N(i)} \int_{\Gamma_{ij}} \tilde{\mathcal{F}}(\mathbf{W}^n; \mathbf{n}) d\sigma - \\ & \frac{\Delta t}{|T_i|} \int_{T_i} \mathbf{S}(\mathbf{W})^n dV, \end{aligned}$$

$$\int_{\Gamma_{ij}} \mathcal{F}(\mathbf{W}; \mathbf{n}) d\sigma = \Phi(\mathbf{W}_i, \mathbf{W}_j, S_{ij}, \mathbf{n}_{ij}) |\Gamma_{ij}|.$$

The SRNH Scheme consists of a predictor and corrector stages given as:

$$\mathbf{W}_{ij}^n = \frac{1}{2} (\mathbf{W}_i^n + \mathbf{W}_j^n) - \frac{\alpha_{ij}^n}{2S_{ij}^n} (\mathcal{F}(\mathbf{W}_j^n; \mathbf{n}_{ij}) - \mathcal{F}(\mathbf{W}_i^n; \mathbf{n}_{ij})) + \frac{\alpha_{ij}^n}{2S_{ij}^n} \mathbf{S}_{ij}^n,$$

$$\mathbf{W}_i^{n+1} = \mathbf{W}_i^n - \frac{\Delta t}{|T_i|} \sum_{j \in N(i)} \Phi(\mathbf{W}_i, \mathbf{W}_j, S_{ij}, \mathbf{n}_{ij}) |\Gamma_{ij}| + \Delta t \mathbf{S}_i^n,$$

$$\text{with } \Phi(\mathbf{W}_i, \mathbf{W}_j, S_{ij}, \mathbf{n}_{ij}) = \mathcal{F}(\mathbf{W}_{ij}^n; \mathbf{n}_{ij}), \quad S_{ij}^n = \max_p \left(|\lambda_{p,i}^n|, |\lambda_{p,j}^n| \right).$$

Time Integration

To deal with the source terms $\mathbf{Q}$, a standard splitting procedure is employed for the discrete system as

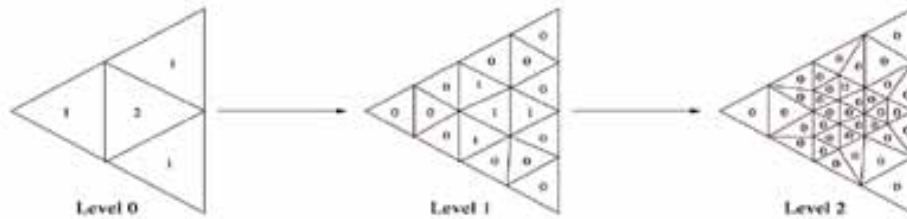
$$\begin{aligned}\mathbf{W}_{ij}^n &= \frac{1}{2} (\mathbf{W}_i^n + \mathbf{W}_j^n) - \frac{1}{2} \operatorname{sgn}[\mathbf{A}_\eta(\bar{\mathbf{W}})] (\mathbf{W}_j^n - \mathbf{W}_i^n), \\ \mathbf{W}_i^* &= \mathbf{W}_i^n - \frac{\Delta t}{|\mathcal{T}_i|} \sum_{j \in \mathcal{N}(i)} \mathcal{F}(\mathbf{W}_{ij}^n; \eta_{ij}) |\Gamma_{ij}| + \Delta t \mathbf{S}(\mathbf{W}_i^n), \\ \mathbf{W}_i^{n+1} &= \mathbf{W}_i^* + \Delta t \mathbf{Q}(\mathbf{W}_i^*),\end{aligned}$$

where the sign matrix is defined as

$$\operatorname{sgn}[\mathbf{A}_\eta(\bar{\mathbf{W}})] = \mathcal{R}(\bar{\mathbf{W}}) \operatorname{sgn}[\Lambda(\bar{\mathbf{W}})] \mathcal{R}^{-1}(\bar{\mathbf{W}}),$$

with $\Lambda(\bar{\mathbf{W}})$ is the diagonal matrix of eigenvalues, $\mathcal{R}(\bar{\mathbf{W}})$ is the right eigenvector matrix and $\bar{\mathbf{W}}$ is the Roe's average state.

Adaptation Procedure



In our simulations, the adaption criterion is based on the normalized bed-load, and is evaluated as

$$\operatorname{Crit}^n(\mathcal{T}_i) = \frac{B(\mathcal{T}_i)}{\max_{\mathcal{T}_j} B(\mathcal{T}_j)},$$

where $B(\mathcal{T}_i)$ is the bed-load on cell $\mathcal{T}_i$. Hence, an adaptation procedure can be performed as follows:

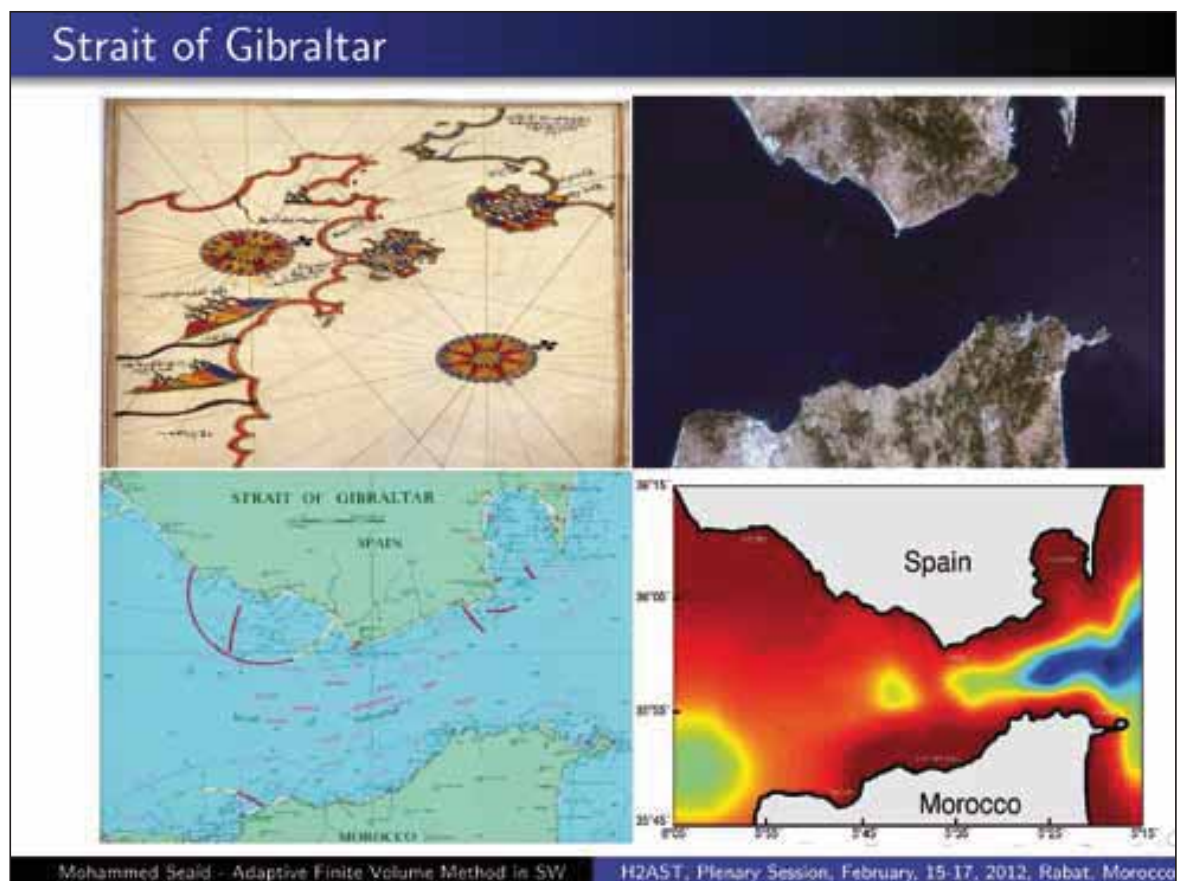
Given a sequence of three real numbers $\{r_m\}$ such that

$0 = r_0 < r_1 < r_2 < r_3 < r_4 = 1$. If a macro-element $\mathcal{T}_i$ satisfies the condition

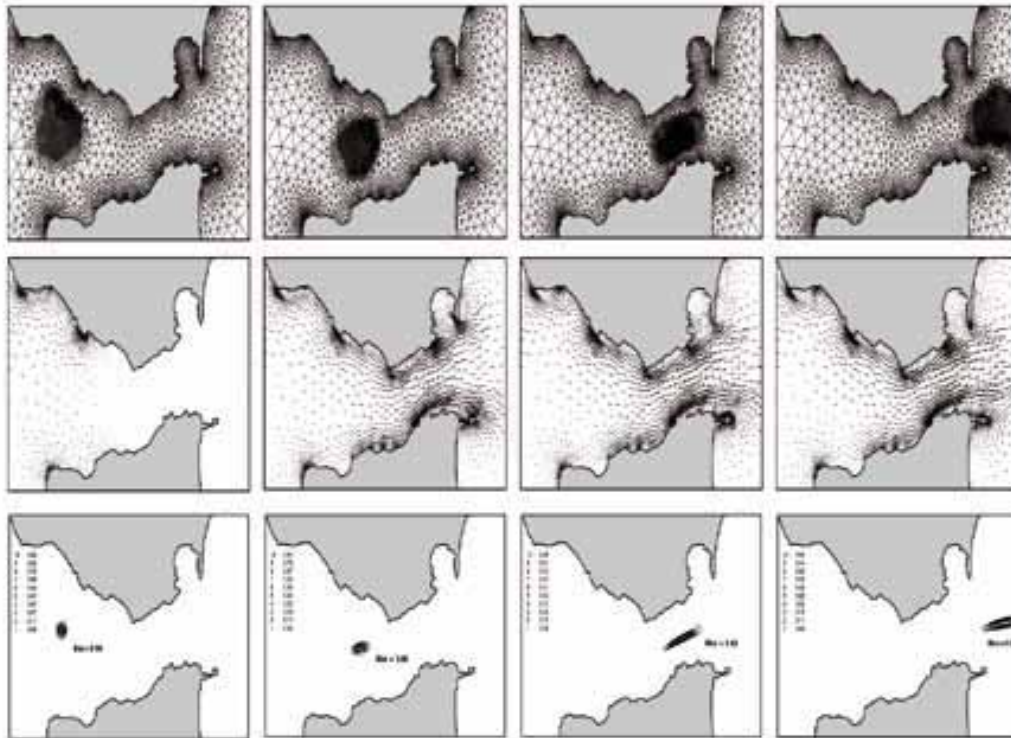
$$r_m \leq \operatorname{Crit}^n(\mathcal{T}_i) \leq r_{m+1}, \quad m = 0, \dots, 3.$$

then $\mathcal{T}_i$ is divided into 4^m triangles.

III. Applications



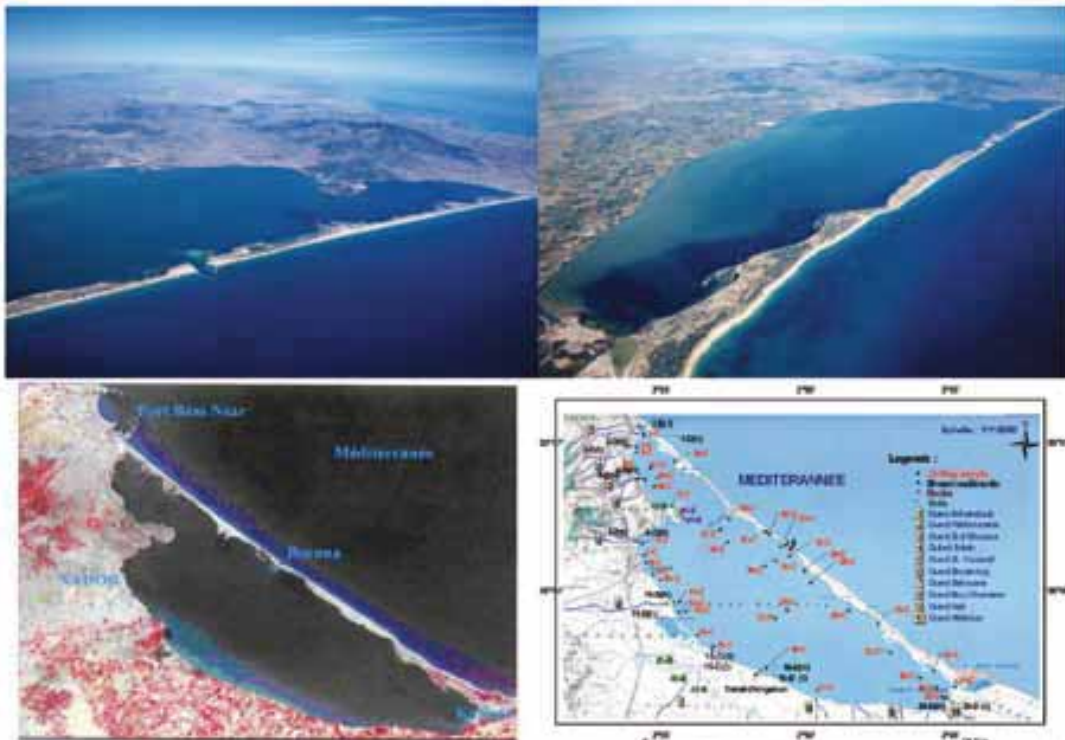
Strait of Gibraltar



Mohammed Seaid - Adaptive Finite Volume Method in SW

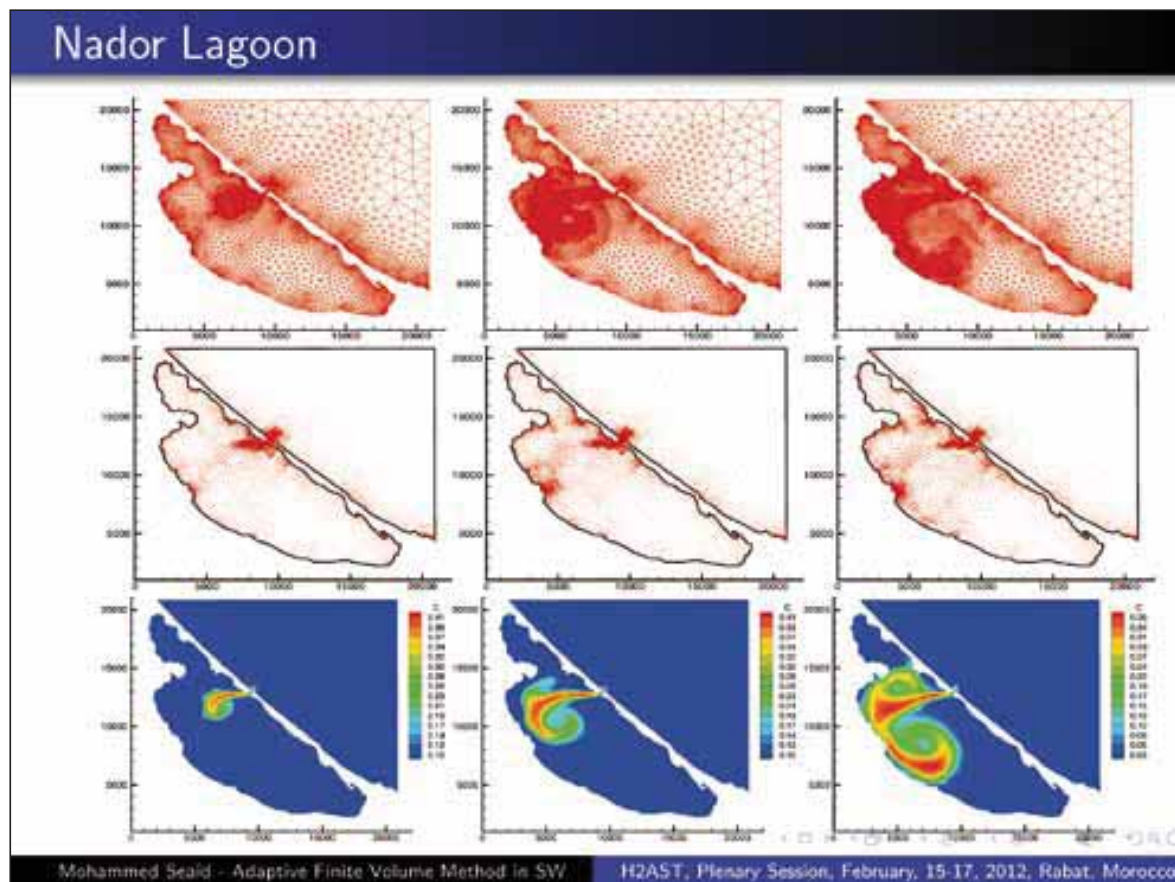
H2AST, Plenary Session, February, 15-17, 2012, Rabat, Morocco

Nador Lagoon



Mohammed Seaid - Adaptive Finite Volume Method in SW

H2AST, Plenary Session, February, 15-17, 2012, Rabat, Morocco



Acknowledgments

- Fayssal Benkhaldoun, LAGA, Université Paris 13, France
- Imad Elmahi, ENSAO, Université Oujda, Morocco
- Slah Sahmim, Ecole Polytechnique de Tunisie, Tunisia
- Saida Sari, LAGA, Université Paris 13, France

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Seaid et j'apprécie le respect du temps. Nous venons au bout de cette application de la dynamique des fluides dans les domaines de l'industrie, de l'eau et de l'environnement s'il y a des questions dans l'audience.

Pr. Malik GHALLAB (CSMI)

I have a question for the last two applications that you mentioned. Are your models, for the strait of Gibraltar or the Nador Laguna, grounded in empirical data? And if they are what kind of measurements and comparisons to the empirical data did you get?

Pr. Mohammed SEAID (Université de Durham, UK)

For the strait of Gibraltar we got all the data from Spain. So, all the empirical equations and all the data we are working with, we got them from Spain.

For the Nador Lagoon, the more active groups working there are biologists and we managed to get some data from them, but until now we couldn't find the data to compare with.

Dr. Abdessamad TRIDANE (Arizona State University - USA)

My question is going to be in the same direction as far as the validation of your model. I believe your model is based on ad hoc perturbations. Availability of the data is very poor to validate the model. If one wants to do this validation, we definitely need some satellite type of data and that needs more investments.

My second point: are you considering any environmental factors (movement of the air, temperature, precipitations, anything that can be perturbing this kind of modeling)? Thank you.

Pr. Mohammed SEAID (Université de Durham, UK)

Thank you for your question. We did the validation? We had experimental work from the laboratory that we calibrated and we already have 3 publications about this work. But if you are talking about verification from within the data, we haven't done it yet because we don't have experimental data.

Concerning the wind or the temperature, can we include them in the model, I say yes. When we do the distribution of the strait pollution, we cannot overlook the wind effect since it plays a major effect in the transport and dispersion of contaminants, so it is included in the model. Recently we started looking at the temperature to have two-face flow instead of one-face flow. This indicates that you have an interface that separates a body of water that has different temperature, different density and different salinity than the other one from the Atlantic Ocean that has other properties. Have I answered your question?

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Nous passons tout de suite au prochain orateur Pr. Rajae Cherkaoui-El Moursli de l'Université Mohammed V – Agdal et membre correspondant de notre Académie pour nous parler des *défis liés à l'expérience Atlas-LHC*. Vous avez 25 mn.

LES DEFIS LIÉS AU DETECTEUR ATLAS AU LHC

Pr. Rajaa CHERKAOUI EL MOURSLI

*Laboratoire de physique nucléaire
Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc*

*Membre correspondant de
Académie Hassan II des Sciences et Techniques*



Abstract

The ATLAS project is an international collaboration involving 38 countries. The detector ATLAS is one of the four detectors located at the Large Hadron Collider (LHC) at the CERN Laboratory (Geneva). Morocco joined officially this collaboration in 1996. The sheer volume of the data (millions of gigabytes) and computation involved in the project imply new problems that deal with data access, processing and distribution. The computing and data management operations run centrally on a set of tiered computing centers which are connected via high-performance and dedicated networks: the Worldwide LHC Computing Grid (WLCG). Moroccan physicists had been able to participate to these challenges thanks to MARWAN (the Moroccan National Research and Education Network) and MaGrid (the infrastructure supporting e-science). Currently, MARWAN interconnects all Moroccan universities, is connected to Géant 2 network via EumedConnect project and has a gateway to the internet. The MaGrid Certificate Authority provides grid certificates to all Moroccan scientists.

Introduction

Le détecteur ATLAS est un des quatre détecteurs auprès du grand collisionneur d'hadrons (Large Hadrons Collider – LHC) au Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN) près de Genève. La complexité du projet ATLAS ne tient pas seulement à la construction d'un immense détecteur ou à la difficulté de faire collaborer des milliers de personnes venant du monde entier, elle tient également au nombre de données informatiques à traiter. Donc il a fallu répondre à tous ces défis.

Une série de questions sans réponse dans ce domaine montre l'intérêt de la construction du LHC. Après une présentation brève du LHC, va suivre une description de l'expérience ATLAS auprès du LHC, une présentation de la collaboration internationale qu'elle a engendrée et les défis liés en particulier aux données massives de cette expérience et à la stratégie adoptée dans cette physique pour analyser les données réelles et simulées de ce détecteur. La solution optée pour analyser, simuler ou encore stocker les données est la mise en place d'une grille de calcul internationale Worldwide LHC Computing Grid (WLCG).

Le Maroc en tant que membre officiel de cette collaboration a dû s'organiser et mettre en place plusieurs outils afin de participer à une telle aventure. Un pôle de compétence a été créé intitulé «Réseau Universitaire de Physique des Hautes Energies» regroupant des enseignants chercheurs de différentes universités marocaines et centres. Une autorité de certification MaGrid CA, sous la tutelle du Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRS), délivre des certificats pour utiliser la grille informatique. Des clusters sont entrain d'être placés au niveau de tous les instituts membres du RUPHE.

Questions fondamentales

La physique des particules est l'étude des constituants de la matière et de leurs interactions. Elle s'est développée de pair avec les accélérateurs et collisionneurs de particules. L'évolution de la technologie au cours du XX^{ème} siècle a permis d'augmenter progressivement les énergies accessibles aux accélérateurs. Le plus puissant jamais construit est le LHC. L'étude des collisions qu'il va fournir va nous permettre de répondre à certaines grandes questions de la physique des particules contemporaine en ouvrant une voie de recherche à un ordre de grandeur supérieur à la dizaine de TeV.

Posons-nous ces questions d'une manière très simple :

Pourquoi les particules ont une masse? Même Newton n'a pas pu donner d'explication et personne d'autres jusqu'à nos jours. L'hypothèse de l'existence d'une particule, le boson de Higgs, prédite par le modèle standard de la physique des particules, et qui donnerait, par l'intermédiaire du champ de Higgs, une masse aux particules élémentaires est à vérifier. Donc le boson de Higgs du modèle standard existe-t-il?

De quoi est constitué 96 % de l'univers? Nous n'observons que 4% de cet univers.

Pourquoi sommes-nous dans un univers de matière? Où est passée l'antimatière. La nature devrait être symétrique.

Dans quel état se trouvait la matière pendant la première seconde de l'Univers, juste après le «Big Bang»?

Le CERN a donc construit ce nouvel accélérateur, LHC qui va nous permettre d'observer des big bang microscopiques afin de comprendre les lois fondamentales de la nature.

Large Hadron Collider (LHC)

Grâce au LHC (Large Hadron Collider), la physique sur collisionneurs va entrer dans une nouvelle ère. Le Grand collisionneur d'hadrons (LHC) est un gigantesque instrument scientifique situé près de Genève, à cheval sur la frontière franco-suisse.

C'est un collisionneur circulaire de 27 km de circonférence, situé à environ 100 mètres sous terre. Deux faisceaux de particules subatomiques de la famille des «hadrons» (des protons ou des ions de plomb) circulent en sens inverse à l'intérieur de l'accélérateur circulaire, emmagasinant de l'énergie à chaque tour. En faisant entrer en collision frontale les deux faisceaux à une vitesse proche de celle de la lumière et à de très hautes énergies, le LHC recrée les conditions qui existaient juste après le Big Bang.

Le LHC va fournir une énergie dans le centre de masse de 14 TeV, dix fois supérieure à celle des accélérateurs précédents et un taux de collision 100 fois supérieur. Les collisions auront lieu en quatre points de l'accélérateur, où seront placés 4 multi-détecteurs : ATLAS, ALICE, CMS et LHCb (Figure 1). Le LHC a démarré en novembre 2009. Avec son budget de 3 milliards d'euros, le LHC est l'expérience scientifique la plus onéreuse de l'histoire.

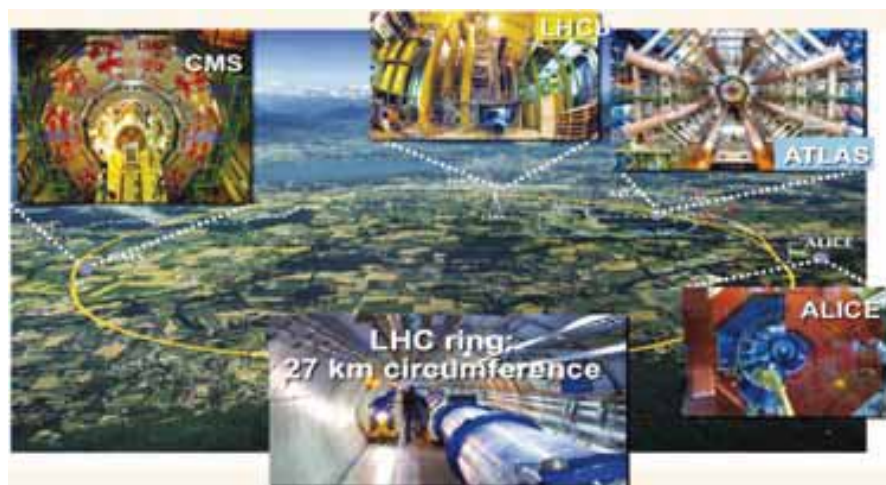


Figure 1 : Le LHC avec les quatre principales détecteurs CMS, LHCb, ATLAS et ALICE

Le détecteur et la collaboration ATLAS et leurs défis

Le détecteur ATLAS au centre duquel vont se produire les collisions à 14 TeV va, à chaque croisement de paquets de protons, voir se déposer en son sein une grande quantité d'énergie se transformant en de nombreuses particules. Le détecteur ATLAS est donc conçu pour détecter les particules issues de la collision protons-protons.

L'acronyme ATLAS signifie A Toroïdal LHC Apparatus. C'est le plus grand et le plus complexe détecteur jamais construit à ce jour. Il fait 46 mètres de long, 25 mètres de large, 25 mètres de haut. Son poids est de 7000 tonnes (Figure 2). ATLAS est composé de plusieurs sous-détecteurs: les Trajectographes, détecteurs centraux, conçus pour identifier les traces très près du point d'interaction des protons, le calorimètre électromagnétique permettant d'identifier et de mesurer l'énergie des photons et des électrons, et le calorimètre hadronique pour la mesure de l'énergie des hadrons. Le tout est entouré par des détecteurs à muons. Il a fallu 20 ans pour construire ce détecteur et cette construction a coûté autour de 338 millions d'euros.

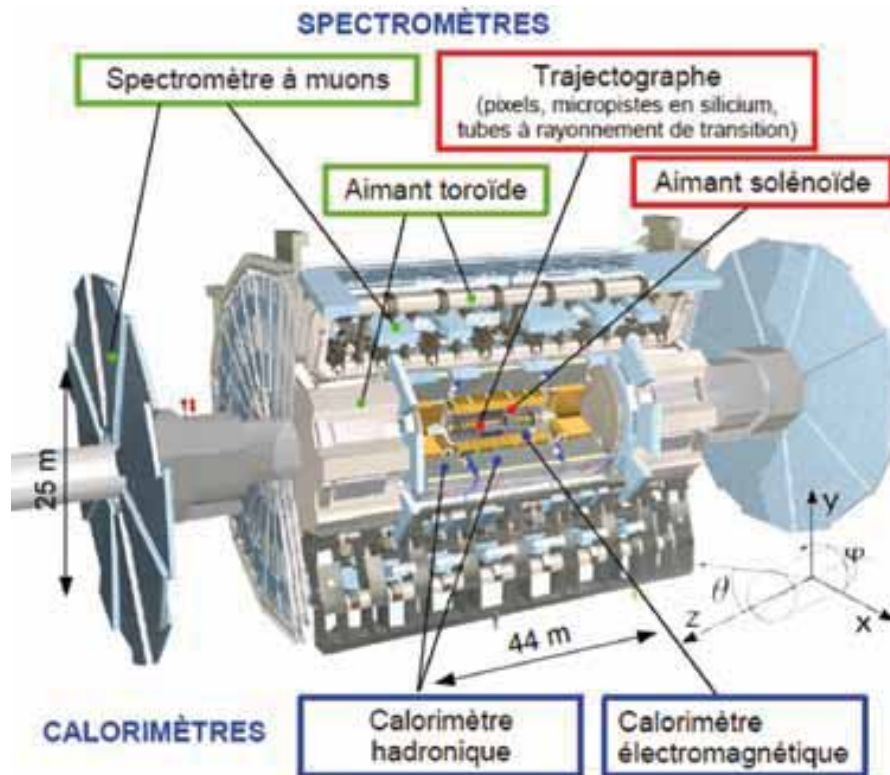


Figure 2 : Coupe du détecteur ATLAS avec tous ses sous-détecteurs.

Les collisions de particules sont visualisées et analysées grâce aux ordinateurs. En effet, à partir d'une seule collision qui engendre des centaines d'informations, les physiciens cherchent à reconnaître les impacts dans les détecteurs et à reconstruire les trajectoires et l'énergie de particules identifiées. Une fois les données en provenance de tous les sous détecteurs collectées et enregistrées, elles subissent plusieurs étapes de *reconstruction* permettant de passer des signaux individuels à des *candidats* particules. L'ensemble des données associées à chaque collision de paquets de protons (10^{11}) correspond à un événement. La taille des données enregistrées pour un événement correspond à 1,6 Megaoctets et nous avons 200 événements par seconde, d'où 300 Megaoctets par seconde. Et enfin la prise des données se fait pendant 200 jours par an et 14 heures par jour.

A part la complexité de sa construction, ATLAS va donc engendrer un nouveau challenge puisqu'il va générer une quantité de données informatiques phénoménale, près de 3 millions de milliards d'octets par an. Les événements recherchés qui donneront la signature d'une nouvelle physique sont très rares, 1 sur 10 000 milliards.

Il est aussi important de souligner la stratégie choisie en recherche dans ce domaine. Parallèlement à la reconstruction des données réelles, une simulation Monte Carlo de tout le dispositif expérimentale est réalisée en suivant l'évolution des processus physique (Figure 3). L'analyse compare (au niveau statistique) des événements reconstruits à partir des données réelles avec celles de la simulation. Ceci implique en conséquence des moyens importants en calcul (CPU).

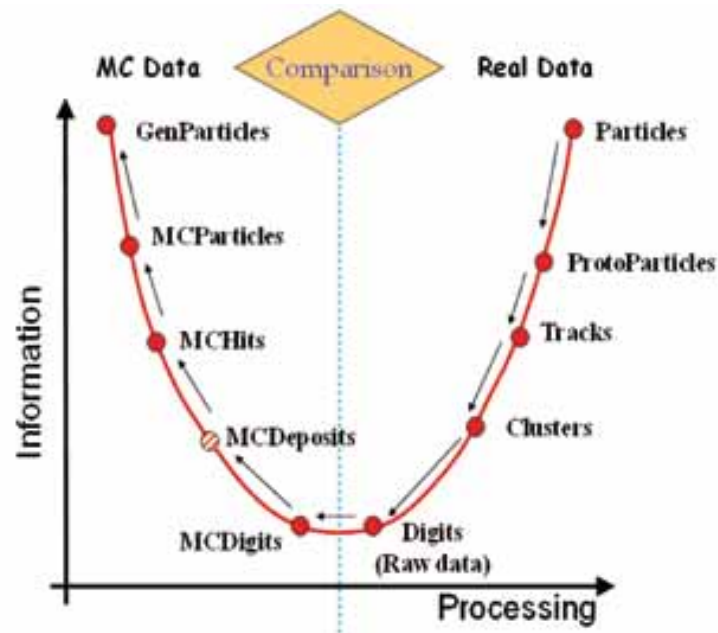


Figure 3 : Modèle de la stratégie d'analyse des données en physique des hautes énergies.

Toutes les données doivent être accessibles et analysées par 3000 physiciens de 174 instituts de 38 pays dans le monde entier. Ces données doivent être disponibles pendant la durée estimée de 20 ans du LHC.

Pour pouvoir réaliser le détecteur ATLAS et étudier ses données, une collaboration internationale, nommée aussi ATLAS, a été mise en place. Cette collaboration regroupe autour de 3000 scientifiques de 174 institutions réparties sur 38 pays dans le monde. Le Maroc est le seul pays arabe et jusqu'en 2009 le seul pays africain membre de cette collaboration.

Stockage et reconstruction des données

La taille des données brutes est très grande, comme on vient de le voir autour de 2 Méga-octets par événement et ces données brutes contiennent beaucoup d'informations. Donc il est important de gérer ce stockage afin de diminuer la taille des fichiers et de créer des fichiers spécifiques à chaque analyse. Le stockage des données est effectué en une série d'étapes successives, chacune ayant un format spécifique, commençant par les données brutes ou les données de simulation et se poursuivant par la reconstruction jusqu'à un format plus adapté aux analyses et de plus petite taille.

Les données sont donc issues d'une chaîne de traitement utilisant différents formats. Après numérisation, on obtient des données brutes «Raw Data Object». La reconstruction se fait en deux étapes. On produit à partir de ces «Raw data» d'abord des ESD (Event Summary Data) puis des AOD (Analysis Object Data).

Les ESD contiennent l'ensemble des informations de reconstruction et sont assez volumineux (environ de 500 à 800 Kilo-octets par événement). Les ESD doivent contenir suffisamment de détails sur les objets pour que des raffinements de la reconstruction combinée (identification des particules, réajustement des traces, étalonnage des jets...) puissent être effectués à nouveau, au fur et à mesure des améliorations des algorithmes ou des étalonnages et alignements.

Les AOD contiennent moins d'informations (environ 100 Kilo-octets par événement) que les ESD, et sont utilisées plus facilement pour les analyses de physique. Les AOD risquent d'évoluer assez rapidement en raison d'optimisation des algorithmes d'identification, de l'ajout ou le retrait de variables considérées comme indispensables ou inutiles etc. Il doit donc être possible de régénérer plusieurs fois les AOD, avec une version différente du logiciel, à partir des mêmes ESD.

Lors de la création des AOD, des métadonnées (TAG) seront aussi écrites. Elles permettront un accès rapide à tout événement. La taille pour les TAG est de l'ordre de 1 kilo-octet par événement.

A partir des AOD sont produites enfin des DPD (Derived Physics Data) qui contiennent toutes les informations nécessaires aux analyses de physique et sont construits en ne conservant que des événements avec une certaine topologie, par exemple des événements avec au moins un électron. Donc ces DPD permettent de contenir les informations finales de l'analyse pour les utilisateurs sous la forme de Ntuples et d'histogrammes. Avant la définition de ces formats, la collaboration Atlas avait développé un Ntuple Combiné où figurent à peu près les mêmes informations qu'au niveau des ESD.

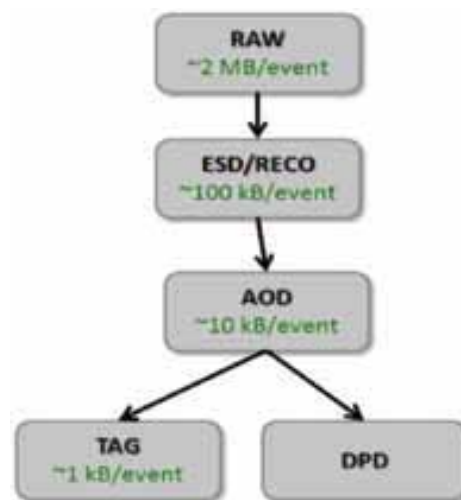


Figure 4 : Les différents formats des fichiers de données

La grille de calcul WLCG et la structure en tiers

Les informaticiens ont répondu aux défis posés par la quantité énorme de données et leurs traitements grâce à une nouvelle technologie : la grille informatique ou grille de calcul. La grille permet le partage de puissances de calcul et de capacités de stockage de données entre des ordinateurs dispersés sur tout le globe. Elle se caractérise par le partage et l'utilisation des ressources (Organisation virtuelle), l'abolition des distances, l'accès sécurisé et enfin se base sur un choix de normes. Dans notre cas la solution a été apportée grâce à la grille WLCG.



Figure 5 : Grille de calcul du centre informatique au CERN

Le terme de ‘grille’ (ou grid en anglais) tire son nom de Electric Power Grid (le réseau électrique) qui permet d’obtenir une puissance électrique grâce à une interface simple : la prise de courant ! En utilisant l’électricité, on ne se soucie pas du lieu de provenance de l’énergie et de la manière dont elle a été fabriquée. La grille informatique reprend ce principe : plusieurs ordinateurs alimentent un réseau global pour fournir une ressource globale, c’est-à-dire une grande puissance de calcul et une grande capacité de stockage. Chaque utilisateur peut alors utiliser via les réseaux à très haut débit ces ressources considérables, au moyen d’une interface simplifiée : son propre ordinateur.

Dans le cas des expériences autour du LHC, des centaines de centres de calcul dispersés dans le monde entier ont mis en commun leur puissance de calcul et leur capacité de stockage pour pouvoir traiter les données issues du LHC.

Les centres de calcul WLCG sont principalement basées sur les deux principaux réseaux en grille mondiaux EGI en Europe et OSG aux USA. Les grilles en Asie contribuent aussi à la grille WLCG.

WLCG a bénéficié des investissements de la commission européenne à travers différents projets de grille et est intimement lié au projet EGEE et EGI. Il utilise et participe au développement des logiciels de grille du projet d’EGEE.

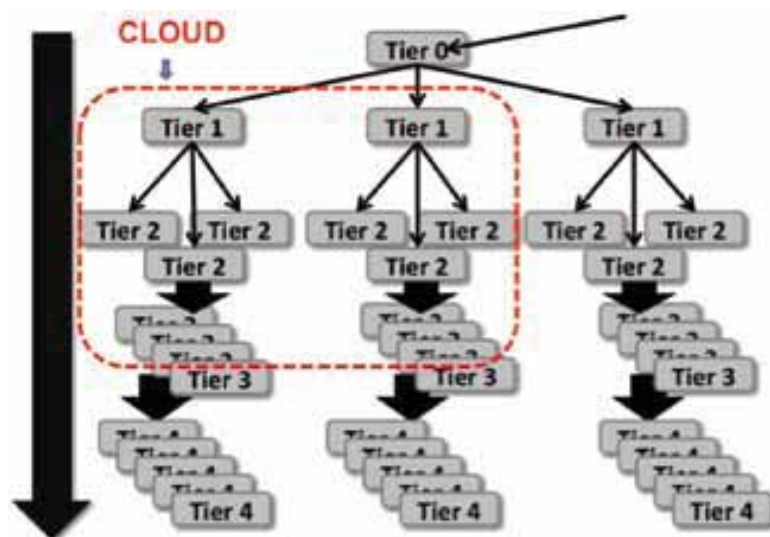


Figure 6 : Modèle hiérarchique en tiers

Les données produites par le LHC seront distribuées selon un modèle hiérarchique à quatre niveaux notés Tier-0 à Tier-4. En effet, la grille de calcul WLCG est constituée de près de deux cents sites situés sur 3 continents (Europe, Amérique, Asie), hiérarchisés en différents niveaux : au niveau 0, le centre de calcul du CERN récupère les données brutes «RAW» produites par les détecteurs, les stocke et les redistribue au niveau 1 (Tier 1); celui-ci est constitué de onze centres de calculs dits «centres névralgiques», disponibles 24 heures sur 24, qui assurent la pérennité des données et réalisent un premier traitement avant de les transmettre aux centres des niveaux 2, 3 et 4, où se fait l'analyse physique proprement dite. Actuellement le Maroc et l'Afrique du sud se prépare pour participer à cette grille WLCG.

En plus de cette structure en Tiers, une structure en “Nuages” implique des liens d'interdépendance entre les centres.

Participation du Maroc à ATLAS

Le Maroc est devenu officiellement membre de la collaboration ATLAS en 1996. Le Maroc est représenté par le RUPHE (Réseau Universitaire de Physique des Hautes Energies). Le RUPHE est composé par les chercheurs de 5 universités (Casablanca, Rabat, Oujda, Marrakech, Tanger) et le CNESTEN (Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléaires).

Les membres du RUPHE ont participé à la conception et à la réalisation du prééchantillonneur ou presampler, un des sous détecteurs d'ATLAS. Dans ce cadre, le travail réalisé au Maroc a consisté en la qualification de circuits intégrés cinq couches ainsi que les tests mécaniques et électroniques de 50 000 anodes du Presampler. Les membres du RUPHE ont également contribué aux tests sur les secteurs au Laboratoire à Grenoble.

Les physiciens marocains ont également contribué à l'insertion des 32 secteurs du presampler. Et ils collaborent aux calculs de simulation, à la prise et à l'analyse des données simulées et réelles.

Pour pouvoir participer à l'analyse des données d'ATLAS, les chercheurs marocains mettent en place depuis quelques années les outils nécessaires. Tous ces établissements marocains ont été reliés par un réseau informatique marocain d'enseignement et de recherche MARWAN (Moroccan Wide Area Network). Une grille informatique nationale est entrain d'être développée grâce à un don du CERN de 160 serveurs et à l'appui du CNRST et des collaborations scientifiques avec les laboratoires Français et Espagnols.

Un utilisateur pour utiliser une grille informatique doit posséder: Un certificat électronique personnel, une entrée dans une Organisation Virtuelle (VO ou VOMS; ici VO Atlas) et enfin un compte sur une Interface Utilisateur ou sur un Service Web (UI). Une autorité de certification MaGrid Ca accrédité depuis 2007 et géré par le CNRST, délivre les certificats aux marocains.

La participation du Maroc à ATLAS a pu se réaliser grâce à l'appui de tous les décideurs, à savoir le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, le CNRST et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Conclusion

Il a fallu 25 ans pour mettre en place le programme LHC-la machine, les expériences, l'informatique, de la conception à l'exploitation. Il est prévu pour fonctionner sans doute aussi longtemps que 25 ans, donc pendant plusieurs générations en tenant compte des changements technologiques.

La complexité du projet LHC ne tient pas seulement à la construction d'une immense machine ou à la complication de faire collaborer des milliers de personnes venant du monde entier, elle doit aussi répondre à la difficulté du grand nombre de données informatiques à traiter. Donc la mission de la grille WLCG est de mettre en place, de maintenir une bonne infrastructure dédiée à l'analyse des données, de garantir une stabilité et une durabilité en tenant compte de l'évolution des technologies.

Il est important de rappeler que les applications des grilles de calcul ne sont pas limitées à la physique des hautes énergies mais s'étendent à d'autres disciplines telles que la bioinformatique, la météorologie, les sciences de l'espace, la médecine.

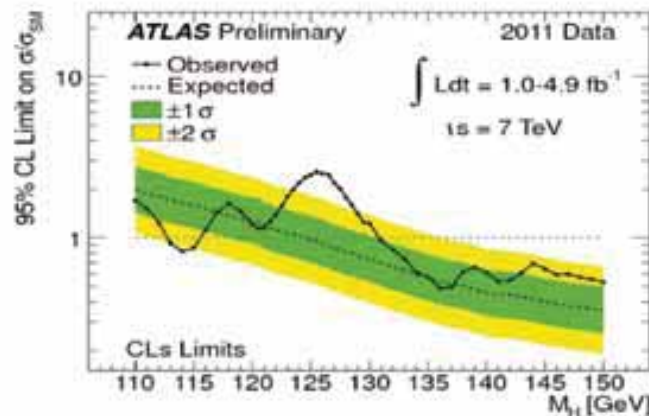


Figure 7 : Dernier résultat dans la recherche de la particule Higgs

Le Maroc se prépare en 2012 à mettre en place un tier 3 et plusieurs tier 4.

Les derniers résultats dans la recherche du boson de Higgs par l'expérience ATLAS ont été présentés lors d'un séminaire au CERN le 13 décembre 2011 (Figure 7). On remarque un excès d'événements intrigants autour de 125 GeV. Cet excès peut provenir d'une fluctuation statistique mais peut aussi être le signe de quelque chose de plus intéressant. Notons que l'expérience CMS voit aussi un petit excès autour de 125 GeV. De part de la performance exceptionnelle du LHC cette année, donc avec plus de statistiques, cette énigme risque d'être résolue en 2012.

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Cherkaoui. Je dirai voilà un travail dont on peut être fiers et vous féliciter pour tous vos efforts ainsi que les autres équipes marocaines qui se sont associées à cette initiative mondiale. La parole est à la salle pour des questions.

Pr. Malik GHALLAB (CSMI)

J'ai une question : quelle est la stratégie des équipes marocaines en ce qui concerne l'analyse des centaines de milliers d'événements quotidiens? Les chiffres présentés montrent une telle richesse d'événements. Est-ce que vous vous êtes répartis le travail? Est-ce qu'il y a une stratégie particulière? Quels événements particuliers vous allez analyser? Est-ce qu'il y a un plan mettant en avant des complémentarités des contributions des uns et des autres par rapport à quel type d'événements? C'est cette partie organisationnelle sur l'analyse des événements auxquels vous avez accès; je me réjouis des accès que vous avez mais plus particulièrement votre contribution au niveau de la physique.

Pr. Rajae CHERKAOUI-ELMOURSALI (Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc)

Effectivement, l'analyse des données est immense. Actuellement, par exemple à Rabat et à Oujda, on se fixe vers la physique du top. C'est le quark le plus lourd et donc qui peut avoir le plus de statistiques. Tous les autres collègues, restent quand même autour du même sujet. En dépit de la richesse que constituent les doctorants, nous sommes peu nombreux. Bien sûr, sans l'aide des organismes que j'ai cités tout-à-l'heure et celle du CNRST. Le CERN a compris que la contribution du Maroc est importante. N'oublions pas aussi que le Web nous a aidé pour quelque chose de très important, chaque chercheur est obligé de participer, on peut participer du Maroc comme si on était au CERN et cela nous a aidé énormément. Le fait qu'il y a nos étudiants qui bougent dans les deux sens est en soi un apport très positif.

Pr. Nadia GHAZZALI (CSMI)

Je suis vraiment emballée par ce beau projet que je connais déjà puisqu'on le voit du côté canadien. C'est un projet «Tier one» de grande envergure, j'en suis très fière et nous devons être très fiers que le Maroc y participe pleinement.

Ma question a un lien avec ce que vient de dire notre collègue Malik Ghallab dans le sens où les défis technologiques sont immenses. Là, Madame Cherkaoui vous avez dit que vous n'êtes beaucoup de chercheurs, il y a quand même la relève constituée par les doctorants. Moi ma question est en rapport avec le fait que le Maroc serait un «Tier 2» ou un «Tier 3 or 4» dans le sens que quand on va recevoir une grille de calcul, est-ce qu'il y a un plan de formation du personnel?

Pr. Rajae CHERKAOUI-ELMOURSALI (Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc)

Il y a deux formations en parallèle c'est-à-dire maintenant il y a des formations utilisateurs et des formations administrateurs. Actuellement le CERN a proposé de former quelques personnes gratuitement (nous n'aurons à payer que leur déplacement) pour prendre la relève ici.

Pr. Abdeslam HOUMMADA (Université de Casablanca-Ain Chock, Représentant du Maroc au CERN)

Je voudrais juste apporter un complément. En fait l'expérience ATLAS de 3000 personnes, donc on ne peut pas laisser les choses aller dans tous les sens. Concernant l'analyse, il y a des «working groups» et chaque groupe a des «convenors» qui sont élus. Il y a les physiques exotiques, physique gamma, l'électron, boson de Higgs, et là-dedans il y a une étude pratiquement chaque semaine que ce soit du côté physique ou du côté expérimental. Les sujets sont proposés dans ces cadres-là.

Dans le cas du Maroc, chaque université va prendre le relais pour couvrir un aspect de la physique. A côté de cela, on a aussi un groupe qui travaille sur toute la partie microélectronique, sur laquelle nous avons travaillé avant et nous avons mis au point des instruments qui ont été brevetés. Maintenant, on est en train de mettre en place, comme ce qui a été fait pour les hautes énergies, un réseau avec le CNESTEN, l'Université de Grenoble et probablement des Universités algériennes et tunisiennes pour tout ce qui est microélectronique.

Je voudrais dire par-là que, vraiment, il y a plusieurs couches d'interventions. Jusqu'à présent nous avons une dizaine de thèses qui ont été soutenues entre 2010 et 2011 une centaine de publications. L'accent a été mis sur l'aspect interdisciplinaire de sorte que chaque étudiant aborde dans son travail les volets physique, instrumental et informatique.

Pr. Omar FASSI-FEHRI (Secrétaire Perpétuel)

Je voudrais apporter un complément d'information. Les autorités du CERN en sont tellement satisfaites de cette collaboration avec le Maroc qu'ils proposent actuellement au Maroc d'être membre du CERN au même titre que tous les autres états membres. Dans ce sens, une délégation qui devait arriver la semaine prochaine a reporté son voyage de quelques jours pour entamer les contacts nécessaires avec certaines autorités académiques, dont l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, mais aussi avec des hautes autorités marocaines (en particulier le Ministère des Affaires Etrangères et de la Coopération) pour finaliser une telle opération.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Monsieur le Secrétaire Perpétuel. Je voudrais vous inviter à une pause-café, remercier les orateurs d'avoir respecté le temps et les prier encore une fois de déposer leurs textes auprès du secrétariat. On se retrouve dans 15 mn.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Nous allons démarrer la deuxième partie de notre après-midi, réservée aux sciences et ingénierie numériques dans le domaine de l'environnement. Nous avons deux conférences. Celle du Pr. Eric Balayo (Université Joseph Fourier à Grenoble) sur **les systèmes de prévision numérique des fluides géophysiques** et celle du Pr. Daniel Auclair (INRA de Montpellier) sur **l'écologie théorique à l'ingénierie écologique-place de la modélisation**. Donc je donne tout de suite la parole au Pr. Blayo. Vous avez 35 mn.

NUMERICAL FORECASTING SYSTEMS FOR GEOPHYSICAL FLUIDS

Pr. Eric BLAYO

University of Grenoble, France



The evolution of geophysical fluids (atmosphere, ocean, rivers and ground water...) has important consequences, either in the short term (e.g. weather forecast), or in the longer term (e.g. climate change, water resource management). Forecasting this evolution is thus a major challenge from the scientific, economic, and human standpoints. Mathematical and numerical tools are omnipresent and play a fundamental role in these fields of research, in order to better understand the behaviour of these geophysical systems, and to design efficient numerical forecasting systems.

A number of specific features are shared by such applications: interaction of different scales, multi-component aspects, combination of heterogeneous sources of information (models, measurements, images), uniqueness of each event... The development of efficient numerical methods for these applications therefore requires taking these features into account, a goal which covers several challenging aspects in terms of mathematical and numerical modelling, inverse modelling (data assimilation), quantification of uncertainties, and high performance computing.

In this talk, I will present a general survey of this field of computational sciences, with specific illustrations on some present research topics.

References

Computational Methods for the Atmosphere and the Oceans, volume 14 of Handbook of Numerical Analysis. P. Ciarlet, R. Temam, and J. Tribbia Eds, Elsevier, 2009.

Data assimilation. Lahoz W., B. Khattatov and R. Menard Eds., Springer, 2010.

Le climat à découvert: outils et méthodes en recherche climatique. C. Jeandel and R. Mosseri Eds, CNRS Editions, 2011.

MOISE team website : <http://team.inria.fr/moise>

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci. J'appelle le prochain orateur le Pr. Daniel Auclair (INRA de Montpellier) pour sa présentation sur l'écologie théorique à l'ingénierie écologique-place de la modélisation. Vous avez 35 mn.

DE L'ÉCOLOGIE THÉORIQUE À L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE – PLACE DE LA MODÉLISATION

Pr. Daniel AUCLAIR

INRA, UMR AMAP
(Botanique et Bioinformatique de l'Architecture des Plantes)
CIRAD; 34398 - Montpellier cedex 5, France



La modélisation mathématique a toujours tenu une place importante dans les différentes branches de l'écologie théorique, depuis des équations simples de type exponentielle ou logistique jusqu'à des combinaisons de modèles pouvant devenir très complexes. Du côté de l'écologie appliquée également, les modèles alimentent des outils d'aide à la décision. Avec les progrès dans les disciplines dites computationnelles, en liaison avec l'augmentation des capacités des calculateurs, de nouveaux paradigmes ont vu le jour au cours des dernières décennies.

Nous retracerons un bref historique de l'utilisation des mathématiques en écologie, et illustrerons quelques avancées récentes dans la manière dont les écologues ont modifié leurs pratiques par des exemples pris essentiellement dans le domaine de l'écologie végétale, à différentes échelles :

- Pl@ntNet est une plateforme d'identification interactive des plantes^[1] et un système d'information collaboratif, où sont développés des outils innovants d'identification des plantes et de partage des données.
- Parmi les modèles de plantes «structure-fonction», GreenLab^[2,3,4] est un modèle de croissance générique basé sur la notion d'architecture des plantes^[5,6], combinant des outils mathématiques et informatiques pour simuler la production. Une application de ces concepts et outils concerne les images de synthèse^[7,8], utilisées dans des systèmes d'aide à la décision et à la négociation face à des enjeux de protection de l'environnement.
- Plusieurs thèses de doctorat récemment soutenues^[9,10] se sont intéressées à la modélisation de la dynamique, de la structure et de la mécanique des racines de plantes avec des applications en vue de la stabilisation des pentes contre les glissements de terrain.
- Une communauté formée de chercheurs et de gestionnaires partage ses outils de modélisation mathématique et informatique dans la «plateforme de modélisation» CAPSIS^[11], qui regroupe actuellement plus de 50 modèles de dynamique forestière.
- À des niveaux d'organisation plus vastes, en particulier dans le domaine de l'écologie du paysage, la modélisation impliquant plusieurs disciplines allant de l'écologie aux sciences humaines demeure un enjeu important de la science des systèmes complexes^[12,13].

Références

1. Ouertani W., Bonnet P., Crucianu M., Boujemaa N., Barthelemy D. 2010. Iterative Search with Local Visual Features for Computer Assisted Plant Identification. In: Tools for identifying biodiversity: progress and problems, Via E.Weiss 21: 34128.
2. Yan H.P., Kang M.Z., de Reffye P., Dingkuhn M. 2004. A dynamic, architectural plant model simulating resource-dependent growth. *Ann Bot* 93:591–602.
3. Kang M.Z., Cournède P.H., de Reffye P., Auclair D., Hu B.G. 2008. Analytical study of a stochastic plant growth model: application to the GreenLab model. *Math Comput Simul* 78:57–75
4. de Reffye P., Kang M.Z., Hua J., Auclair D. 2012. Stochastic modelling of tree annual shoot dynamics. *Ann For Sci* DOI 10.1007/s13595-011-0151-6.
5. Hallé F., Oldeman R.A.A., Tomlinson P.B. 1978. Tropical trees and forests. Springer, Berlin
6. Barthélémy D., Caraglio Y. 2007. Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Ann Bot* 99:375-407.
7. Griffon S., Nespoulous A., Cheylan J.P., Marty P., Auclair D. 2011. Virtual reality for cultural landscape visualization. *Virtual Reality* 15: 279-294.
8. Feng L., de Reffye P., Dreyfus P., Auclair D. 2012. Connecting an architectural plant model to a forest stand dynamics model— application to Austrian black pine stand visualization. *Ann For Sci* DOI:10.1007/s13595-011-0144-5
9. Bonneau A. 2011. Développement d'un modèle continu basé sur l'agrégation de l'architecture racinaire de plantes. Thèse de doctorat, Université Montpellier 2.
10. Mao Z. 2011. Modélisation temporelle et spatiale du renforcement racinaire dans les forêts de montagne et subalpines. Thèse de doctorat, Université Montpellier 2.
11. Dufour-Kowalski S., Courbaud B., Dreyfus P., Meredieu C., de Coligny F. 2012. Capsis: an open software framework and community for forest growth modelling. *Ann For Sci* DOI 10.1007/s13595-011-0140-9
12. Auclair D., 2010. Forest and natural ecosystem managers in the landscape – multiscale modelling, challenges and opportunities. In: LANDMOD2010: International Conference on Integrative Landscape Modelling - Linking environmental, social and computer sciences – Montpellier – February 3-5, 2010. <http://www.symposcience.org/exl-php/colloques/53-colloque.htm>. 12 p.
13. Gaucherel C., Auclair D., Houllier F. Dynamic landscape modelling: the quest for a unifying theory. *Trends in Ecology & Evolution*, submitted.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Auclair de cet exposé très exhaustif. La parole est à la salle pour une question. Sinon, je voudrais inviter les deux panélistes Pr. Gerald Fuller et Pr. Driss Ouazar à se joindre à nous pour animer la session du Panel qui suivra.

PANEL : SIN, OUTILS ET MÉTHODES

Modérateur : Pr. Rajae EL AOUAD

Membres du Panel : Pr. Gérard FULLER et Pr. Driss OUAZAR

Pr. Rajae EL AOUAD

*Institut National d'Hygiène,
membre résident de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



Pr. Gérard FULLER

*Université Stanford, USA, membre de l'Académie
Nationale de l'Ingénierie (État-Unis),
membre associé de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



Pr. Driss OUAZAR

*École Mohammadia des Ingénieurs, Rabat,
membre résident de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



Pr. Rajae EL AOUD (CSTV)

L'objectif de cette session c'est, d'une part profiter de la présence des panelistes pour partager leurs expériences en la matière. Personnellement, je ferai partie de ce panel pour faire l'écho du domaine médical. Nous aurons, chacun des panelistes, 5 mn pour intervenir dans son domaine d'expertise, puis la deuxième partie du panel sera ouverte à l'audience pour discussion, commentaires et réflexions sur les conférences de la journée.

Pr. Gerald FULLER (CSPC)

Je me considère plutôt comme expérimentaliste et je ne m'occupe pas des calculs à grande échelle, mais plutôt de la conception des matériaux avec mes collègues spécialistes du calcul. C'est nécessaire de collaborer, car cela amplifie énormément les possibilités de progresser dans ce domaine. Le couplage de l'expérimentation et du calcul scientifique est critique pour avancer. Dans notre département, on développe la conception des matériaux catalytiques dans le cadre d'un programme d'énergie. C'est un cercle intégrant la théorie et le calcul scientifique avec synthèse chimie et caractérisation, pour clôturer la boucle dans la conception; ce que nous apprenons de la simulation et de l'expérimentation.

Ma deuxième observation est que le défi réel est associé aux problèmes inverses. Pour une structure de matériau catalytique, on pourrait très bien prédire la dynamique, le niveau d'énergie de réaction, les types de produits et de sous-produits. Ce qui est difficile voire impossible est pour une réaction souhaitée, minimisant le paysage énergétique, quel est le matériau optimum?

Pr. Driss OUAZAR (CSTETM)

Tout d'abord je tiens à remercier nos confrères pour le choix d'un thème aussi important et de nature transversale impliquant tous les collèges de l'Académie.

A mon tour de parler brièvement du domaine de l'environnement et les ressources en eau ou du plus vaste domaine des systèmes naturels; domaine multi-disciplinaire par excellence dont la prise en charge ne peut se faire sans appel aux l'ingénierie numérique.

Les modèles et la simulation numérique sont devenues une partie importante de la recherche et dans certaines configurations, peuvent souvent remplacer l'expérimentation totalement ou partiellement. Cela implique la science, l'ingénierie, les mathématiques appliquées, l'analyse et les méthodes numériques ainsi que les technologies de l'information (développement d'algorithmes, mise en œuvre de logiciels, environnement et plateforme de calcul, l'observation expérimentale, etc.).

Il est aussi important de tenir compte des observations expérimentales, de la confrontation des résultats, dans des objectifs de validation et de calibrage avant toute simulation de scénarios.

Quel que soit le système physique thématique, qu'il s'agisse de hautes technologies (avionique, sous-marins, satellites, fusées, procédés de génie chimique ou nucléaires, etc....) ou les systèmes naturels (bassins versants, lacs, rivières, estuaires, nappes, océans) ou de l'économie nationale, un scientifique ou ingénieur tente de mettre au point un modèle mathématique qui représente de manière adéquate certains aspects du comportement du système de manière conceptuelle d'abord en s'appuyant sur les lois

physiques mathématiques, l'expérience au laboratoire et in situ pour l'estimation des paramètres et coefficients en jeu.

La nature implique beaucoup d'incertitude et de stochastique. Les spécificités du domaine naturel sont: forme complexe, paramètres hétérogènes, conditions aux limites et initiales difficiles à appréhender intrants souvent inconnus ce qui les rend d'une complexité bien difficile à gérer et entachée d'incertitudes.

Les difficultés et les problèmes associés lorsque l'on tente d'apporter une réponse à un problème de systèmes naturels (ressources en eau, environnement) sont nombreux: Multi-Modèles et Multi-échelles, comme signalé aussi par mes collègues Benkhaldoun et Seaid :

- Modèles de type déterministes et souvent stochastiques,
- Modèles mal posés, soit parce que des coefficients ou des connaissances ou des conditions aux limites ne sont pas bien connus, conditions initiales ou états de référence, Modélisation hybride impliquant la validation et le calibrage,
- Domaines à géométrie complexe,
- Savoir-faire limité sur certaines phénoménologies liées au niveau de la généralisation des turbulences en raison de l'existence d'une variété de modèles de fermeture et de paramétrage,
- Information de nature géographique impliquant les outils d'observation de la terre, modèles numériques de terrain et caractéristiques de données pour représenter une région, comme aussi montré par notre collègue qui a parlé de l'écologie,
- Grandes bases de données hétérogènes,
- Intégration des domaines traditionnellement mal liés.

Ce qui complique tous les aspects liés à la discrétisation du continuum, au suivi de la variabilité via des procédures auto-adaptatives, quel que soit la méthode numérique utilisée (éléments finis, différences finies, volumes finis, méthodes sans maillage, etc.) sans compter la nécessité de calcul intensif distribué (parallélisme, vectoriel, grilles).

Comme signalé par mon collègue Pr. Fuller, le défi réel des scientifiques est lié aux problèmes inverses impliquant des techniques d'optimisation couplées aux modèles mathématiques. En particulier, les aspects liés à l'optimisation globale sont particulièrement ardu. Les méta-heuristiques sont en plein essor actuellement pour résoudre cette thématique. Les problèmes d'optimisation englobent plusieurs aspects liés à l'identification paramétrique, à la conception et l'optimisation des systèmes et à la détection.

Les systèmes naturels ont une dimension supplémentaire liée aux changements climatiques qui constituent une excitation du système pas connue et incertaine. Malgré les calculs menés par le GIEC, avec les modèles hydrométéorologiques sophistiqués tels ceux mentionnés par notre collègue, une désagrégation est requise pour la zone d'étude pour donner une idée sur la variabilité climatique.

Pr. Rajae EL AOUD (CSTV)

Je prendrai la parole pour partager mon expérience et refléter peut-être quelques réflexions que m'ont inspirées les présentations d'aujourd'hui. J'interviens certes en tant que membre de cette Académie et également en tant que directeur d'un institut de santé publique qui se prévaut de conduire un certain nombre de recherches dans le domaine. Moi-même, je ne suis ni mathématicienne, ni informaticienne ni en mesure en mesure d'opérer dans le domaine, je défends ces outils en raison de leur intérêt et la possibilité d'avancées immenses au point d'en être conquise.

La combinaison des mathématiques, de l'informatique à la biologie et la santé, les outils moléculaires au séquençage ont permis de caractériser un certain nombre de germes : connaître les souches circulantes de différents micro-organismes au Maroc, remonter leur phylogénie, comparer leur évolution, connaître leur dynamique sur le territoire, leur transmission dans des communautés spécifiques couvrant plusieurs fléaux VIH, influenza, rougeole, rubéole, poliomyélite, etc. Plus récemment pour comprendre les interactions anticipées sur des interactions moléculaires.

De mon côté, en 2009, j'ai eu l'occasion de présenter des travaux sur l'identification d'un certain nombre de peptides de *Mycobacterium Tuberculosis* sur la base de l'immunogénétique reverse :

- appropriation pour aspects anticipation risques et réémergence ou de maintien de certaines pathologies comme la malaria qui a été éliminé du Maroc, ou la tuberculose qui constitue encore un réel problème de santé publique
- analyse et compréhension de l'interaction des variables régissant ou intervenant dans le déterminisme de ces pathologies, que les variables soient liées à l'hôte, aux parasites ou à l'environnement,

Pr. Driss OUAZAR (CSTETM)

Toutes les méthodes numériques (différences finies, éléments finies, volumes finis, sans maillage) pour la résolution des équations aux dérivées partielles régissant les phénomènes, transforment le continuum en une série de points discrets, d'éléments ou de volumes, et aboutissent à un système algébrique linéaire ou non linéaire en fonction de la complexité du système. Du calcul intensif peut être exigé, en fonction de la taille des problèmes, des versions parallèles ou vectorielles sont développées, et on arrive à faire ces calculs sans problèmes comme montré par nos collègues qui ont parlé d'applications de la météorologie (Pr. Blayo), de l'environnement (Pr. Seaid), industrielles (Pr. Benkhaldoun).

Actuellement beaucoup de recherches sont conduites pour le développement de méthodes sans maillage qui libèrent l'utilisateur des aspects maillage et maillage adaptatif, qui sont fort consommatrices de temps; et qui conduisent à des systèmes matriciels mal conditionnés dont les traitements sont en plein essor.

Pr. Noureddine EL AOUI (CESDE)

Je n'ai pas de questions précises mais plutôt des observations générales qui s'adressent peut-être aux organisateurs de cette partie de la session plénière. Ce que j'ai entendu depuis ce matin ce sont des aspects liés aux méthodes quantitatives du point de vue instrumental en termes d'applications de la modélisation. J'aurais

voulu des interventions sur le statut épistémologique de la modélisation. En sciences économiques, la modélisation est définie comme une simplification élégante de la réalité. Les économistes se posent beaucoup de questions sur les limites de la modélisation, sur la relation entre une complexification de la réalité avec des évolutions de plus en plus stochastiques et incertaines, et la capacité des modèles à capturer ces évolutions erratiques; je pense au monde de la finance qui a provoqué les crises qu'on connaît. J'aurais voulu écouter quelque chose qui serait de l'ordre d'un questionnement épistémologique de la modélisation. Merci.

Pr. Tijani BOUNAHMIDI (CITIT)

Je voudrais féliciter le comité d'organisation qui a donné l'opportunité de travailler sur une thématique différente des précédentes car intégratrice plutôt que disciplinaire; mise à part la session sur l'énergie, discipline socio-économique. Les potentialités de la multidisciplinarité intégrées permettent une autre conceptualisation des choses et l'innovation. Les présentations mettent l'accent sur l'aspect mathématique des choses. Pr. Bousmina a précisé la limitation de cette tendance. Pr. El Aoufi a signalé les dangers et la limitation, les fonds et sous bassement des modèles qui peuvent conduire à une catastrophe.

Je voudrais parler des aspects formation et recherche, comme souligné par Pr. Rajae El Aouad. Les systèmes mis à la disposition des spécialistes sont développés par des spécialistes des mathématiques ou par des spécialistes de champs disciplinaires. Dans ce dernier cas, on voit qu'il y a des retards au niveau des applications des nouvelles méthodes numériques, etc... En fait, il y a des domaines qui nécessitent beaucoup de savoir, mais on n'est pas arrivé à former des gens qui combinent et qui couplent les disciplines de base scientifiques et les utilisations numériques, informatiques, etc... Moi je crois qu'il y a une lacune à ce niveau-là.

En tant que spécialiste des génies des procédés et de la simulation, je peux témoigner que dans les contrôles de procédés: 3 boucles sur 10 fonctionnent en automatique, les autres fonctionnent en manuel parce qu'il n'y a pas de transfert de savoir entre spécialistes de domaines. Il faut former des profils qui allient des compétences en informatique, modélisation, simulation et génie des procédés. Le cas du génie des procédés à MIT par le Pr. Stephanopoulos qui a développé la modélisation, la simulation et le contrôle, est important à signaler.

A l'échelle de l'université, pour la recherche, il n'y a pas ou très peu de collaboration entre mathématiciens et spécialistes thématiques. Dès qu'on leur donne l'information expérimentale, ils font cavaliers seuls (publications).

Le producteur de l'information expérimentale ne continue pas à collaborer. La collaboration avec les sociétés est meilleure pour produire des produits intégrant les nouveautés dans divers domaines. Dans les usines, les ordinateurs sont utilisés à 90% de cas pour faire ce que faisaient les anciens outils et on n'utilise que 5% de l'information.

S'il n'y a pas de collaboration disciplinaire, on ne peut pas rêver de développer des belles applications comme celles mentionnées par le Pr. Ghallab telles simuler l'être humain, le

diagnostic de manière automatique à distance, etc. moyennant des modèles. Pour donc la problématique formation-recherche : quelle stratégie?

Pr. Gerald FULLER (CSPC)

C'est intéressant d'avoir signalé l'aspect modélisation de systèmes financiers. Nous formons nos PhD en cinq ans en génie chimique et ils sont très bons en modélisation informatique. Ils travaillent partout à Wall Street et dans les banques. Les résultats parlent d'eux-mêmes. Le couplage d'une formation appropriée en modélisation mais avec les théories associées à diverses disciplines spécifiques est extrêmement important. Ils peuvent modéliser n'importe quoi; leur seule lacune est l'économie. D'autre part, des avancées importantes ont été constatées dans certains domaines tels que la mécanique des fluides, le design catalytique et autres.

Pr. Abdeslam HOUMMADA (Université Ain Chock, Casablanca, Maroc)

Une bonne simulation se base sur une bonne théorie, une bonne base de données et un bon programme. On ne peut pas faire de simulation à partir d'un modèle, le modèle se base sur une théorie. La validation de la simulation doit être faite correctement. Les données ne doivent pas être locales; le concept de grille de calcul peut servir comme facilitateur.

En médecine pour les maladies pulmonaires, les cancers et autres on intègre les grilles pour voir les thérapies et médicaments adéquats pour une personne. Le partage des données des autres est donc important. La simulation ne peut jamais remplacer l'expérience ni remplacer la théorie; c'est juste un outil pour accélérer les choses. Les grilles sont utilisées dans l'ordre en premier par les hautes énergies, la cosmologie et l'astrophysique, suivies par les génomes, la chimie théorique et les matériaux.

La deuxième chose c'est les cursus : le traitement statistique des données comme le calcul de valeurs moyennes, calcul d'erreurs, degrés de confiance. C'est ce qui permet d'avoir une bonne simulation que je définie comme «prêcher le faux pour avoir le vrai». Un événement de simulation est un événement qui est faux, mais on a accès à la valeur moyenne statistiquement qui est plus ou moins juste avec un certain degré de confiance. C'est comme en mécanique quantique, l'événement seul ne veut rien dire mais la valeur moyenne a un sens physique.

Pr. Mostapha BOUSMINA (Chancelier, CSPC)

Je ne dirais pas que les modèles numériques ne sont pas nécessaires ou ne peuvent rien prédire, ou bien rien ne pourrait remplacer l'expérience. L'expérience sur ordinateur est parfois une vraie expérience. Dans certains champs disciplinaires par exemple le parechoc voiture technologie bien maîtrisée est un cas précis où tout est fait sur ordinateur avant de le fabriquer en tenant compte des propriétés des matériaux et de leur écoulement. Après, tout est testé sur ordinateur. Ceci est un cas optimiste. Il y a beaucoup de cas où la simulation numérique n'est pas encore capable de prédire ni même parfois de décrire.

Un collègue a parlé de la Météorologie, un des cas les plus compliqués et complexes. Les prédictions sont essentiellement à grande échelle, sinon on n'aurait pas eu des tsunamis ou des catastrophes naturelles car les prédictions ne sont pas maîtrisées. Dans le domaine des matériaux, Pr. Fuller a cité les problèmes inverses comme pas possibles même dans

le calcul direct en partant de la structure chimique pour dégager des propriétés pour les molécules simples.

Pr. Benkhaldoun a parlé de développements très importants des techniques adaptatives auto-consistantes. Pr. Blayo a relaté des techniques de gradient pour vérifier la précision des techniques J'aimerais avoir plus pour faire des modélisations, type éléments finis (lattice de Boltzman). J'aimerais entendre les évolutions récentes dans ce domaine, où est-ce qu'on en est, quels sont les défis à part les aspects algorithmiques d'amélioration de la précision ou de l'efficacité pour surmonter les incertitudes.

Membre de l'audience

J'ai été très excité par les conférences que j'ai écoutées. Pour moi c'est clair que la simulation, biologique ou non biologique, est le futur en travaillant avec les modèles expérimentaux. Ce que je n'ai pas relevé dans ces présentations concerne les valeurs prédictives dans les simulations des systèmes biologiques. On a besoin d'avoir un certain degré de confiance (3 déviations standards) et comment le mesurer dans les protocoles de simulation, notamment les statistiques associées (écart type) et les tests de confiance.

Pr. Abdelmalek AZIZI (CSMI)

Je veux juste donner des informations historiques concernant les travaux de certains marocains en calcul et en ingénierie numériques. À partir du 10^{ème} siècle et jusqu'au 14^{ème} siècle, les marocains ont connu un grand développement de la recherche en algèbre et en combinatoire. Vers le 11^{ème}-12^{ème} siècles il y avait un grand mathématicien qui s'appelait Ibn Moneim et après lui il y avait Ibn El Benna. Les deux mathématiciens avaient écrit des livres en algèbre et en combinatoire qui décrivaient des problèmes de calcul appliqués à plusieurs domaines. Je donne comme exemple appliqué de problème résolu par Ibn El Benna, quelqu'un n'a pas fait ses prières pendant 10 années et qui avait voulu les rattraper. Ibn El Benna avait fait le calcul nécessaire de prières que cette personne devait effectuer. Pour faire cela, Ibn El Benna avait développé plusieurs analyses en combinatoire. Parmi ses résultats d'analyses combinatoires, on trouve le triangle de Pascal avant le 14^{ème} siècle? Pascal lui-même a fait sa première calculatrice grâce à ces théories.

En Ingénierie numérique, Roudani astronome marocain du 17^{ème} siècle avait fabriqué un appareil de calcul astronomique.

Je passe de l'histoire à une autre question. En physique, on trouve plusieurs théories qui sont non Abéliennes. Le côté Abélien ou non Abélien est très présent en physique. J'aimerais voir comment les physiciens traitent les problèmes non Abéliens ou bien est-ce qu'ils se projettent ces problèmes en calcul ou pas? Merci.

Pr. Driss OUAZAR (CSTETM)

Je voudrais répondre au Pr. El Aoufi concernant la modélisation et ses dérivées. La modélisation est une approximation de la réalité, c'est une abstraction ou un modèle simplifié pour essayer de reproduire la vérité. Un modèle peut partir de l'empirisme ou de concepts physiques. Pour les finances, il y a les modèles empiriques et l'équation de diffusion. La résolution de l'équation de diffusion nécessite des paramètres à estimer

ayant besoin de connaissances thématiques et du mouvement financier. Un mathématicien à lui seul ne pourrait le faire sans une étroite collaboration avec les financiers.

Pour répondre au Pr. Bousmina, comme on dit en modélisation «garbage in-garbage out», si on n'a pas les bons paramètres et de bonnes données, on n'a rien du tout, qu'est-ce qu'on peut faire? Maintenant on sait résoudre tous les modèles déterministes basés sur les équations aux dérivées partielles sont relativement bien connus et beaucoup de modèles du domaine public sont disponibles gratuitement. L'aspect stochastique est loin d'être résolu. La tendance maintenant est la stochastique. La mode c'est d'essayer de tenir compte des incertitudes ce qui implique beaucoup de calcul intensif. On essaie aussi de dépasser la composante «calcul» en introduisant les modèles à base de connaissances, le Pr. Ghallab est mieux placé que moi pour parler de ces systèmes dits intelligents.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Je voudrais juste m'assurer que les orateurs ont positionné leurs présentations. Je sais qu'ils vont se joindre à nous sauf une personne qui aura la possibilité de le faire un peu plus tard.

Je voudrais appeler le premier conférencier : Jean-Christophe Yoccoz, invité spécial de la session plénière, qui est membre de l'Académie des Sciences (France) et professeur au Collège de France. Vous avez 35 mn.

**MÉTHODES ET OUTILS DES
SCIENCES ET INGÉNIERIE NUMÉRIQUES**

SYSTÈMES DYNAMIQUES

Pr. Jean Christophe YOCCOZ

*Invité spécial de la session plénière solennelle 2012,
Ecole normale supérieure, Paris,
Membre de l'Académie des Sciences (France)
Professeur au Collège de France*



Systèmes dynamiques

Un système dynamique est constitué

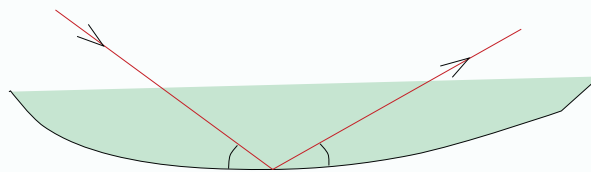
- ▶ d'un *espace des phases* X représentant l'ensemble des états possibles du système considéré;
- ▶ d'une *loi d'évolution* décrivant le changement infinitésimal (temps continu) ou à court terme (temps discret) de l'état du système.

Le but de la théorie est de comprendre l'évolution **à long terme** du système, en particulier ses propriétés **statistiques et asymptotiques**.

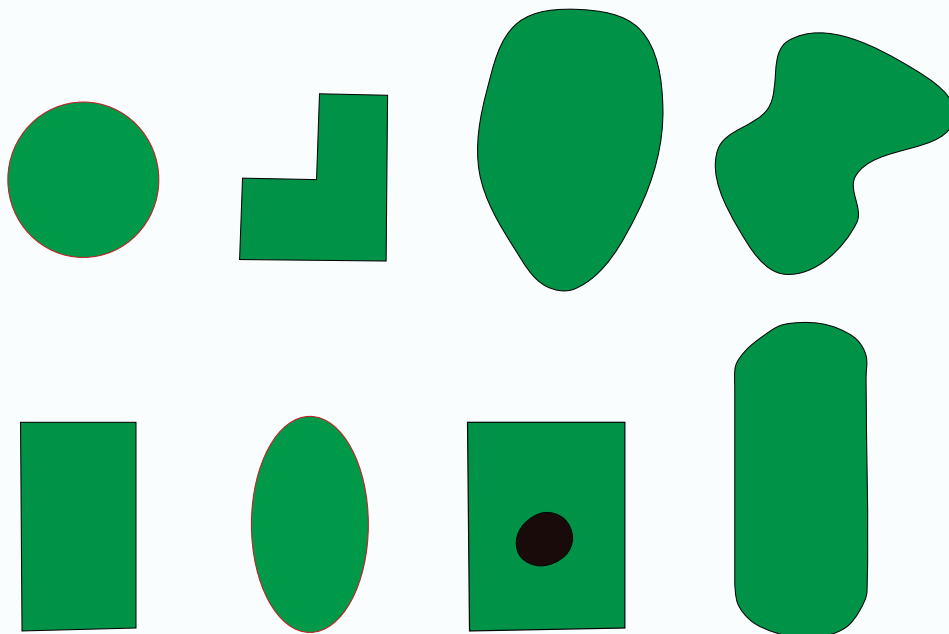
Billards planaires

Dans un ouvert connexe borné U de $\mathbb{R}^2$, dont le bord ∂U est lisse par morceaux, un point matériel se déplace à vitesse constante en rebondissant élastiquement sur le bord:

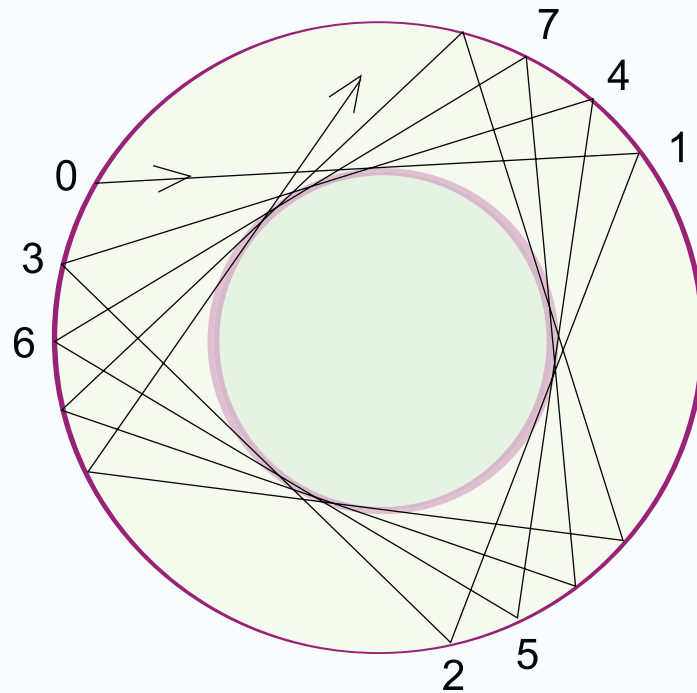
l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.



Quelques tables intéressantes



La table la plus simple



Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

Dynamique régulière (quasipériodique) dans un billard circulaire

‘ L’angle d’incidence θ des rebonds successifs reste le même; chaque trajectoire reste tangente à un cercle concentrique au bord de la table. Donc l’espace des phases (cylindrique) est feuilleté en cercles invariants par la dynamique.

Sur le cercle correspondant à un angle d’incidence θ , la transformation décrivant la loi d’évolution est

$$x \mapsto x + \frac{\theta}{\pi} \mod \mathbb{Z}$$

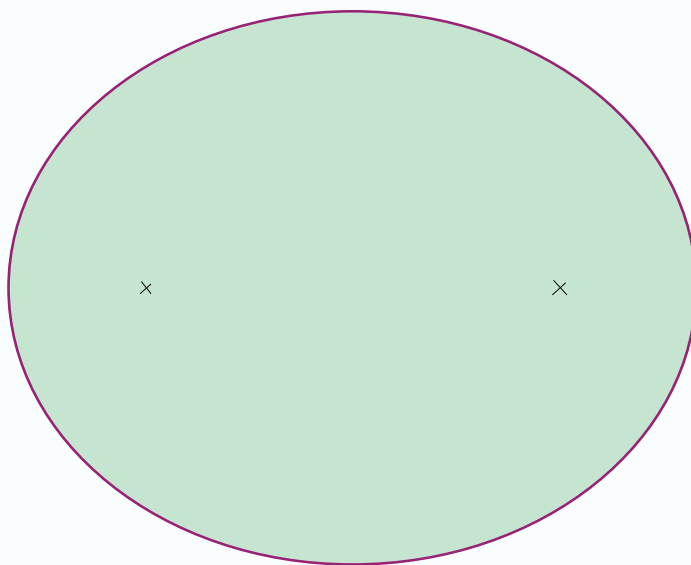
Pour les cercles de l’espace des phases correspondant à un angle d’incidence $\theta = \pi \frac{p}{q}$ commensurable à π , toutes les trajectoires sont fermées et se répètent avec période q .

Par contre, sur les cercles de l’espace des phases correspondant à un angle d’incidence θ non commensurable à π , les trajectoires sont denses et même équiréparties: la proportion des rebonds qui se situent dans un arc A du bord tend vers la longueur (relative) de A .

Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

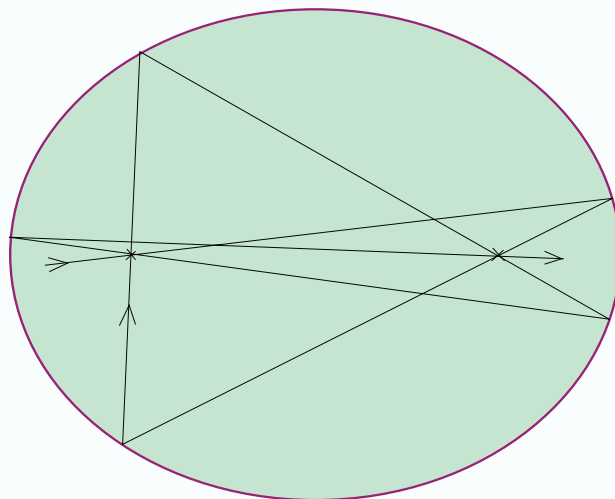
Une table elliptique et ses foyers



Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

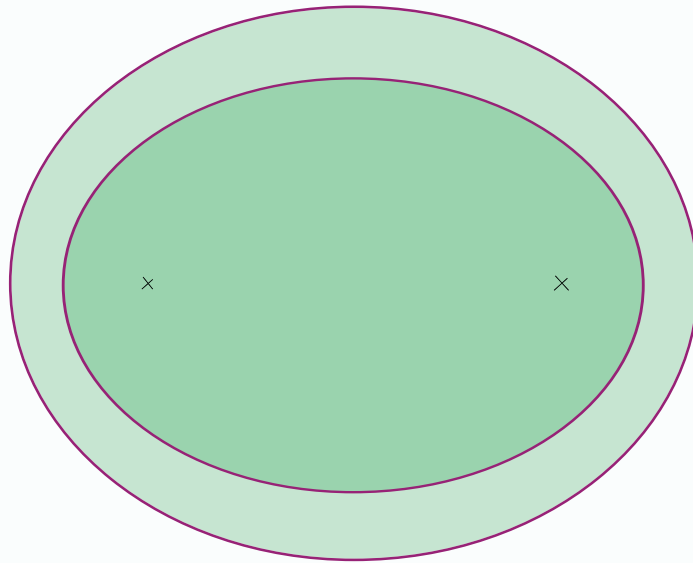
Trajectoires passant par les foyers



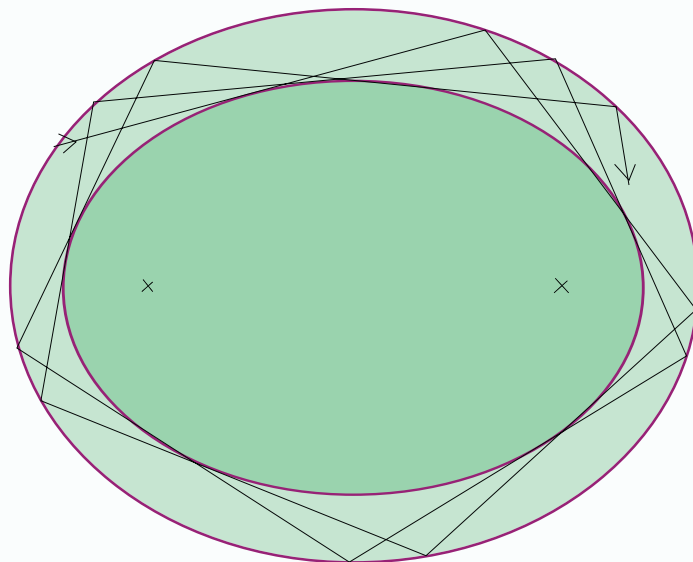
Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

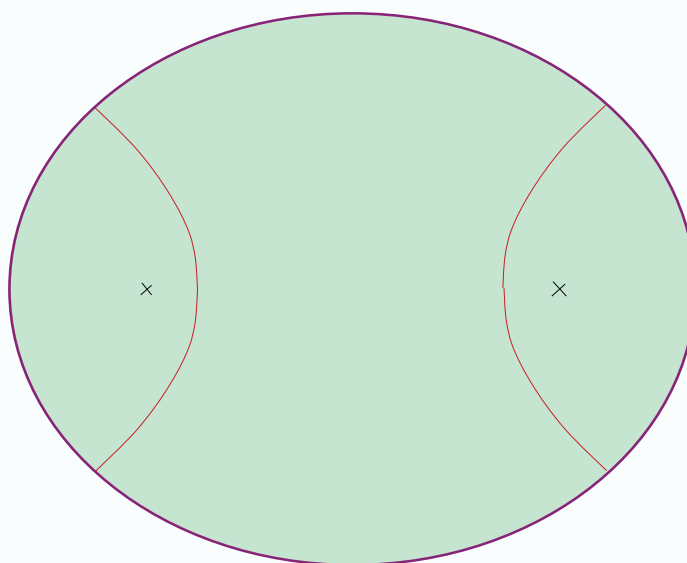
Une ellipse homofocale



Les ellipses homofocales sont des caustiques



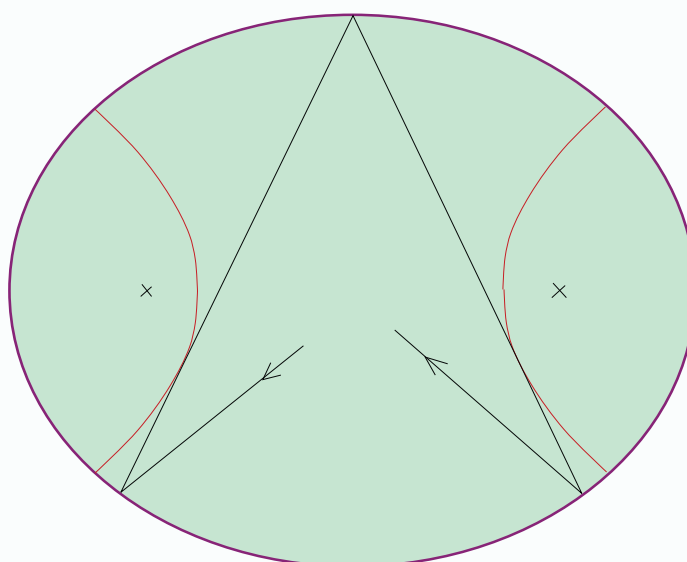
Une hyperbole homofocale



Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

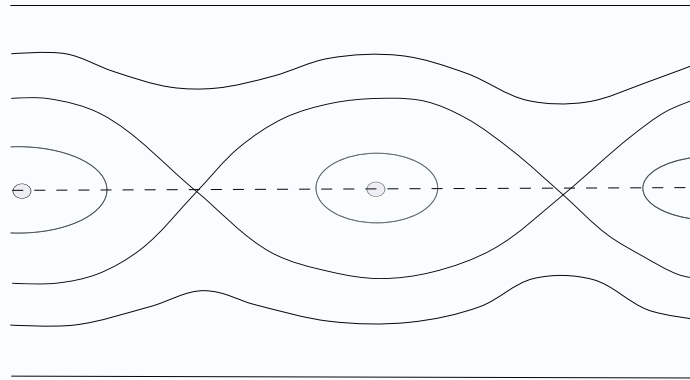
Les hyperboles homofocales sont aussi des caustiques



Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

L'espace des phases du billard elliptique



Une conjecture de Birkhoff

Dans une table elliptique, toutes les trajectoires suffisamment rasantes (ne passant pas par ou entre les foyers) restent tangentes à une *caustique* (en l'occurrence une ellipse homofocale).

De façon équivalente, les extrémités de l'espace des phases cylindrique sont feuilletées par une famille de courbes invariantes sous l'action de la dynamique.

Birkhoff a conjecturé que les tables elliptiques étaient les **seules** tables strictement convexes (à bord lisse) possédant cette propriété!



Une propriété remarquable des tables strictement convexes à bord lisse

Si le bord est suffisamment lisse (au moins C^6), et si sa courbure est partout strictement positive, alors il existe une famille de caustiques s'accumulant sur le bord.

Chaque caustique correspond dans l'espace des phases à une courbe invariante sur laquelle la dynamique s'exprime comme une rotation $x \mapsto x + \alpha$ dans une coordonnée x appropriée.

La probabilité qu'un point tiré au hasard sur la table se trouve sur une caustique tend vers 1 à mesure qu'on se rapproche du bord!
La même propriété a lieu dans l'espace des phases.

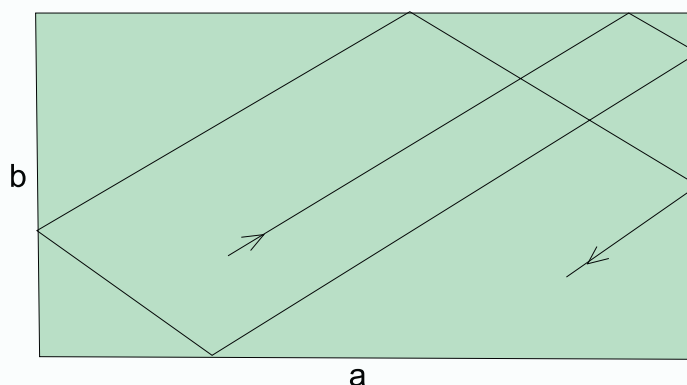
Kolmogorov, Arnold, Moser (théorie KAM) , Lazutkin, R.Douady.

Navigation icons: back, forward, search, etc.

Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

Une table rectangulaire..

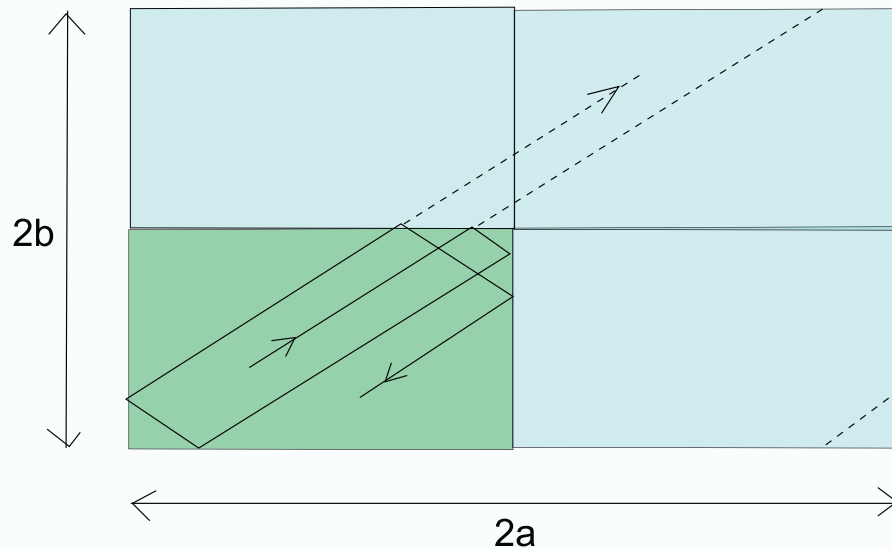


Navigation icons: back, forward, search, etc.

Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

..et son déploiement



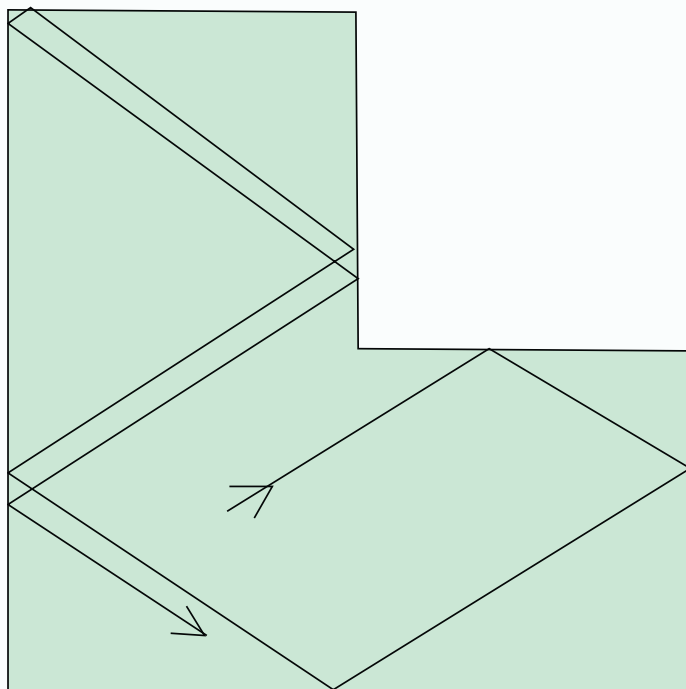
Dynamique régulière dans une table rectangulaire

Les trajectoires du billard pour la table rectangulaire correspondent aux trajectoires **rectilignes** sur le tore $\mathbb{R}/2a\mathbb{Z} \times \mathbb{R}/2b\mathbb{Z}$.

On a essentiellement la même discussion que pour la table circulaire:

- ▶ Si la pente de la trajectoire est commensurable à $\frac{b}{a}$, la trajectoire est fermée et se répète périodiquement; c'est le cas en particulier des trajectoires horizontales et verticales.
- ▶ Autrement, les trajectoires, vues dans $\mathbb{R}/2a\mathbb{Z} \times \mathbb{R}/2b\mathbb{Z}$, sont denses et équiréparties: la proportion du temps passé dans une région A de $\mathbb{R}/2a\mathbb{Z} \times \mathbb{R}/2b\mathbb{Z}$ tend vers l'aire (relative) $\frac{|A|}{4ab}$ de A .

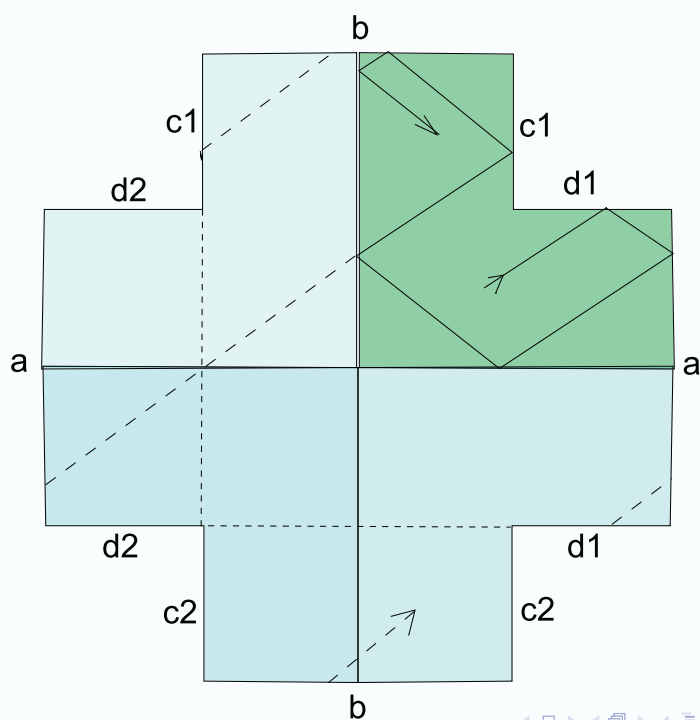
Une table plus exotique



Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

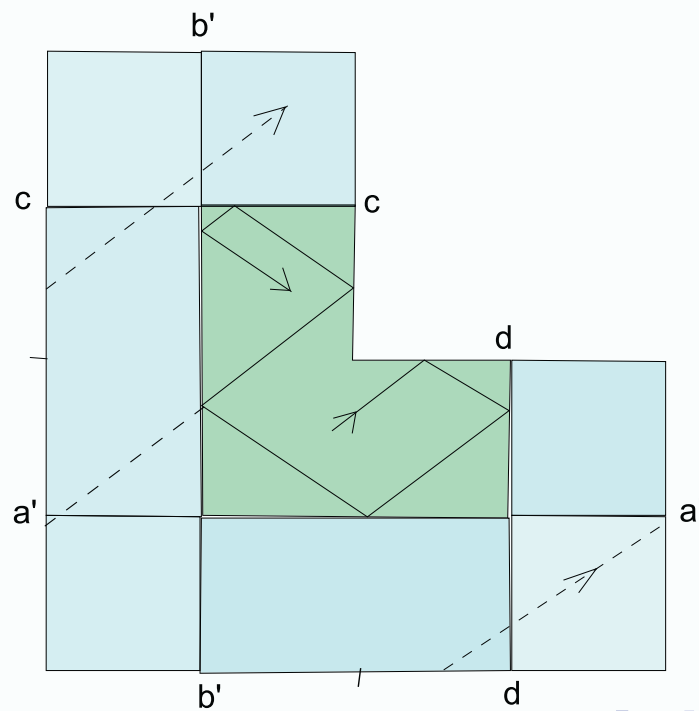
Son déploiement



Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

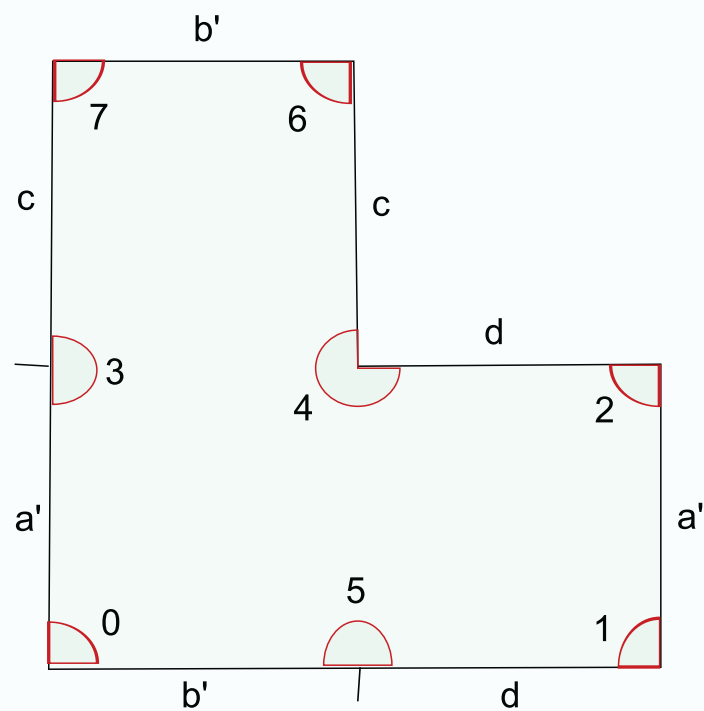
Une autre version



Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

Le point spécial de la surface déployée



Jean-Christophe Yoccoz Collège de France

Billards

Dynamique du billard en L

Lorsque la pente de la direction initiale est rationnelle (y compris $0 = \frac{0}{1}$ et $\infty = \frac{1}{0}$), la trajectoire est fermée et se répète périodiquement. Autrement, la trajectoire est dense et équirépartie.

Soit S un segment vertical contenu dans la table. Notons $N_S(x, \theta, T)$ le nombre de fois que la trajectoire de longueur T issue de x dans la direction θ rencontre S **dans la direction** θ .

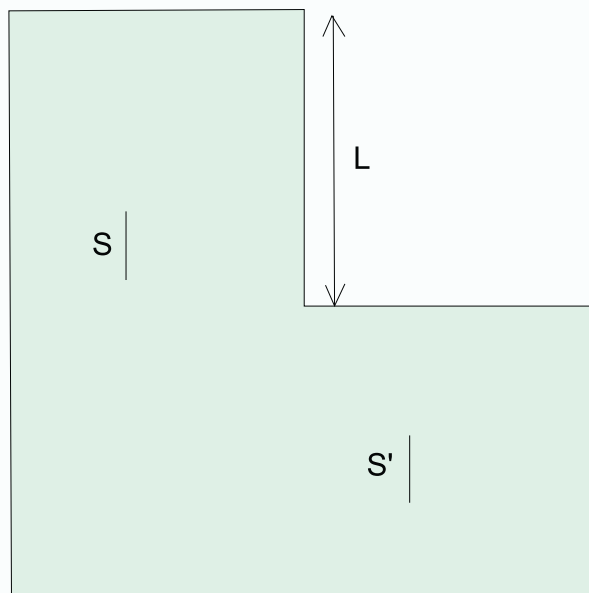
L'équirépartition signifie que, lorsque la tangente de θ est irrationnelle, on a

$$\lim_{T \rightarrow +\infty} \frac{1}{T} N_S(x, \theta, T) = \cos \theta \frac{|S|}{3L}.$$

où $\frac{L}{2}$ est la longueur des côtés des 3 carrés constituant la table.

Navigation icons

Déviations de l'équirépartition



Considérons deux segments verticaux S, S' de même longueur.

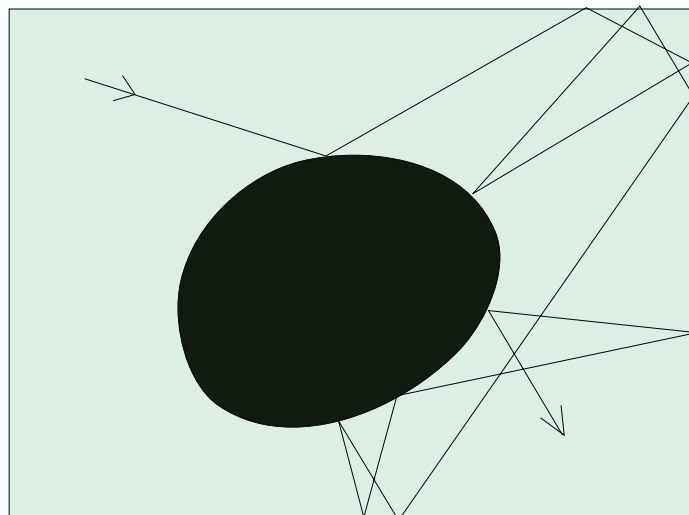
Navigation icons

Pour n'importe quelle position initiale x et une direction initiale θ choisie au hasard, l'ordre de grandeur **maximal** de $|N_S(x, \theta, T) - N_{S'}(x, \theta, T)|$ (lorsque T devient grand) est $T^{\frac{1}{3}}$.
(Zorich, Kontsevich, Forni, Bainbridge)

Dans le cas d'une table rectangulaire, $|N_S(x, \theta, T) - N_{S'}(x, \theta, T)|$ est au contraire dominé par n'importe quelle puissance positive de T .



Un billard dispersif



Déjà, en 1843..

"... Car, relativement à la dernière partie de la supposition, on doit considérer que la plus légère variation dans les éléments des deux problèmes pourrait engendrer les plus graves erreurs de calcul, en faisant diverger absolument les deux courants d'évènements; à peu près de la même manière qu'en arithmétique une erreur qui, prise individuellement, peut être inappréciable, produit à la longue, par la force accumulative de la multiplication, un résultat effroyablement distant de la vérité ..."

Edgar Allan Poe
The mystery of Marie Roget, 1843
Trad. Charles Baudelaire, 1864.

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Yoccoz. Maintenant que nos membres de l'Académie sont au complet, je voudrais saisir l'occasion de vous remercier au nom de l'Académie d'avoir bien voulu répondre à l'invitation spéciale pour notre session plénière. Nous sommes très honorés de votre présence et je suis persuadée que votre conférence devra susciter un intérêt auprès des membres opérant dans votre champ de compétences. La parole est à la salle pour trois questions

Pr. Driss ABOUTAJDINE (CSMI)

Merci pour cet exposé très intéressant et brillant. J'ai une question très simple. Vous avez parlé de systèmes chaotiques, et ils sont effectivement connus par un comportement qui semble être stochastique mais ils sont entièrement déterminés par les valeurs initiales. Est-ce que c'est le cas?

Pr. Jean-Christophe YOCCOZ (Académie des Sciences de France)

Oui, absolument, c'est exactement la situation où j'ai insisté qu'elle est parfaitement déterministe mais dont les propriétés statistiques, c'est-à-dire si on fait la moyenne observable au cours du temps, on observe exactement les mêmes essentiellement indistinguables d'un tirage pile ou face répété. On a deux classes extrêmes du système. J'ai un peu peut-être insisté sur les cas du billard circulaire ou du billard rectangulaire. Ceux-là sont extrêmement réguliers et tout-à fait à l'autre extrémité il y a ces billards dispersifs, dont j'ai brièvement parlé à la fin, qui offrent cet aspect d'apparence stochastique pour un système déterministe.

La difficulté est de comprendre les billards intermédiaires parce qu'on s'attend dans le cas d'un billard strictement convexe mais qui n'est pas elliptique à avoir une part de comportement régulier, certaines trajectoires vont présenter un aspect parfaitement régulier mais avec probabilité positive, mais on s'attend aussi une autre probabilité complémentaire toujours positive à avoir apparaître des phénomènes stochastiques.

Le grand défi qui n'a pas du tout encore de réponse, qui demeure une question ouverte, c'est de comprendre cette coexistence dans le même système avec les mêmes tables entre certaines trajectoires régulières et certaines trajectoires stochastiques.

Pr. Driss ABOUTAJDINE (CSMI)

Un petit complément de la question. Je sais que les phénomènes chaotiques trouvent des applications dans l'accès multi-utilisateurs dans les communications mobiles. Est-ce qu'il y a des possibilités d'application de ce que vous avez présenté?

Pr. Jean-Christophe YOCCOZ (Académie des Sciences de France)

Je crois qu'il faut voir les billards, de par l'aspect géométrique, comme ayant un accès assez facile. Les méthodes qu'on développe pour attaquer les billards et les résultats obtenus ouvrent la voie à de nouvelles méthodes qu'on va appliquer sur d'autres systèmes qui n'ont rien à voir avec les billards généraux, ensuite ça peut avoir des applications.

Pr. Malik GHALLAB (CSMI)

J'aimerais savoir si on multiplie ce système sous l'angle de la théorie des jeux, au sens de trajectoires finies et au sens d'une certaine fonction de gain, et le coût du joueur A peut donner une configuration au joueur qui le suit.

Pr. Jean-Christophe YOCCOZ (Académie des Sciences de France)

Non, ne serait-ce que parce que nos billards n'ont pas de frictions, les boules ne s'arrêtent jamais.

Pr. Mostapha BOUSMINA (Chancelier)

Je voudrais me joindre à la Directrice des Séances pour vous remercier d'avoir accepté notre invitation à titre d'invité spécial et nous sommes extrêmement honorés. Votre brillante présentation nous avait montré des exemples éloquents ayant à la fois des applications en optique, mécaniques ou ayant trait à la propagation du son. Tous les exemples que vous avez illustrés sont de deux dimensions.

J'aimerais vous poser la question si je prends le cas de l'ellipse, je prends un cas simple un ellipsoïde de révolution ou bien une taure, et là on tombe sur la situation de deux ellipses imbriquées, cette fois-ci qu'est-ce qui se passe dans la deuxième dimension?

Pr. Jean-Christophe YOCCOZ (Académie des Sciences de France)

Vous avez absolument raison, on peut faire des billards de plus grandes dimensions, et on ne s'est pas privé de le faire. Sur les ellipsoïdes, un ellipsoïde se comporte absolument basiquement comme un ellipse. Là il y a une généralisation des résultats classiques que j'ai présentés sur les ellipses pour les ellipsoïdes en grandes dimensions. Par contre certains phénomènes, par exemple dans les cas des caustiques

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci encore une fois, merci d'avoir respecté le temps et je voudrais le prochain conférencier. I am calling on Pr. John O'Reilly (University of Cranfield, UK) who, besides being a member of the Royal Academy in UK, is a member of our Academy. You have 35 minutes.

ICT - A KEY TRANSFORMATIONAL INTERDISCIPLINARY ENABLER FOR SCIENCE AND INNOVATION

Pr. Sir John O'REILLY
DSc, FREng

Vice-Chancellor, Cranfield University, UK



We start with an observation: “Real world problems do not respect the traditional boundaries of established academic disciplines”.

This underscores the importance of multidisciplinary teams working together on so many of the more complex issues and challenges that inherently require an interdisciplinary approach. In this context ICT occupies a particular position of prominence. In addition to being an important discipline in its own right, with its own ‘research frontiers’ to be addressed, it is also crucial to success for so much of the rest of science/engineering and for innovation more generally.

Experience shows that there is great benefit to be obtained from ICT frontier researchers being truly and intimately engaged in these multidisciplinary teams. Further, it is a two-way street. Not only does advanced ICT contribute to addressing the challenge at hand, the task itself often casts new light on fundamental research challenges in ICT: a truly win-win situation. In this talk a number of individual interdisciplinary research case studies will be used to illustrate this argument, supporting the assertion that ICT is a key transformational interdisciplinary enabler for science and engineering.

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Thank you Pr. O'Reilly for this stimulating presentation. I will take three questions.

Member from the audience

Thank you very much for this brilliant presentation which is really illustrative and very informative. I just have one comment and a question.

First of all, we will not be here if the cost of storing information was not been reduced to the point that storing somebody's phone communications main data will only cost 17 cents for all his life. Now, we are here because of the technology. What would happen if the challenge we are facing right now (doing computing) is not reduced? What are your expectations and perspectives of how the size is going to turn?

Pr. John O'REILLY (University of Cranfield, UK)

First of all I thank you for the observation, I think it's absolutely right; we heard yesterday mentioned More's Law has enabled us to improve the power of processing. That is primarily the power of computing itself. I would agree with you that is at least as important, arguably more so, is the density of data storage and as consequence the reducing cost of that. You probably know we talked of the end of Morse Law for some decades. More's Law is not of itself a physical law. Gordon More made simply the observations and it remained true for so many decades to his surprise and to others. What we do see is that it's no longer a matter of thinking in one direction for computing and for microelectronics. It's not always about of how do I get the fastest or the most powerful, again as I alluded it can be, but how do I get the cheapest and for some applications, using organics rather than silicone a way forward there. Many will see the graphène as the new frontier. I will say to you I think the future will be more diverse with more approaches to electronics it has been silicone and then silicone was the answer, and I am positively optimistic about the future in that respect.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

J'ai une question du Pr. Malik Ghallab.

Pr. Malik GHALLAB (CSMI)

How do you promote interdisciplinary activities at your university? What kind of advice would you address to Moroccan universities?

Pr. John O'REILLY (University of Cranfield, UK)

I will tell you the answer to the first part and I think you will have to yourself say and how do we address this locally.

Cranfield is a very different university; it's very small and has less than 3.000 students. It doesn't do lots and lots of different things; it focuses on small number of things. Most significantly, it has no undergraduate students. That gives us a certain freedom because it is not part of our mission to develop the individual discipline. Everyone who comes to Cranfield is already professionally qualified in their core discipline. Therefore, we

can afford to look at the real world challenges and put them to work straight away in interdisciplinary teams. So we have lots of physicists but no department of physics, lots of chemists but no department of chemistry. Rather, we focus on the areas where we expect to make a contribution such as aerospace, environment, energy, automotive and so on. That is how we do it, but in a university that has to develop a core discipline cannot of course have freedom. It seems to me that one should ask at the post-graduate level how do we want to do things.

Member from the audience

I take my question along the same line as you previously presented the forefront of computing as applied to practical news. I would like to comment on how to bridge the gap between the North and the South, the West and the East so that accessibility to this technology is there.

Pr. John O'REILLY (University of Cranfield, UK)

There is no such thing as national science. Science belongs to the whole world and we have the ability today to work together much more intimately around the world than ever was the case before. So my view is that the international networks for research and indeed in education for learning are more important today than ever before for the reasons that we have been discussing and I would be very keen to foster further international collaboration, much further than it has to be away forward.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Thank again Pr. O'Reilley.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci chers collègues de vous être joints à la continuité de notre session. Je voudrais tout d'abord, avant de commencer, donner la parole au Pr. François Guinot, représentant l'Académie des Technologies de France pour un petit mot.

ALLOCUTION DU PROFESSEUR FRANÇOIS GUINOT

Pr. François GUINOT

*Président Honoraire
Académie des Technologies de France*



Je redis merci Madame la présidente.

Monsieur le Secrétaire Perpétuel, Messieurs les académiciens et chers amis,

Nous avons signé hier dans un grand silence un accord de coopération entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Académie des Technologies de France. Nous ne dirions pas, Pr. Fassi-Fehri et moi, que vous pensiez que ce silence cachait des secrets inavouables dans cet accord. C'est pourquoi il m'invite à dire quelques mots ce matin.

Je voudrais d'abord dire que cet accord reflète l'amitié et le respect mutuel qui anime depuis toujours nos deux académies. Quand aux histoires un peu parallèles, puisqu'en mai 2006 Sa Majesté le Roi installait solennellement l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et qu'en avril 2006 le parlement français conférait à l'Académie des Technologies un nouveau statut qui faisait d'elle la plus jeune des grandes académies nationales.

Dès février 2007, j'étais ici avec sept membres de l'Académie des Technologies de France, participant à une réunion internationale sur les questions d'énergie dans le développement durable. En mars 2007, nous étions heureux d'accueillir le Pr. Omar Fassi-Fehri à la cérémonie par laquelle le premier ministre français nous installait dans nos nouveaux statuts et de nouveaux locaux au grand palais des Champs Élysées. C'est dire que nos relations sont plus anciennes, qu'elles sont nombreuses, et pourtant nous avons estimé qu'il fallait les structurer d'une manière un peu plus forte. Je remercie beaucoup le Pr. Omar Fassi-Fehri d'en avoir pris l'initiative; car, enfin, nos académies ne sont pas des clubs où les gens apprécient de se retrouver. Nos académies ont des missions de servir le pays et de contribuer au développement scientifique, c'est votre mission ici. Mission que nous traduisons chez nous par la devise, que j'ai faite adoptée en 2005, qui est «pour un progrès raisonné choisi et partagé». Mission qui doit nous mener à des

réflexions et à faire des propositions en toute indépendance, de tout intérêt particulier ou partisan, sans laquelle nous ne serions pas écoutés. Mais bien sûr, si ces propositions nous en sommes capables d'en faire des originales, il faut que nous nous intéressions à ce qu'elles soient mises en œuvre. Il faut au moins que nous catalysions la mise en œuvre par les opérateurs qui sont les mieux adaptés. Il y a déjà des thèmes de réflexion que nous pourrions conduire en commun.

Hier, Madame l'ambassadeur Bréchnignac évoquait le caractère universel de la science, bien sûr la science étant l'un des moyens de contribuer au progrès de l'humanité et de tendre vers cet idéal dans lequel chaque pays devrait pouvoir contribuer à enrichir le patrimoine mondial de la science. J'ai été très impressionné de voir hier dans ce magnifique projet ATLAS au sein du CERN la place que le Maroc s'était donné dans un vaste et si important projet, et dont on peut tirer ici une légitime fierté.

La technologie, c'est différent, c'est un ensemble cohérent de savoir théorique et pratique qui combine des techniques, des connaissances scientifiques et des savoir-faire pour produire des objets ou des effets d'une manière maîtrisée. Alors, voilà, on invente beaucoup. Il y a un grand foisonnement dans l'invention technologique, mais beaucoup d'inventions technologiques ne pénètrent jamais dans la société parce que pour qu'une invention devienne une innovation, il faut toute une construction socio-économique et culturelle qui fait que l'invention est adoptée et adaptée à une société donnée. Il y a un petit livre, il y a deux ans, qui s'appelait «l'extinction des technosaures» et qui montre bien combien d'inventions technologiques peuvent mourir sans jamais accéder au marché.

De ce foisonnement d'inventions, de cette diversité socio-économique et culturelle, il ressort une richesse considérable qui, pour être maîtrisée, nécessite qu'on la connaisse, qu'on la partage et qu'on la fasse partager. Et bien l'une des missions que nous avons et dont on comprend qu'elle sera dans notre accord est précisément cette connaissance et ce partage et cette volonté de faire partager.

Si vous me permettez une réflexion personnelle, j'étais au mois de juin à Marrakech à l'invitation du Président de l'Office Chérifien des Phosphates (OCP), Mr. Mostapha Terrab, et je voyais dans une société que je connaissais il y a déjà 20 ans des énormes progrès qui ont été faits et en particulier des innovations technologiques qui sont des premières mondiales réalisées ici au Maroc, parce qu'on a su connaître et apprécier des innovations venues d'ailleurs pour en faire de vraies innovations adaptées au Maroc. L'expérience de l'OCP, dans de nombreux domaines, est une leçon pour beaucoup d'entre nous. Je pourrais dire aussi combien le Maroc est en train de prendre des positions tout-à-fait intéressantes dans certains domaines de l'énergie solaire.

Nous voyions, il y a quelques semaines, ici à Rabat, dans une réunion du groupe inter-académique pour le développement des projets tout-à-fait intéressants dans le domaine de l'eau ou de l'assainissement, je pense au projet de Dayet Ifrah de l'Université Al Akhawayn, du projet RALBI de l'Université d'El Jadida et tant d'autres. Oui, nous avons à apprendre les uns des autres entre le Maroc et la France, mais nous avons aussi à faire partager. De ce point de vue, je viens d'évoquer le Groupe Inter-académique pour le Développement qui a été formé en 2008 par André Capron de l'Académie des Sciences

de France avec l'Académie des Technologies de France, l'Académie de Médecine, l'Académie d'Agriculture, l'Académie des Sciences Morales et Politiques et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Albert Sasson étant d'ailleurs l'un des piliers de cette organisation. Déjà ce Groupe Inter-académique nous a vus travailler ensemble. En 2008, nous avons organisé à Rabat avec 13 pays africains une formation sur des problèmes d'énergies délocalisées. Il s'agissait de formation pendant plus d'une semaine d'un certain nombre de décideurs d'un certain niveau dans ces pays-là. Alors nous avons beaucoup à faire dans ce domaine.

Quand on voit se dessiner autour de l'Union Pour la Méditerranée (UPM) des projets qui devraient contribuer autour de ce bassin méditerranéen, qui connaît beaucoup de problèmes aujourd'hui et aussi beaucoup d'espoirs. Quand on voit tout ce qu'il y a à faire, je pense que le Maroc et la France ont un rôle à jouer dans cette Union Pour la Méditerranée, un rôle de locomotive et c'est aussi ce que dit notre accord. Je vois que le Maroc est un véritable pont, un pont naturel, qu'on recherchait entre l'Union Européenne et l'Afrique du Nord. Je vois le rayonnement du Maroc dans l'Afrique subsaharienne, je sais aussi le rôle que voudrait jouer la France dans cette Union Pour la Méditerranée. Je vois aussi que notre académie, qui organise le secrétariat général d'un groupement de 21 académies des technologies en Europe, peut apporter quelque chose et qu'ensemble nous pouvons faire beaucoup. Tous les pays du bassin méditerranéen ont ensemble un grand nombre de problèmes (problèmes d'agriculture, problèmes de nutrition, problèmes d'eau, problèmes d'assainissement, de santé et de tourisme). Il faut qu'ils sachent éclairer les choix de chacun de ces pays en fonction de leurs contraintes locales, en fonction de cette diversité de leurs situations.

C'est l'un de nos objectifs, c'est l'une de nos ambitions. Voilà, sans prendre plus de votre temps, ce que je souhaitais dire sur cet accord et je terminerai par là où j'ai commencé : ces accords n'ont un sens, n'ont de durée, n'ont de ciment véritable que dans l'amitié et le respect mutuel et je voudrais simplement dire à nos amis marocains combien cette amitié et ce respect leur aient profondément acquis.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Monsieur le Secrétaire Perpétuel.

Pr. Omar FASSI-FEHRI (Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques)

Merci Madame la Directrice des Séances. A mon tour je voudrais nous féliciter de l'accord que nous avons signé hier avec l'Académie des Technologies de France. Je pense que ce qu'après ce que nous venons d'entendre dans le discours prononcé par mon ami le Pr. François Guinot, je ne peux faire mieux. Donc, je partage tout-à-fait son opinion sur l'avenir des relations de coopération, non seulement entre nos deux institutions mais aussi entre nos deux pays. Je le remercie pour les appréciations hautement positives mais je pense aussi que le chemin qui nous reste à faire est encore très long. Nous avons encore à faire beaucoup d'efforts, non seulement pour être à niveau mais pour faire face à tous les problèmes auxquels font face notre peuple et notre pays.

En tous cas nous sommes décidés à développer cette coopération également dans le cadre d'un certain nombre d'organisations régionales les académies des pays de la Méditerranée. Encore une fois merci mon cher François et je vous félicite de l'accord que nous avons signé hier.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Chers collègues, avant de poursuivre nos travaux avec la thématique simulation et calcul de haute performance, je vais inviter le Pr. Arantes Olivera, Vice-Président de l'Académie des Sciences de Lisbonne à prononcer une allocution.

ALLOCUTION DU Professeur ARANTES OLIVERA

Pr. Arantes OLIVERA

*Vice-Président, Académie des Sciences de
Lisbonne, Portugal*



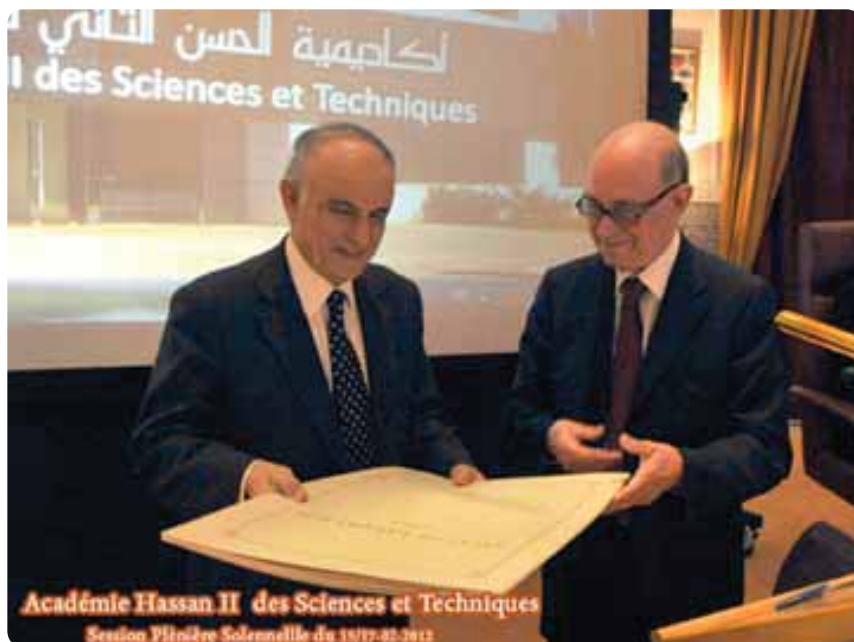
**Monsieur le Secrétaire Perpétuel,
Mesdames et Messieurs les académiciens,
Mesdames et Messieurs,**

En tant que membre de l'Académie du Royaume du Maroc, j'avais l'habitude de venir régulièrement, deux fois par an, dans ce beau pays si proche du mien au point de vue géographique et historique. C'était des opportunités d'assister pas uniquement aux séances mais visiter le pays et connaître son peuple. C'est pour moi un grand honneur, celui de venir une fois de plus. Je sentais la nostalgie du Maroc que j'ai eu aussi le bonheur de connaître. J'en suis ému.

Avant d'être membre de l'Académie du Royaume du Maroc, j'ai été membre de l'Académie Marine du Portugal, également six fois président de l'ancienne Académie Royale de Lisbonne. Je suis ravi de pouvoir venir ici pour vous apporter l'agrément de coopération entre nos deux académies, et je crois que ça sera un pas important vers une coopération très étroite et qui aura beaucoup de succès.

Les séances auxquelles j'ai assisté hier et aujourd'hui m'ont beaucoup frappé, elles m'ont donné une idée sur la haute qualité de l'Académie Hassan II, Hassan II qui m'a fait membre de l'Académie du Royaume du Maroc. Cette haute qualité, que j'ai remarquée dans cette académie, ne m'a pas du tout étonné mais elle m'a réjoui. Sa Majesté le Roi Feu Hassan II, que j'admire tant, fut son fondateur et on voit sa marque dans l'institution.

Permettez-moi, Monsieur Fassi-Fehri, de vous saluer avec le grand respect et de vous présenter ce document en guise de souvenir.



Pr. Omar FASSI-FEHRI (Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques)

Merci beaucoup pour ce souvenir, vraiment très précieux et historique, une reproduction de 1663. En tout cas, je voudrais également remercier le Pr. Olivera d'être présent ici avec nous et je voudrais également vous informer, comme il l'a signalé dans son allocution, que nous avons préparé durant les dernières semaines une convention de coopération entre nos deux académies. Elle doit être ratifiée par les deux institutions et je pense que ce sera le signal d'une coopération fructueuse entre nos deux institutions et nos deux pays qui sont d'ailleurs si proches non seulement géographiquement mais même sur le plan humain. Merci.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Chers collègues, nous poursuivons nos travaux sur la simulation et le calcul de haute performance par les interventions du Pr. Marc Parizeau et du Pr. Bruno Arnaldi. J'invite le Pr. Marc Parizeau de l'Université Laval au Canada pour nous parler du *Calcul de haute performance - défis et réalisations*. Vous avez 35 mn.

LE CALCUL SCIENTIFIQUE DE HAUTE PERFORMANCE : DÉFIS ET RÉALISATIONS

Pr. Marc PARIZEAU

*Laboratoire de vision et systèmes numériques
Université Laval. Québec, Canada*



Résumé

De plus en plus, dans tous les domaines de la recherche, tout particulièrement en sciences pures et appliquées, mais aussi dans un nombre croissant de secteurs des sciences humaines et sociales, sans oublier les sciences de la santé, les avancées scientifiques et technologiques dépendent de notre capacité à modéliser mathématiquement les phénomènes d'intérêt et à étudier numériquement leur comportement. Ces études nécessitent des supercalculateurs dont la puissance n'a d'égal que la complexité et la fragilité. Dans cette présentation, nous tenterons de dresser un portrait des réalisations récentes dans le monde du calcul scientifique de haute performance, mais aussi de ses nombreux défis. Plus particulièrement, nous insisterons sur les aspects logiciels et matériels qui nous touchent de plus près. Nous aborderons aussi la question épineuse de l'impact environnemental de ces infrastructures massives de calcul. Finalement, nous parlerons brièvement de l'expérience canadienne et sa «plateforme nationale».

Références

http://vision.gel.ulaval.ca/fr/people/Id_17/index.php

<http://www.clumeq.ca/>

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Parizeau de cette revue exhaustive de l'instrument qui nous permet de passer des mathématiques et des applications qui ont déployées hier au monde de l'industrie, au monde médical, etc. Ça a été très enrichissant. Je prends une seule question et j'invite les autres personnes à se joindre au Pr. Parizeau autour de la table du déjeuner.

Pr. Mohammed CHERKAoui (CSPC)

J'ai une petite question qui rentre dans le cadre de l'interdisciplinarité et qui va faire un peu le lien avec l'exposé précédent. C'est un problème auquel je me heurte puisqu'on est tributaire de tout ce qui est capacités de calcul. Aujourd'hui, on fait tout ce multi-scale modeling : le design des matériaux, du calcul atomistique, du calcul IB issue. Généralement, on programme tous ces calculs-là, on développe des logiciels et on les intègre dans des calculs. L'une des solutions que vous avez présentées dans votre exposé est le calcul parallèle, c'est la solution qui nous permet d'optimiser le CPU. En tant que computer scientist, comment vous pouvez aider les gens qui travaillent sur les matériaux ou en physique?

Pr. Marc PARIZEAU (Université Laval, Québec, Canada)

C'est une très bonne question. Ça passe par la formation et qui va la faire, et ça passe aussi par la constitution d'équipes de personnel hautement qualifié autour de ces ordinateurs. Je pense que dans l'avenir il faut qu'on forme des jeunes scientifiques à la programmation dans la mesure où ils aient des connaissances de base. Ensuite, il faut développer ce qui se fait dans de nombreux endroits, développer des équipes qui viennent en support aux chercheurs. Le calcul de haute performance est un instrument de recherche qui nécessite des techniciens compétents pour opérer les machines immensément complexes.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci beaucoup Pr. Parizeau. Nous passons au Pr. Arnaldi de l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes en France qui va nous entretenir des simulations complexes - interactions et explorations et réalités virtuelles. Vous avez 35 mn.

SIMULATION, EXPLORATION, INTERACTION AND VIRTUAL REALITY

Pr. Bruno ARNALDI

***INSA - Rennes
Deputy Director of IRISA UMR 6074, France***



The main motivation of this presentation is to describe new scientific results and the main characteristics and features needed to develop Virtual Reality applications. After a brief history of Virtual Reality, the talk begins by defining some essential concepts. Then, we describe the triadic scheme of VR composed of one or more users, interaction devices and computer(s) and the relationships between these components. We also focus on conceptual models for user interaction and industrial applications of VR.

This presentation also focuses on recent scientific results obtained in VR laboratories: collaboratives works for data exploration, haptic interaction, complex and real-time simulation of physical models, brain computer interaction.

We also describe our new VR high-end facilities Immersia3 (cf. Figure 2). This platform, with full visual and sound immersion, is dedicated to real-time, multimodal (vision, sound, haptic, BCI) and immersive interaction. The Immersia platform is a key node of the European transnational VISIONAIR Project and is open to the access of foreign researchers. Dimensions are 9.6 m wide, 2.9 m deep and 3.1 m high. The visual system combines 11 HD projectors. The ART localization system, constituted of 16 ART-track2 cameras, enables real objects to be located within the immersive environment.

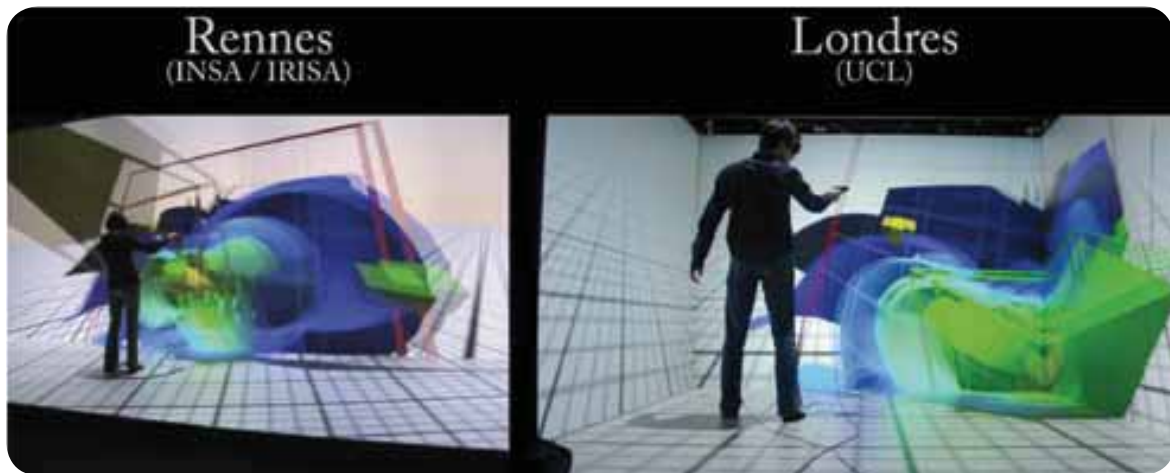


Figure 1 : Collaborative work Rennes-London



Figure 2 : Immersia3 Immersive Virtual Reality Equipment

References

- [BOUVILLE-BERTHELOT11a] R. Bouville Berthelot, T. Duval, J. Royan, B. Arnaldi, «Improving Reusability of Assets for Virtual Worlds while Preserving 3D Formats Features», JVWR (Journal for Virtual World Research), Virtual Worlds Institute, 2011, MPEG-V and Other Virtual Worlds Standards, 4 (3),
- [AVRIL11] Avril Q., Gouranton V., Arnaldi B., Dynamic Adaptation of Broad Phase Collision Detection Algorithms, Dans, International Symposium on VR innovation - ISVRI, Conjunction with IEEE Virtual Reality (VR), Singapour (2011) - <http://hal.archivesouvertes.fr/hal-00555720/fr/>,
- [LOTTE10] F. Lotte, A. Van Langenhove, F. Lamarche, T. Ernest, Y. Renard, B. Arnaldi, A. Lécuyer, "Exploring Large Virtual Environments by Thoughts using a Brain-Computer Interface based on Motor Imagery and High-Level Commands", Presence: teleoperators and virtual environments, vol. 19, no. 1, april, 2010,
- [FLEURY10C] C. Fleury, A. Chauffaut, T. Duval, V. Gouranton, B. Arnaldi. A Generic Model for Embedding Users' Physical Workspaces into Multi-Scale Collaborative Virtual Environments, in «ICAT 2010 (20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence)», Australie Adelaide, Dec 2010,

- [BOUVILLE10] R. Bouville Berthelot, J. Royan, T. Duval, B. Arnaldi. Late Breaking Results: Enabling interoperability between 3D formats through a generic architecture, in «ICAT 2010 (20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence)», Australie Adelaide, Dec 2010,
- [AVRIL10B] Q. Avril, V. Gouranton, B. Arnaldi. Synchronization- Free Parallel Collision Detection Pipeline, in «ICAT 2010 (20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence)», Australie Adelaide, Dec 2010, p. 1-7,
- [TERZIMAN0] L. Terziman, M. Marchal, M. Emily, F. Multon, B. Arnaldi, A. Lécuyer. Shake-Your-Head: Revisiting Walking-In-Place for Desktop Virtual Reality, in «ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology», Hong-Kong Chine, november 2010,
- [FLEURY10B] C. Fleury, T. Duval, V. Gouranton, B. Arnaldi. A New Adaptive Data Distribution Model for Consistency Maintenance in Collaborative Virtual Environments, in «JVRC 2010 (2010 Joint Virtual Reality Conference of EuroVR - EGVE - VEC)», Allemagne Fellbach, Sep 2010,
- [FLEURY10] C. Fleury, T. Duval, V. Gouranton, B. Arnaldi. Architectures and Mechanisms to Maintain efficiently Consistency in Collaborative Virtual Environments, in «SEARIS 2010 (IEEE VR 2010 Workshop on Software Engineering and Architectures for Realtime Interactive Systems)», États-Unis Waltham, Mar 2010,
- [AVRIL10] Q. Avril, V. Gouranton, B. Arnaldi, A Broad Phase Collision Detection Algorithm Adapted to Multi-cores Architectures, VRIC 2010 Proceedings - VRIC, Laval: France (2010),
- [LOTTE09] F. Lotte, A. Lécuyer, B. Arnaldi, “FuRIA: An inverse Solution based Feature Extraction Algorithm using Fuzzy Set Theory for Brain-Computer Interfaces”, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 57, no. 8, pp. 3253-3263, 2009,
- [AGUERRECHE09] L. Aguerreche, T. Duval, B. Arnaldi, A description of a dialog to enable interaction between interaction tools and 3D objects in collaborative virtual environments, VRIC 2009 - VRIC 2009, Laval : France (2009),
- [AVRIL09] Q. Avril, V. Gouranton, B. Arnaldi, New trends in collision detection performance, VRIC’09 Proceedings - VRIC, Laval : France (2009),
- [GERBAUD09] S. Gerbaud, V. Gouranton, B. Arnaldi, Adaptability properties of a Collaborative Virtual Environment for Training, Learning by Playing. Game-based Education System Design and Development, Lecture Notes in Computer Science, Edutainment 2009, pp 316-327, August, 2009 Banff Canada,
- [SRENG09] J. Sreng, A. Lécuyer, C. Andriot, B. Arnaldi, Spatialized Haptic Rendering: Providing Impact Position Information in 6DOF Haptic Simulations Using Vibrations, IEEE-VR International Conference, Lafayette USA,
- [GERBAUD08a] S. Gerbaud, B. Arnaldi, Scenario sharing in a collaborative virtual environment for training (Short paper), VRST 2008, ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Bordeaux, October 2008,
- [GERBAUD08b] S. Gerbaud, N. Mollet, F. Ganier, B. Arnaldi, J. Tisseau, GVT: a platform to create virtual environments for procedural training, IEEE-VR International Conference, pp 225-232, Reno USA, Mars 2008,

- [LARRODE08] X. Larrodé, B. Chanclo, L. Aguerreche, B. Arnaldi, OpenMASK: an Open-Source platform for Virtual Reality, Software Engineering and Architectures for Realtime Interactive Systems (SEARIS 2008), Reno, March 2008,
- [LOTTE07A] F. Lotte, A. Lécuyer, F. Lamarche, B. Arnaldi, «Studying the use of fuzzy inference systems for motor imagery classification», IEEE Transactions on Neural System and Rehabilitation Engineering, vol. 15, no. 2, pp. 322-324, June 2007,
- [LOTTE07c] F. Lotte, A. Lécuyer, B. Arnaldi, «FuRIA: A novel feature extraction algorithm for brain-computer interfaces using inverse models and fuzzy region of interest», in Proc. of the 3rd IEEEEMBS international Conference on Neural Engineering, pp. 175-178, 2007,
- [GERBAUD07] S. Gerbaud, N. Mollet and B. Arnaldi, Virtual Environments for training: from individual learning to collaboration with humanoids, Edutainment, Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, LNCS 4469, 116–127, Hong Kong, June 2007,
- [MOLLET07a] N. Mollet, S. Gerbaud and B. Arnaldi, An operational VR platform for building Virtual Training Environments, Edutainment, Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, LNCS 4469, 140–151, Hong Kong, June 2007,
- [MOLLET07b] N. Mollet, S. Gerbaud and B. Arnaldi, STORM: a Generic Interaction and Behavioral Model for 3D Objects and Humanoids in a Virtual Environment, Eurographics Symposium on Virtual Environments, Short Papers and Posters, 95-100, Weimar, July 2007,
- [MOLLET06] N. Mollet, B. Arnaldi. Storytelling in Virtual Reality for Training, in Edutainment, Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, LNCS 3942, p.334-347, Hangzhou, China, april 2006,
- [ARNALDI06b] B. Arnaldi, P. Fuchs, P. Guitton, Présentation des applications de réalité virtuelle. Le traité de la réalité virtuelle, 3^{ème} édition, chapter 1, volume4, pages 16-23, Presses de l'Ecoles de Mines de Paris, march 2006,

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Arnaldi. Nous avons le temps pour une seule question. Pr. Aboutajdine.

Pr. Driss ABOUTAJDINE (CSMI)

Tout d'abord merci pour cet excellent exposé. Ça me rappelle il y a quelques années quand j'ai pris connaissance avec la réalité virtuelle et je me trouvais justement à l'INRIA à Rennes. La question est très simple : où se trouve maintenant la synthèse d'image? Est-ce qu'elle a laissé place à la réalité virtuelle ou est-ce qu'elle a encore un avenir?

Pr. Bruno ARNALDI (Institut National des Sciences Appliquées, Rennes, France)

La synthèse d'image s'intègre bien, comme je l'ai montré, sur des objets complexes. C'est encore un sujet en soi. Tout simplement les modèles physiques qui permettent de traiter la lumière, qu'on appelle les modèles globaux sont encore des choses qui d'un point de vue à la fois du point de vue de la physique et des modèles calculatoires sont à l'étude et en particulier toujours pour gérer la complexité. Il y a encore une communauté très forte et très active sur le sujet des rendus sur le plan du 3D en temps réel. Il faut comprendre qu'il y a des gens qui ont fait des progrès depuis quelques années dans les rendus haute qualité sans se soucier finalement du temps réel. Maintenant, ces mêmes laboratoires et ces mêmes équipes s'orientent vers comment résoudre les problèmes qu'ils résolvaient de par le passé mais avec les fréquences de temps, dont j'ai parlées, avec des anticipations et des extrapolations, avec la mémorisation de l'information et de nouveaux algorithmes qui sont à mettre en place. C'est un encore un sujet de forte actualité.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci beaucoup pour cette matinée enrichissante. Une fois encore j'insiste sur les orateurs pour qu'ils remettent leurs textes au secrétariat de l'Académie. Les posters des projets financés par l'Académie sont affichés dans le hall, donc je vous invite à les consulter. C'est l'occasion de voir les réalisations mais aussi les opportunités de collaboration et de poursuite des travaux entamés. Enfin une photo de groupe de tous nos membres va être réalisée juste avant le repas. Merci et à tout-à-l'heure.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Notre Chancelier ne pourra pas être des nôtres pendant cette séance, mais il se joindra à nous probablement en fin d'après-midi. Si ma compréhension est bonne, nous avons passé en revue hier un certain nombre d'applications des outils de modélisation. On avait vu ce matin les instruments à savoir : les outils informatiques et les modèles pour le développement de ces outils, et nous passons cet après-midi aux modèles alternatifs et aux représentations. Donc, je donne tout de suite la parole au Pr. Bastien Chopard de l'Université de Genève en Suisse pour nous entretenir de : ***la méthode de réseau-Boltzmann et ses applications en science et ingénierie***. Je voudrais vous annoncer que j'ai requis auprès des orateurs de cet après-midi de nous céder 5 mn chacun de leur temps de parole et ils ont la gentillesse d'accepter et donc nous essayerons de rester au mieux dans les temps impartis. Pr. Chopard, vous avez 30 mn.

THE LATTICE BOLTZMANN METHOD AND ITS APPLICATIONS TO SCIENCE AND ENGINEERING

Pr. Bastien CHOPARD and Pr. Jonas LATT

*Computer Science Department, University of Geneva,
Switzerland*



Abstract

Numerical modeling and simulations are a key approach to describe, understand and predict the behavior of complex phenomena in science and engineering. The Lattice Boltzmann (LB) method is a powerful numerical approach to address many new challenging problems. In this extended abstract, the LB method, as well as the Palabos software, are briefly introduced. Palabos is flexible tool that makes easy the implementation of a wide range of LB applications on sequential or massively parallel computers. The potential of the method is illustrated for a selection of applications.

1. Introduction

The Lattice Boltzmann (LB) is a recent approach to model and simulate complex systems in science and engineering. It is now recognized as a full-fledge alternative to classical computational fluid dynamics approaches.

Since it was proposed in the early 1990s, the LB method has been described in many articles and textbooks (see for instance [9, 2, 1]). Historically, it came as an extension of the lattice gas automata (LGA) method [5]. The LGA approach models a fluid as a set of idealized point particles moving and colliding synchronously on a regular lattice, while conserving mass and momentum. The LB method considers a similar idea but instead of point particles, it describes the dynamics of a fluid in terms of the density distributions of particles traveling with a discrete set of velocities, as illustrated in Fig. 1. An advantage of the LB method is that it numerically implements a process which mimics the physical reality of a fluid at a mesoscopic level of abstraction. As such the LB method is natural, intuitive and can be easily augmented to incorporate other features or interactions with other processes. Another advantage of the LB is that its formulation is naturally parallel

and only requires local communications. LB solvers can then exploit the parallelism offered by tens of thousands of cores with a good scalability.

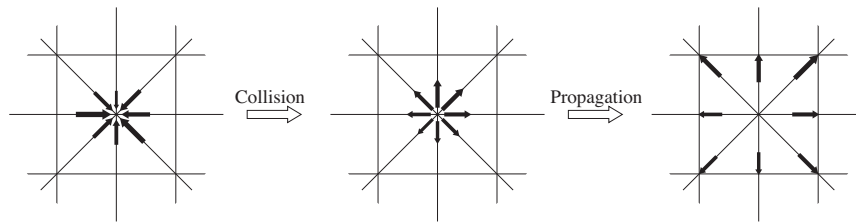


Figure 1: Illustration of the Lattice Boltzmann dynamics of collision and propagation of idealized particles densities on a 2D square lattice.

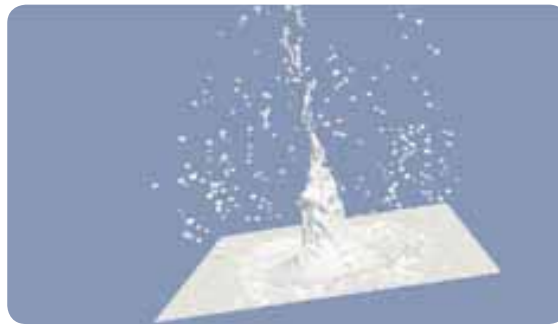


Figure 2: Lattice Boltzmann simulation with Palabos of a bubble bursting through the free surface of a liquid.

Palabos [7] is a free, open source software that provides a flexible and powerful LB solver. It is multi-physics and contains a large set of predefined boundary conditions and collision models. It can deal efficiently with irregular geometries and offer automatic message passing (MPI) parallelization over an arbitrary number of processors. It can be used through a python interface, or directly in C++ when new features need to be added to the modeling framework.

2. Applications

The LB approach has been successfully used to simulate many phenomena such as multi-component fluids in complicated geometries. As an example, Fig. 2 shows a simulation of an air bubble moving up in a fluid and reaching a free surface where it blows up.

Below we briefly describe some applications that are currently developed at the University of Geneva, using the Palabos software.

In the FP7 European VPH project THROMBUS [8] (A quantitative model of thrombosis in intracranial aneurysms, FP7-ICT-2009-6, 269966), we develop a numerical model aimed at describing the thrombosis that typically occurs in cerebral aneurysms when a flow diverter (stent) is inserted in the parent artery. The LB model we consider adapts to patient-specific situations the ideas proposed in [3]. It combines hemodynamics with the transport of platelets, their adhesion on the aneurysm cavity when proper conditions are realized, and the growth of a thrombus, as illustrated in Fig. 3.

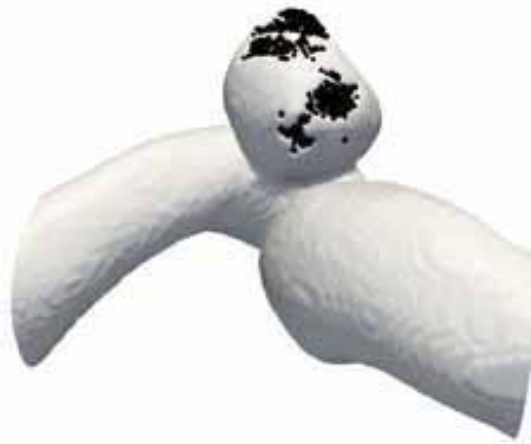


Figure 3: Lattice Boltzmann simulation with Palabos of the early stage of clot formation in a patient-specific aneurysm. (Simulation by Orestis Malaspinas.)

In the MAPPER European project [6] (Multiscale Applications on European e-Infrastructures FP7-INFRASTRUCTURES-2010-2, 261507), we develop a new formalism together with a high level description language, MML [4], (Multiscale Modeling Language) to specify a multiscale, multiscale application made of several tightly coupled submodels acting at different spatial or temporal scales. From the MML formulation, the application can be automatically deployed on European distributed supercomputing infrastructures. At the University of Geneva, we apply this formalism to the modeling of rivers or irrigation canals. Some sections must be described with a very detailed model (e.g. a fully resolve 3D, free surface flow model), whereas other sections can be described in a simplified way (e.g. a 1D shallow water model). In addition, gates or spillways can be inserted along the water course. All these elements are described as submodels, with a specific scale (here using the LB approach for the shallow water or free surface flow) and coupled together with the MAPPER formalism. As an illustration of the numerical model we are developing, Fig. 4 shows a section of the Rhone river in Geneva, subject to a flush of a downstream dam. This study is a collaboration with SIG, the electricity company in Geneva.

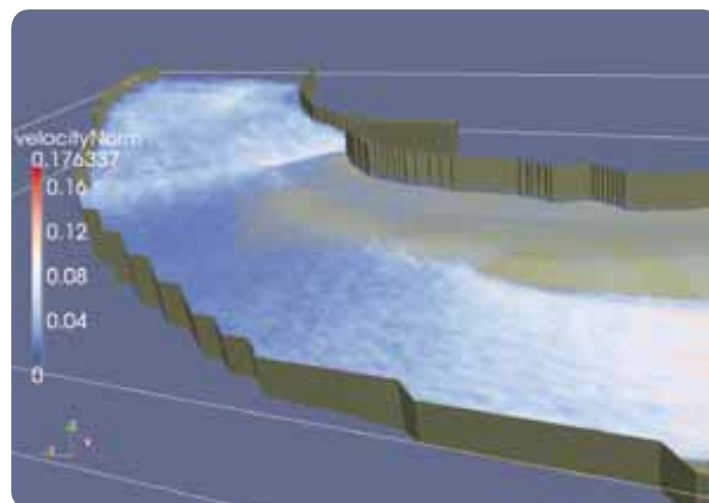


Figure 4: 3D, free surface Lattice Boltzmann simulation with Palabos of a section of the Rhone river (simulation by Andrea Parmigiani) during a draining episode of a dam.

3. Acknowledgements

We thank Orestis Malapinas and Andrea Parmigiani for the images shown here. We acknowledge support from CADMOS, SIG, and the European projects MAPPER and THROMBUS.

References

- [1] S. Chen and G.D. Doolen. Lattice Boltzmann methods for fluid flows. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 30:329, 1998.
- [2] B. Chopard and M. Droz. *Cellular Automata Modeling of Physical Systems*. Cambridge University Press, 1998.
- [3] B. Chopard, R. Ouared, D. A. Ruefenacht, and H. Yilmaz. Lattice boltzmann modeling of thrombosis in giant aneurysms. *Int. J. Mod. Phys. C*, 18:712–721, 2007.
- [4] Jean-Luc Falcone, Bastien Chopard, and Alfons Hoekstra. MML: towards a multiscale modeling language. *Procedia Computer Science*, 1:11:819–826, 2010.
- [5] U. Frisch, B. Hasslacher, and Y. Pomeau. Lattice-gas automata for the navier-stokes equation. *Phys. Rev. Lett.*, 56:1505, 1986.
- [6] The MAPPER project. . <http://www.mapper-project.eu>
- [7] The Palabos project. <http://www.palabos.org>.
- [8] The THROMBUS project. <http://www.thrombusvph.eu>
- [9] Sauro Succi. *The Lattice Boltzmann Equation, For Fluid Dynamics and Beyond*. Oxford University Press, 2001.

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Chopard. On va s'accorder deux questions.

Pr. Mohammed SEAID (Université de Durham, UK)

Sorry my question will be in English, but you can answer in French if you want. I have two questions actually. One concerning relaxation time, is there an optimal way to choose this tool regarding the viscosity you have in the system and the time step you want to use in the lattice-Boltzmann model? Also, I would like you to comment on the boundary condition when you open the lattice, with respect to the boundaries what would happen there? The last thing, if you want, could you please comment on the single relaxation time and the multi-relaxation lattice-Boltzmann you are using?

Pr. Bastien CHOPARD (Université de Genève, Suisse)

The relaxation time, of course, you can play with it. The idea is to make as small as possible to have low viscosity. Then according to the lattice base and time step you can just of course adjust to the viscosity you want to model. I think this rather easier except that if you have very small viscosity, then you have numerical instability that builds up.

Now, about boundary, that's also a quite technical problem. These are very easy ways which works if you don't have anything better. Again, think in terms of body groups, if a body particle hits the wall, it just bounces from where it comes. That's not the first choice but it is very stable in work. Otherwise you start to open a big box and I don't have enough time to do that now but I am happy to discuss more if you want.

The last question is again this collision term I mentioned. You are right, there are many ways and they all have their advantages and disadvantages. Most people now use the single relaxation time. But you can click which model you want and that's easy as that.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Chopard. Si on n'a pas d'autre question, on va passer au prochain orateur. J'appelle Pr. Franco Bagnoli de l'Université de Florence en Italie. Sa présentation est intitulée : *Synchronisation et contrôle du chaos dans les automates cellulaires*. Vous avez 30 mn.

CHAOS, SYNCHRONIZATION AND CONTROL IN CELLULAR AUTOMATA

Pr. Franco BAGNOLI

University of Florence, via S. Marta, 3 I-50139 Firenze, Italy

Samira EL YACOUBI

Institut de Modélisation et Analyse en Géo-Environnement et Santé (IMAGES), University of Perpignan, 52, Paul Alduy Avenue, 66860 - Perpignan Cedex, France

Raúl RECHTMAN

Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México



Control theory is a set of techniques for making a dynamical system behave in a desired way by exerting an external effort. In the case of a minimum effort one speaks of *optimal control*. It is obviously hard to reach the optimum limit, but many investigations are devoted to minimize the control for a desired behavior. In general, the problem of control of a dynamical system may be split into two parts: the driving a system to a target area in phase space, and the stabilization of a trajectory originating from this area. Chaotic systems are ideal targets for control: their sensitivity to small changes may be exploited to drive them to the target area [1], after which chaos may be suppressed in order to make them follow, for instance, a desired periodic orbit [2].

The problem of driving a chaotic system may be seen as the problem of *synchronizing* a replica with a “drive” system that happen to pass through the desired area. This type of synchronization, can be called master-slave, identical or replica synchronization [3]. While in the usual studies about synchronization one exerts little attention to the optimization of coupling, when formulated as a control problem this becomes a crucial issue.

CA are widely used to model many systems in various fields, from computer science to earth sciences, biology, physics, sociology, etc. They are usually defined on a graph or a regular lattice, but may easily be extended to include mobile agents. The modeling of a system using cellular automata is conceptually much simpler than those using partial derivatives, and the evolution of such a system is easily performed by a digital computer, without rounding errors. However, for such systems continuity and smoothness (differentiability) do not apply. It is therefore hard to extend the usual techniques used in control theory [5] and to define quantities like Lyapunov exponents and chaotic trajectories. It is however still possible to define the derivatives of discrete systems [6], which prove useful in synchronization investigations [7].

In the case of replica synchronization, the “minimal strength” needed to synchronize a system is related to its chaoticity, defined by the largest Lyapunov exponent in low-dimensional systems. For extended systems, the correspondence between the minimal strength and Lyapunov exponents may break down [4].

In synchronization experiments, the “force” is generally applied blindly, without any relation with the dynamics. The corresponding synchronization effect is analogous to a directed percolation phase transition. The two systems synchronize when their difference goes to zero. Their difference grows due to their “chaotic” dynamics, along the directions identified by the Jacobian matrix of the evolution rule. The synchronization “pressure” reduces the paths along which a difference can propagate. When this reduction overcomes the chaotic growth, the system synchronizes.

In control problems, one wants to exploit the knowledge about a system. It is therefore analogous to a synchronization problem of two different systems with a “targeted” force, that tries to “kill” the growing directions of the difference as soon as possible. We show how the concept of Boolean derivative and that of Boolean Jacobian matrix can be used to achieve this goal.

The result is however rather surprising: the control efforts should concentrate on the regions exhibiting less distance among replicas, while chaos can be exploited to “self-synchronize” the systems.

References

- [1] T. Shinbrot, E. Ott, C. Grebogy and J.A. Yorke, Phys. Rev. Lett. 65, 3215 (1990).
- [2] E. Ott, C. Grebogy and J.A. Yorke, Phys. Rev. Lett. 64, 1196 (1990).
- [3] L.M. Pecora and T.L. Carroll, Phys. Rev. Lett. 64, 821 (1990).
- [4] F. Bagnoli, L. Baroni and P. Palmerini, Phys. Rev. E 59, 409 (1999).
- [5] S. El Yacoubi, Int. J. System Science 39, 529 (2008).
- [6] F. Bagnoli, Int. J. Mod. Phys. C 3, 307 (1992).
- [7] F. Bagnoli and R. Rechtman, Phys. Rev. E 59, R1307 (1999).

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Bagnoli de cet exposé exhaustif. Nous avons le temps pour deux questions avant la pause-café que nous raccourcirons également.

Bien, si je n’ai pas de questions, je vous remercie et vous invite à une pause-café de 15mn, merci d’être de retour à 4h.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Chers collègues, nous reprenons les travaux de notre dernière session de l’après-midi avant le panel et je voudrais inviter le Pr. Fabrizio Gagliardi de Microsoft Research à Genève en Suisse pour nous parler des *données massives en science et nuage numérique*. Vous avez 30 mn.

DATA INTENSIVE SCIENCE AND CLOUD COMPUTING

Dr. Fabrizio GAGLIARDI

***Microsoft Research Connections
EMEA office: 12, Av. des Morgines, CH-1213 Petit-
Lancy, Geneva - Switzerland***



While still working at CERN in Geneva in the early 2000s I designed and started the European Data Grid (<http://eu-datagrid.web.cern.ch/eu-datagrid/>) the largest distributed computing for science in Europe at that time to provide a new business model for all scientists working in particle physics. This pioneering project led to the larger European EGEE project series (<http://project.eu-egee.org/>) which was the basis for the LHC (Large Hadron Collider) international distributed computing infrastructure (<http://lcg.web.cern.ch/lcg/>). Today, at Microsoft research, my major undertaking is VENUS-C (www.venus-c.eu), a multidisciplinary and interoperable Cloud designed for science that draws its strength from a joint co-operation between industry and scientific user communities in Europe. VENUS-C is very much a sign of the times, from Grid to Cloud computing, two different technologies which are revolutionizing computer science.

In my role at Microsoft External Research for Europe, I am trying to develop a distributed computing network that will foster collaboration among researchers, institutions and enterprises. But this time the idea is to virtualize the entire ecosystem and address the challenge of an increasingly data dominated science: from basic computing and storage elements to the system and application software and ultimately public funding models for research. The idea stems from an intuition I had when observing the lengthy process of approving European projects for funding and providing the computing resources needed. This process can take anything up to one year between applying for funding and getting the green light. But the lengthy processes don't stop here. Procuring the computation infrastructure needed also takes a lot of time as it is usually built up from a small cluster of data servers and computers. What's more, we need to take on board what happens when funding comes to an end. At best, the computers are recycled but the scientific data generated, which is usually the most important outcome of the project, is lost.

The advent of Cloud computing opens up new opportunities for alternative and more effective forms of virtualized funding for computing resources. Instead of providing each project with a small fraction of budget to acquire dedicated hardware and software, virtual cloud computing resources can be allocated and made available almost instantaneously, extended or reduced to follow the life cycle of the project. At project end, the resources can simply be returned but the data can be preserved in a globally maintained open access data repository. The preserved data can therefore be made available to other research communities to boost scientific productivity, discovery, results and innovation. The explosion of data is revolutionizing many fields of inquiry with data scientists emerging in disciplines as diverse as biology, sociology, geology, anthropology and political science, to name but a few.

The Cloud is the latest evolution of distributed computing. While it is not a magic wand solving all problems for all users, it has qualities that make it ideal for most of the long tail of science, that is, the vast majority of scientists who never had access to supercomputer networks but who, rely on desktop and local cluster resources. Firstly, cloud computing is homogeneous in terms of infrastructure and has a clear access model: you pay only for what you use. By sharp contrast, Grid computing has never benefitted from a clear business model. From a technology perspective, Grid was created to connect a myriad of small and large clusters, each with its own operating system. This made Grid computing a good solution for a limited number of computer savvy communities, like particle physics physicists. Furthermore, an infrastructure of this kind always implies expensive operations and considerable management efforts, which probably explains why it has been limited to science, particularly homogenous and specialized communities.

VENUS-C, by contrast, was conceived as a totally new approach aimed to serving the 'long tail of science' supporting users like biologists and engineers, as well as small businesses and entrepreneurs using innovation to create start-up companies by leveraging the economy and the elasticity of the cloud. VENUS-C draws its strength from its industry-quality focus connecting infrastructure experts like Microsoft and the Microsoft innovation centre in Europe, with scientific service providers, such as the Barcelona Supercomputing Center (BSC), the Swedish Royal Institute of Technology (KTH). An Open Call (Jan-April 2011) attracted 60 proposals from research and commercial organizations from 17 European countries and 18 disciplines, perfectly illustrating keen interest in the Cloud. The Call resulted in the on-boarding of 15 new pilots receiving seed funds and 5 voluntary experiments, creating a compelling range of applications along with the 7 original use cases from six different partners. These applications span disciplines as diverse as biodiversity, chemistry, civil engineering and architecture, civil protection and disaster management (wildfire risk prediction and management; earthquake monitoring), social media assessment, mathematics, mechanical and aerospace engineering, medicine; molecular, cellular and genetic biology and astrophysics. These user groups are coordinated by Polytechnic University of Valencia with the support of OGF.eeig, an organization that also brings expertise in cloud and grid standards.

VENUS-C has a total budget of € 8.8 million and is co-funded for two years by the European Union with € 4.5 million. Microsoft provides the Cloud infrastructure (Azure) with an infrastructure that has a market value of US \$2 million/year for the duration of three years. As the first user-centric cloud project, our aim is to enable commercial and research organizations to try out new business models and services. Afterwards, they can choose to remain in the Cloud, develop their own or look for other solutions. Clearly, our goal is also commercial. VENUS-C users are gaining an understanding of how to leverage computing power, applications and storage on demand. They are learning to work on the Cloud and Microsoft aims to offer Azure for the service provision of Cloud computing. From a research perspective, the goal is to share information and expertise without being drowned by the rising wave of data. Cloud computing is one way of addressing this challenge but with VENUS-C we are also understanding how supercomputing can be integrated into Cloud services.

Ten years ago, energy consumption was a small variable so when Grid computing emerged, energy savings were not a major issue. However, today energy costs have become a central issue. The Cloud is a technology that can benefit from important economies of scale. Data centres can be located where energy costs less and where expensive cooling systems are not needed. New-generation data centres are being built increasingly with cost savings in mind. However, Grid computing will not disappear as it still remains attractive for a number of top research communities and will probably continue to leverage students and researchers with the right high-level programming skills. The advent of Cloud computing means universities are encouraged to work and think differently, transforming CAPEX into OPEX. One of the major achievements of VENUS-C has been bringing the strategic and operational benefits of the Cloud into sharper relief, which, in turn, has inspired other initiatives to move to the cloud and pursue a similar model.

References

- Data-Intensive Science: A New Paradigm for Biodiversity Studies - Steve Kelling, Wesley M. Hochachka, Daniel FinkMirek Ried EwaldRich Caruana, Grant Ballard, Giles Hooker. Bioscience, 2009.
- Data-intensive e-science frontier research – HB Newman, MH Ellisman - Communications of the ACM, 2003.
- Data-intensive computing in the 21st century – I. Gorton, P Greenfield, A Szalay - IEEE Computer, 2008.

Resources

- Microsoft Research, <http://research.microsoft.com>
- Microsoft Research downloads: <http://research.microsoft.com/research/downloads>
- Microsoft External Research, <http://research.microsoft.com/en-us/collaboration/>
- Science at Microsoft, <http://www.microsoft.com/science>
- Scholarly Communications, <http://www.microsoft.com/scholarlycomm>
- CodePlex, <http://www.codeplex.com>

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Gagliardi de cette excellente présentation qui nous a ramené à des applications je dirai universelles, non seulement pour la communauté des scientifiques et des chercheurs, mais presque pour monsieur et madame tout le monde. Nous avons le temps pour deux questions. Pr. Malik Ghallab.

Pr. Malik GHALLAB (SMI)

Dans un certain nombre d'applications, par exemple médicales, on a des contraintes, des exigences de confidentialité qui sont très fortes qu'il faut pouvoir certifier. Où est-ce qu'on en est sur ce point et qu'est-ce que tu peux nous dire sur cet aspect qui peut aller au-delà des applications médicales bien entendu?

Pr. Fabrizio GAGLIARDI (Microsoft Research, Genève – Suisse)

Oui bien sûr, il y a les applications financières, de défense, etc... C'est clair que ça s'applique du moment qu'on fait de la distribution des données. Dès qu'on envoie des données confidentielles sur le réseau, il y a toujours un risque. Alors, évidemment, la Communauté Européenne et les autorités nationales ont fait des efforts, il y a des discussions à tous les niveaux. Il y a eu récemment un data privacy act de la Commission Européenne qui met toute une série de garde-fous, toute une série de règles à ce qu'on peut faire et ce qu'on ne peut pas faire avec les données. Il y a aussi une approche différente entre les Etats Unis et l'Europe s'il y a un problème de coordination.

La Communauté Européenne a pris les choses en main assez rapidement et a décidé certaines choses par exemple il y a certaines données qu'on ne peut pas exporter en dehors de l'Europe. Evidemment, l'industrie est là pour répondre aux besoins, donc la technologie va suivre l'effort de discipline et de réglementation que les autorités compétentes sont censées les faire. C'est compliqué parce que la technologie et les règles dans un certain sens avec la haute technologie qui est sûre pour convaincre que les données sont suffisamment protégées. Mais il y a des documents de l'Union Européenne qui vont dans la direction de protéger les données à tout prix.

Pr. Abdelmalek AZIZI (CSMI)

Merci madame la présidente de séance. Pour mieux comprendre, j'ai une question sur les limites des clouds computing, je m'explique par un problème d'arithmétique de décomposition d'un entier en deux entiers. En utilisant les calculateurs actuels, c'est-à-dire autres que clouds computing, le temps est exponentiel. En utilisant les ordinateurs quantiques, il a été démontré que le temps sera polynomial. Ma question est-ce que pour les clouds computing on peut trouver par exemple des problèmes qui avaient des algorithmes dont le temps était exponentiel et est devenu un temps polynomial?

Pr. Fabrizio GAGLIARDI (Microsoft Research, Genève – Suisse)

Je ne suis pas trop sûr mais finalement vous avez le modèle d'un PC. Si votre problème parallélise d'une façon stupide, stupid paracomputing, ça va très bien pour le cloud. Le cloud s'y prête très bien quand vous avez plusieurs sources de données, par exemple un problème de calcul de Monte-Carlo, c'est très facile à paralléliser, vous changez les conditions de départ et vous mettez exactement le même code donc le même programme sur 10.000 machines plutôt que 10. Là, vous avez vraiment une scalabilité de l'application, vous réduisez le temps de calcul énormément et vous vous trouvez dans une situation super-linéaire. Donc, c'est vrai, ce n'est pas une panacée pour tout le monde mais pour la grande partie oui, c'est vraiment pour des applications qui sont de par leur nature parallèles.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Gagliardi et j'invite notre dernier orateur pour l'application dans le domaine des données et connaissances, Pr. Daoud Ait Kadi de l'Université Laval à Québec au Canada. Sa présentation s'intitule : ***Prise en compte, en conception, de la fiabilité et de la maintenabilité des systèmes***. Vous avez 30 mn.

MÉTHODOLOGIE D'INTÉGRATION DE LA FIABILITÉ DES COMPOSANTS AU BUREAU D'ÉTUDES

***Pr. Daoud AIT-KADI*, Pr. Abdelhak EL KHEIR;
Pr. Nathalie GOUGET et Pr. Amadou COULIBALI***

**Académie Hassan II des Sciences et Techniques*



Résumé

La prise en compte de la fiabilité des composants au stade de la conception est une des préoccupations importantes des entreprises autant sur le plan purement économique que stratégique. L'analyse du processus de validation de la fiabilité d'un composant mécanique est à l'origine de cette réflexion. L'approche contrainte/résistance a été adoptée pour estimer la fiabilité de composants sujets à des sollicitations dont l'occurrence et l'intensité sont aléatoires et dont la résistance est également aléatoire. Cette étude propose une méthodologie de mise en œuvre de l'approche contrainte/résistance en procédant à partir d'une vision intégrée des différents concepts, des besoins exprimés par les divers intervenants et des outils de conception et d'analyse disponibles. Plusieurs indications sont fournies pour rationaliser les diverses actions aussi bien au niveau de la conception, de la fabrication que des essais de validation. Grâce aux nouvelles technologies de l'information, il est désormais possible de créer un environnement qui favoriserait les échanges entre les divers intervenants pour exploiter efficacement le potentiel de l'approche contrainte/résistance.

I. Introduction

La prise en compte de la fiabilité au stade de la conception est une des préoccupations importantes des entreprises qui visent à améliorer leurs avantages compétitifs sur le plan mondial.

Ces préoccupations, à la fois stratégiques et économiques, ont conduit plusieurs entreprises à revoir leurs produits, leurs procédés et leur organisation. Cet exercice a permis de mettre au point de nouvelles méthodes de travail qui tentent, grosso modo, de capitaliser sur le savoir faire de l'entreprise, sur la mise en place de nouvelles méthodes de travail et sur l'intégration d'outils efficaces d'aide à la décision. Ce processus de réingénierie des produits et des procédés a relancé l'intérêt pour certaines méthodes

d'analyse jugées autrefois très onéreuses à mettre en œuvre et qui s'avèrent actuellement, grâce aux nouvelles technologies de l'information et aux nouveaux outils de conception, parfaitement adaptés au contexte réel d'exploitation des systèmes. Il s'agit, plus explicitement, de l'approche contrainte/résistance qui permet d'évaluer la fiabilité de composants sujets à des contraintes dont l'occurrence et l'intensité sont aléatoires et dont la résistance est également une variable aléatoire.

Les fondements de cette approche ont été introduits par plusieurs ouvrages de référence (voir Shooman[12], Lewis[7], Marcovici et Ligeron[8], Ireson et al.[5], Villemeur[13], Kapur et Lamberson[6], Chuech[2], Rao[11] et Carter[1]). Plusieurs contributions ont été publiées récemment sur le sujet (voir Xue et Yang[15], English et al.[4], Wang et Liu[14]). El Khaïr et Gouget [3] se sont penchés sur l'application de l'approche contrainte/résistance pour réévaluer les procédures d'essais de validation de la fiabilité de composants mécaniques sujets à des phénomènes de fatigue. Cette recherche s'inscrit dans le cadre des travaux élaborés par EL Khaïr et Gouget [3] qui visent essentiellement à développer une stratégie d'implantation de l'approche contrainte/résistance en procédant à partir d'une version globale de ses différents concepts, des besoins des divers intervenants, des outils analytiques et informatiques disponibles et enfin du savoir faire aussi bien à l'interne qu'à l'externe.

Pour aborder les différentes questions relatives à la mise en œuvre de l'approche contrainte/résistance, à la lumière des préoccupations manifestées par les divers intervenants dans le processus de conception d'une part et de validation de la fiabilité d'autre part, la structure suivante a été adoptée.

Les concepts de base de l'approche sont introduits à la section II. Pour mettre en évidence les actions qui pourraient découler d'une analyse du modèle de fiabilité reliant la contrainte et la résistance, la section III examine différents scénarios et indique la façon de faire pour apporter les correctifs jugés nécessaires pour une conception au juste nécessaire. Très peu de travaux publics ont considéré l'influence de la dégradation du composant sur la fiabilité. La section IV aborde cette question et fournit les principaux modèles qui permettent d'évaluer la fiabilité en tenant compte du processus de dégradation dû à la corrosion, à la fatigue, au vieillissement et autres. La section V est consacrée aux essais de validation. Elle reprend les objectifs et les enjeux techniques et économiques inhérents aux essais de validation. Cette section propose également un schéma général pour la validation de la fiabilité d'un composant. Une alternative aux essais de validation sur prototypes est proposée à la section VI. Une exploitation des méthodes de simulation sur prototypes virtuels est présentée. Un exemple d'application pour valider les différents concepts est traité. La conclusion de cette étude (section VII) résume le potentiel de cette approche et fournit des indications relatives à sa mise en œuvre. Une liste de références pertinentes est fournie à la section IX.

II. Approche contrainte/résistance. Concepts de base

Cette approche fait appel à la mécanique de la rupture et définit la fiabilité R d'un composant soumis à des contraintes l dont l'occurrence et l'intensité sont aléatoires et dont la résistance r est également une variable aléatoire. La fiabilité d'un tel composant est donnée par :

$$R = \Pr\{ l < r \} \quad (1)$$

La défaillance surviendra aussitôt que la contrainte l dépassera la résistance r du composant. La probabilité F qu'un tel événement se réalise est donnée par :

$$F = \Pr\{l \geq r\} \quad (2)$$

Si $f_l(\bullet)$ désigne la fonction de densité associée à la contrainte et $f_r(\bullet)$ celle associée à la résistance, alors, l'expression de la fiabilité R est donnée par :

$$R = \int_0^{\infty} f_l(l) \left[\int_l^{\infty} f_r(r) dr \right] dl \quad (3)$$

ou encore

$$R = \int_0^{\infty} f_r(r) \left[\int_0^r f_l(l) dl \right] dr \quad (4)$$

: La probabilité F de défaillance est donnée par

$$F = \int_0^{\infty} [1 - F_l(r)] f_r(r) dr \quad (5)$$

$$\text{où } F_l(r) = \int_0^r f_l(x) dx$$

Étant donné que le composant ne peut être qu'en opération ou hors d'usage, on peut écrire :

$$R + F = 1 \quad (6)$$

Connaissant les fonctions de densité $f_r(\bullet)$ et $f_l(\bullet)$, il est possible de calculer la fiabilité R du composant en utilisant soit la relation (4) ou (5) et (6).

Dans le cas général, on fait appel à des procédures numériques pour calculer R et F . des résultats numériques ont été obtenus par Kapur et Lamberson[6], pour différentes distributions de probabilités généralement utilisées en fiabilité à savoir : exponentielle, Gamma, Weibull, Normale, lognormale et valeurs extrêmes.

Pour un composant donné, le choix de la distribution $F_l(\bullet)$ associée aux contraintes est déduite à partir d'une analyse de son profil de mission. La distribution $F_r(\bullet)$ de la résistance est en revanche, obtenue à partir de résultats d'essais effectués sur bancs ou par simulation. Cette seconde façon de faire sera examinée à la section VI.

Il importe de souligner que les relations (4) et (5) sont établies pour un mode de défaillance donné. Une analyse des modes de défaillance permet d'identifier le mode dominant qui sera reproduit au niveau des essais.

Si la défaillance du composant est attribuable à plusieurs causes indépendantes ayant chacune une distribution de probabilité connue, les conditions du théorème central limite pourraient alors être valides pour toutes les combinaisons de distributions, ce qui permettrait d'adopter la distribution normale pour les résistances. Plusieurs résultats expérimentaux corroborent cette hypothèse.

Sans perte de généralité, on considérera le cas particulier où les contraintes l suivent une distribution normale de moyenne μ_l et de variance σ_l^2 ($l \sim N(\mu_l, \sigma_l^2)$) et les résistances r suivent une distribution normale de moyenne μ_r et de variance σ_r^2 ($r \sim N(\mu_r, \sigma_r^2)$). Ce cas particulier, largement couvert dans la littérature, est repris dans ce texte pour mettre en évidence certains éléments que le bureau d'études pourrait exploiter pour établir les actions à entreprendre en vue d'optimiser la conception du produit.

III. Exploitation du modèle contrainte/résistance dans le cas particulier où $l \sim N(\mu_l, \sigma_l)$ et $r \sim N(\mu_r, \sigma_r)$

Pour ce cas particulier, l'expression de la fiabilité (4) s'écrit :

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta}^{+\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (7)$$

$$\text{où } \beta = -\frac{\mu_r - \mu_l}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_l^2}} \quad (8)$$

La figure 1 présente une illustration du modèle.

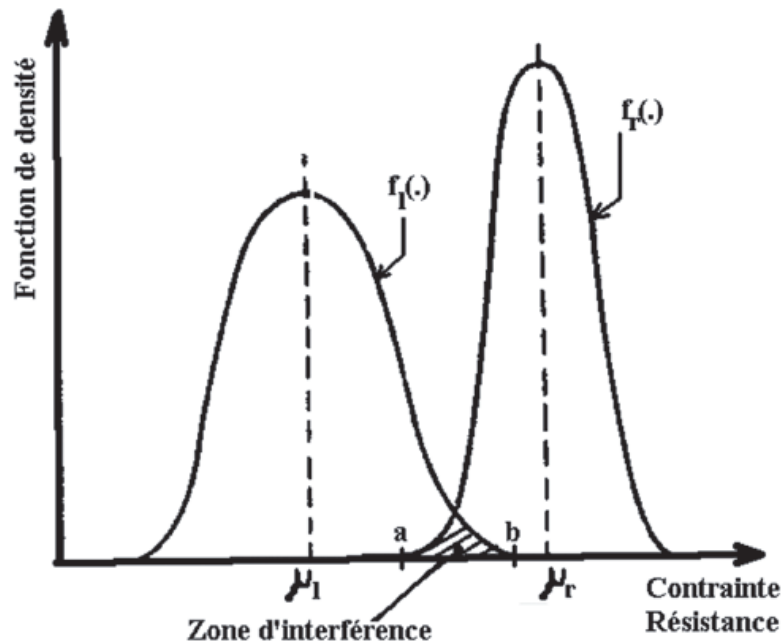


Figure 1- Illustration du modèle

L'aire de la zone de chevauchement des deux courbes $f_l(\bullet)$ et $f_r(\bullet)$ (zone d'interférence) correspond au risque de défaillance du composant. En effet, dans cette zone la probabilité F , que la contrainte soit supérieure à la résistance, est non nulle.

Une bonne connaissance du profil de mission du composant en clientèle et des moyens devant servir à sa réalisation permettraient de positionner correctement les deux distributions et d'évaluer la fiabilité R du composant. Si R^* représente le seuil de fiabilité spécifié dans le cahier des charges, alors les scénarios suivants peuvent être envisagés.

a) $R < R^*$

Les actions à entreprendre doivent conduire à une réduction de l'aire de la zone d'interférence pour la ramener à un seuil : $F^* \leq 1-R^*$.

Le bureau d'études devra alors agir sur la valeur de la borne d'intégration β définie par la relation (8).

Le tableau 1 résume les actions envisageables pour réduire la valeur du paramètre β .

Paramètres	Actions envisageables														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
μ_r	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
σ_r	0	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-
μ_l	0	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	-	-	-	-
σ_l	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 1 – Actions envisageables pour améliorer la fiabilité d'un composant

+ : augmentation du paramètre

- : réduction du paramètre

0 : paramètre inchangé

À titre indicatif, l'action 1 suggère d'améliorer la résistance moyenne sans agir sur les autres paramètres ($\sigma_r, \mu_l, \sigma_l$). L'action 15 agit sur les quatre paramètres simultanément.

En pratique il n'est pas toujours facile d'agir sur les paramètres μ_l et σ_l . En effet ces derniers sont directement influencés par le comportement du client. Seules les actions 1, 2 et 3 demeurent alors envisageables dans le contexte où aucune restriction sur l'usage du composant ne peut être imposée au client.

Mentionnons qu'une amélioration de μ_r peut être obtenue en jouant sur la qualité des matériaux utilisés, sur la forme, sur l'état de surface, sur les tolérances, sur le procédé de fabrication et d'assemblage, sur le choix du facteur de sécurité, sur le renforcement des points faibles, etc.

Une bonne maîtrise du procédé permet de garantir des produits homogènes et par conséquent un σ_r très faible.

Pour une décision rationnelle, il importe d'examiner l'influence des différents paramètres sur la fiabilité R du composant. Pour ce faire, on calcule les variations relatives de R par rapport à chacun des paramètres μ_r , σ_r , μ_l et σ_l . Ces variations sont données par les équations (9), (10), (11) et (12).

$$\frac{\partial R}{\partial \mu_r} = \frac{e^{-\frac{\beta^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \times \frac{1}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_l^2}} = \psi \quad (9)$$

$$\frac{\partial R}{\partial \sigma_r} = -\psi \times \frac{\mu_r - \mu_l}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_l^2}} \times \sigma_r \quad (10)$$

$$\frac{\partial R}{\partial \sigma_l} = -\psi \times \frac{\mu_r - \mu_l}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_l^2}} \times \sigma_l \quad (11)$$

$$\frac{\partial R}{\partial \mu_l} = -\psi \quad (12)$$

Il en résulte qu'une réduction de μ_l produirait le même effet qu'une augmentation de μ_r . En revanche, les équations (10) et (11) suggèrent d'agir sur les causes qui engendrent la plus forte variation.

Pour tenir compte des différents facteurs qui peuvent influencer la tenue d'un composant (forme, matériaux, contraintes résiduelles, état de surface, etc.) un coefficient de sécurité v est généralement utilisé. Dans un contexte déterministe, le facteur de sécurité v_d , est donné par :

$$v_d = \frac{r_{\max}}{l_{\max}} \quad (13)$$

Dans un contexte probabiliste, le facteur de sécurité v_p est donné par :

$$v_p = \frac{\mu_r}{\mu_l} \quad (14)$$

Une borne inférieure du facteur de sécurité v a été établie pour garantir un niveau de fiabilité R donné (voir Kapur et Lamberson [6]^p)

$$v_p \geq \frac{1}{(1 + \eta_r^2) - \sqrt{\eta_r^2 + \eta_l^2} \sqrt{\frac{R}{1-R}}} \quad (15)$$

$$\text{où } \eta_r = \frac{\sigma_r}{\mu_r} \text{ et } \eta_l = \frac{\sigma_l}{\mu_l}$$

Un coefficient élevé conduirait à un surdimensionnement du composant et par conséquent à une augmentation de son coût.

b) $R > R^*$

Pour une conception au juste nécessaire, une analyse de l'écart $E = R - R^*$ s'impose pour tenter de réajuster, au besoin, les différents paramètres de conception, de fabrication et d'exploitation. Traditionnellement, lorsque la condition b) est satisfaite, le produit est jugé acceptable. Aucun réajustement n'est prévu.

Il ressort de ce qui précède qu'il est possible d'évaluer la fiabilité d'un composant connaissant la distribution de probabilité des contraintes et des résistances. Le modèle (4) suppose, que la résistance du composant est indépendante du temps. En pratique, les phénomènes de fatigue, d'usure et de vieillissement couplés à de multiples autres tensions

causés par le procédé de fabrication, altèrent la résistance du composant. La prise en compte de l'âge du composant dans l'approche contrainte/résistance est présentée à la section IV.

IV. Fiabilité d'un composant sujet à un processus de dégradation

Peu de travaux publiés sur l'approche contrainte/résistance ont abordé en profondeur la question relative au processus de dégradation de la résistance d'un composant en fonction du temps ou de tout autre unité d'usage. Lewis [7] et Shooman [12] exposent clairement le problème et proposent des modèles d'estimation de la fiabilité qui tiennent compte à la fois des contraintes, de la résistance et de l'unité d'usage du composant (le temps).

Xue et Yang [15] ont établi les expressions des bornes inférieure et supérieure de la fiabilité dans le cas où la résistance du composant se dégrade avec l'usage et ce, de manière aléatoire.

Si $R(t/r)$ désigne la probabilité conditionnelle de survie du composant au temps t , étant donné que sa résistance à cet instant est égale à r , alors, la fiabilité du composant au temps t (voir Lewis[7]) s'écrit :

$$R(t) = \int_0^{\infty} f_r(r) R(t/r) dr \quad (16)$$

Dans le cas où le taux de panne du composant est indépendant du temps mais varie avec sa résistance r , on obtient :

$$R(t/r) = e^{-\lambda(r)t} \quad (17)$$

Xue et Yang [15] indiquent trois façons de faire pour tenir compte du processus de dégradation d'un composant en fonction de son âge. La loi de dégradation $r(t)$ peut être :

a- Déterministe, auquel cas la résistance du composant est connue à chaque instant.

b- Aléatoire : Deux situations peuvent être envisagées :

b1) La loi de dégradation est connue et ses paramètres sont considérés comme des variables aléatoires.

b2) La fonction $r(t)$ est considérée comme une variable aléatoire dont les paramètres dépendent du temps.

Il va sans dire que $r(t)$ est une fonction décroissante du temps.

Si $r(t) \sim \mathbf{N}(\mu_r(t), \sigma_r(t))$ pour $t \in \mathfrak{R}$ alors :

pour un modèle de dégradation linéaire, on aura :

$$\mu_r(t) = \mu_0 + \alpha \cdot t \quad (18)$$

$$\text{et } \sigma_r(t) = \sigma_0 + \xi \cdot t \quad (19)$$

Les paramètres μ_0 , α , σ_0 , et ξ peuvent être obtenus à partir de valeurs observées de $\mu_r(t)$ et $\sigma_r(t)$ aux instants $t_1, t_2, \dots, t_N$.

Pour un modèle déterministe de dégradation, si les sollicitations se manifestent d'une manière aléatoire selon un processus de Poisson d'intensité γ alors, la fiabilité du composant est donnée par (Xue et Yang[15]) :

$$R(t) = \exp[-\gamma \int_0^t R_l(r(t)) dt] \quad (20)$$

où $R_l(r(t))$ est la probabilité de défaillance lorsque le composant subit une sollicitation d'intensité l au temps t .

Le taux de panne est donné par :

$$\lambda(r(t)) = \gamma R_l(r(t)) \quad (21)$$

Il ressort de cet exposé que la mise en œuvre de l'approche contrainte/résistance repose sur une bonne connaissance des conditions de réalisation, d'exploitation et de dégradation du composant. De plus en plus d'entreprises tentent de consolider leur expertise pour maîtriser les différents paramètres qui influencent le coût, la qualité, la fiabilité, la sécurité et la disponibilité de leurs produits.

Dans l'état actuel des choses, les entreprises sont tenues de démontrer les performances de leurs produits en procédant à des essais, normalisés ou non. Les contraintes de coûts et de délais font en sorte qu'on doit agir sur les facteurs environnementaux pour accélérer le processus de dégradation et obtenir ainsi des données fiables à partir d'un nombre limité de prototypes du produit.

Un examen sommaire de cette question est présenté à la section V.

V. Essais de validation

Ces essais demeurent incontournables surtout pour les composants dont la défaillance peut affecter la sécurité de l'utilisateur. Il s'agit de démontrer, par des essais, que la fiabilité R d'un composant est, pour une mission donnée, supérieure à une valeur R^* spécifiée dans le cahier des charges.

Ces essais sont généralement effectués sur un échantillon de taille n extrait d'un lot homogène de N composants ($N \gg n$). Ils tentent de reproduire, sur banc ou virtuellement, les conditions d'utilisation du composant pour apprécier non seulement ses capacités à supporter les diverses sollicitations mais aussi à valider les hypothèses et valeurs adoptées au niveau du bureau d'études.

Il n'est pas toujours facile ni utile de reproduire fidèlement toutes les conditions d'utilisation normale du composant. Une analyse des modes de défaillance (AMDEC) permet généralement de d'identifier les modes dominants qui méritent une investigation poussée.

Une fois cette étape franchie, on doit spécifier la taille n de l'échantillon qui permettra d'affirmer, avec un niveau de confiance (C) donné, que l'objectif de fiabilité spécifié R^* est satisfait.

Si un échantillon constitué de n composants extrait d'une population de taille N ($N > n$) est soumis à l'essai et si les k défaillances ont été observées à la fin de l'essai, alors (voir EL Khaïr et Gouget[3]), la probabilité que la fiabilité d'un composant extrait de la population, soit supérieure à une valeur R est donnée par :

$$\Pr(\text{fiabilité} \geq R) = 1 - (n+1) c_k^n \sum_{J=0}^{J=k} (-1)^J \cdot \frac{R^{n-k+J+1}}{n-k+J+1} \quad (22)$$

$$\text{où} \quad c_k^n = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (23)$$

Si aucune défaillance ne s'est produite durant l'essai ($k=0$), on obtient :

$$\Pr(\text{fiabilité} \geq R) = 1 - R^{n+1} \quad (24)$$

Ainsi, dans le cas où aucune défaillance n'a été observée à l'issue de l'essai de n composants, on peut écrire (relation 24) :

$$1 - R^{n+1} \geq C \quad (25)$$

Il en résulte que, pour assurer un niveau de confiance C , la taille n^* de l'échantillon à soumettre à l'essai, doit satisfaire la condition :

$$n^* \geq \frac{\ln(1-C)}{\ln R} - 1 \quad (26)$$

Pour un niveau de fiabilité R donné, la taille n de l'échantillon à soumettre à l'essai augmente avec le niveau de confiance C désiré. Par ailleurs, plus le niveau de fiabilité à valider est grand et plus la taille de l'échantillon à tester devient importante (pour un niveau de confiance C donné).

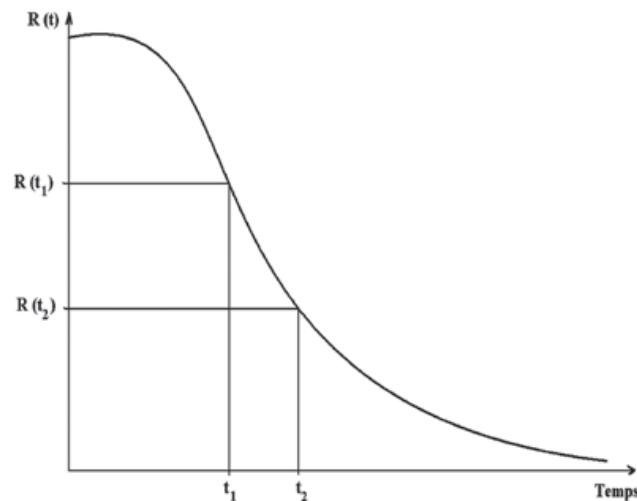
Ces constatations sont particulièrement importantes pour la planification des essais où le nombre de spécimens à soumettre au test est souvent imposé par des contraintes techniques, économiques ou autres.

Si la forme de la loi de fiabilité $R(t)$ est connue, alors, le principe de l'essai de validation repose sur l'affirmation suivante :

" Si pour une mission t_1 , on a $\Pr(\text{fiabilité} \geq R(t_1)) \geq C$ alors, pour toute mission t_2 du composant ($t_2 \neq t_1$), on aura $\Pr(\text{fiabilité} \geq R(t_2)) \geq C$."

La fonction de fiabilité étant une fonction décroissante, alors :

pour tout $t_1, t_2 \mid t_1 < t_2$, on a $R(t_1) > R(t_2)$ (Voir figure 2)

Figure 2 – Allure de la courbe de fiabilité $R(t)$

Ainsi, pour un niveau de confiance C donné, le nombre n_1 de composants requis pour valider $R(t_1)$ est supérieur au nombre n_2 de composants pour valider $R(t_2)$ (voir relation 26).

Dans le cas où les essais doivent être complétés dans un délai prédéterminé t_e et que les autres paramètres n et c sont fixés, le niveau de fiabilité $R_B(t)$ à valider au niveau de l'essai est obtenu à partir soit de la relation (25), dans le cas où aucune défaillance ne doit se produire durant l'essai, ou de la relation générale (22).

Si t_B désigne la durée de mission correspondant au niveau de fiabilité $R_B(t)$, deux situations peuvent se présenter :

1. 1- La durée de mission est inférieure au délai t_e imposé pour compléter les essais.
2. 2- $t_B > t_e$

Le premier cas n'impose aucune restriction particulière. La durée de l'essai est tout simplement égale à t_B . Le second cas, en revanche, est plus restrictif. Pour discuter de la façon de faire, dans le contexte de l'approche contrainte/résistance, désignons par : $F_B(t_B) = 1 - R_B(t_B)$,

le risque de défaillance correspondant à une durée de mission de t_B . $F_B(t_B)$ n'est autre que l'aire de la zone d'interférence indiquée à la figure 3.

La durée de mission t_B étant supérieure à t_e , il en résulte que : $F_B(t_B) > F_B(t_e)$.

Pour les fins de discussion, et sans perte de généralité, on suppose que : $l \sim N(\mu_l, \sigma_l)$ et $r \sim N(\mu_r, \sigma_r)$.

Pour faire passer l'aire de la zone d'interférence de $F_B(t_e)$ à $F_B(t_B)$, on peut procéder par sévélisation des conditions de l'essai (augmentation de μ_l et/ou σ_l), par vieillissement (diminution de μ_r , et/ou augmentation de σ_r) ou par sévélisation et vieillissement tel qu'illustré à la figure 3.

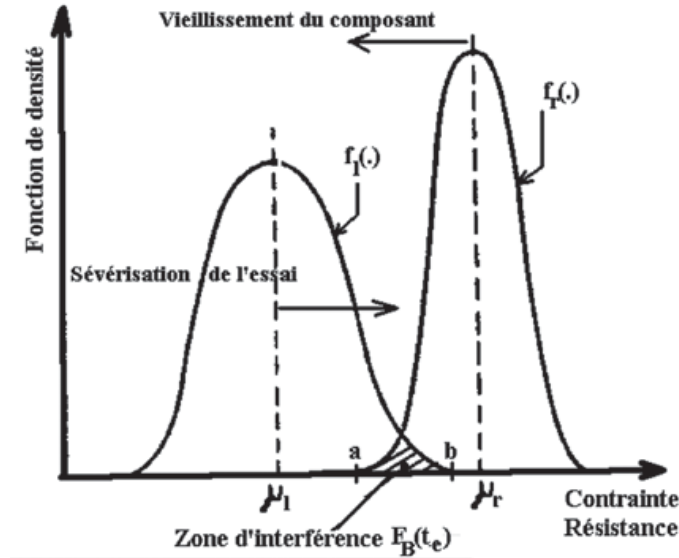


Figure 3- Essai sévéré

Le degré de sévérisation K de l'essai doit être tel que :

$$t_B = K t_e \quad (27)$$

Si D_r désigne l'endommagement résultant d'une exploitation du composant dans un environnement pris comme référence, et si D_s représente l'endommagement dans le cas d'un essai sévéré, alors, le facteur de sévérisation K n'est autre que :

$$K = \frac{D_s}{D_r} \quad (28)$$

Ainsi, si t_s est la durée de vie du composant dans un environnement caractérisé par son degré de sévérisation K , alors, sa durée t_r dans l'environnement de référence serait :

$$t_r = K t_s \quad (29)$$

Cette approche suppose que l'endommagement est proportionnel au degré de sévérisation de l'environnement. Le choix du facteur K est particulièrement important dans la conception et le pilotage des essais. Ce facteur influence non seulement la durée de l'essai (accélération du processus de dégradation) mais aussi la taille de l'échantillon.

Si $E(n,t,K)$ désigne l'essai caractérisé par la taille n de l'échantillon à tester, la durée t et son degré de sévérisation K , alors pour tout essai $E'(n',t',K')$ tel que $K' > K$, la taille n' de l'échantillon est inférieure à n .

Pour le cas particulier où $R(t)$ est une Weibull à deux paramètres $(\eta, \beta) \rightarrow R(t) = \exp\left(-\frac{t}{\eta}\right)^\beta$, on obtient :

$$n' = \left(\frac{K}{K'}\right)^\beta \times n \quad (30)$$

$$\text{Pour } K' > K \Rightarrow n' < n$$

Une bonne connaissance des différents mécanismes de dégradation permettrait de faire un choix éclairé des moyens à utiliser pour atteindre le degré de sévérisation désiré tout en évitant d'accélérer des modes de défaillance dont la probabilité d'occurrence, en exploitation normale, serait très faible.

Une sévérisation mal dosée peut conduire soit à de nouvelles investigations souvent trop coûteuses (essai trop sévéré) ou à la validation d'un composant dont les objectifs de fiabilité visés ne seraient pas nécessairement satisfaits. Une concertation étroite entre le bureau d'études et les centres d'essais s'impose. La disqualification d'un composant par des essais sévérés, peut, dans le cas où les essais ne sont pas normalisés, remettre en question l'organisation et le choix des paramètres de l'essai. Dans un souci de conception au juste nécessaire, on assiste de plus en plus à un effort d'intégration des différentes expertises disponibles, pour réaliser des produits de qualité, dans un court délai et à coût minimum.

L'organigramme présenté à la figure 4 décrit brièvement la procédure d'évaluation de la fiabilité en utilisant l'approche contrainte/résistance.

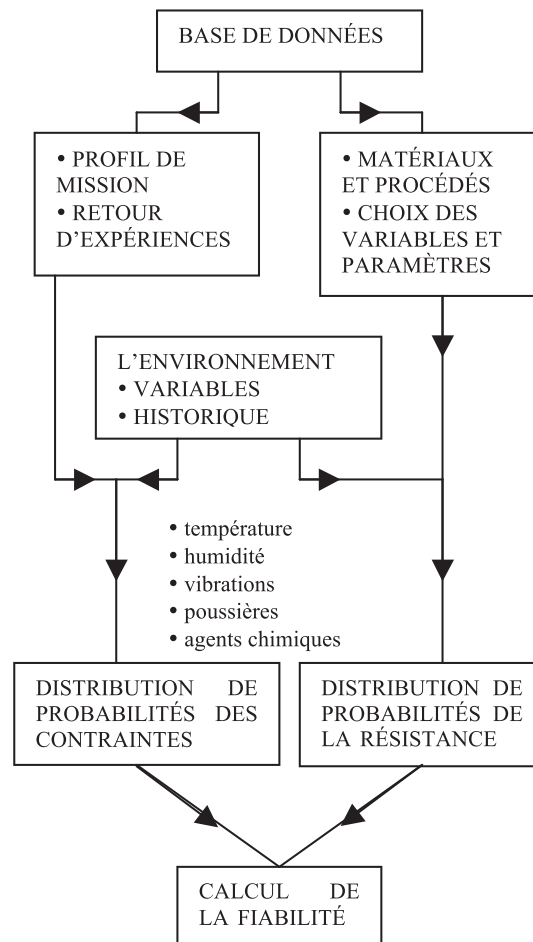


Figure 4- Procédure d'évaluation de la fiabilité à l'aide de l'approche contrainte/résistance

Dans cette optique, on tente d'exploiter la puissance de l'outil informatique pour permettre aux divers intervenants, non seulement d'accéder à de nouvelles connaissances, mais surtout d'interagir et de minimiser les délais occasionnés, entre autres, par les multiples rétroactions imposées par le processus séquentiel classique de développement et de mise en marché de nouveaux produits.

Les logiciels de conception et de fabrication assistées par ordinateur proposent maintenant de nouveaux modules qui permettent d'effectuer des simulations dynamiques sur des prototypes virtuels. Un aperçu du potentiel d'exploitation de ces outils pour la mise en œuvre de l'approche contrainte/résistance est donné à la section VI.

VI. Exploitation de la simulation sur prototypes virtuels

La quasi totalité des logiciels industriels de conception et de fabrication assistées par ordinateur offrent des modules qui permettent de simuler le comportement d'un composant dans un environnement virtuel. Une fois le dessin du composant complété, le logiciel permet de visualiser le composant en trois dimensions, de l'orienter dans l'espace, de lui appliquer des charges, de déceler ses points faibles et d'effectuer les améliorations jugées pertinentes. Jusqu'à très récemment cet exercice exigeait des connaissances approfondies en conception, en modélisation, en éléments finis et en analyse des résultats. Les nouvelles générations de logiciels offrent à l'utilisateur une assistance à tous les niveaux du processus de conception et de validation. Grâce à la flexibilité introduite par le paramétrage, il devient possible d'effectuer rapidement toutes les modifications désirées et d'évaluer l'impact de chacune d'elles sur la tenue du composant.

Ce ne sont là que quelques unes des fonctions qui pourraient servir à la mise en œuvre de l'approche contrainte/résistance. Il s'agit en fait de trouver un moyen d'obtenir, à partir de la simulation dynamique, les différentes fonctions de densité $f_i(\bullet)$, $f_r(\bullet)$ et $f(\bullet)$. Pour ce faire, on génère un lot de n composants. À partir de la liste de tous les défauts potentiels recensés, on génère, aléatoirement, pour chaque composant du lot, les valeurs des paramètres (dimensions, module d'élasticité, coefficient de Poisson, forme, tolérances, etc.) susceptibles d'influencer la tenue du composant. Une fois le lot défini, les contraintes sont générées d'une manière aléatoire. Pour chaque contrainte générée, on détermine la proportion de pièces ayant survécu à l'essai. L'analyse des observations recueillies est ensuite effectuée à l'aide d'un logiciel qui permet d'obtenir la distribution de probabilité $F_r(\bullet)$ qui ajuste au mieux les données.

Une simulation préalable du profil de l'utilisateur type du composant permet d'établir la distribution des contraintes.

Pour valider l'approche décrite succinctement ci-dessus, on s'est servi du logiciel Pro/ENGINEER et du module Pro/MECHANICA [9]. La figure 5 présente les principaux modules ayant servi aux divers traitements effectués.

Module 1-Pro/ENGINEER
• Conception Assistée par Ordinateur (CAO) • Création de pièces et d'assemblages
Module 2-Pro/MECHANICA
• Outils d'analyse des vibrations, des contraintes mécaniques et thermiques
Module 2A-Pro/MECHANICA Structure
• Analyse par éléments finis de pièces • Comprend les modules VIBRATION et THERMAL
Module 2B-Pro/MECHANICA Motion
• Permet d'animer des mécanismes • Permet de générer les équations de mouvement • Permet de déterminer les points d'application des différentes forces

Figure 5 – Modules utilisés dans le logiciel Pro/ENGINEER

La figure 6 résume la procédure utilisée pour générer, analyser et modifier un composant. La figure 7 présente un aperçu des différentes planches générées par le logiciel Pro/ENGINEER. Ces figures correspondent à l'exemple d'application traité dans le guide PROGUIDE fourni lors de l'achat de Pro/ENGINEER. Des détails plus spécifiques au module Structure sont disponibles dans le document de référence [9].

Il ressort de cette brève démonstration qu'à l'aide des outils de CAO, DAO et FAO actuellement disponibles sur le marché, il est possible d'effectuer des simulations dynamiques sur des prototypes virtuels et dans un environnement virtuel. Il est aussi possible d'agir aussi bien sur le prototype que sur l'environnement et ce, de manière relativement simple et dans un délai très court.

Plusieurs constructeurs automobiles [Renault, Chrysler...] exploitent déjà le potentiel de la simulation sur ordinateur ou sur banc d'essai pour développer de nouveaux produits. De plus, une récente publicité de Pro/ENGINEER mentionne que depuis 1995, quatre principaux manufacturiers d'automobiles ont standardisé le développement de leur groupe propulseur avec ce logiciel [10].

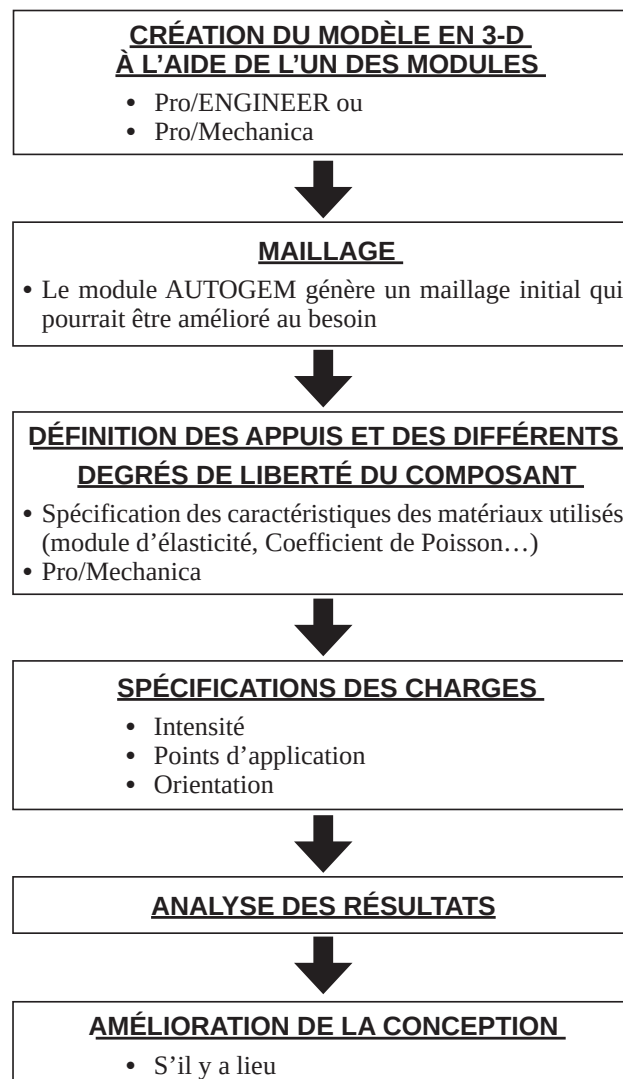


Figure 6 – Génération, analyse et modification d'un composant

VII. Conclusion

Cette étude a permis d'examiner les différents aspects de l'approche contrainte/résistance pour estimer la fiabilité de composants sujets à des contraintes dont l'occurrence et l'intensité sont aléatoires et dont la résistance est également aléatoire. Plusieurs travaux ont été consacrés aux divers aspects analytiques de l'approche sans trop se préoccuper de sa mise en œuvre. Les questions abordées dans cette recherche sont issues de considérations pratiques. L'objectif visé est de proposer une méthodologie de mise en œuvre qui procède à partir d'une vision intégrée des différents concepts et qui tente d'exploiter les outils disponibles pour raffiner les méthodes existantes ou introduire de nouvelles façons de faire.

La mise en œuvre de cette approche repose sur une étroite collaboration entre les différents intervenants pour mieux définir et modéliser les besoins du client et pour exploiter efficacement les expertises disponibles. Les nouvelles technologies de l'information répondent de plus en plus à cet impératif de collaboration. Par ailleurs, l'évolution des logiciels de conception et de fabrication assistées par ordinateur et la maîtrise de la simulation offrent des alternatives intéressantes pour le développement rapide de nouveaux produits de qualité et ce à coût minimum.

L'accent a été mis dans cette étude sur la façon d'exploiter le potentiel de l'approche contrainte/résistance aussi bien au niveau du bureau d'études que dans les centres d'essais. En intégrant à la fois les besoins du client et les capacités des procédés de fabrication et de validation, l'approche contrainte/résistance se révèle particulièrement intéressante pour les entreprises qui cherchent à améliorer leur compétitivité sur le plan mondial.

Parmi les orientations indiquées dans cette étude, on mentionne le potentiel de la simulation sur prototypes virtuels comme complément intéressant aux campagnes d'essais qui sont souvent onéreuses et très coûteuses. Grâce à la flexibilité des outils disponibles, il est possible d'agir virtuellement aussi bien sur le produit que sur l'environnement dans lequel il est appelé à évoluer.

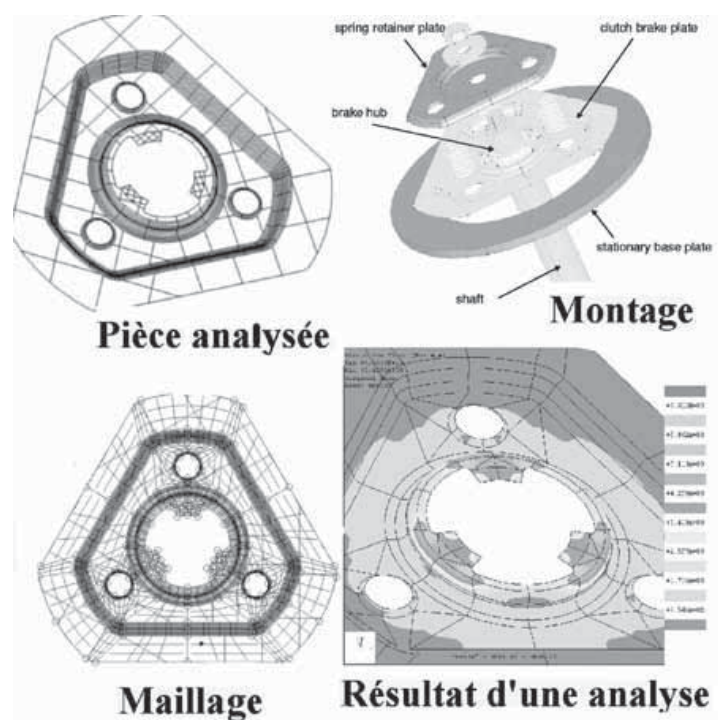


Figure 7- Planches générées avec Pro/ENGINEER et le module Structure de Pro/MECHANICA

VIII. Remerciements

Cette recherche a été financée par la direction de la recherche de Renault (France) et par le conseil de la recherche en sciences naturelles et en Génie du Canada (CRSNG).

Les auteurs tiennent à remercier tous les responsables de la direction de la recherche et des centres d'essais de Renault pour leur disponibilité et l'appui inconditionnel accordé aux auteurs.

Tous nos remerciements à M.Algré qui a été à l'origine de ce travail et à Martin Gignac, chercheur au département de Génie Mécanique pour le soin qu'il a apporté à la présentation de cet article. De plus, remerciements à Madame Gignac et Madame Poulin pour la révision du texte.

IX. Références

- [1] A.D.S. Carter, *Mechanical Reliability*, 1986; Macmillan.
- [2] J.D. Chuech, B. Harries, "The estimation of reliability from stress-strength relationships", *Techmetrics*, vol 12, num 1, 1970 Feb.
- [3] A. EL Khaïr et N. Gouget, *Validation de la fiabilité des systèmes innovants à l'aide de tests accélérés*, Rapport technique, direction de la recherche, Renault, 1997.
- [4] J. English, T. Sargent, T. Landers, "A discretizing approach for stress/strength analysis", *IEEE Trans. Reliability*, vol 45, 1996 Mar., pp 84-89.
- [5] W.G. Ireson, C.F. Coombs, Jr. and R.Y. Moss, *Handbook of reliability engineering and management*, second edition, 1995, McGraw-Hill.
- [6] K.C. Kapur, L.R. Lamberson, *Reliability in Engineering Design*, 1977; John Wiley & Sons.
- [7] E.E. Lewis, H. Chen, "Load-capacity interference and the bathtub curve", *IEEE Trans. Reliability*, vol 43, 1994 Sep., pp 470-475.
- [8] Cl. Marcovici, and J.Cl. Ligeron, *Utilisation des techniques de fiabilité mécanique*, dernière édition, 1974, Technique & Documentation.
- [9] Parametric Technology Corporation, *Pro/MECHANICA Using Structure with Pro/ENGINEER®*, Release 18, 1997.
- [10] Parametric Technology Corporation, Publicité Aller plus vite., Revue PLAN, mars 1998, Ordre des ingénieurs du Québec, p.10.
- [11] S.S. Rao, *Reliability Based Design*, 1992; McGraw-Hill.
- [12] M.L. Shooman, *Probabilistic reliability : an engineering approach*, second edition, 1990, Robert E. Publishing company, Inc.
- [13] A. Villemeur, *Reliability Availability Maintainability and safety Assessment*, 1992; John Wiley & Sons.
- [14] J.D. Wang, T.S. Liu, "A discrete stress-strength interference model for unreliability bounds", *Reliability Engineering and System Safety*, vol 44, 1994, pp 125-130.
- [15] J. Xue and K. Yang, "Upper & Lower Bounds of Stress-Strength Interference Reliability with Random Strength Degradation", *IEEE Trans. Reliability*, vol 46, no.1, 1997 Mar. pp 142-145

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Daoud Ait Kadi. Une fois encore on voit le fil conducteur des coordonnateurs de cette session plénière qui nous font terminer en apothéose avec le souci majeur de la fiabilité des données et de l'anticipation de la maintenabilité des systèmes. Merci de cet effort.

On a le temps pour 3 questions la table au panel et à son animateur.

Très bien, si on n'a pas de question, je vais inviter les orateurs du panel :

- Pr. Eric Sandewall de l'Université de Linköping en Suède et membre associé de notre Académie.
- M. Rachid Benmokhtar Benabdellah, président de l'Observatoire National du Développement Humain et membre résident de notre Académie.
- Pr. Philippe Tanguy, de Total France et membre associé de notre Académie.

J'ai cru savoir que l'animation de ce panel a été confiée à M. Benmokhtar qui a bien voulu l'assurer pour à peu près une heure.

Avant peut-être de vous céder la parole, il m'a semblé important à l'issue de ces jours et ça sera conclu avec la discussion autour du panel qu'on bénéficie d'une synthèse et, en toute humilité, je ne me sens pas très confortable pour la faire. J'ai donc demandé aux coordonnateurs de cette session plénière de nous assurer un résumé synthétique.

Je vous cède donc la parole.

PANEL : SIN, OUTILS ET MÉTHODES

Modérateur : Pr. Rachid BENMOKHTAR - BENABDELLAH

Membres du Panel : Pr. Philippe TANGUY et Pr. Erik SANDEWALL

Pr. Rachid BENMOKHTAR BENABDELLAH

*Président de l'Observatoire National du
Développement Humain, Rabat, Maroc
Membre résident de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



Pr. Philippe TANGUY

*Total, France
Membre associé de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



Pr. Erik SANDEWALL

*Université de Linköping, Suède
Membre associé de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



Pr. Rachid BENMOKHTAR BENABDELLAH

Nous avons été sollicités pour organiser cette table ronde qui se tient à l'issue de deux journées où nous avons eu des présentations passionnantes et assisté à des débats de haute valeur.

Notre curiosité a été aiguisée et je suis persuadé qu'aucune des présentations dont je tiens à féliciter les auteurs ne nous a laissés indifférents.

Beaucoup de questions se posent à nous, cependant nous avons retenu ensemble de porter la discussion sur les leçons que nous pourrions tirer de ces deux journées.

Avant de donner la parole à nos deux compagnons. M.Philippe Tanguy et M. Erik Sandewall, je souhaite faire quelques remarques personnelles.

Nous sommes face à un développement extraordinaire du domaine des sciences et de l'ingénierie numérique. Les projets de la micro-électronique et la révolution numérique qui s'en est suivie a apporté des changements drastiques dans notre univers quotidien et les progrès futurs vont sans doute impacter encore plus l'avenir des futures générations, celui de nos enfants et de nos petits enfants.

A titre personnel, je mesure avec à la fois incrédulité et admiration, le chemin parcouru entre le temps de mes études d'ingénieur où nous avions à notre disposition les meilleurs ordinateurs de l'époque et les capacités offertes aujourd'hui par le High Performance Computing. C'est comme comparer en matière de transport la charrette à bœuf et les derniers avions long courrier.

Je me souviens avoir choisi de faire les calculs de mon projet de fin études (le calcul d'une aile d'avion) avec un ordinateur de l'époque au lieu d'utiliser la règle à calcul. C'était un programme de quelques 5000 instructions, sa compilation durait une nuit entière et une vingtaine de nuits blanches furent nécessaires pour en venir à bout. Ça ne prendrait que quelques secondes avec un ordinateur moyen aujourd'hui!

Les sciences et l'ingénierie numérique vont sans doute continuer à évoluer, profitant de l'amélioration des performances des ordinateurs et des progrès technologiques, vers quel monde vont-elles nous porter, que sera demain avec leur impact et l'énorme potentiel de changement qu'elles nourriront? bien des questions se posent, je me permets de mettre sur la table les suivantes :

- 1- Comment les outils actuels et à venir vont-ils transformer nos vies, nos sociétés, nos pays?
- 2- Le deuxième champ d'interrogation est celui de l'éthique. Il nous concerne en tant qu'individus, mais aussi comme sociétés et il concerne notre espèce et notre biosphère. Pour chaque progrès nous devons nous poser la question de son impact sur ces dimensions.
- 3- Comment notre comportement sera affecté par ces évolutions, je pense par exemple à la réalité virtuelle? Quels effets sur l'individu, sur la société, sur les comportements collectifs?

- 4- Enfin la quatrième est le champ philosophique, celui qui pose la question de la finalité de ces progrès. Quel rapport aux grands problèmes de notre temps : quel impact sur l'avenir de l'humanité? un élan humaniste "nouveau" pourrait-il naître de ces progrès et nous conduire vers de nouvelles valeurs plus universelles et plus partagées?

Voilà quelques questionnements que m'inspire l'écoute des passionnantes présentations de ces deux jours.

Sans plus tarder permettez-moi de donner la parole à nos deux compagnons, en commençant par M. Philippe Tanguy.

Pr. Philippe TANGUY

Merci Si Rachid de me donner la parole pour apporter un point de vue concernant l'impact de l'ingénierie numérique sur nos vies présentes et futures et sur l'impact qu'elles peuvent avoir sur nos pays. J'ai envie de partir de ma propre expérience, de ce que j'observe dans le monde industriel depuis 3 ans et finalement de l'impact que l'ingénierie numérique a sur nos modes de travail et extrapoler cette expérience au Maroc.

Chez Total-France, la modélisation, les mathématiques appliquées, la gestion de grandes quantités de données, c'est du quotidien.

J'ai assemblé Cinq exemples pour la circonstance:

- **1^{er} exemple : l'imagerie sismique**

Nous l'utilisons pour visualiser les gisements jusqu'à 3000 mètres sous le niveau de la mer et jusqu'à 5000 mètres sous terre, donc jusqu'à une profondeur de 8000 mètres. Cette imagerie sismique est semblable à l'IRM, nous employons des capteurs à ultrasons pour construire une image grâce à un modèle mathématique qui reconstruit ce qu'il y a sous le sol.

Ces techniques sont essentielles pour visualiser des gisements, pour estimer des réservoirs.

- **2^{ème} Exemple : La réalité virtuelle**

Nous utilisons cette technique pour la formation de notre personnel des plateformes pétrolières. Dans une salle on reconstitue par image une plateforme virtuelle, vous êtes un genre "d'avatar" et vous vous promenez sur cette plateforme. Un opérateur va vous inviter à faire une opération, changer une pompe, resserrer une dalle ou vérifier une fuite par exemple, tout cela de manière totalement virtuelle. Ces opérations sont répétées plusieurs fois afin que vous soyez totalement familiarisé avec elles quand vous serez sur la vraie plateforme.

- **3^{ème} Exemple : l'efficacité énergétique**

Réduire les émissions de toute sorte, qu'elles soient gazeuses ou de sous-produit est une autre application de l'ingénierie numérique.

- **4^{ème} Exemple : La modélisation économique**

On n'en a pas trop parlé, utiliser des équations aux dérivées partielles pour modéliser un problème économique est d'utilisation courante dans l'industrie.

- **5^{ème} exemple : l'étude de risques**

Les études de risques, d'impact environnementale, se prêtent bien à la modélisation et l'apport de l'ingénierie numérique y est énorme et notamment le High Performance Computing, compte tenu du très grand nombre de données manipulées.

Ce que l'on peut tirer de ces exemples, c'est les grandes possibilités que l'ingénierie numérique offre au Maroc.

En effet une partie importante de l'économie marocaine est basée sur les ressources naturelles où ces techniques peuvent apporter un grand plus.

Une formation de compétences dans ce domaine conjuguée à la coopération internationale est la voie pour le futur. Parce que les jeunes il convient de les faire rêver et de les attirer vers les sciences et l'ingénierie, plus que vers la finance, pour préparer ce futur.

Depuis deux jours, avec nos éminents orateurs nous avons rêvé, il faudrait que cette rencontre ait un impact et il est possible qu'elle en ait un si on gère bien la suite de cet événement.

Pr. Erik SANDEWALL

Merci Monsieur le modérateur.

Je vais commencer par évoquer un proverbe cité par ce jeune ce matin "Les nouveaux horizons ne se découvrent pas en utilisant de vieux sentiers". Je pense que les développements du numérique au service des sciences et de l'ingénierie est très important mais comme toujours dans de telles situations, les nouveaux challenges posent de nouveaux problèmes qui doivent être résolus.

Parmi les développements importants dont nous avons entendu parler ces deux jours figure l'explosion des volumes de données générées par les expérimentations et observations de toutes sortes.

De ce fait, je propose de nous focaliser sur le type d'interactions que nous avons avec les ordinateurs à travers les types et formes de données apparentes qu'ils nous délivrent.

La forme la plus ancienne est la tabulation numérique qui date des années 40 avant que l'on puisse traiter des fichiers alphanumériques dans les années 50.

Depuis une grande évolution a eu lieu avec la possibilité de traiter des textes :

- 1) Les textes non formatés comme dans les messages mails;
- 2) Les textes formatés utilisés dans la préparation de documents;
- 3) Les hyper textes utilisés dans les pages web;
- 4) Les scripts utilisés dans Excel par exemple ou par les questionnaires de bases de données;
- 5) La visualisation graphique ou par image qui nous rendent une représentation très concrète de phénomènes statiques où dynamiques.

6) Les structures composées d'éléments qui représentent un phénomène du monde réel, les relations entre les entités qui les composent, les informations attachées à ces entités et à ces relations.

On appelle ces structures des réseaux sémantiques, qui seront utilisés dans ce qu'on appelle "sémantique web".

7) Le dernier exemple concerne la "Modélisation conceptuelle" il s'agit d'un autre niveau de texte comprenant des entités, des relations, l'information qui leur est attachée et qui elle-même peut être représentée par des tableaux, des fiches, des textes, des programmes, etc.

Ce type de modélisation est utile pour développer de grands systèmes, qui eux-mêmes peuvent évoluer, introduisant de nouveaux changements, et ainsi de suite.

La question ici est la très grande quantité de données utilisées ou générées.

Le problème de l'organisation et du suivi de ces données devient très complexe. Il arrive un moment où la discipline ne suffit plus et avec le temps après 2 ans, 5 ans ou 10 ans les données ne seront plus accessibles.

La voie vers une solution s'appelle "sémantique web"

Un autre développement important et qui étend le concept de réseau sémantique consiste à modéliser non seulement des situations statiques mais également dynamiques. C'est ce qui est utilisé dans les systèmes robotiques dits intelligents.

Dans le monde réel tous les systèmes ont un aspect contenu et un aspect discret en lien avec des concepts, or la modélisation conceptuelle est moins connue et beaucoup plus difficile à réaliser. Doit-on alors développer ce type d'applications à partir de zéro ? Ne faut-il pas plutôt utiliser des travaux existants, fait par ailleurs. On parle dans ce cas de modules de programmes ou de modules de logiciels.

Il y a des bibliothèques de modules qui contiennent des faits et des connaissances utilisables dans différentes situations. Savoir les utiliser permet de faciliter la tâche. Le tout est donc de savoir quels sont les outils dont on a besoin pour faire des modèles.

Concernant le Maroc, je m'avance avec prudence ne connaissant pas suffisamment le pays.

Mais je pense qu'il y a un grand potentiel d'utilisation de l'informatique et de l'ingénierie numérique dans les domaines de la santé, de l'agriculture, de l'industrie, de l'économie.

Les premières étapes pour y parvenir? J'en propose deux :

- 1- Vulgariser tous ces nouveaux développements dont nous avons parlé dans le milieu académique et expliciter les nouvelles directions de recherche.
- 2- Développer autant que possible les cours d'informatique dans les universités.

**COMMÉMORATION DE
L'ANNÉE INTERNATIONALE DE LA FORÊT**

En commémoration de l'Année internationale de la forêt, l'Académie Hassan II des sciences et techniques a organisé, au cours de sa session plénière solennelle 2012, une session consacrée à la foresterie et aux espaces boisés en Méditerranée et au Maroc, en vue de mettre en relief les menaces qui pèsent sur ces écosystèmes, les programmes de conservation et de recherche en cours ainsi que les principales actions futures. L'Académie est ainsi amenée à contribuer intellectuellement et matériellement dans le cadre des conventions de coopération.

LA FORESTERIE ET LES ESPACES BOISÉS EN MÉDITERRANÉE ET AU MAROC

Rapport de synthèse

Pr. Albert SASSON

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



Le constat

Dans les pays du nord du bassin méditerranéen, les espaces boisés s'étendent du fait de la déprise agricole, mais les incendies y affectent chaque année des surfaces non négligeables. Dans les pays du sud et de l'est, ils sont fortement dégradés par le surpâturage et la surexploitation pour le bois de feu, et dans une moindre mesure, par les feux. Les espaces boisés contribuent à faire de la région méditerranéenne l'un des hauts lieux de la biodiversité terrestre de la planète. Région qui, par ailleurs, est l'une des plus vulnérables au changement climatique et à l'aggravation conséquente de la sécheresse.

Ces diverses menaces affectent négativement leurs très nombreuses valeurs tant économiques et sociales qu'environnementales et culturelles. Ils fournissent en effet une large gamme de produits (bois, liège, fruits, plantes aromatiques, etc.) et des services, de fait ou potentiellement marchands, comme ceux de récréation. En plus d'être un réservoir de biodiversité, ils procurent aussi des biens publics essentiels, tels que la conservation des sols et des eaux –d'une importance vitale dans cette région où sévissent aridité et sécheresse–, et la sauvegarde des paysages. D'une manière générale, cependant, les populations locales participent insuffisamment à leur gestion, et n'en tirent pas tout leur dû.

Au Maroc, les forêts et autres formations ligneuses font partie des 39 écosystèmes constituant le patrimoine naturel du pays. Elles contribuent largement à sa grande diversité biologique sur le territoire (plus de 4 500 espèces de plantes vasculaires, plus de 550 espèces de Vertébrés et des milliers d'Invertébrés ; le taux d'endémisme est supérieur à 20%), qui est comparable à celle de la Turquie ou de l'Espagne.

De graves menaces pèsent sur ces écosystèmes : un tiers est dégradé, un quart de la flore est en danger et 10% des Vertébrés sont menacés de disparition.

Pourquoi?

- Erosion hydrique moyenne à forte; l'érosion éolienne prévaut également dans les plaines et plateaux de l'Oriental.
- Surpâturage : la pression du pâturage est forte et excessive sur 26% du territoire, avec un dépassement de potentialités de deux à cinq fois selon les zones.
- Changement climatique : augmentation des températures moyennes de +2°C à 5°C en 2100 (en se fondant sur la base de référence du climat 1961-2000); diminution des précipitations moyennes de -5% à 50% en 2100; dans le cas du Haut et de l'Anti-Atlas, la pluviométrie a diminué de 150 mm de pluie au cours de l'année 1960 à 100 mm en 1991; il y a donc une tendance à l'aridification; une augmentation de 2°C de la température moyenne entraîne un déplacement de 200 km de latitude (on passe ainsi du semi-aride vers l'aride, et du subhumide vers le semi-aride) : augmentation du risque d'incendie .

L'action en cours

Au Maroc, l'action en cours a pour objectifs:

- la sécurisation du domaine forestier;
- la reconstitution des espaces boisés.
- Activités de boisement et de reboisement avec de préférence des essences ligneuses locales ; adaptation d'un objectif principal à chaque espace forestier ainsi créé ou recréé : production de bois, alimentation du cheptel, reconstitution des paysages, lutte contre l'érosion et la désertification.
- Réduction de l'érosion génétique et restauration de la diversité biologique ; réhabilitation de la faune sauvage dans ses milieux naturels.
- Aménagement de 22 bassins versants prioritaires sur une période de 20 ans : traitement de 1,5 million d'hectares, soit 75.000 hectares par an.
- Fixation des dunes continentales et des cordons dunaires côtiers (450 hectares par an).
- Lutte contre les incendies de forêts dans le contexte du changement climatique et de l'adaptation à ce dernier.

La recherche forestière

Elle souffre de faiblesses durables. Au niveau national, on constate le plus souvent un manque de priorités et l'émiettement des programmes en un trop grand nombre de sujets; une inadéquation d'une partie des programmes aux problèmes réels et aux attentes des utilisateurs; et, de façon générale, une affectation de moyens très insuffisants. A la différence d'autres régions du monde, le secteur forestier privé, sans grandes entreprises, ne participe pas aux efforts de la recherche qui reste publique pour une large part. Des initiatives internationales, soit très anciennes (comme Silva Mediterranea), ou plus récentes comme EFIMED s'attachent certes à développer les

partenariats et à la mise en réseau, à renforcer les institutions ainsi que la formation continue du personnel de recherche. Mais les programmes nationaux et internationaux restent largement insuffisants au regard des besoins.

Depuis le début des années 2000, la recherche sur les espèces et écosystèmes boisés en Méditerranée (dans le domaine de l'autécologie, de la génétique et de l'écophysiologie notamment) tente de répondre aux défis que pose le changement climatique, tant en matière de fixation du carbone que d'adaptation au réchauffement et à l'aggravation de la sécheresse. Une autre évolution récente, particulièrement opportune, consiste à ajouter à ces disciplines physiques et biologiques, celles qui concernent les aspects économiques, sociaux et de politique forestière. C'est le cas en particulier de l'étude des approches participatives en matière de gestion et de gouvernance forestières; ou de l'estimation de la valeur économique des «externalités» que constituent les biens et services non marchands rendus par les espaces boisés méditerranéens. Cette estimation est très utile lorsqu'il s'agit de leur assigner une priorité adéquate dans les choix budgétaires et les mécanismes de financement durable.

Au Maroc, la recherche est un outil indispensable à la conservation du patrimoine forestier national et à l'amélioration de la productivité des espaces boisés.

- Amélioration et conservation des ressources génétiques (par exemple pin et eucalyptus dans une quarantaine d'arboretums; réseaux méditerranéens d'échange; conservation de semences et de vitroplants).
- Caractérisation génétique moléculaire de la diversité des espaces forestiers (cèdre, thuya, caroubier, chêne liège et arganier - pour ces deux dernières espèces, projets de recherche soutenus par l'Académie et exécutés par des consortiums de laboratoires universitaires et du Centre de recherche forestière, CRF).
- Caractérisation technologique et transformation des produits forestiers (bois, liège, par exemple; le Maroc enregistre un déficit commercial de l'ordre de 1,8 million de m³ de bois et dérivés).
- Bois et dérivés (propriétés, conditionnement, nouveaux usages, par exemple pin d'Alep, thuya, chêne vert et eucalyptus).
- Rationalisation de la consommation de bois de feu (la demande au Maroc équivaut à trois fois le potentiel de production des espaces boisés, d'où la nécessité de la fourniture de formes d'énergie de substitution).
- Lutte contre les ravageurs et les maladies des espèces forestières, en particulier en rapport avec le changement climatique.
- Sylviculture, biotechnologies végétales pertinentes, amélioration génétique des espèces importantes sur le plan économique et environnemental (en particulier adaptation au stress hydrique).
- Mise au point de systèmes d'alerte et de suivi des sécheresses et de leurs conséquences au Maroc et dans les pays méditerranéens.

Conclusion

Le Maroc subit des contraintes analogues à celles des autres pays méditerranéens pour conserver et mettre en valeur durablement ses espaces boisés. L'importance de ces derniers pour le développement économique et social des différentes régions du Maroc et du pays dans son ensemble est indéniable, particulièrement en milieu montagnard.

L'Académie considère qu'il est pertinent de renforcer le soutien aux programmes de recherche forestière intégrés, pluridisciplinaires et intersectoriels, afin d'en accroître la pertinence et l'efficacité. Elle est décidée à y apporter sa contribution intellectuelle et financière, dans le cadre notamment des conventions de coopération qui la lient au Haut Commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification, ainsi qu'à l'Agence nationale de développement des zones oasiennes et de l'arganier.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Chers collègues bonjour, je suis impressionné de la ponctualité. Ce matin, en commémoration de l'année internationale de la forêt, nous sommes honorés de la présence parmi nous du Dr. Lhafi, (Haut-Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification) pour nous entretenir sur **la forêt marocaine – réalité et avenir**. Se joint à notre table le Pr. Jean-Paul Lanly (Membre de l'Académie d'Agriculture de France) pour nous parler des **espaces boisés méditerranéens** et enfin le Dr. Said Hajib (Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification) qui nous dira un peu ce qui se passe dans le domaine de **la recherche forestière au Maroc**. Donc j'invite nos orateurs à respecter le temps qui leur est imparti qui est de 30 mn et nous réserverons la discussion à la fin de leurs présentations.

Dr. Lhafi, vous avez la parole.

LES FORETS MAROCAINES : FAITS ET DEFIS

Dr. Abdeladim LHAFI

***Haut-Commissaire aux Eaux et Forêts
et à la Lutte contre la Désertification,
Rabat, Maroc***



Résumé

La mise à niveau de la gouvernance des espaces boisés est envisagée à travers les clefs d'entrée de cinq grands ensembles de rupture : **i-** la sensibilité des espaces forestiers à la désertification et l'analyse des liens de causalité entre les déterminants structurels et les facteurs favorisant. **ii-** les tendances lourdes des changements climatiques, leurs expressions et leurs influences sur les écosystèmes méditerranéens. **iii-** les tensions sociospatiales et les relations conflictuelles vocation-utilisation des sols. **iv-** la rupture des ressorts de régulation traditionnelle de gestion des espaces. **v-** les interactions entre les équilibres des écosystèmes naturels et les options de développement des espaces ruraux et forestiers.

Ces ruptures appellent de nouvelles approches dans les conceptions: **i-** du territoire, comme unité de développement. **ii-** du développement intégré en logique inversée par rapport aux plans de développement sectoriel. **iii-** de la gestion de l'espace dans les méthodes, le mode de valorisation des ressources naturelles, les leviers d'incitation et les modèles organisationnels. **iv-** l'analyse des paramètres et des indicateurs de développement durable, comme outils de définition des politiques publiques de développement et de leur évaluation.

I. Les principes de base

L'élaboration de la politique forestière au Maroc s'appuie sur cinq principes fondateurs qui encadrent à la fois la stratégie forestière et les déclinaisons opérationnelles au niveau des massifs forestiers.

1. Les espaces forestiers et l'aménagement du territoire : la configuration des espaces forestiers est liée aux arbitrages à rendre entre les vocations intrinsèques de l'espace et l'utilisation de ces espaces, et définie par les options de développement

économique intégrant les dimensions du développement humain d'une part, et les exigences du développement durable d'autre part. les orientations à moyen et long terme de l'usage de l'espace, constituent l'axe de gestion, de conservation et de protection des espaces forestiers par rapport à la politique globale de l'aménagement du territoire;

2. La connaissance, aussi précise que l'autorise l'état de nos connaissances scientifiques et techniques, de la dynamique des écosystèmes, est un préalable à la restauration des équilibres de ces écosystèmes ; la reconstitution de nouveaux équilibres est dictée par les conditions du milieu, les interactions permanentes entre la terre, la faune, le sol et les conditions climatiques, et les effets anthropozoïques ; les équilibres se construisant dans la limite de la capacité de résilience de ces écosystèmes;

3. La reconfiguration des espaces forestiers, et l'inversion des tendances de dégradation, nécessitent concomitamment des opérations de restauration à travers les actions techniques telles que le reboisement, la régénération, et le traitement mécanique et biologique des espaces forestiers et des bassins versants d'une part, les actions de réduction ou de neutralisation des causes de dégradation, à travers la prise en compte des variations des conditions du milieu et la gestion des tensions socio-spatiales par la rectification des pressions dues aux usages et aux exploitations diverses des produits forestiers et des espaces forestiers;

4. l'anticipation des zones de rupture dans les conditions du milieu, devant survenir particulièrement dans l'évolution des écosystèmes constitués des espèces forestières à cycle long, ou des fragilités de la diversité biologique qui naîtraient notamment des variations ou des changements climatiques, dans leur structure, dans leur répartition, et dans l'intensité de leur survenue;

5. la proactivité et l'aptitude à décider en situation d'incertitude, et dans les configurations complexes de la dynamique des écosystèmes : La gestion du risque, identifiée et quantifiable, le principe de précaution en situation d'insuffisance ou d'absence de données scientifiques et techniques, ou en situation de risques virtuels ou inconnus, constituent les éléments d'appréciation devant guider les comportements des décideurs et des gestionnaires de l'espace forestier. Les approches de prise en charge des atteintes biologiques, doivent passer progressivement des postures de réaction à des attitudes d'épidémiologie prédictive, devant simuler les modèles d'émergence ou d'apparition de maladies pouvant affecter la flore et la faune.

II. les grilles de lecture

La mise en œuvre des opérations de gestion des espaces forestiers, s'appuyant sur les cinq principes fondateurs rappelés ci-dessus, s'articule autour de deux entrées majeures : i- la prise en compte des éléments structurels ou conjoncturels liés à la sécheresse. ii- la conception intégrée, globale et territorialisée des opérations en les déclinant selon un rythme et un agenda de mise en action cohérent et en leur donnant l'intensité et la dimension nécessaires, suffisantes pour inverser les tendances.

1. Aridité, sécheresse et désertification :

Les liens de causalité ou d'interaction entre l'aridité structurelle du territoire, les sécheresses conjoncturelles et les processus de pertes d'équilibres, au-delà des seuils de réversibilité (désertification) constituent un élément fondateur majeur dans la conception des projets de gestion des espaces forestiers.

93% du territoire national sont caractérisés par un climat aride à semi-aride, et de ce fait, les opérations de conservation ou de restauration des écosystèmes forestiers naturels intègrent les contraintes structurelles pour la mise en cohérence des constituants de ces écosystèmes dans le choix des espèces, dans la conduite des peuplements et d'une façon générale dans la prise en compte de la dynamique et de la spécificité de l'écosystème concerné.

2. la sécheresse :

Dans un contexte d'aridité structurelle, le Maroc a toujours connu des épisodes de sécheresses, partielles ou généralisées. Mais le taux d'occurrence relevé de 1940 à 2002, tel que le montre le tableau ci-après, a évolué de façon importante.

Période	Occurrence des sécheresses agricoles	%
1940-1979	5 sur 40 ans	12.5
1980-1995	6 sur 16 ans	37.5
1996-2002	4 sur 7 ans	57.1

Les sécheresses, en plus qu'elles sont devenues plus fréquentes, plus intenses et plus longues, connaissent un découplage très net entre la sécheresse hydrologique, la sécheresse climatique et la sécheresse agricole, de sorte qu'une année enregistrant des niveaux de précipitations dans la moyenne des niveaux habituellement observés, peut être une année à sécheresse agricole aigue, du fait de la mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace de ces précipitations, et doublée par la fréquence d'événements extrêmes.

3. La désertification :

Phénomène insidieux, diffus et progressif, il ne concerne pas uniquement les aspects d'ensablement, mais englobe tous les phénomènes conduisant à une perte d'équilibre irréversible dans la dynamique des écosystèmes, et au déclenchement de réactions en chaînes, se potentialisant les unes les autres avec une amplification dans leurs effets, tels que l'érosion hydrique ou éolienne, la dégradation des habitats naturels et la perte en biodiversité, la perte du potentiel productif des terres, et les atteintes au fonctionnement du cycle de l'eau.

III. Politique forestière : conception et évaluation

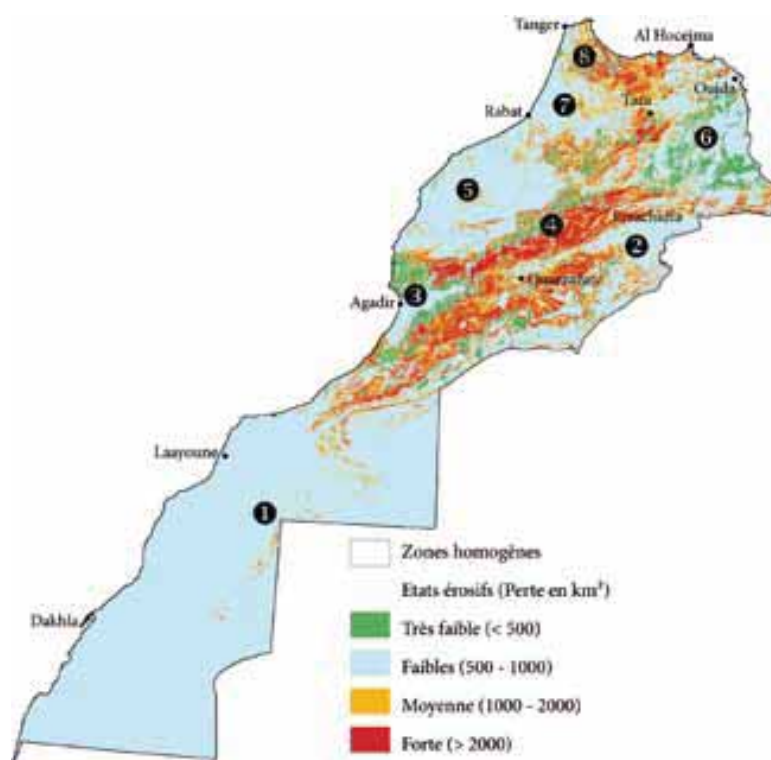
La politique forestière, dans sa conception stratégique et la définition de ses déclinaisons opérationnelles, a amené le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification à capitaliser sur les enseignements tirés de l'évaluation des politiques antérieures, et à initier une démarche innovante.

Les indicateurs techniques d'évaluation, physiques ou financiers, peuvent donner la satisfaction d'opérations réussies dans leur exécution, mais ne peuvent renseigner ni sur leur réussite en matière de développement humain, ni sur le caractère durable des actions de développement menées.

C'est à cette problématique que tente de répondre l'approche basée sur la définition des écorégions. La détermination des écorégions intègre les éléments qui constituent les forces d'influence sur l'équilibre des espaces boisés.

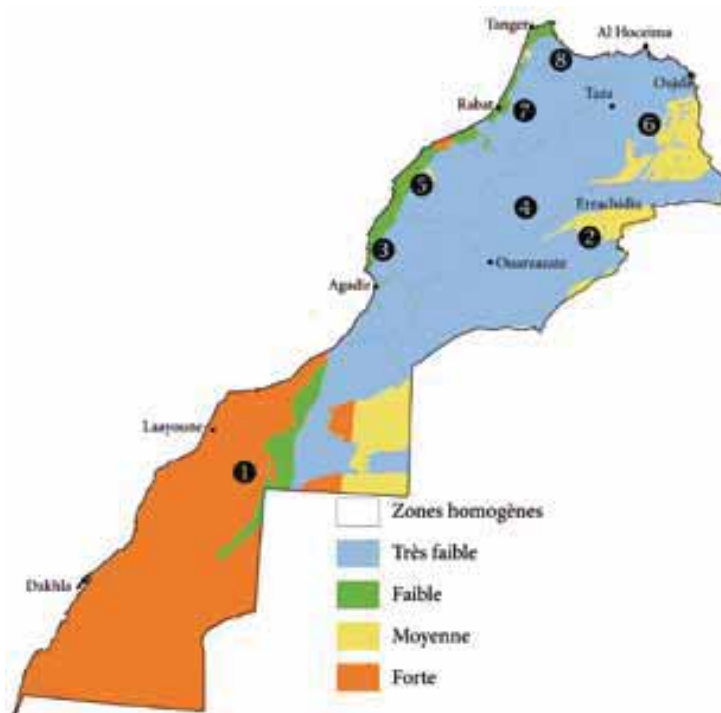
a) Les états érosifs hydriques des sols :

Ils combinent les éléments déterminants de l'érosion potentielle, principalement le substrat, et la configuration des reliefs, et les niveaux de protection des sols qu'assure notamment le couvert végétal.



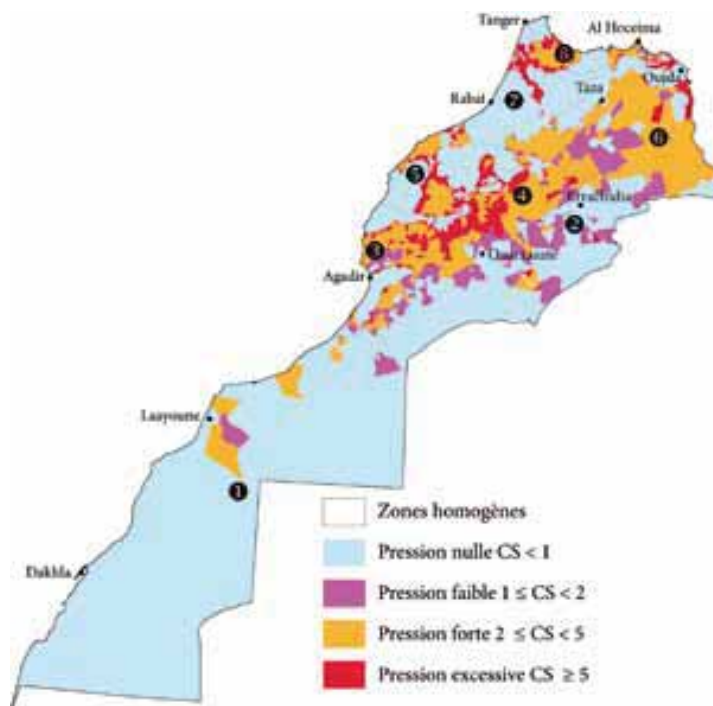
b) Les états érosifs éoliens :

Ils sont définis à travers l'érosion éolienne potentielle et les vitesses des vents enregistrées.



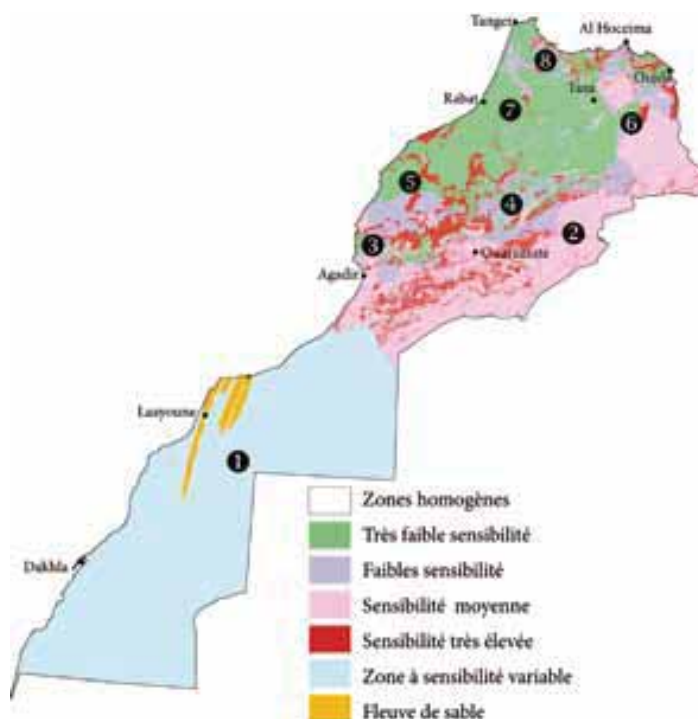
c) Les charges pastorales :

Le coefficient de surpâturage est défini en calculant le rapport entre la charge animale enregistrée et la charge d'équilibre, qui prend en compte la densité numérique du cheptel, les durées de séjour, la fragilité des parcours, et les effets hors unités fourrages disponibles, tels que les effets de piétinement et de tassement des sols, réduisant l'infiltration et aggravant les ruissellements.

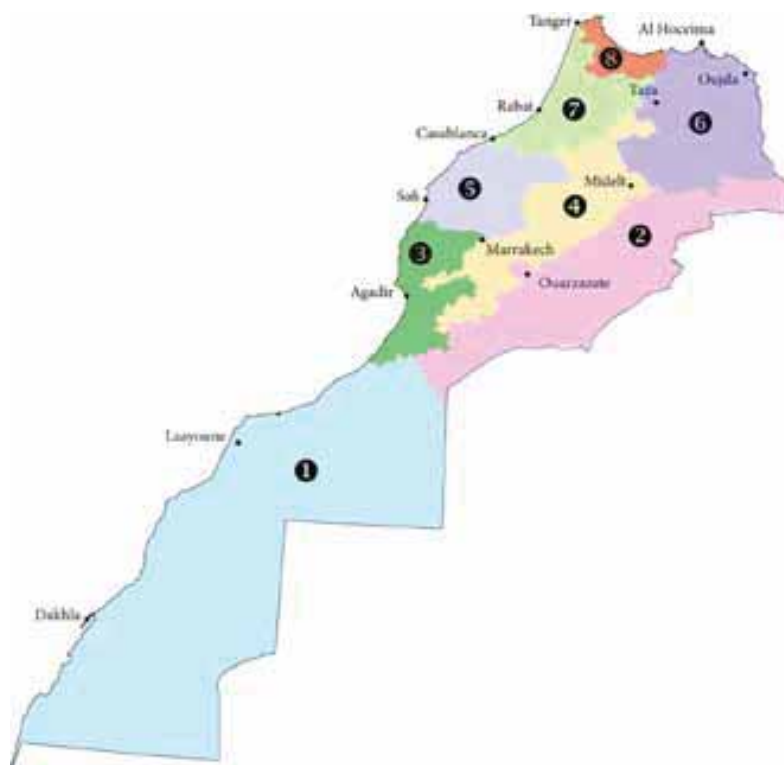


d) La sensibilité à la désertification :

L'indice de sensibilité des terres à la désertification et à la dégradation intègre les indices d'érosion, de qualité de la végétation, de la qualité du climat et l'indice de surpâturage.



Sur la base des cartes des sols, du bioclimat et du relief avec les interprétations de la carte de l'occupation des sols, la définition des écorégions établit une carte de zones homogènes.



VI. L'intégration des incertitudes

Les modèles d'évolution du climat, établis par la météorologie nationale, montrent des modifications importantes, s'exprimant par une diminution des niveaux de précipitations, une dérégulation dans le rythme des saisons, une augmentation de température et une fréquence importante d'événements extrêmes, sécheresses et inondations.

Dans ce contexte, la dynamique des écosystèmes sera influencée significativement, par une « migration » en latitude et en altitude, et une modification des étages bioclimatiques ; le rythme de ces modifications aux horizons 2070, couvre totalement l'échelle de temps des cycles biologiques et d'exploitation économique des espèces forestières ; les opérations de reboisement et d'aménagement forestier doivent tenir compte de façon proactive et anticipée de la configuration bioclimatique à venir.

Par ailleurs, les cycles biologiques des diverses espèces, insectes et parasites notamment, affectant les espèces forestières, conduisent d'une part à une nouvelle configuration de la distribution épidémiologique de ces affections et d'autre part, à l'émergence de nouvelles pathologies, dans leur nature mais également dans leurs effets pathogènes, surtout qu'ils agiront sur un terrain fragilisé par le stress des espèces forestières, devenant plus sensibles aux affections.

Cette situation impose une démarche différente dans le système de surveillance phytosanitaire, en passant notamment des outils et méthodes classiques qu'offre l'épidémiologie descriptive et analytique à une démarche basée sur une épidémiologie prédictive.

V. les approches de mise en œuvre

Dans ce contexte, les opérations et les actions linéaires ou sectorielles ne peuvent donner des effets souhaitables, que si elles sont l'émanation d'une conception globale à l'origine, s'appuyant sur le territoire comme unité de définition des projets, et de l'intégration comme mode opératoire. La somme de bons projets sectoriels ne peut donner forcément un bon projet global dans une situation de rareté des ressources naturelles.

1. Le territoire :

La mise en conformité de la vocation des territoires avec l'usage de ces territoires, est une condition essentielle dans la définition du modèle de développement durable. L'expression des valeurs ajoutées que peut générer le développement économique risque, à défaut, d'être le résultat partiel ou total d'une décapitalisation sur les ressources naturelles conduisant à un déséquilibre irréversible.

2. L'intégration :

L'intégration n'est pas l'addition de projets sectoriels conçus séparément, dans leur logique linéaire interne, mais une méthode de définition des projets territoriaux tenant compte dès le départ, des nécessaires arbitrages entre les ambitions de chaque secteur, selon un modèle de développement durable.

La mise en cohérence, à posteriori, par les tentatives de mise en convergence, dans la situation de tensions sur les ressources naturelles, telle que l'eau, dans une configuration de statut de stress hydrique ou de pénurie, est une opération aux effets très limités.

3. La gestion des conflits :

C'est une démarche qui constitue l'un des axes fondateurs de la prise en charge des contradictions dans l'usage des ressources naturelles.

La clarification entre les droits de propriété, et les droits d'usage, qui caractérisent la forêt marocaine, est une donnée essentielle dans la réconciliation des ayants droit avec leur environnement à travers notamment les approches de gestion partenariale et participative, dans un cadre contractuel.

Le développement de diverses formes de solidarité, est déterminant dans l'émergence du développement durable, en ce sens qu'il est un élément d'équité dans l'accès aux biens et services, qui constitue le 3^{ème} pilier du développement durable, à côté du développement économique et de la préservation de l'équilibre environnemental. Les solidarités territoriales, entre l'amont et l'aval des bassins versants, entre les montagnes, lieux d'émission des ressources hydriques et châteaux d'eau, et les plaines irriguées utilisatrices de cette ressource, les solidarités intra-générationnelles sont les conditions de réussite de la solidarité intergénérationnelle, c'est-à-dire du développement durable.

C'est à travers ces approches et démarches que sont conduites toutes les opérations techniques que mène le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification dans les domaines du reboisement, de la conservation et de la restauration des sols, de la reconstitution de la diversité biologique, de l'aménagement forestier, de la sécurisation du foncier forestier ainsi que toutes les actions d'exploitation et de valorisation des produits forestiers ligneux et non ligneux. La

gestion des interfaces avec les usagers, ayants droit et divers opérateurs se construit dans un cadre partenarial, contractuel où la préservation des équilibres écologiques n'est plus perçue comme une contrainte dans une gestion dans l'adversité, mais un atout qui fonde la pérennisation des revenus que seule la pérennité des ressources naturelles peut assurer durablement.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Dr. Lhafi de cette revue exhaustive de l'état de la forêt marocaine, de ses menaces et des défis de sa préservation. Nous passons au Pr. Jean-Paul Lanly, Membre de l'Académie d'Agriculture de France, pour nous parler des **espaces boisés méditerranéens**.

Merci d'avoir accepté notre invitation. Vous avez 25 mn.

LES ESPACES BOISÉS MÉDITERRANÉENS

Pr. Jean-Paul LANLY

Académie d'Agriculture de France



Résumé

La région méditerranéenne a été longtemps l'une des plus densément peuplées de la planète. Elle constitue aussi l'un des hauts lieux de la biodiversité du monde. Ses espaces boisés ont été plus qu'ailleurs façonnés par l'utilisation qu'en ont faite les nombreuses sociétés qui l'ont occupée à travers l'histoire et dont ils restent porteurs des valeurs culturelles. Ils présentent une grande spécificité par rapport aux espaces boisés des autres régions du monde.

Dans les arrière-pays du sud et de l'est, la surface des espaces boisés est soit stabilisée, soit encore en diminution du fait surtout de l'expansion agricole, et leur dégradation plus ou moins rapide est générale par suite des différentes formes de surexploitation ou d'usage inapproprié (surpâturage, surexploitation pour le bois de feu et le charbon de bois, etc.). C'est aussi la partie de la région la plus vulnérable face aux changements climatiques. Dans les pays du nord, l'abandon de l'agriculture et du pâturage permettent la recolonisation par ces écosystèmes des terres marginales de l'intérieur, mais conduisent à leur manque d'entretien, ce qui augmente les risques d'incendie. Enfin, dans les zones littorales du pourtour méditerranéen, que ce soit au sud, à l'est ou au nord, ces écosystèmes sont défrichés pour faire place à une urbanisation rapide et dans une large mesure non maîtrisée.

Les forêts et autres écosystèmes boisés méditerranéens fournissent une large gamme de produits (bois, liège, fruits, plantes aromatiques, etc.) et de services, de fait ou potentiellement *marchands*, comme ceux de récréation. Les populations locales ne tirent souvent pas tout ce qui devrait leur revenir de la commercialisation de ces produits et services, et ne participent que peu à la formulation et la mise en œuvre des plans de gestion des espaces boisés.

Ces écosystèmes procurent aussi d'importants *biens publics* en plus de la biodiversité et des valeurs culturelles, telles que la conservation des eaux - d'une importance vitale dans une région affectée par l'aridité et la sécheresse -, et la sauvegarde des paysages, élément essentiel du maintien des activités touristiques.

Toutes les valeurs environnementales, économiques, sociales et culturelles des espaces boisés méditerranéens sont compromises par les menaces sévères et durables auxquelles ils sont confrontés, menaces dont les conséquences sont aggravées par les changements climatiques. L'amélioration de leur protection et de leur gestion durable doit permettre de maintenir et d'accroître ces valeurs. Ceci est d'autant plus nécessaire que leur dégradation est à la fois facteur et conséquence de pauvreté et de diminution de la qualité de vie dans plusieurs pays du sud et de l'est de la Méditerranée. Malheureusement, les questions touchant aux forêts et autres espaces boisés ont une faible priorité dans les politiques publiques au niveau national, et donc aussi en termes de coopération internationale. Leur développement durable ne bénéficie pas des moyens humains et financiers nécessaires.

Cette situation défavorable est aggravée par un manque de connaissances sur la situation et l'évolution des ressources de ces écosystèmes, sur leur fonctionnement, et sur les facteurs biophysiques et socioéconomiques qui les affectent; ainsi que sur la gamme complète des biens et services qu'ils procurent, sur la valeur économique de ceux-ci. Cette insuffisance de connaissances est particulièrement grave dans le domaine des biens publics du fait de l'absence générale d'instruments adéquats d'internalisation des externalités.

**Madame la Présidente,
Monsieur le Haut-Commissaire,
Mesdames et Messieurs les Académiciens,
Mesdames et Messieurs,**

Lorsque le professeur Albert Sasson m'a fait part de l'invitation de l'Académie Hassan II à contribuer à la séance d'aujourd'hui sur la forêt, j'en ai été très honoré, et aussi très ému. C'est en effet au Maroc, il y a bien longtemps, à Casablanca, puis à Rabat et enfin à Oujda que j'ai accompli l'ensemble de mon parcours scolaire.

Cette invitation je sais la devoir en grande partie au fait d'avoir coordonné le volet «Arbre» de la conférence scientifique tenue à la Bibliothèque alexandrine en juin 2010 dans le cadre du Réseau inter-académique euro-méditerranéen. Mon exposé s'inspire d'ailleurs en grande partie des excellentes contributions qui y ont été présentées sur les espaces boisés méditerranéens et des conclusions et recommandations qui en ont été tirées.

Qu'entend-t-on par espaces boisés ?

La nomenclature utilisée par la FAO dans son programme permanent d'évaluation des ressources forestières, la plus communément admise, regroupe sous la dénomination d'espaces boisés :

- les «forêts» proprement dites, c'est-à-dire les écosystèmes végétaux comprenant des arbres - à savoir des plantes ligneuses pérennes grandes (en principe plus de 5 mètres de haut environ) avec un tronc unique -, l'ensemble des cimes de ces arbres («couvert arboré») couvrant plus de 10% du sol, ce qui exclut les formations avec des arbres isolés, les «parcs agroforestiers», les haies et lignes (mais pas les bandes d'une certaine largeur);
- Et les «autres terres boisées», c'est-à-dire les terres non classifiées comme forêts, à couvert arboré de 5 à 10% ou avec un couvert de plus de 10% de petits arbres (de moins de 5 m de haut à l'âge adulte), arbustes et arbrisseaux, à l'exclusion des terres essentiellement agricoles ou des zones **urbaines**. C'est le cas d'une partie importante des «parcs» en région méditerranéenne.

Comme on le voit, la définition des espaces boisés n'est pas limitée à des paramètres caractérisant la nature et la couverture au sol des éléments ligneux (*land cover* en anglais), elle inclut aussi des considérations d'utilisation par l'homme de ces terres (*land use*).

La longue histoire de l'action de l'homme sur les espaces boisés méditerranéens¹

L'espace méditerranéen au sens large, englobant l'ensemble du Moyen-Orient, est peut-être la région du monde où l'action de l'homme sur les espaces boisés s'est exercée fortement le plus durablement. Si les civilisations paléolithiques (avant 8000 BC) n'y ont pratiqué qu'une économie de cueillette et de chasse non destructrice, il n'en a plus été de même au néolithique (de 8 000 à 3000 BC) durant lequel les systèmes agraires ont reposé essentiellement, du moins au début, sur la culture itinérante par «abattis brûlés» de terres boisées (du type de celle encore pratiquée dans certaines régions tropicales); celle-ci n'étant pas toujours «soutenable» et entraînant une dégradation plus ou moins irréversible des terres. La révolution agricole de l'Antiquité (de 3000 BC à 500 AC) s'est caractérisée par la culture attelée légère, avec une partition de l'espace entre *hortus* (jardin), *ager* (champ), *silva* (forêt, espace boisé) et *saltus* (pâturage, parcours); et par les défrichements pour les cultures de rente et des surexploitations pour le bois de feu et le bois d'œuvre (notamment pour les bateaux des flottes impériales). Il s'en est suivi, de 500 AC environ à 1850 une succession de phases d'expansion et de régression des espaces boisés : les systèmes agraires, le plus souvent polyvalents et généralement autarciques, caractérisés par l'assolement biennal, la culture d'arbres et autres plantes pérennes (vigne, olivier, châtaigner, autres arbres fruitiers), l'élevage et le travail des animaux, ont fait largement appel aux ressources des espaces boisés. Après 1850, l'intervention des États et le choc de la modernité ont entraîné exode rural et déprise agricole d'abord dans les pays européens, puis progressivement au Sud et à l'Est de la région ; et diverses demandes nouvelles ont été faites par les sociétés aux espaces boisés (expansion des zones urbaines et des infrastructures, protection de la nature, récréation, ...).

Surfaces actuelles des espaces boisés dans les pays méditerranéens

Les chiffres de surfaces des tableaux 1 et 2 ci-dessous sont tirés du rapport 2010 du programme mondial «Évaluation des ressources forestières» de la FAO. Les résultats de cet inventaire forestier permanent de l'agence des Nations Unies chargée des questions forestières est à la fois le plus complet et le plus structuré au niveau international, impliquant les institutions et les experts d'un très grand nombre de pays. Les définitions et les classifications que ce programme a mis au point sont, comme nous l'avons rappelé plus haut, celles qui sont le plus largement acceptées. Il est donc normal de reprendre ici les résultats qu'il donne pour les pays méditerranéens, en prenant en compte toutefois que :

- très peu de pays méditerranéens ont un système d'inventaire ou de surveillance continue de leurs espaces boisés;
- les «autres terres boisées», dont les surfaces sont plus délicates à estimer que celles des forêts proprement dites, y sont en proportion plus élevée par rapport à ces dernières que dans la plupart des autres régions du monde;

1. Ce paragraphe reprend de façon très condensée les pages de la section «Les actions humaines anciennes» de l'excellent ouvrage de J. de Montgolfier et al. *Les espaces boisés méditerranéens - Situation et perspectives* (Les fascicules du Plan Bleu 12, Ed. Economica, Paris, 2002). On lira aussi avec intérêt *La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes* de A. Seigue (Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 1985); et, en anglais, *Man and the Mediterranean forest : a history of resource depletion* de J.V. Thirgood, (Ed. Academic Press, Londres, 1981).

- certains pays de la rive nord de la Méditerranée, particulièrement la France (dont on présente les chiffres en italiques), ne sont qu'en partie en zone méditerranéenne.

Dans les tableaux et le reste de l'article, on répartit les pays méditerranéens, c'est-à-dire ceux ayant une façade sur la Méditerranée, auxquels on rajoute le Portugal et quelques pays européens au climat méditerranéen, en trois sous-régions :

- la sous-région **Nord** comprenant : Albanie, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Espagne, France, Grèce, Italie, Macédoine, Malte, Monténégro, Portugal, Serbie, Slovénie;
- la sous-région **Est**, avec Israël et Palestine, Jordanie, Liban, Syrie, Turquie;
- la sous-région **Sud** : Algérie, Égypte, Libye, Maroc et Tunisie.

Tableau 1: Superficies des espaces boisés autour de la Méditerranée par sous-régions et dans quelques pays

Pays/ Sous-régions	Surfaces (000 ha)	totales pays	forêts	autres terres boisées	Espaces boisés	
					(000 ha)	%
Bulgarie		11.100	3.927	0	3.927	35
Espagne		50.537	18.173	9.574	27.748	55
<i>France</i>		<i>55.150</i>	<i>15.954</i>	<i>1.618</i>	<i>17.572</i>	32
Grèce		13.196	3.903	2.636	6.539	50
Italie		30.134	9.149	1.767	10.916	36
Slovénie		2.027	1.253	21	1.274	63
Total Nord		193.630	62.938	17.522	80.462	42
Jordanie		8.878	98	51	149	2
Turquie		78.356	11.334	10.368	21.702	28
Total Est		108.999	12.214	10.593	22.807	21
Algérie		238.174	1.492	2.685	4.177	2
Egypte		100.145	70	20	90	0,1
Maroc		70.655	5.131	631	5.762	8
Total Sud		601.289	7.916	3.966	11.882	2
Total Sud + Est		710.288	20.130	14.559	34.689	5
Total Méditerranée		903.918	83.068	32.081	115.151	13
Total Monde		13.010.509	4.033.060	1.144.687	5.177.747	40

On retiendra du tableau 1 les faits majeurs suivants :

- au Nord, la surface et le taux de couverture élevés des espaces boisés de l'Espagne, et les taux élevés de la Grèce et de la Slovénie;
- la surface et le taux de couverture élevés des espaces boisés de la Turquie, pays forestier prépondérant à l'Est;
- la couverture boisée limitée (Maroc) à négligeable (Égypte) dans les pays du Sud, résultant du climat aride d'une partie importante de leur territoire;

- et donc, une proportion beaucoup plus importante d'espaces boisés au Nord qu'au Sud et que dans les pays de l'Est autres que la Turquie;
- enfin, une proportion de forêts par rapport aux «autres terres boisées» plus importante au Nord (78 %) qu'au Sud et à l'Est (58 %).

Dynamique des espaces boisés méditerranéens

a) Remarques préalables

Il importe de bien distinguer :

(i) l'évolution de l'extension ou de la *superficie* des espaces boisés, qu'on appelle en termes forestiers la «*contenance*» :

- soit régressive (ou négative), se traduisant par les termes «déboisement», «déforestation», «défrichement», ...;
- soit progressive (ou positive), soit par plantation, «boisement» ou «reboisement», soit par «recolonisation» ou «recrû (forestier)» naturels;
- l'estimation de ce changement en surface pouvant être objective et s'exprimant par une variable binaire (0 ou 1) ;

(ii) l'évolution des composantes (et des interactions au sein) d'une surface donnée d'espaces (écosystèmes) boisés, de sa *condition* (ou de son «*contenu*», ou de sa «santé et vitalité» - un des six (ou sept suivant le processus international considéré) critères de gestion forestière durable -, ou encore de sa «qualité»; ...;

- soit régressive se traduisant par le terme souvent mal défini de «*dégradation*»;
- soit progressive par «amélioration», «remontée biologique» (des ligneux), ...;

L'estimation de ce changement étant plus complexe : la variable n'est plus binaire, de plus, l'estimation dépend du critère de référence (biomasse, ou biodiversité, ou santé et vitalité,...); et, enfin, elle peut être entachée de subjectivité.

b) Évolution de la superficie des forêts méditerranéennes

L'estimation de l'évolution d'une surface durant une période donnée est la différence entre les estimations qu'on en a au début et à la fin de celle-ci. L'erreur sur l'estimation de cette différence est supérieure à celle sur la moins précise des estimations aux deux dates. Malheureusement, comme on l'a vu, très peu de pays de la région ont un système permanent d'inventaire forestier national (ou de surveillance continue de leur couverture végétale) leur permettant une estimation objective de la surface de leurs espaces boisés à plus d'une date, et partant de son évolution.

La FAO, à partir de toutes les informations pertinentes existantes (par exemple sur les programmes de plantation), de l'interprétation d'imagerie satellitaire à deux dates, et d'enquêtes effectuées auprès des institutions et experts nationaux et internationaux, élabore des estimations de l'évolution des seules *forêts* (celle de l'évolution des «autres terres boisées» s'avérant beaucoup trop incertaine).

Tableau 2 : Évolution de la superficie des forêts méditerranéennes

Sous-régions	Évolution en surface	1990 – 2000 (par année)		2000 – 2010 (par année)	
		(000 ha)	%	(000 ha)	%
Nord		+ 549	+ 0,98	+ 382	+ 0,62
Sud + Est		+ 60	+ 0,33	+ 145	+ 0,78
Total Méditerranée		+ 609	+ 0,82	+ 527	+ 0,66
Total Monde		- 8.323	- 0,20	- 5.211	- 0,12

Le bilan positif en surface de forêt pour l'ensemble des sous-régions Sud et Est reflète surtout des efforts accrus de boisement et reboisement. Mais il ne doit pas faire illusion. Il est dans une grande mesure attribuable à la Turquie, et ne traduit pas une baisse assez générale de la condition des forêts naturelles.

c) Évolution de la condition des espaces boisés méditerranéens

Trois actions de l'homme contribuent principalement, on pourrait dire depuis toujours, à la dégradation (de la condition) des espaces boisés méditerranéens, qui sont :

- le surpâturage,
- la surexploitation pour le bois, essentiellement pour l'énergie (bois de feu et charbon de bois pour le chauffage des maisons et la cuisson des aliments, ainsi que pour les petites industries);
- les incendies.

Les statistiques récentes de la FAO sur les populations humaines et les effectifs de ruminants domestiques reprises dans le tableau 3 donnent quelques indications sur le contexte des activités de pâturage autour de la Méditerranée.

Tableau 3 : Populations humaines et animales autour de la Méditerranée par sous-régions et dans quelques pays

Pays/Sous-régions	Populations			Effectifs des ruminants				
	totale (millions)	(dont) rurale		tous ruminants		bovins (millions)	(dont) moutons (millions)	chèvres (millions)
		(millions)	densité/km ²	(millions)	densité/km ²			
Espagne	45	10	20	57	113	6,4	22,7	2,9
Italie	60	19	63	25	81	6,5	8,0	0,9
Total Nord	221	64	33	> 66 ⁽¹⁾	> 86 ⁽¹⁾	> 40 ⁽¹⁾	> 60 ⁽¹⁾	> 13 ⁽¹⁾
Algérie	35	12	5	26	11	1,6	20,0	3,8
Maroc	32	14	20	25	36	2,8	17,1	5,1
Syrie	23	10	55	24	131	1,2	20,2	2,6
Turquie	76	23	29	38	49	10,7	2,2	5,1
Total Sud + Est	278	114	16	148	21	23,1	98,7	24,6
Tot. Méditerranée	499	178	20	> 314 ⁽¹⁾	> 31 ⁽¹⁾	> 60 ⁽¹⁾	> 159 ⁽¹⁾	> 38 ⁽¹⁾

1. Le signe «>» («supérieur à») est rendu nécessaire par l'absence de données sur les effectifs de ruminants en Serbie et au Monténégro.

Dans les pays de l'Europe méditerranéenne, il y a de moins en moins de pâturage extensif (et de surpâturage éventuel) dans les espaces boisés de colline et de montagne du fait de l'exode rural, ce qui entraîne par contre l'aggravation des risques d'incendies. Par contre, l'élevage extensif reste dominant dans les pays du Sud, et en particulier dans les espaces boisés qu'il dégrade. Il s'y maintient du fait d'une population rurale qui ne décroît pas encore, ou seulement faiblement, et d'une production nationale croissante de viande ovine et/ou bovine.

De l'Antiquité au début du 20^{ème} siècle, la surexploitation pour le bois d'œuvre a sévi dans pratiquement tous les pays méditerranéens pour la construction des édifices et des embarcations civiles et militaires. Celle pour le «bois énergie» (bois de feu et charbon de bois) reste significative dans les zones rurales de pays du Sud et de l'Est dépourvus de ressources combustibles fossiles, notamment, le Maroc au Sud et la Turquie à l'Est.

Tableau 4 : Consommation de bois de feu (et charbon de bois)
au Sud et à l'Est de la Méditerranée

Sous-régions	Consommation annuelle de bois énergie ⁽¹⁾		bois énergie ⁽²⁾
	totale (millions m ³)	par habitant (m ³)	énergie totale
Est	5,5	0,15	3,1 %
Sud	28,9	0,50	1,8 %
Sud + Est	34,4	0,12	2,6 %

(1) Annuaire des produits forestiers 2009, FAO, Rome

(2) Agence internationale de l'énergie, www.iea.org/stats/index.asp

Le risque d'incendie des espaces boisés est relativement élevé en région méditerranéenne du fait notamment de la siccité de la végétation et de la chaleur durant les mois d'été. Les feux constituent un facteur de dégradation d'autant plus important qu'ils sont plus violents et plus fréquents, pouvant entraîner une perte irréversible de l'état boisé.

Dans les pays du Nord, l'abandon par les agriculteurs et les éleveurs des terres marginales, le manque d'entretien des espaces boisés, l'étalement de l'habitat péri-urbain et secondaire, et, souvent, l'insuffisance des moyens de prévention et de la coordination des opérations de lutte, font que des surfaces importantes d'espaces boisés sont parcourues chaque année par les feux. Le rapport n° 11 du Centre Commun de Recherches de la Commission Européenne donnait le chiffre total de 210.000 hectares boisés incendiés en 2010 sur l'ensemble de l'Europe méditerranéenne (dont 128.000 ha pour le seul Portugal, il est vrai non méditerranéen au sens strict).

Le même rapport donnait des chiffres bien inférieurs pour les pays de l'Afrique du Nord (77.000 ha, dont 70.500 pour la seule Algérie), et seulement 4.500 ha pour les pays de l'Est (3.000 ha pour Israël et Palestine, et 1.500 ha pour la Turquie). Dans la majorité de ces pays, l'utilisation des espaces boisés par les populations riveraines réduit le risque d'incendie, mais elle accroît par contre l'impact négatif du surpâturage et de la surexploitation pour le bois.

Les produits autres que le bois et les «services» rendus par les espaces boisés

On a coutume de dire que le bois extrait des espaces boisés méditerranéens est moins important que les autres produits (fourrage, fruits oléagineux, liège, essences, etc...). Il est vrai que ces produits ont contribué, et contribuent encore pour quelques-uns d'entre eux à la richesse de certaines zones boisées de la région. Cette affirmation est à nuancer cependant pour certains pays du Sud et de l'Est sans ressources combustibles fossiles compte tenu de l'importante consommation du bois de feu dans leurs zones rurales.

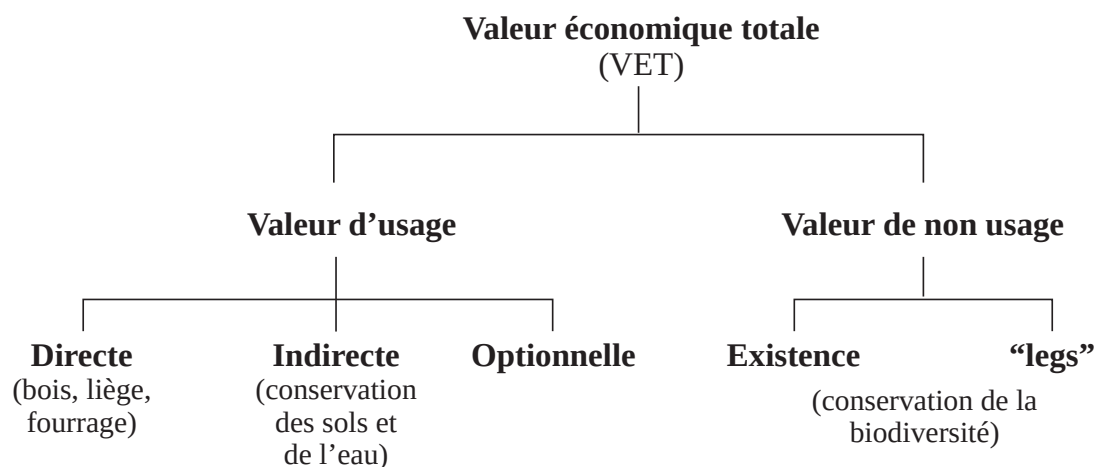
Les «services», marchands et non marchands, rendus par les espaces boisés sont essentiels au développement durable et à la qualité de la vie dans tous les pays méditerranéens, notamment dans les deux critères (sur les six - ou sept - suivant le processus international considéré) de la gestion forestière durable que sont :

- la conservation des sols et de l'eau (en quantité et régularité du débit, et en qualité),
- et
- la conservation de la diversité biologique,

particulièrement dans le contexte difficile du réchauffement climatique.

Depuis le début des années 2000, des études ont été réalisées sur la valeur économique totale (VET) des espaces boisés du Sud et de l'Est méditerranéens. Les différentes composantes de cette valeur sont indiquées dans la figure 1.

Figure 1 : Décomposition de la valeur économique totale des espaces boisés méditerranéens.



Le résumé de ces travaux a été présenté par M. Hamed Daly-Hassen à la Conférence d'Alexandrie. Il y est dit que «les VET obtenues par hectare de forêt sont assez élevées (de 138 à 215 €) dans certains pays comme la Tunisie et le Liban, et moyennes (de 30 à 89 €) dans d'autres pays. Les valeurs liées à la production fourragère et autres produits non ligneux constituent plus de la moitié des VET dans tous les pays où les données sont disponibles sauf en Turquie. La protection des bassins versants est aussi l'un des principaux bénéfices des forêts en Syrie (82% de la VET estimée) et dans les trois pays du Maghreb (19 à 46% de la VET). L'intégration des coûts liés à la dégradation des forêts et

notamment ceux liés à l'usage intensif des ressources par la population locale, réduisent les VET d'une proportion qui peut atteindre 25% (cas du Maroc). Ces résultats soulignent l'importance des forêts pour les communautés locales et la société dans son ensemble, qui nécessitent par conséquent une gestion durable basée sur un compromis entre les usages forestiers des communautés locales et les bénéfices environnementaux, en ayant recours notamment à des incitations économiques et des dispositions institutionnelles.»

Coopération internationale en matière de mise en valeur, conservation et gestion des espaces boisés méditerranéens

a) Quelques constats

- La conservation et le développement des ressources naturelles dans la région sont en quelque sorte «inscrits» dans un certain nombre de grands accords et concepts de coopération, parmi lesquels on doit citer :
 - le *Plan d'Action pour la Méditerranée* (PAM, 1975), avec ses 6 Centres d'Activité Régionaux (exemple: *Plan Bleu* à Nice-Marseille),
 - la *Convention de Barcelone* de 1976 (pour la protection de l'environnement marin et des régions littorales de la Méditerranée (avec ses 8 protocoles),
 - l'idée du «*Partenariat 5+5*» (Méditerranée de l'ouest),
 - la *Convention sur la lutte Contre la Désertification* (CCD, Plans nationaux de lutte contre la désertification),
 - le *Processus de Barcelone* (Conférence de Barcelone, 1995),
 - l'initiative de l'*Union pour la Méditerranée* (Paris, 2008).
- Dans les années 80 et 90, la région méditerranéenne est restée le parent pauvre en matière de coopération forestière internationale, celle-ci n'ayant d'yeux que pour les tropiques humides. A titre d'exemple, il fallut batailler au sein des organes directeurs de la FAO pour que revivent au milieu des années 80 le Comité «*Silva Mediterranea*» (et ses réseaux de recherche), pourtant le plus ancien organe professionnel circum-méditerranéen (conçu comme une association en 1911, il devint intergouvernemental en 1947). Ces temps ont heureusement changé, avec la prise de conscience d'au moins deux enjeux liés aux espaces boisés dans cette région du monde :
 - d'une part, leur contribution multiforme à la sécurité alimentaire : production directe d'aliments, conservation des sols et de l'eau, base des ressources naturelles nécessaires à la production agricole, et création de revenus et d'emplois permettant un meilleur accès économique à la nourriture;
 - et, d'autre part, l'importance de la biodiversité qu'ils renferment, et la gravité des menaces qui pèsent sur celle-ci : fragmentation de l'aire de répartition d'espèces importantes (exemple des cèdres), absence de «corridors», disparition au Sud et déplacement vers le Nord d'espèces xérophytiques (exemple du palmier nain),

Nombreux sont maintenant les organes et programmes internationaux se consacrant aux espaces boisés méditerranéens, aux niveaux régional et sous-régional, parmi lesquels on peut citer, outre les actions de «*Silva Mediterranea*» :

- certains programmes des centres de La Chanée, Saragosse et Montpellier du Centre International des Hautes Études Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM),
- EFIMED, le Programme méditerranéen de l'Institut Forestier Européen,
- certaines activités de l'Unesco (Division des sciences écologiques et Programme MAB notamment),
- le Réseau des Forêts Modèles méditerranéennes (le concept des Forêts Modèles ayant été initié à la fin des années 90 par le Canada),
- l'ARCMED, organe de coopération entre les forestiers privés européens,
- le Partenariat de Collaboration pour les Forêts Méditerranéennes (PCFM)
- des programmes bilatéraux sous-régionaux de l'Union Européenne, de l'Allemagne, de la France, ...,
- des activités du Centre de coopération pour la Méditerranée de l'UICN et de l'Initiative Méditerranéenne du WWF,
- la «*Global Footprint Network's Mediterranean Initiative*»,
- etc... .

Ce renouveau des coopérations aux niveaux régional et sous-régional est d'abord bénéfique pour la recherche en matière de gestion durable des forêts et autres espaces boisés méditerranéens, en contribuant :

- à la prise en compte (aux sens propre et figuré) des services rendus par les espaces boisés («internalisation de leurs externalités »);
 - à la formulation de modes de traitement des formations boisées intégrant l'évolution attendue du climat.
- Cependant, force est de constater que la conservation et la valorisation durables des espaces boisés restent dans une grande mesure une préoccupation de moyen et long termes qui n'est pas prioritaire par rapport aux urgences socio-économiques, tant pour les gouvernements nationaux que pour les bailleurs de fonds internationaux.
 - Enfin, au plan mondial, et en l'absence d'une convention internationale sur les forêts, la gestion forestière durable des espaces boisés méditerranéens, comme celle des autres régions du monde, reste éclatée entre plusieurs conventions : la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, la Convention sur la Diversité Biologique, la Convention de lutte Contre la Désertification,

b) Deux recommandations en forme de conclusion

Un certain nombre de recommandations spécifiques ont été faites à la Conférence d'Alexandrie de juin 2010 («Parménides 3») qu'on pourra retrouver sur le site du Gropue Interacadémique pour le Développement (GID) à l'adresse suivante : <http://g-i-d.org/spip.php?article83> .

Pour conclure, nous insisterons sur deux recommandations d'ordre institutionnel qui nous paraissent indispensables à la fois pour une meilleure prise en compte par les décideurs nationaux et internationaux des problèmes posés par la conservation et la valorisation

des espaces boisés, et pour une structuration des efforts internationaux dans ce domaine, à savoir :

- instituer, comme les pays de la grande Europe (avec la Conférence Ministérielle pour la Protection des Forêts en Europe, MCFPE), ou ceux d'Afrique centrale (avec la Commission des Forêts d'Afrique Centrale, COMIFAC), un **processus méditerranéen au niveau ministériel** de promotion et de coopération dans le domaine forestier et des espaces boisés;
- à l'image de ce qui avait été fait entre 1985 et 1995 pour la cohérence des actions forestières à entreprendre dans les pays tropicaux avec le Plan d'Action Forestier Tropical (programme dont les principes de base se sont retrouvés ultérieurement dans le processus des Programmes forestiers nationaux), utiliser le cadre conceptuel et programmatique déjà existant et spécifiquement dédié aux espaces boisés méditerranéens, à savoir le **Plan d'Action Forestier Méditerranéen (PAFM)**.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Lanly pour cette présentation chiffrée et les recommandations en la matière. J'invite Dr. Said HAJIB, du Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, pour nous entretenir de **la recherche forestière au Maroc**.

Vous avez 25 mn.

LA RECHERCHE FORESTIERE AU MAROC : MIEUX CONNAITRE POUR AGIR

Dr. Said HAJIB

***Haut-Commissariat aux Eaux et Forêt et à la lutte
contre la Désertification, Rabat, Maroc***



Résumé

Le domaine forestier marocain couvre plus de neuf millions d'hectares de forêts et de nappes alfatières. Formés d'une trentaine d'écosystèmes terrestres, complexes et diversifiés, il occupe un éventail très large de bioclimats, du saharien au pré-humide et de haute montagne.

La gestion, la mise en valeur et la conservation de ces écosystèmes ne vont pas sans poser de nombreuses contraintes d'ordre écologique, technique, économique et social aux gestionnaires.

La nécessité et l'importance d'un système de recherche scientifique, pour assurer à la fois la charge de l'étude des problèmes fondamentaux et pour répondre aux besoins techniques d'une gestion durable des écosystèmes forestiers ont conduit à la création en 1949 du centre de recherche forestière.

Les missions dévolues à ce centre se résument comme suit :

- Procéder aux études scientifiques, techniques et économiques ayant pour objet la conservation, le développement et la valorisation des ressources forestières ;
- Effectuer des études prospectives, en particulier celles qui portent sur le milieu naturel, la flore et la faune sauvage ;
- Adapter les techniques acquises en matière de foresterie au niveau international et national et en assurer le transfert vers les différents partenaires ;
- Coordonner l'action du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification en matière de documentation forestière.

Pour assurer la coordination de la recherche forestière au niveau national, le HCEFLCD a créé en 2006 deux organes, en l'occurrence le comité d'orientation et de coordination

et le comité scientifique et technique. Ces comités, ouverts aux décideurs, gestionnaires, professionnels et scientifiques sont chargés de l'identification, du suivi et de la validation des programmes et résultats de la recherche.

Cette démarche est de nature à renforcer la synergie entre les institutions de recherche aussi bien au niveau national qu'international, appelées à travailler en réseau ou en partenariat pour une plus grande efficience.

Une connaissance scientifique approfondie de l'arbre, du peuplement et de l'écosystème est indispensable pour mettre au point, au-delà des actions empiriques ou de l'art du forestier, de véritables techniques du «génie écologique», d'où les objectifs des principaux axes de recherche forestière s'articulent autour de :

- La maîtrise des itinéraires techniques des opérations de reforestation et l'amélioration de la productivité des peuplements forestiers;
- La conservation et l'amélioration des ressources génétiques dans le sens de l'adaptation des essences forestières aux conditions écologiques et de l'amélioration du potentiel de production des forêts;
- Le développement d'indicateurs d'observation et de suivi de la désertification et des changements climatiques;
- La technologie et la valorisation des produits forestiers et non ligneux;
- L'élaboration de méthodes et instruments pour l'amélioration de la santé des forêts.

Le contexte forestier marocain

Grâce à sa position géographique, véritable carrefour entre l'Europe et l'Afrique, la méditerranée et l'atlantique, à la relative diversité de son climat, depuis les douceurs océaniques de la côte jusqu'aux aridités sahariennes, en passant par les massifs montagneux, dont une dizaine dépassent 4000 m d'altitude, le Maroc compte parmi les pays méditerranéens les plus originaux, par son extrême diversité écologique, sans égale sur le plan bioclimatique, morphologique, floristique et faunistique.

Une telle diversité peut être mise en exergue par l'existence d'une quarantaine de grands types d'écosystèmes qui offrent des habitats à plus de 7000 espèces végétales et 24 000 espèces animales avec un taux d'endémisme sans égal par rapport aux pays de la méditerranée et qui est de 11% pour la faune et de 20% pour les plantes vasculaires.

La superficie du domaine forestier est évaluée à 9 millions d'ha, soit 12,6% du territoire national répartie en 5.810.000 ha de forêts naturelles dont 1 millions ha d'acacias sahariens et 3.200.000 ha de nappes alfatières. Le tiers des forêts naturelles proprement dites, qui font l'objet de gestion et d'exploitation, est constitué de forêts productives, avec 71% de forêts feuillues et 29% de forêts de conifères. Les forêts artificielles représentent près de 500.000 ha et le taux moyen de boisement du pays, qui est le rapport du couvert forestier sur la surface totale du pays, est de l'ordre de 8%, ce qui est en deçà du taux optimal (20 à 25%) nécessaire à l'équilibre écologique et environnemental.

Les variations climatiques marquées par une tendance vers plus d'aridité et des périodes de sécheresse plus longues, plus fréquentes et plus aigues, la pression sur la ressource à

travers les prélèvements excessifs en bois de feu (3 à 4 fois la capacité potentielle), le surpâturage (2 à 5 fois les possibilités), l'extension des terres de culture et l'urbanisation constituent les défis majeurs de la conservation du patrimoine forestier et sont susceptibles d'engendrer des déséquilibres dans les différents écosystèmes forestiers.

Une gestion durable de ce patrimoine forestier, présente au Maroc plus qu'ailleurs, des défis marqués. Sur le plan écologique, la diversité et l'originalité des écosystèmes allant des étages arides à montagnard, avec tous les intermédiaires, est certes sources de richesses en termes de paysages ou de diversité biologique, mais elle nécessite aussi des savoir-faire et des méthodes de gestion spécifiques. De forts questionnements surgissent concernant les possibles changements climatiques et leur impact potentiel sur l'évolution régressive de la végétation, la désertification ou les processus d'érosion de la biodiversité. Sur le plan économique, la satisfaction de besoins croissants en bois énergie, bois matériau ou matière première, et en produits non ligneux tirés de la forêt, constitue un défi très important. La génération d'emplois par ces activités de production, représente également un objectif majeur sur le plan social. Le développement démographique très intense qu'a connu le Maroc, s'est traduit par une forte croissance urbaine, mais aussi par une pression accrue des sociétés rurales sur les espaces forestiers qui menace leur capacité de régénération, voire même leur survie.

Il apparaît aujourd'hui évident que la gestion durable et multifonctionnelle des forêts, ne peut plus se raisonner de manière déconnectée de leur environnement géographique, économique et social proche ou plus lointain. Face à ces enjeux nombreux et complexes, une gestion rationnelle, éclairée par, et fondée sur des connaissances scientifiques et techniques élaborées et intégrées au service d'innovation, mise en œuvre par des personnels bien formés, apparaît comme une nécessité impérieuse.

La nécessité et l'importance d'un système de recherche scientifique, pour assurer à la fois la charge de l'étude des problèmes fondamentaux et pour répondre aux besoins techniques d'une gestion durable des écosystèmes forestiers ont conduit à la création de la station de recherche et d'expérimentation forestière en 1934. Les missions, le fonctionnement et les programmes de cette station ont été institués en 1949 par décret (arrêté viziriel) du 2 février 1949 qui a défini les programmes de recherches portant sur :

- L'écologie forestière : météorologie, pédologie, phytosociologie, pathologie et entomologie appliquée aux principaux massifs forestiers marocains et aux nappes alfatières;
- La physiologie des essences forestières marocaines, les régimes et modes de traitement à leur appliquer, la sélection des races forestières locales;
- Le reboisement et la conservation des sols : acclimatation d'essences forestières exotiques, amélioration des pâturages forestiers, création et gestion d'arboreta;
- La technologie forestière : étude des qualités physique, mécaniques et chimiques des bois, lièges, écorces et produits divers provenant de l'exploitation forestière ou alfatière.

Résultats et acquis de la recherche forestière

La recherche forestière a connu durant ces dernières dernières décennies, une évolution et un développement, qui s'imposent à l'évidence, en raison d'une part, de l'importance écologique et économique prise par la forêt et l'environnement et, d'autre part, du développement des sciences de bases, des sciences biologique et des technologies modernes.

Aussi, la recherche forestière devrait constituer, dans l'état actuel des orientations de la politique forestière nationale voire méditerranéenne, un maillon indispensable à l'efficacité des actions visant la production soutenue, la conservation, la valorisation et l'utilisation de l'arbre, de la forêt et de l'écosystème. C'est un véritable challenge que doit relever la recherche forestière en développant des connaissances scientifiques qui ne se limite pas seulement à la forêt en tant que peuplement d'arbres mais en tant qu'écosystème avec tous ses biens et services (flore, faune, plantes aromatiques et médicinales, chasse et pêche, conservation des eaux et sols,).

Dans cet esprit, les actions de recherches se caractérisent à la fois par des aspects fondamentaux et pratiques ; ils reposent sur des bases théoriques au niveau du laboratoire et sur des applications au niveau des parcelles d'expérience. Ainsi, la recherche forestière a enregistré un bilan riche et des acquis à renforcer et capitaliser. Ces acquis sont présentés suivant les axes décrits ci-après :

Amélioration génétique

Afin de satisfaire les besoins croissant en bois d'œuvre et d'industrie et pallier le déficit enregistré dans le secteur ligneux estimé à 25 %, l'intensification et l'extension des plantations ayant pour but la production de bois constitue une nécessité vitale pour l'économie nationale.

Dans cet esprit et à l'instar des autres pays méditerranéennes, la recherche forestière au Maroc s'est engagée dans l'exploration des espèces à croissance rapides susceptibles de s'adapter et de produire un bois de qualité. Cet engagement s'est concrétisé par :

- i) la création d'une quarantaine d'arboreta répartis dans les différentes régions écologiques du pays dont le but de l'évaluation des possibilités d'adaptation et de croissance de différentes espèces et provenances principalement d'Eucalyptus et de pins
- ii) la caractérisation des provenances de ces espèces dans environ 50 dispositifs expérimentaux en fonction de leurs croissances et de leur résistance aux insectes.
- iii) la constitution de réseaux méditerranéens pour l'échange des résultats et la création de bases de données relative à l'amélioration et la conservation des ressources génétiques forestières dans les pays méditerranéens
- iv) la Conservation ex-situ de différentes provenances à travers la constitution de banques de gènes (conservation des semences et de vitroplants)

Sylviculture pour la maîtrise de l'itinéraire technique de régénération et amélioration de la production des espèces forestières

Les efforts de recherches forestières ont pour souci d'accompagner les services forestiers dans le domaine de la reconstitution des différents écosystèmes (subéraie, arganeraie, cédraie, tétraclinaie, ...) par l'apport de techniques capables d'améliorer les pourcentages de reprises des plants lors des opérations de reboisement. Dans ce cadre les efforts de la recherche ont été orientés vers :

- la maîtrise des itinéraires techniques de production des plants de qualité en pépinière en vue d'améliorer la régénération des essences forestières. Les expérimentations portent sur la récolte et le tri des graines, leur cinétique de germination, les traitements à appliquer, le type et le volume du conteneur, le substrat, la mycorhization et la

fertilisation des essences prioritaires notamment l'arganier, le chêne vert, le chêne-liège, le thuya, le cyprès de l'Atlas et l'Acacia raddiana;

- la maîtrise des techniques de bouturage de ces essences en tant que solution alternative aux difficultés de productions de plants à partir de graines;
- la sélection par des approches de recherche en écophysiologie combinées à celles génomiques, des provenances ou génotypes performants (réponse physiologique et métabolique des arbres face aux facteurs et contraintes de l'environnement, résistance à la sécheresse, croissance) pour la régénération des essences autochtones telles que le cèdre, le chêne-liège et l'arganier et la pérennité des écosystèmes forestiers;
- l'introduction de nouvelles technologies par les tests menés avec les polymères hygroscopiques et les protecteurs individuels dans les parcelles de régénération de plusieurs essences de reboisement : chêne-liège, arganier, thuya, tamaris, acacia, cèdre et caroubier.



**Plant d'arganier de
bonne qualité**



Bouturage d'arganier

Santé des forêts

Les écosystèmes forestiers fragilisés par les sécheresses récurrentes et par les prélèvements dépassant leurs capacités de renouvellement sont devenus de plus en plus vulnérables et assujettis à des dépérissements et attaques parasitaires. S'inscrivant dans le cadre de la stratégie nationale de surveillance continue de la santé des forêts, la recherche forestière vise à détecter, identifier, étudier les maladies et la bio écologie des insectes qui peuvent avoir des effets néfastes sur la croissance et la survie des arbres, le rendement et la qualité du bois, du liège et des produits non ligneux notamment dans les forêts de chênes-lièges (vers blancs et *Platypus cylindrus*), de cèdres (xylophages), de pins (scolytes) et d'eucalyptus (galles et *Phoracantha* sp.).

Les efforts de recherches sont également orientés pour permettre l'étude de dynamique des principaux ravageurs et élaborer les stratégies de prévention et de protection des forêts et suivre l'impact du changement climatique sur l'évolution et le comportement de ces ravageurs.

Valorisation des produits forestiers

La satisfaction des besoins du marché national en bois enregistre une nette dépendance de l'extérieur, de plus en plus en croissance. Ainsi, le déficit commercial atteint en moyenne 1,8 millions m³ équivalent bois rond et le taux de couverture par les exportations avoisine à peine 45%. Pour cette raison, la recherche forestière s'est fixée pour objectif d'améliorer les connaissances, les modalités de transformation et d'utilisation du bois et du liège. Les travaux de recherche réalisés à ce jour ont porté sur :

- le Conditionnement des bois (séchage, traitements de bois...)
- la transformation, usinage et essais de finition des bois
- la valorisation du bois de chêne vert en parquet
- la caractérisation physique et mécanique du bois de l'arganier, d'Eucalyptus globulus et de la loupe de thuya
- la caractérisation, l'estimation et la modélisation de la qualité du liège
- Installation et suivi de nombreux dispositifs expérimentaux concernant le gemmage des pins, le déliégeage et le processus de formation de la loupe de thuya.

Développement de la filière PAM

Au Maroc, les plantes aromatiques et médicinales représentent une catégorie importante des produits forestiers non ligneux. Ils englobent une large gamme de produits qui existent à l'état spontané, en forêts et hors forêts, ou sous forme de cultures. Après avoir été longtemps considérés comme produits secondaires ou menus produits, les PAM ont pris un essor considérable eu égard à la demande sans cesse accrue du marché international. L'importance de la demande manifestée vers les années quatre-vingt du siècle dernier par certaines industries de transformation nationales ou étrangères a encouragé l'intensification et l'exploitation des PAM spontanées, faisant ainsi du Maroc le plus grand producteur des huiles essentielles de certaines plantes aromatiques et médicinales. Conscient de l'importance de secteur prometteur, la recherche forestière a contribué à :

- L'élaboration de modèles d'estimation du potentiel des nappes de romarins, de la lavande et de l'armoise;
- La maîtrise de la culture de cinq (05) espèces de PAM (romarin, myrthe, origan, armoise, thym);
- La caractérisation chimique et biologique des principales plantes aromatiques et médicinales des régions de l'Oriental, Rif, Taza - Al Hoceima, Haut Atlas, Fés - Boulmane
- L'identification de cinq espèces de lichen dans la forêt du Moyen Atlas dont deux d'intérêts économiques : Evernia prunastri et pseudovernia furfuracea; et l'estimation de leur potentiel par arbre;

Actuellement, les actions de recherches se sont étendues pour la caractérisation chimique des essences forestières telles que les différentes espèces de genévrier et le cèdre.

Biodiversité

Pour améliorer les connaissances sur la biodiversité et évaluer l'impact de l'évolution du climat sur les écosystèmes forestiers, des actions de recherche menées ont concerné :

- étude de l'évolution de la biodiversité floristique en fonction du climat dans le Parc National de Talassemtane.
- Etude floristique et phytosociologique du Parc National du Haut Atlas Oriental : élaboration d'une base de données sur la flore et établissement de la liste des espèces rare, menacée et endémique.
- étude et inventaire de la flore et de la végétation du Site d'intérêt biologique et écologique (SIBE) de Tichoukt : établissement de la liste floristique des espèces rare, menacée et endémique du SIBE.
- essai d'introduction d'espèces sahariennes dans les zones marginales de l'arganier : Une série d'espèces a été testée au niveau de la pépinière de Marrakech et les résultats sont très intéressants sur les plans taux de survie et croissance.
- Amélioration des connaissances sur la biologie des espèces gibiers et piscicoles en vue de leur gestion durable.

Conservation des Sols

L'érosion des sols et les dégradations des terres constituent un processus de détérioration continu des ressources qui concerne, avec des intensités diverses, une grande partie du territoire national. Ces fléaux intéressent essentiellement les zones de montagnes pour l'érosion hydrique et les zones arides pour l'érosion éolienne ; les zones continentales et littorales souffrent des problèmes particuliers d'ensablement. Pour améliorer les connaissances sur la conservation des sols et évaluer l'impact du phénomène de la désertification sur les écosystèmes forestiers, des actions de recherche menées ont porté sur :

- La Mise au point de techniques de lutte contre l'ensablement dans la Direction des Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification de Kénitra.
- L'élaboration d'indicateurs d'impact des actions de lutte contre la désertification dans le bassin versant de Sidi Driss.
- La mise en place d'un Système Maghrébin d'Alerte à la Sécheresse (SMAS) sur la base des données climatiques, agronomiques, forestières et d'observations de la terre.
- La mise au point d'un modèle de perte en terre intégrant l'érosion aréolaire et linéaire : Le total de la perte en terre est de l'ordre de 5 098 kg/ha, équivalent à 510 t/km² pour une précipitation de 521 mm.
- Le suivi-évaluation de la Désertification (DESURVEY) par la validation de la carte des états des terres et simulation de l'évolution des activités socioéconomiques au SIBE de l'Oued Mird (Zagora) et mise au point de techniques de mesure de la vulnérabilité des agrosystèmes sahariens.

Energie de biomasse

Dans le souci cadre du programme énergie de biomasse, des études ont été réalisées pour l'amélioration des performances énergétiques des systèmes domestiques à bois à fin de réduire la consommation en bois de feu. Un model de foyer amélioré pour la cuisson des aliments ainsi qu'un four à pain individuel métallique pour la cuisson du pain ont été développés dans ce sens. Les réductions de la consommation en bois sont d'environ 80%. Ces deux modèles sont maintenant prêts pour être diffusés.

Dans le volet de la production du charbon, un four métallique de carbonisation a été testé et amélioré. Les rendements atteints dépassent 30%, soit une amélioration d'environ 50% par rapport à la meule forestière de carbonisation en usage actuellement.

D'autre part, une étude a été menée concernant la séquestration du carbone. Il s'agit de l'évaluation du stock du carbone dans les iliaies du Moyen et Haut Atlas. L'étude a permis, dans un premier temps, d'estimer le stock de carbone dans le sol, la biomasse et la litière qui est de 80 tC.ha-1, 6 tC.ha-10 et 6 tC.ha-1 en moyenne respectivement, soit une moyenne totale de 146 tC.ha-1 ou encore 200 M.tC pour l'ensemble des iliaies du Moyen et Haut Atlas. Il ressort de cette étude donc que la déforestation d'un ha de forêt de chêne vert a pour conséquence la libération d'environ 540 t.C vers l'atmosphère.

Aussi, dans le but d'étudier les possibilités de développements des plantes à biocarburant dans les zones arides, des essais de bouturage, de germination, d'élevage et de transplantation du *Jatropha Curcas* ont été réalisés. Les taux de réussite dépassent 95%.

Partenariat : pour une synergie et une complémentarité avec la communauté scientifique

La diversité thématique induite par la diversité des objectifs et l'implication de chercheurs relevant d'organisme divers garantissant une multidisciplinarité scientifique rendent nécessaire l'affichage de programme précis et l'identification d'actions concrètes répondant aux nouveaux besoins de la foresterie.

La Centre de recherche forestière n'est pas le seul organisme impliqué au Maroc dans la recherche pour le secteur forestier, mais c'est un des plus importants, puisqu'il représente à lui seul 30% de la capacité de recherche dans ce secteur. Elle a aussi l'avantage d'être mieux en phase avec les besoins des décideurs et des gestionnaires et avec les problèmes du développement. Ce Centre, acteur majeur de la recherche forestière au Maroc, pourrait donc jouer un rôle moteur dans la fédération et l'organisation de la coordination des forces de recherche.

Les actions de recherche concernant l'arbre, la forêt et les écosystèmes ne relèvent pas seulement du Centre National de la Recherche Forestière. Plusieurs organismes nationaux, en particulier, les établissements d'enseignements supérieurs, les universités développent et mènent des recherches scientifiques en rapport avec la foresterie.

Pour assurer la coordination de la recherche forestière au niveau national, le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification a crée en 2006 deux organes, en l'occurrence le comité d'orientation et de coordination et le comité scientifique et technique. Ces comités, ouverts aux décideurs, gestionnaires, professionnels et scientifiques sont chargés de l'identification, du suivi et de la validation

des programmes et résultats de la recherche. Cette démarche est de nature à renforcer la synergie entre les institutions de recherche aussi bien au niveau national qu'international, appelées à travailler en réseau ou en partenariat pour une plus grande efficience.

Conclusion

Le développement des connaissances scientifiques et techniques repose sur la communauté scientifique concernée par le secteur forestier, sur sa capacité à traduire en thématiques de recherche les demandes des gestionnaires et à y apporter des réponses. La recherche forestière marocaine, avec toutes ses composantes (DREF, ENFI, IAV, Universités, etc..) doit être mise en situation de pouvoir faire face à ces enjeux et même d'en anticiper de nouveau. Ceci suppose : la définition d'une stratégie nationale de recherche pour le secteur forestier accompagnant la stratégie forestière nationale, la coordination des programmes inter organismes et la mise en cohérence des moyens publics pour la recherche. Certes le problème des moyens est important, et on voit d'ailleurs mal comment échapper à un système de financement de la recherche forestière très majoritairement public. Mais le système de recherche a aussi besoin d'hommes et de femmes en nombre suffisant, compétents, voire excellents scientifiquement, et reconnus dans leur carrière. Les activités scientifiques se déroulant de plus en plus dans un cadre international, les chercheurs doivent avoir les moyens d'y être présents. Enfin, cette recherche ne trouve tout son sens que si ses résultats au moins ceux qui peuvent être l'objet d'innovation, sont transférés au développement. A cet égard, tous les mécanismes qui participent à ce transfert : structure ad hoc de transfert, formation initiale et continue, etc., doivent être favorisés.

DISCUSSION

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Dr. Hajib de cette présentation exhaustive de l'état de la recherche forestière au Maroc. Il y a matière à faire et, comme vous l'avez mentionné, l'Académie s'est déjà impliquée et vous a sollicité pour soutenir, à travers le Collège des Sciences et Techniques du Vivant, de projets sur le chêne liège et l'arganier. Au vu du champ que vous avez décrit, je suis persuadée que d'autres collègues seraient intéressés d'interagir avec vos différentes divisions et soutenir vos recherches qui d'ailleurs vont aussi bien de la caractérisation du patrimoine, de sa préservation que de sa valorisation, et vous êtes avec vos équipes, et Dr. Lhafi à la tête, tous félicités des efforts et de cette organisation.

Nous allons réserver 7 mn de questions-réponses et je donne la parole tout d'abord au Pr. Mohamed Ait Kadi.

Pr. Mohamed AIT KADI (CSTETM)

Merci madame la présidente. Je voudrais faire un commentaire que m'a inspiré la brillante présentation du Dr. Lhafi et que je m'efforcerai de lier au débat auquel nous nous sommes exercés durant ces deux jours en soulignant au préalable un point saillant de l'intervention qui montre que le développement durable pour nous au Maroc n'est pas un luxe. Nous avons affaire à une triple fragilité :

- sur le plan environnemental, il l'a montré de façon éloquente,
- sur le plan social, on en a longuement discuté hier dans le panel, et
- sur le plan économique.

Ce qui veut dire, et il l'a aussi souligné dans l'approche, que nous sommes contraints d'adopter des approches qui prennent en compte tout-à la fois l'efficacité économique, l'équité sociale et la durabilité environnementale. C'est à juste titre qu'il questionne pour qu'il nous invite à réexaminer le concept de l'intégration qui doit d'abord se préoccuper du modèle de développement territorial qui est recherché pour répondre à ces besoins au niveau de cette trilogie que j'ai évoquée. Mais qui, en même temps, doit responsabiliser. Il l'a montré à travers l'effort qui est consenti dans le domaine de l'organisation des usagers. Je peux témoigner que c'est véritablement une révolution importante dans l'approche forestière.

Le point auquel je voulais arriver c'est aussi cette invitation qu'il nous a faite. Je suis peut-être excessif mais je vais le dire, à une révolution dans le domaine de la planification de l'eau une révolution parallèle dans le domaine de la planification énergétique qui a commencé dans le milieu des années 70' après le premier choc pétrolier. Il nous invite à réfléchir à intégrer tout-à fait à l'amont la planification de l'eau dans la planification macro-économique, et donc la décision d'allocation des ressources en eau par rapport au développement économique doit se faire à ce niveau.

Cela amène à des réflexions sur le plan de la modélisation, justement, nous constatons maintenant le développement d'une nouvelle génération de modèles hydro-économiques qui sont des modèles de très grande taille et font appel à beaucoup de données et n'ont rien à envier aux grands modèles dont on a parlé hier. Ces modèles posent des questions économiques extrêmement importantes, je fais allusion à ce qu'a cité le Pr. Lanly sur la valeur économique totale de la biodiversité. Il y a eu un effort pour cerner cette valeur mais ceci reste très chimérique et très difficile pour l'eau parce que l'eau est partout.

Je terminerai avec cette recommandation qui se lie avec celles qui ont été faites l'année dernière c'est de réfléchir véritablement, à initier au niveau de notre pays parce qu'il en a besoin une plateforme multidisciplinaire et je dirai même multi-acteurs de réflexion sur la modélisation hydro-économique. Cette modélisation est importante, elle nous invite à changer de business modèle, finie l'ère de la modélisation clés en mains. Dr. Lhafi a beaucoup insisté sur le long terme et sur la gestion de l'incertain. Il faut vraiment développer des capacités nationales dans ce domaine. Ça va de la formation jusqu'à la mise en œuvre et la mise à jour. Je pense que notre Académie doit considérer la mise en place de cet environnement durable de cette modélisation hydro-économique en impliquant les chercheurs, les décideurs et le secteur privé. Cela s'inscrirait dans le prolongement du travail qui a été fait avec l'ingénierie nationale. Merci.

Pr. Hassan HBID (Université Cadi Ayyad, Marrakech - Maroc)

J'interviens là pour dire que, dans ces exposés, on a beaucoup de chevauchements par rapport aux thématiques du Centre National d'Etudes et de Recherche sur le Sahara, basé à l'Université Cadi Ayyad à Marrakech et placé sous la tutelle du CNRST, tant sur le niveau de la biodiversité, de la biotechnologie, tout ce qui est lutte et outils de décision et modélisation pour la lutte contre la désertification. Ce centre compte plus de 160 chercheurs et doctorants et 60% des équipes s'intéressent aux thématiques et aux questions que vous avez énumérées.

L'une des questions qui nous préoccupe actuellement, en particulier les équipes travaillant sur la biodiversité, c'est de penser à une muraille verte au niveau des zones sahariennes marocaines à l'instar de celle qui a été proposée par le Président Sénégalais Abdoulaye Wade. Il y a une réflexion là-dessus.

Nous menons aussi des formations au niveau des zones sahariennes, par rapport aux comportements des riverains et à leurs agissements au niveau de la désertification. Par exemple en avril, il y a une formation de jeunes à Tata sur l'écotourisme.

Je reviens aux aspects scientifiques, en tant que modélisateur, et je dis qu'il y a des aspects qui étaient énumérés par le Pr. Lanly sur la dynamique des espaces boisés ou par rapport à certaines populations qui ont un impact sur la désertification. Je crois que les mathématiques, aujourd'hui, ont leur mot à dire pour les prévisions à moyen et à long termes. Nous travaillons sur ce volet avec l'équipe du Pr. Ouknine et tous les acteurs du domaine pour ancrer cette question d'interdisciplinarité et de modélisation. Je vous remercie.

Pr. Francisco GARCIA-GARCIA (CSTV)

Muchas gracias Señora Presidente. Trata de ser una intervención breve. Creo que la circunstancia la merita. Inicio in primer lugar transmitiendo una felicitación a los tres ponentes, e como organizado, cada uno cubrió aspectos complementarios e la misma problemática integral e bastante compleja que es el sector forestal, la silvicultura en cualquiera de nuestros países.

Voy a tratar de refiéreme muy particular, le reconozco al Dr. Lhafi una magnífica presentación que, siempre desde la perspectiva al gobierno, siempre bastante difícil transmitir todas requisa información que se acumula a través de los tiempos.

Desde la perspectiva de nuestro país, México, vemos que existen algunas coincidencias e no solamente en la cuestión del ordenamiento forestal, la salificación si no sobre

todo en el diseño de la política pública. Lo que mantos desde la perspectiva de mi participación en la Academia como parte también del gobierno nacional de mi país México.

Hacia algunos años, el diseño de la política pública en México se hacía desde una perspectiva binomial e paríamos el sector forestal en la asociación o la coincidencia de equilibrio entre suelo, bosque y agua. Sucintamente incluimos, como el Dr. Lhafi nos acaba de presentar, un cuatro factor, y hoy en día, es importantísimo lo menciono a través del protocolo de Nagoya del recurso genético.

Me llamo mucho la atención porque el término de sustentabilidad dependiendo de quién do de fina es como armonizar un equilibrio y un balance entre los tiempos y los intereses todas de las cosas.

Me gustó mucho un cuarto factor que este año estamos viviendo en nuestro país es el factor electoral No solamente los tres de acuerda la definición clásica de sustentabilidad. Es importantísimo mantener también y reconocer la importancia de ese cuarto factor.

Concluyo si más reiterando la invitación que nos visiten a nuestro país, de forma complementaria a la actividad que realizamos aquí en la Academia. Esta invitación es más de título de gobierno a gobierno siempre bajo los auspicios en lo que sea necesario sobre todo en la apoyo de la investigación de parte del Academia del Pr. Omar Fassi-Fehri. En este sentido le reitero de nuestra parte es aproximación para colaborar en aspectos del diseño de la política pública a través también de los proyectos de investigación au4el Dr. Hajib ya nos presentada. Muchas gracias.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci cher Francisco de cette invitation qui prend un cadre tout-à-fait solennel et nous en sommes témoins. J'espère que Dr. Lhafi y répondra favorablement, et ça reviendrait encore à consolider les liens entre nos deux pays et surtout à honorer tous les efforts de notre ami Francisco à soutenir les efforts de l'Académie sur le plan de la recherche au Maroc. Je donne tout de suite la parole au Dr. Lhafi, je crois que la plupart des questions et des commentaires vous étaient destinés.

Dr. Abdeladim LHAFI (Haut-Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Maroc)

Merci beaucoup. Je crois que les interventions du Pr, Mohamed Ait Kadi, je ne peux que verser dans le même sens, parce que je crois que le grand défi comme je l'avais signalé, comment concilier cette approche qui tient en compte la globalité et de la logique sectorielle. C'est un débat fondamental parce que les politiques de développement sectoriel sont fondées sur une certaines approches mais ces logiques, non seulement elles ne versent pas dans le sens des logique globale, mais elles peuvent parfois la contredire.

La ressource eau par exemple est un domaine essentiel dans cette approche. Lorsque vous mettez en place une politique de développement touristique, de développement agricole, d'urbanisation, etc... il peut arriver que lorsque vous faites l'addition de ces ambitions sectorielles que vous ayez des arbitrages à rendre parce que la ressource n'est pas disponible pour tout le monde. Ce que je disais tout-à-l'heure c'est les sectorialités doivent être les déclinaisons d'une réflexion globale au départ pour faire les arbitrages et en même temps définir les politiques et les modèles de développement qui se passent

justement sur cette restriction de la ressource et pour laquelle on doit veiller d'abord à la durabilité, mais en même temps en dégager la meilleure valeur ajoutée. C'est-à-dire comment valoriser au mieux le m³ d'eau au profit de la collectivité nationale tout en tenant compte notamment de ces arbitrages au démarrage.

Le deuxième volet de cette intervention c'est cette question de ne pas uniquement aller vers la conservation. On a parlé d'équilibre, de restauration des écosystèmes, mais lorsque vous vous adressez aux populations riveraines, aux ayants-droits, ceux vivent autour de la forêt. Ceux qui dans la forêt attendent autre chose. Donc nous avons ces trois étages qu'il faudrait concilier :

- Le premier concerne la restauration des équilibres et la réparation des dégradations,
- Le deuxième c'est d'essayer de nous attaquer aux causalités pour qu'on ne reproduise pas les mêmes dégradations quand on a restauré,
- Le troisième élément, qui est fondamental, c'est comment faire justement dans ce développement partenarial à la place du développement dans l'adversité.

On ne peut pas avoir d'un côté ceux qui défendent l'espace forestier et ceux qui dégradent. C'est là justement que cet aspect organisationnel est fondamental de constituer ces véritables ayants-droits en coopératives ou en associations, en véritables petites entreprises qui peuvent justement tirer profit de cet espace naturel et qui en deviennent les propres conservateurs. Je crois que si on arrive à réconcilier le citoyen avec son environnement et de le faire. C'est ce qu'on essaie de faire, et je pense qu'il y a des exemples réussis dans ce domaine

Le deuxième aspect au niveau de la globalité c'est que quelque part entre l'aspect scientifique et technique et l'aspect décision et gestion de l'espace, il faut être quelque part entre ce que disait Paul Valéry : tout ce qui est simple est faux et tout ce qu'il ne l'est pas est inutile ou inutilisable. Le gestionnaire doit prendre en considération ces aspects de trouver un cheminement qui permet d'agir en essayant d'intégrer le maximum sans essayer d'évacuer quelques aspects qui peuvent paraître accessoires mais qui sont fondamentaux au niveau de la décision.

Concernant la suggestion de muraille verte c'est comme si la désertification progressait sur un front. Or, le problème n'est pas là. Le problème c'est que la désertification est un phénomène insidieux qui est partout. L'érosion de la biodiversité, l'épuisement ou la destruction des nappes phréatiques font que la désertification ne progresse pas par front mais elle est diffuse et insidieuse. C'est pour cela que nous préférons parler de cette prise en charge par écorégions homogènes et pour essayer de nous attaquer par indicateurs fiables à la restauration des équilibres. La désertification est beaucoup plus large que la progression de sable.

Alors en ce qui concerne l'aspect de politique publique, je suis évidemment à ce qu'on prenne en charge tout ce qui peut verser dans ce domaine de 3 aspects :

- l'aspect de développement économique
- l'aspect de déséquilibres environnementaux et
- l'aspect de biens et services.

C'est cette trilogie qui est extrêmement importante, mais d'un autre côté même la prise en compte d'aspects écologiques et environnementaux passe en second lieu. On voit un divorce assez net entre la démocratie d'élections et la démocratie d'actions. Dans la démocratie d'élections, on a beaucoup plus tendance à répondre aux impératifs et

à la pression des contraintes du présent. Dans la démocratie d'actions, il y a d'autres contraintes qui se posent. Probablement, il y a une divergence qui est de plus en plus nette qui fait d'ailleurs passer l'environnement pour une priorité qui est tout-à-fait accessoire par rapport aux autres priorités. Merci.

Pr. Jean-Paul LANLY (Membre de l'Académie d'Agriculture de France)

Très rapidement, je voudrais dire qu'on a beaucoup parlé d'intégration et de globalisation. Dr. Lhafi l'a aussi dit, l'action ne peut être que sectorielle et autant il faut concevoir global et intégré autant ensuite on se retrouve dans les secteurs, sinon on n'est pas efficace.

La seconde chose que je voulais dire c'est que les approches participatives, dont on fait grand cas ici, il y a un exemple dont il y a lieu de s'inspirer et qu'on retrouve dans la vieille Europe, c'est la foresterie communale. En d'autres termes il s'agirait d'une forêt qui appartiendrait à une entité juridiquement bien définie avec un exécutif élu et qui ne peut que répondre aux aspirations au moins de la majorité des gens qui ont élu ce conseil municipal.

J'ai été souvent impressionné au cours de ma carrière internationale. On aurait dû résoudre des conflits d'usage et de gestion des espaces boisés dans beaucoup de pays si cette forme foresterie communale, qu'on retrouve dans tous les pays d'Europe centrale, avait été mise en place. Je pense que c'est une version de la gouvernance des espaces boisés qui est très importante à prendre en compte. Merci.

Pr. Rajae EL AOUAD (Directrice des Séances)

Merci Pr. Lanly. Nous venons à bout de cette première partie de la matinée avec une thématique extrêmement passionnante dont je suis persuadée que les collègues qui se sont réservé le droit de ne pas intervenir juste pour respecter le temps sur pas mal d'aspects lors de notre session interne. Pr. Mohamed Ait Kadi a donné des pistes de recommandations sur lesquelles nous reviendrons. J'ai également l'invitation du Directeur du CNRST qui, à défaut de ne pas s'être vu accorder la parole, invite également notre audience et notre Académie et bien sûr le Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification à un séminaire sur la recherche forestière qui viendrait encore mettre à jour vos préoccupations et souligner les orientations pour les années à venir.

Merci pour les orateurs, merci pour les invités et pour les collègues de nous avoir permis de respecter au mieux la durée de cette session.

RAPPORT D'ACTIVITÉ
2011 - 2012

RAPPORT D'ACTIVITÉS 2011-2012

Pr. Omar FASSI-FEHRI

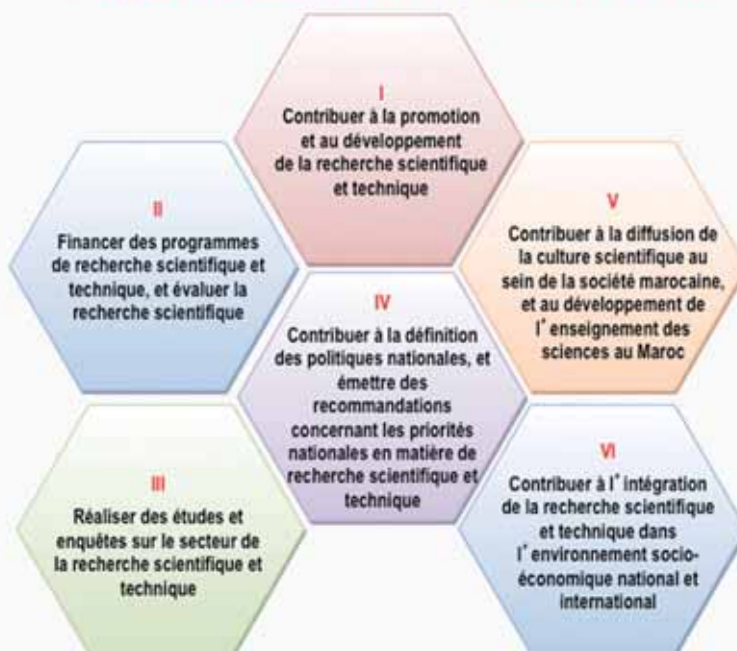
*Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



Introduction

Au cours de l'année 2011-2012, l'Académie a poursuivi sa politique de mise en œuvre de son plan d'action visant à réaliser ses différentes missions que lui confère le Dahir de sa création, et à contribuer au développement scientifique et technologique du Maroc.

Rappel des principales missions de l'Académie



I- Contribuer à la promotion et au développement de la recherche scientifique et technologique et financer des programmes de recherche

Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

4

Activité 1.1 : Préparation de la session plénière solennelle 2012

***Collège des sciences de la modélisation et de l'information (Nadia Ghazzali, Malik Ghallab
Abdelhaq El Jai)***

Activité 1.2 : Appel d'offres 2010

Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

5

Rappel des thèmes prioritaires retenus pour l'appel d'offres 2010

Thèmes
1- Agrobiotechnologie : Amélioration des fermentations alimentaires et de la qualité des produits
2- Le cancer, infection et inflammation
3- Effets des changements climatiques sur les ressources en eau et sur les écosystèmes (impacts/vulnérabilité)
4- Patrimoine géologique et Géo-matériaux
5- Energie solaire et schistes bitumineux: Alternatives durables pour réduire la dépendance du Maroc en matière d'énergie
6- Mathématiques appliquées et modélisation : outils efficaces d'aide à la prise de décision dans les domaines de l'activité sociale et économique pour le développement du Maroc
7- Matériaux et nanomatériaux pour l'énergie photovoltaïque
8- Innovation, croissance et développement humain
9- Démographie et économie

Appel d'offres 2010 Soumission de 81 demandes de financement

Appel d'offres 2010: Demandes soumises par discipline

Discipline	Nombre de demandes soumises
1- Agrobiotechnologie : Amélioration des fermentations alimentaires et de la qualité des produits	9
2- Le cancer, infection et inflammation	13
3- Effets des changements climatiques sur les ressources en eau et sur les écosystèmes (impacts/vulnérabilité)	6
4- Patrimoine géologique et Géo-matériaux	13
5- Energie solaire et schistes bitumineux	11
6- Mathématiques appliquées et modélisation	15
7- Matériaux et nanomatériaux pour l'énergie photovoltaïque	12
8- Innovation, croissance et développement humain	1
9- Démographie et économie	1
Total	82

Projets retenus et financement de l'appel d'offres 2010 pour la période 2011 - 2014

Projet	Partenaires	2011	2012	2013	2014
1- Valorisation et gestion intégrée des ressources en eau	IAV	800 000,00	791 800	812600	595400
2- Caractéristiques génétiques et multiplication-microbouturage	U. Ibn Zohr - Cadi Ayad	219 781,00	729 669	960009	479943
3- Combustion des schistes	U. Cadi Ayad	680 700,00	654520	222500	51000
4- Contribution au Développement Réalisation cellules photovoltaïques	Univ. Ibn Tofail	731 000,00	771000	651000	431000
4-Contribution Développement Réalisation cellules photovoltaïques	U. Hassan II - Mohammadia	51 000,00	51000	51000	51000
5- Extraction par solvant	U. Hassan II - Mohammadia	400 000,00	410000	246000	442500
5- Extraction par solvant	U. Moham. V - Agdal	400 000,00	389000	554000	157500
6- Études épidémiologiques	U. Hassan II - Casablanca	734 500,00	263500	60000	0
7- Modélisation et simulation pour cancer	U. Cadi Ayad	525 500,00	577500	396500	0
8- Changements globaux	U. Cadi Ayad	800 000,00	527650	569650	366900
9- Patrimoine géologique des provinces sahariennes	U. Cadi Ayad	77 600,00	72600	60100	15000
9- Patrimoine géologique des provinces sahariennes	U. Ibn Zohr	87 600,00	72600	55100	15000
9- Patrimoine géologique des provinces sahariennes	U. Hassan II - Casablanca	503 500,00	480400	170700	89800
10- Approximation et sous espaces invariants	U. Moham. V - Agdal	59 000,00	402000	424000	448000
11- Industrialisation et Développement	U. Moham. V - Agdal	448 500,00	427000	377000	334500
12- Sysolrafat	U. Cadi Ayad	776 000,00	1001000	800000	328000
12- Sysolrafat	U. Hassan II - Casablanca	24 000,00	39000	20000	12000
13- Recherche pluridisciplinaire sur les géomatériaux	U. Moham. V - Agdal	414 600,00	414600	266000	211000
13- Recherche pluridisciplinaire sur les géomatériaux	U. Hassan II - Casablanca	236 000,00	236000	140000	108900
13- Recherche pluridisciplinaire sur les géomatériaux	U. Hassan II - Mohammadia	149 400,00	149400	94000	80100
Totaux		8 188 618,00	8460219,00	6930159	4246543
Total général sur 4 ans			27 825 500,00 DH		

8

Activité I.3 : Financement des projets de recherche dans le cadre de collaborations internationales (1/2)

Sciences et Techniques du vivant

Titre du projet	Responsable du projet/Domiciliation et partenaires marocains	Durée du projet	Montant accordé	Versements	Partenaire international	Rapport d'activité
Sélection et utilisation de microorganismes rhizosphériques pour l'optimisation de la mycorhisation de l'olivier au Maroc	-Abdelkarim Filali Maltout/ Univ. Moh. V - Agdal - Cherkaoui El Modafar/ Univ. Cadi Ayad -Allal Douira/Univ. Ibn Tofail - Ahmed Oukballi/ CRRRA Meknès - Abdelmajid Moukhli/ CRRRA, Marrakech	2 ans	100 K Euro	1 ^{er} virement de 50 K Euros 2 ^{ème} Virement de 50 K Euro	Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique en Espagne (CSIC)	Rapport A1 prévu pour le 26 mai 2012
Mise au point et production de biofertilisants bactériens pour l'inoculation et l'amélioration de la productivité des légumineuses alimentaires au Maroc	-Jamal Aurag/Univ. Mohammed V - Agdal - Imane Thami Alami/ INRA	4 ans	3 841,6 KDH	Total versé : 1 540,4 KDH Reste à verser : 2 251,2 KDH	L'Entreprise Brésilienne de la Recherche Agricole (EMBRAPA)	Rapport A1 prévu pour le 19 septembre 2012

9

Activité I.3 : Financement des projets de recherche dans le cadre de collaborations internationales (2/2)

Sciences Physiques et Chimiques						
Titre du projet	Responsable du projet/Domiciliation et partenaires marocains	Durée du projet	Montant accordé	Versements	Partenaire international	Rapport d'activité
Nanocomposites écologiques à partir de ressources naturelles espagnoles et marocaines	--Mohammed Lahcini/ Univ. Cadi Ayad, Marrakech -- Khalid Draoui/Univ. Abdelmalek Essaadi, Tétouan	2 ans	100 K Euro	1 ^{er} virement de 50 K Euros 2 ^{ème} Virement de 50 K Euro	Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique en Espagne (CSIC)	Rapport A1 prévu pour le 21 octobre 2012

10

Activité I.4 : Résultats des projets de l'Appel d'offres 2007-2008

- **Une session ordinaire commémorant l'installation de l'Académie par Sa Majesté le Roi a été consacrée à la présentation des résultats des projets de recherche financés par l'Académie dans le cadre de l'appel d'offres 2007-2008.**

11

Retombées de l'ensemble des projets de recherche financés dans le cadre de l'appel d'offres 2007-2008

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	7 Distinctions/ Prix
368	09	Doctorants	150	33	100	Associés aux projets	97	65 Internationales	63 Manifestations scientifiques
		Élèves ingénieurs	04						23 Collaborations internationales
		Master	107					40 Nationales	Construction d'une station de traitement
		Licence	42						5 Financement de nouveaux projets
		Total	303			Total	97	105	

Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

12

Livrables par projet

Projet : Etude de l'efficacité de la consommation de l'huile d'argan sur le profil lipidique, et les statuts antioxydant et hormonal et détermination de l'effet hydratant de la peau chez les femmes ménopausées (ARFEM)

Zoubida CHARROUF, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat
Hassan AGUENAOU, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kenitra
Yahya BENSOUHA, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Mohammed V - Souissi, Rabat
Abdelfattah DEROUICHE, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Université Hassan II - Mohammedia, Casablanca

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences données	Brevet	
16	00	04 en Doctorat	06	00	02	Associés au projet	03 Internationales	00	09 manifestations scientifiques
						00			
		02 en Master					02 Nationales		

Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

13

Projet : Cohorte ESPOIR Maroc Etude et Suivi des Polyarthrites Indifférenciées Récentes au Maroc

Najia HAJJAI-HASSOUNI, Faculté de Médecine et de Pharmacie de Rabat, Université Mohammed V - Souissi, Rabat

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
28	00	00 en Licence	00	00	00	Associés au projet 03	Internationales 13	00	05 Prix et Reconnaissances accordés au Pr Hajjaï-Hassouni ;
		00 en Master					Nationales 15		Mise en place d'un registre national marocain des biothérapies en rhumatologie, 2012

14

Livrables du projet : Epidémiologie prospective de l'accident vasculaire cérébral ischémique ; rôle des affections cardiaques, des facteurs nutritionnels, biologiques et génétiques

My El Mostafa EL ALAOUI FARIS, Faculté de médecine et de pharmacie, Université Mohamed V- Souissi, Rabat

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
54	00	02 en Doctorat	00	00	06	Associés au projet 00	Internationales 07	00	Organisation d'un colloque international « L'Épidémiologie des Accidents Vasculaires Cérébraux », le 19 et 20 juin 2009 à la Présidence de l'Université Mohammed V-Souissi, Rabat
		06 en Master					Nationales 00		

15

Livrables du projet : Etude de la variabilité génomique du Chêne liège (Quercus suber L.) et multiplication clonale par embryogenèse somatique

Ahmed LAMARTI, Faculté des Sciences de Tétouan, Université Abdelmalek Essaâdi
 Abdelkarim FILALI-MALTOUF, Faculté des Sciences, Université Mohammed V - Agdal, Rabat
 Mohamed MAKHLOUFI, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Rabat

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
10	00	04 en Doctorat	00	00	03	Associés au projet 00	Internationales 00 Nationales 00	00	
		03 en Master							
		02 en Licence							

16

Livrables du projet : Etude génomique et immunologique de la tuberculose dans la population marocaine (2008-2012)

Rajae EL AOUAD, Institut National d'Hygiène – Ministère de la Santé, Rabat

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
70	00	08 en doctorat	50	00	00	Associés au projet 00	Internationales 00	00	11 collaborations internationales
		01 en Master							

17

Livrables du projet : Conception et construction d'une station pilote innovante pour le traitement des eaux usées pour les petites agglomérations et complexes touristiques en zones côtières

Omar ASSOBBEI, Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali, El Jadida

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences données	Brevet	
07	00	07 en doctorat 07 en Master 16 en Licence	00	01	07	Associés au projet 04	Internationales 03 Nationales 04	00	1 collaboration internationale 2 Prix/Distinction Construction d'une station pilote de traitement des eaux usées

18

Livrables du projet : Patrimoine géologique et géodiversité du Maroc : exemple de la région Rabat Salé Zemmours Zaïers

Abdelfatah TAHIRI, Institut Scientifique, Université Mohammed V – Agdal, Rabat

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences données	Brevet	
11	00	04 en Doctorat 04 en Master	00	00	04	Associés au projet 04	Internationales 10 Nationales 03	00	- 5 collaborations internationales - Organisation d'un workshop international Site internet de Lithothèque du Maroc - Répertoire de 35 sites écologiques et de 5 circuits d'excursions géologiques

19

Livrables du projet : Mathématiques et leurs Applications

Youssef OUKNINE, Faculté des Sciences, Université Cadi Ayyad, Marrakech
 Abdelmalek AZIZI, Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier, Oujda

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences données	Brevet	
30	00	31 en Doctorat	00	08	15	Associés au projet 20	Internationales 00	00	Organisation de 18 manifestations scientifiques
		15 en Master					Nationales 00		- Coopération avec la société Sigma Efficiency en 2008 et 2009

20

Livrables du projet : Réseau Théorie des systèmes

Abdelhaq EL JAI, Université de Perpignan (UPVD), France
 Larbi AFIFI, Faculté des Sciences, Université Hassan II- Ain Chock, Casablanca

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
82	01	50 en Doctorat	00	16	33	Associés au projet 10	Internationales 03	00	Organisation de 09 manifestations scientifiques
		33 en Master					Nationales 00		

21

Livrables du projet : Valorisation des ressources végétales marocaines : Exploitation des fibres végétales dans le domaine des composites fonctionnels

Hamid KADDAMI, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cadi Ayad, Marrakech

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
13	00	07 en doctorat 04 élèves ingénieurs 06 en Master	01	02	06	Associés au projet 08	Internationales 09	00	Organisation de 02 manifestations scientifiques - Obtention du financement de 02 nouveaux projets - Etablissement de 2 collaborations internationales (Suède et USA)
							Nationales 00		

22

Livrables du projet : Synthèse par voie catalytique homogène et hétérogène du biodiesel à partir d'huiles végétales usagées

Mohammed KACIMI, Faculté des Sciences, Université Mohammed V - Agdal, Rabat

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
02	00	02 en Doctorat 06 en Master 02 en Licence	00	00	06	Associés au projet 00	Internationales 05	00	Conception d'un réacteur batch pour la transformation des huiles végétales en biodiesel
							Nationales 01		

23

Livrables du projet : Economie de la Propriété Intellectuelle au Maroc et Comparaisons aux autres Pays Emergents

Ahmed DRIOUCHI, Institut des Analyses Economiques et des Etudes Prospectives (IEAPS), Université Al Akhawayn, Ifrane

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
02	00	04 en Master 22 en Licence	12	00	04	Associés au projet 01	Internationales 06 Nationales 07	00	- Atelier, Séminaire, Collaboration, Publication de 4 Munich Personal RePEc Archive

24

Livrables du projet : Systèmes territoriaux et articulation du local et du régional

Mohamed BERRIANE, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Mohammed V – Agdal, Rabat

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
20	06	07 en Doctorat 11 en Master	01	02	05	Associés au projet 05	Internationales 01 Nationales 01	00	Organisation de 03 manifestations scientifiques - Obtention de financement de 03 nouveaux projets

25

Livrables du projet : Prospection de sites pour les futurs « Extremely large Telescopes »

Zouhair BENKHALDOUN, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
06	01	04 en Doctorat 01 en Master	00	01	01	Associés au projet 02	Internationales 02 Nationales 01	00	Organisation de l'école d'Astrophysique d'Oukaimeden - Equipement du site d'observation de Jbel Aklim - Etablissement d'une collaboration internationale (France)

26

Livrables du projet : Nanocomposites polymères à base d'argile marocaine et mise au point des nanomatériaux fonctionnels

Mostapha BOUSMINA, Moroccan Foundation for Advanced Science, Innovation and Research (MAScIR),
Institute of Nanomaterials and Nanotechnology (INANOTECH), Rabat

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
09	00	12 en Doctorat 00 en Master	06	00	00	Associés au projet 40	Internationales 03 Nationales 06	01	Organisation de 14 manifestations scientifiques

Titre du Brevet : Surfactants pour la modification d'argile, méthode de synthèse et les nanocomposites produits.
Demande de brevet déposée à l'Office Marocain de la Propriété Industrielle et Commerciale (OMPIC), Maroc

27

Livrables du projet : Contribution au développement à l'échelle internationale de la production de l'énergie par la voie de la fusion contrôlée (Programme ITER) & Applications des Technologies plasmas

Denoun SAIFAOU, Faculté des Sciences, Université Hassan II Ain Chock, Casablanca

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences	Brevet	
08	01	08 en Doctorat 08 en Master	01	03	08	Associés au projet 00	Internationales 00 Nationales 00	01	- Organisation de 04 manifestations scientifiques - Collaboration avec 03 institutions internationales (France)

28

Activités I.5 : Soutien aux manifestations scientifiques (1/2)

Thème de la manifestation	Nombre de doctorants soutenus	Date et lieu
16 ^{ème} Edition de la Semaine Scientifique et Culturel de l'Étudiant	Contribution financière	09 au 12 mars 2011, Marrakech
10 ^{ème} Congrès de Mécanique	5	19 au 22 avril 2011, Oujda
3 ^{ème} Session de l'École de physique avancée au Maghreb sur « Hautes énergie, cosmologie, astroparticules et instrumentation avancée »	Contribution financière	26 mars au 3 avril 2011, Taza
2 ^{ème} journées marocaines de nanosciences et nanotechnologies	5	16 au 17 juin 2011, Fès
Colloque International sur « la problématique de l'émergence de bactéries multi-résistantes aux antibiotiques et nouvelles approches thérapeutiques »	10	07 au 08 octobre, Meknès
1 ^{ère} Edition des doctorales des Université du Centre	Contribution financière	16 au 22 octobre 2011, Bouznika
Symposium international de chimie hétérocyclique	6	27 au 28 octobre 2011, Fès
1 ^{ère} Conférence sur l'eau et l'environnement	5	26 au 29 octobre 2011, Marrakech
Symposium international sur les matériaux fonctionnels	20	27 au 29 octobre 2011, Kenitra
27 ^{ème} École Africaine de Neurosciences	2	29 octobre au 5 novembre 2011, Ifrane

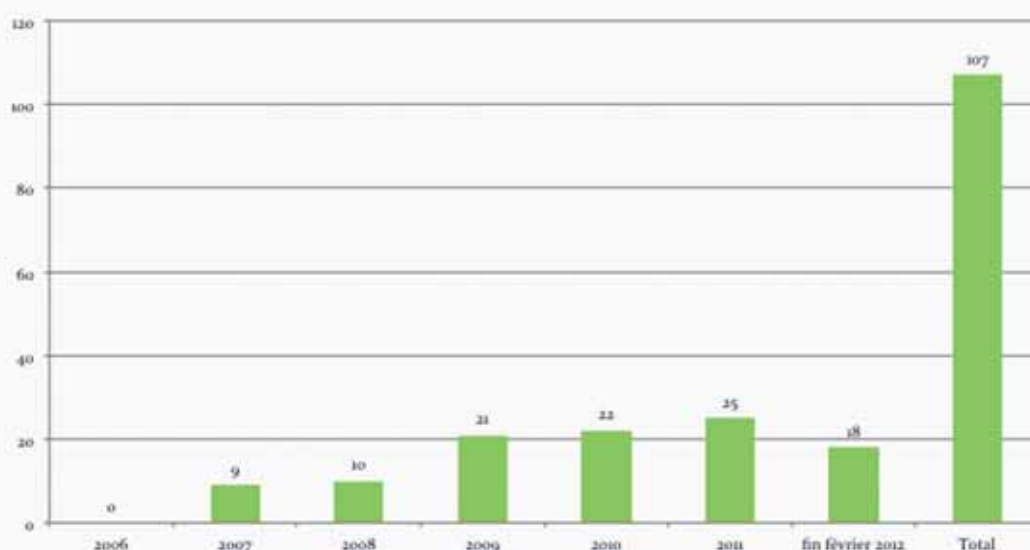
29

Activités I.5 : Soutien aux manifestations scientifiques (2/2)

Thème de la manifestation	Nombre de doctorants soutenue	Date et lieu
3 ^{ème} Edition du Congrès « eau, déchets et environnement »	10	21 au 23 novembre 2011, Fès
Séminaire sur le thème « innovation et valorisation en génie civil et matériaux de construction »	4	23 au 25 novembre 2011, Rabat
Conférence Maghrébine de l'Extraction et de la Gestion des Connaissances EGC	10	23 au 25 novembre 2011, Tanger
Espace « les jeunes et la technologie », Salon « Mediinnova 2001 »	Contribution financière	30 novembre au 03 décembre 2011, Casablanca
International Conference on Complex Systems (ICCS' 12)	6	05 au 06 novembre 2012 à Agadir
Valorisation de la recherche académique, transfert de technologie et création d'entreprises innovantes	Contribution financière	09 mars 2012 à Rabat
Championnat international des Jeux mathématiques et logiques	1	14 avril 2012, Casablanca
International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS' 12)	3	10 au 12 mai 2012 à Tanger

30

Évolution du nombre des manifestations scientifiques soutenues par l'Académie



Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

31

Activité I.6 : Participation de l'Académie aux manifestations scientifiques au Maroc (1/2)

<i>Manifestation scientifique</i>	<i>Organisée par</i>	<i>Lieu et date</i>
10 ^{ème} Congrès de Mécanique	Association Marocaine de Mécanique	Oujda, du 19 au 22 avril 2011
Congrès mondial de l'International Polymer Processing Society	l'International Polymer Processing Society	Marrakech, du 9 au 14 mai 2011
Global Innovation through Science and Technology (GIST)	Académie et le Ministère de l'Enseignement supérieur	Rabat, du 16 au 17 juin 2011
Table ronde sur « l'école et le savoir » autour du thème « les sciences exactes dans les écoles marocaines »	Conseil Supérieur de l'Enseignement	Rabat, le 19 octobre 2011
Conférence internationale GID – Parménides 4 sur le thème : « Eau et assainissement : enjeux et risques en Méditerranée »	Académie Hassan II des Sciences et Technique et GIG	Rabat, le 22 novembre 2011.

Activité I.6 : Participation de l'Académie aux manifestations scientifiques à l'étranger 2/2

<i>Manifestation scientifique</i>	<i>Organisée par</i>	<i>Lieu et date</i>
Forum de l'Information et de la recherche sur les technologies de la communication	Université Khalifa et Ankabut	Abu Dhabi, 15 mai 2011
Atelier consacré à la rédaction scientifique	Académie de Médecine et Académie des Sciences, France	Paris, du 7 au 8 juin 2011
30 ^{ème} Assemblée Générale de l'ICSU	ICSU	Rome, du 27 au 30 septembre 2011
Gestion des programmes au sein des Académies des Sciences	NASAC et Académie des Sciences de l'Ethiopie	Addis Abéba, du 3 au 6 octobre 2011
Atelier Régional sur la Science et la Technologie pour les pays arabes	ICSU	Caire, du 12 au 14 octobre 2011
22 ^{ème} Assemblée générale de la TWAS	TWAS	Trieste, 21 novembre 2011
Séminaire sur les stratégies de communication des Académies des Sciences	NASAC et Académie des Sciences, France	Paris, du 26 au 28 janvier 2012

Activité I.7 : Autres actions de promotion de la recherche scientifique

Action	Résultat
Bourse d'excellence accordée à un doctorant travaillant sur le projet ATLAS dans le cadre du projet LHC (Large Hadronic Collider) au CERN à Genève	Thèse soutenue le 23 janvier 2012, devant un jury international présidé par le Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel de l'Académie
Organisation de l'école académique (3 ^{ème} édition) sur le thème «modélisation et prospective économique», organisée par le collège « études stratégiques et développement économique »	Prix de thèse de l'Association Marocaine des Sciences Economiques (AMSE), éditions d'ouvrages sur l'économie marocaine
Création du Groupe de Recherche « Sciences et Humanités »	Groupe de réflexion pluridisciplinaire sur des problématiques ayant trait aux effets, liés au développement de la science, sur la société. Ce groupe est composé de philosophes, anthropologues, sociologues, géographes et historiens – 1 ^{ère} réunion tenue en janvier 2012
Mise en place du Réseau Théorie des Systèmes	262 publications internationales, 67 conférences nationales ou internationales, 29 ouvrages et 45 thèses de doctorats soutenues
Subvention accordée au laboratoire des procédés de séparation de la Faculté des Sciences de Kenitra pour l'acquisition du matériel d'un pilote industriel d'ultrafiltration et de microfiltration,	Deux brevets déposés à l'OMPIC
Soutien à l'équipe « biotechnologie médicale » et à l'équipe « biotechnologie environnementale, microbienne et végétale »	Prévu fin 2012

II- Réaliser des études et enquêtes sur le secteur de la recherche scientifique et technologique

Activité II.1 : Session ordinaire (20 décembre 2011)

- Arrêter le programme de la session plénière solennelle 2011
- Première présentation des données actualisées sur l'état des sciences et technologies au Maroc (année 2010).

Activité II.2 : Actualisation des indicateurs de sciences et technologies

- Suite à la publication par l'Académie, en mars 2009, du Document intitulé «Pour une relance de la recherche scientifique et technique au service du développement du Maroc»; document ayant exploité les données de sciences et technologies relatives à l'année 2006, l'Académie a procédé, en 2011, en collaboration avec ses partenaires, à l'actualisation de ces données. Un nouveau document sera édité durant l'année 2012 et montrera les évolutions entre 2006 et 2010 sur le plan des ressources humaines et financières, et sur le plan de la production scientifique et technologique.

Activité II.2 : Quelques données principales actualisées

Donnée	2006	2010	Évolution en %
Personnel total de la recherche scientifique et technique	32 273	36 809	14,05
Personnel de la recherche dans le secteur public en %	92,4	91,46	-1,01
Personnel de la recherche dans le secteur privé en %	7,6	8,54	12,36
Effectifs des enseignants-chercheurs	12 225	12 601	3,07
Les Inscrits dans l'enseignement supérieur	385 953	447 035	15,82
Les inscrits dans le doctorat	11 604	17 685	52,40
Effectifs des diplômés de l'enseignement supérieur	43 724 (2005)	48 333	10,54
Nombre de doctorats délivrés	826	676	-18,16
Dépenses intérieures de la recherche & développement (DIRD)	3 693,98 (millions DH)	5 703,12 (millions DH)	54,38
Contribution du secteur privé dans la DIRD en %	21,45	29,43	37,20
Part de la DIRD en % du PIB	0,64	0,74	15,62
Nombre de publications scientifiques/an	960	1300	35,41
Nombre de brevets déposés/an	910	1007	10,66

38

III- Contribuer à la politique de développement de la recherche scientifique et technologique

39

Activité III.1 : Participation de l'Académie aux travaux d'instances nationales

- **Conseil Supérieur de l'Enseignement (CSE)**
 - Assemblée plénière (CSE),
 - Journées d'étude sur le thème « Vers un système d'Information National Intégré de l'éducation, de la formation et de la recherche scientifique : SINEFOR »,
 - Table ronde sur « l'école et le savoir » autour du thème « les sciences exactes dans les écoles marocaines ».
- **Commission Nationale de Coordination de l'Enseignement Supérieur (CNACES)**
- **Conseil d'Administration du CNRST**



IV- Contribuer à la diffusion de la culture scientifique et au développement de l'enseignement des sciences

Activité IV.1 : 6^{ème} édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » (1/4)

- L'Académie a organisé du 26 novembre 2011 au 5 décembre 2011, pour la sixième année consécutive, avec le Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique, les journées « les jeunes et la science au service du développement ».



42

Activité IV.1 : 6^{ème} édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » (2/4)

- **L'édition 2011 a été organisée sous le signe de l'année mondiale de la chimie :**
 - Pour illustrer cette thématique et sensibiliser les jeunes à l'importance de cette science, comme pour les éditions précédentes, des conférences, des ateliers, des visites de laboratoires, des sorties sur le terrain, des projections de films et de documentaires, des rencontres avec des élèves ont été organisés dans plusieurs établissements scolaires de par le Royaume, animés par les collègues scientifiques qui ont mobilisé plusieurs de leurs membres et invité également quelques-uns de leurs collègues marocains ou étrangers à donner des conférences.
 - **Environ 10.000 élèves et 700 enseignants ont participé à ces journées.**

43

Activité IV.1 : 6^{ème} édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » (3/4)

- Il faut signaler en particulier que le Professeur Malik GHALLAB, Directeur de recherche au CNRS (France), Délégué Général à la Recherche et au Transfert pour l'Innovation à la Direction générale de l'INRIA (France), et membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a donné une conférence inaugurale de cette 6^{ème} édition sur le thème « la révolution des sciences numériques : d'internet aux robots et des cellules à la planète »,
- Yves COPPENS, Professeur éminent, Paléontologue, Paléanthropologue, membre de l'Académie des Sciences de France, Professeur émérite au Collège de France a donné une conférence de clôture de ces journées sur le thème « les premiers peuplements humains des deux rives de la Méditerranée ».



Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

44

Activité IV.1 : 6^{ème} édition des journées « les jeunes et la science au service du développement » (4/4)

Conférences, rencontres, ateliers etc. ...animés par les collèges scientifiques lors de la 6^{ème} édition des journées « les jeunes et la science au service du développement »

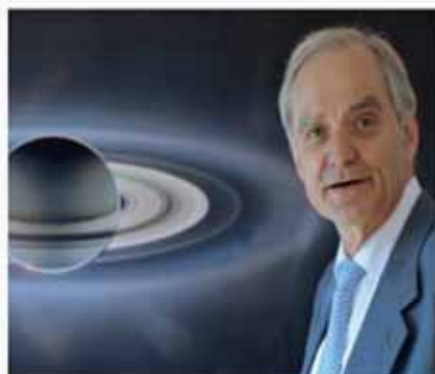
Collège scientifique	Activité
Collège des Sciences physiques et chimiques	19 conférences dans des lycées de plusieurs villes du Royaume 2 rencontres de sensibilisation 2 ateliers « la main à la pâte »
Collège des Sciences de la Modélisation & de l'Information	18 conférences dans la région de Marrakech et de l'oriental
Collège des Études Stratégiques & Développement Économique	4 conférences dans des lycées de Rabat et deux visites d'entreprises à Technopolis
Collège de l'Ingénierie, Transfert & Innovation Technologique	10 conférences dans la région du Gharb Une visite à la sucrerie du Gharb, expositions et projection de films

Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

45

Activité IV.2 : Organisation d'un cycle de conférences

- Organisation de conférences scientifiques à l'occasion de chaque session plénière, de sessions ordinaires ou de réunions spéciales :
 - le Professeur André BRAHIC, Astrophysicien au Commissariat à l'Énergie Atomique (France), Professeur à l'Université de Paris VII et Directeur du Laboratoire Gamma-gravitation, a donné une conférence sous le titre « Dernières nouvelles d'un jeune univers : du monde merveilleux de saturne aux confins de l'espace », le 14 octobre 2011.
 - Parrainage de certains établissements secondaires et création de clubs scientifiques dans certains lycées.



Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2011 - Rapport d'activité

46

Activité IV.3 : Organisation de séminaires, ateliers, conférences, journées d'étude... (1/2)

Activités

Conférence du Dr. Geneviève PRATVIEL

Laboratoire de Chimie de Coordination, Toulouse, France

« Les acides nucléiques quadruplex comme nouvelle cible pharmacologique contre le cancer », Le mercredi 14 décembre 2011

Conférence du Dr. Gérald GUILLAUMET

Institut de Chimie Organique et Analytique (ICOA), Université d'Orléans UMR CNRS 6005 :

« Méthodologies de synthèse en série pyridinique et diazinique : Exemple d'application à la chimie médicinale », Le mercredi 26 octobre 2011

Conférence du Pr. Hiroki,

International center for water Hazard & risk management, Japan

« Green Growth with Water », Le lundi 10 octobre 2011

2^{ème} Atelier sur « Impact des changements climatiques sur l'agriculture marocaine : quel agenda de recherche », Le jeudi 8 décembre 2011 à Rabat

Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

47

Activité IV.3 : Organisation de séminaires, ateliers, conférences, journées d'étude... (2/2)

Activités

Conférence internationale GID-Parménides 4

« Eau et assainissement : enjeux et risques sanitaires en Méditerranée » avec le soutien de l'Académie Hassan II des sciences et techniques, le 22 Novembre 2011

Séminaire sur la pharmacogénomique et la médecine personnalisée, Le Vendredi 13 janvier 2012

Réunion du Groupe de Réflexion sur « Sciences et Humanités »

Activité IV.4: Participation au salon de la recherche et de l'innovation

- L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a participé à la 7^{ème} édition du salon « MEDIINNOVA 2011 », organisé dans le Parc des Expositions de l'Office de Changes à Casablanca, du 30 novembre 2011 au 3 décembre 2011, par l'Association R&D Maroc en partenariat avec le Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique avec le soutien du Ministère de l'Industrie, du Commerce et des Nouvelles Technologies, du Ministère des Affaires Générales et Économiques et de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Activité IV.5 : Participation au salon international de l'édition et du livre (Février 2012)

- L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques participe, en ce moment (février 2012), à la 18^{ème} édition du salon international de l'édition et du livre, organisé par le Ministère de la Culture dans le Parc des Foires et Expositions de Casablanca, du 10 au 19 février 2012.



Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

50

Activité IV.6 : Publications de l'Académie durant 2011-2012

- Actes de la session plénière 2011
- Le Bulletin d'information de l'Académie (N° 8, 9 et 10)
- La Lettre de l'Académie (N° 13, 14 et 15)
- Volumes 1 et 2 du Journal scientifique de l'Académie «Frontiers in Science and Engineering».



Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

51

Activité IV.7 : Contribution au développement de l'enseignement des sciences:

Séminaire sur «Enseignement des sciences : cas du Maroc et de la Malaisie»

- Séminaire organisé le 10 février 2012 au siège de l'Académie, avec la participation de responsables du Ministère de l'Education Nationale et des Académies Régionales de l'Education et de Formation des régions de Rabat, Kenitra et Guelmim, de Directeurs de lycées et de membres de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.
- Ce séminaire a été organisé de manière conjointe avec l'Académie des Sciences de la Malaisie. Il a permis aux participants (marocains et malais) de prendre connaissance de l'expérience malaisienne en matière d'enseignement des sciences et d'autre part de s'informer du Plan d'action du Ministère de l'Education Nationale et de l'action de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques en matière d'enseignement des sciences et diffusion de la culture scientifique

Activité IV.8 : Autres actions de promotion de l'excellence scientifique

- Allocations d'excellence (édition 2011) attribuées aux lauréats du concours général en sciences et techniques, organisé pour les meilleurs bacheliers des disciplines scientifiques et techniques, dans le cadre de la convention de partenariat signée avec le Ministère de l'Education Nationale.

V- Bibliothèque de l'Académie

- Aménagement et équipement de la Bibliothèque (rayonnage, salles de lectures, salon de lecture, salles de réserve et d'archives...)
- Création du Comité de suivi de la Bibliothèque (gestion, commande, achat, abonnement, échange)
- Au cours de l'année 2011-2012, commande de près de 500 titres (encyclopédies spécialisées, documents de référence, publications de l'histoire des sciences arabo-islamiques, œuvres de scientifiques reconnues
- Mission de la responsable de la Bibliothèque à l'Académie des Sciences, France (Visite et entretiens avec les responsables des services de publications et de la bibliothèque de l'Institut de France..)

VI- Coopération, partenariat et présence de l'Académie à l'échelle internationale



Séminaire sur la communication scientifique à l'Académie Nationale de Médecine (France)

Activité VI.1 : Coopération bilatérale

Une délégation composée du Professeur Gilles Fourtanier, Président de l'Université Toulouse II, du Professeur Juan Martinez Vega, Vice-président délégué aux Relations internationales et du Professeur Jean Jacques Bonnet, Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse et membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, a rendu visite à l'Académie



Le 07 décembre 2011, l'Académie a reçu Mr. l'Ambassadeur de France au Royaume du Maroc qui a effectué une visite de courtoisie à l'Académie.



Visite à l'Académie d'une délégation de l'Académie des Sciences de la Malaisie et participation au séminaire sur «l'enseignement des sciences»



Académie Hassan II des Sciences et Techniques -
Session plénière 2012 - Rapport d'activité

56

Activité VI.2 : Coopération multilatérale

Lieu	Date	Participation	Participant
Paris - France	7 - 8 juin 2011	Atelier consacré au thème de la rédaction scientifique, organisé à Paris à l'Académie Nationale de Médecine	Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel
Caire - Égypte	12-14 octobre 2011	Atelier Régional sur la Science et la Technologie pour les pays arabes	Pr. Najat Mokhtar, Directrice scientifique
Rome - Italie	27-30 septembre 2011	30 ^{ème} Assemblée générale de l'International Council for Science (ICSU)	Pr. Najat Mokhtar, Directrice scientifique
Trieste - Italie	21 novembre 2011	22 ^{ème} Assemblée générale de l'Académie des Sciences pour les pays du tiers monde (TWAS)	Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel
Afrique du Sud		Travaux du Réseau des Académies des Sciences de l'Afrique (NASAC)	Pr. Moustafa Bousmina, Chancelier
Adis Ababa - Éthiopie	3-6 octobre 2011	Colloque du NASAC sur la gestion des programmes	Pr. Abdelkader Yachou Cadre supérieur à l'Académie
Paris - France	26-28 janvier 2012	Colloque du NASAC et de l'Académie des Sciences (France) sur la stratégie de communication des Académies des Sciences	Pr. Najib El Hatimi et Mohamed Ibn Majah
Washington, USA	Février 2012	Réunion à l'Académie Nationale des Sciences USA (Washington) (réflexion d'un groupe d'expert sur des questions d'actualité internationale)	Pr. Moustafa Bousmina, Chancelier

Par ailleurs, l'Académie a contribué au financement des activités de la TWAS, du NASAC et de l'ICSU, en accordant un montant de 250 000 DH à la TWAS, 97 504,39 DH au NASAC et 56 000 DH à l'ICSU.

57

VII- Organisation administrative de l'Académie



58

VII.1.- Les ressources humaines

- L'Académie a de manière progressive et chaque fois que le besoin se fait sentir procédé à des recrutements; aujourd'hui le personnel de l'Académie s'élève à 31 personnes dont 16 cadres supérieurs (docteurs d'Etat ou ingénieurs)-
- Pour compléter ses organes administratifs, l'Académie a procédé à la nomination de Mme Najat Mokhtar, Professeur à l'Université Ibn Tofaïl, responsable de la direction scientifique de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,
- Pour pouvoir suivre la production scientifique nationale, l'Académie est connectée à la base de données bibliométriques SCOPUS et Web of Science via le Centre National pour la Recherche Scientifique (CNRST) (dont nous tenons à remercier très sincèrement les responsables)
- Achèvement ou quasi achèvement de l'équipement et de l'aménagement du siège de l'Académie (informatique, bureautique, mobilier...)

59

Activité VIII.2. Le budget de l'Académie

Dépenses	2006 (DH)	2007 (DH)	2008 (DH)	2009 (DH)	2010 (DH)	2011 (DH)
Fonctionnement	7 452 000,00	8 775 000,00	5 294 222,05	6 374 613,60	7 949 527,04	10 149 426,29
Equipement	2 469 000,00	8 500 500,00	39 789 068,75	38 562 434,96	20 526 429,31	64 829 628,31
TOTAL	9 921 000,00	17 275 500,00	45 083 068,75	44 937 048,56	28 475 956,35	70 979 090,60
Coût Session inaugurale mai 2006	2 238 000,00	-	-	-	-	-
Coût Session plénière		1 810 000,00	1 705 969,00	1 062 229,86	1 260 354,35	1 263 087,48
Coût Journée d'étude			58 808,00	13 800,60	-	-
Coût Sessions ordinaires		510 000,00	216 421,00	58 403,00	132 808,44	31 680,00
Conventions de recherche		1 384 000,00	7 481 649,00	7 359 290,00	3 474 828,37	15 929 237,99
Soutien aux manifestations scientifiques		143 000,00	186 625,00	271 051,91	99 000,00	457 501,40

(6)

Conclusion

L'Académie Hassan II des Sciences et Technique essaye donc inlassablement de s'acquitter de sa mission avec le souci de promouvoir la recherche scientifique et le rayonnement des sciences et du savoir, de mener ses actions de façon progressive dans le cadre d'une programmation réaliste, mais aussi d'une vision prospective, privilégiant bien entendu les secteurs prioritaires arrêtés par les autorités du pays, en tendant toujours vers l'objectif qui lui a été défini par Sa Majesté le Roi Mohammed VI -que Dieu Le Glorifie-, le 18 mai 2006 **«servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»**, dont elle a fait sa devise.

Merci pour votre attention

COMPTE RENDU DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE 2012

La session plénière solennelle annuelle 2011-2012 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, s'est tenue à Rabat, les 15, 16 et 17 février 2012, sous le thème scientifique général «Sciences et ingénierie numériques». Le présent compte rendu synthétise les travaux et activités de cette session.

Mercredi 15 février 2012 (matin) Cérémonie d'ouverture et Séance sur «les défis interdisciplinaires en sciences et ingénierie numériques»

Le mercredi 15 février 2012, à 09h, à la grande salle de Conférences de l'Académie du Royaume à Rabat, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a procédé à l'ouverture solennelle de sa septième session plénière solennelle, en présence en particulier du Chef du Gouvernement, du Ministre de l'Éducation Nationale, du Ministre de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres, des Ambassadeurs de Chine, du Mexique, de Malaisie, du Portugal, de Hongrie, d'Espagne et du Sénégal, du Secrétaire général du Conseil Supérieur de l'Enseignement, des Académiciens et de plusieurs Personnalités invitées.

Dans son Discours d'ouverture, le Secrétaire perpétuel de l'Académie, Pr. Omar Fassi-Fehri, a rappelé que la session plénière solennelle est toujours un moment privilégié pour s'acquitter d'une des activités phares de l'Académie, celle, comme précisé dans la loi de sa création, de réunir de façon régulière l'ensemble de ses membres dans l'objectif de développer la concertation et l'échange entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale sur des questions majeures qui préoccupent notre société, et d'apporter un éclairage renouvelé sur l'évolution du savoir dans le monde. Il a également rappelé l'urgence de mettre l'accent sur la nécessaire relance de la science et la technologie marocaines et d'engager très vite le secteur de la recherche et de l'innovation vers la production de la valeur ajoutée dans tous les secteurs de l'économie. Un nouveau document comportant les données scientifiques et techniques caractérisant l'état de la science au Maroc ainsi que la réflexion pour le développement scientifique et technique dans notre pays sera bientôt publié par l'Académie.

Concernant les travaux de cette session, Il a rappelé que le thème scientifique général choisi porte sur : «sciences et ingénierie numériques (SIN)», et que le choix de ce thème s'explique par le rôle crucial que jouent aujourd'hui les mathématiques et les sciences numériques dans les technologies et bien entendu dans les autres sciences; et surtout, par l'importance prise actuellement par les sciences numériques dans la vie courante, dans la génération de nouvelles connaissances et dans l'avancement du savoir. Dans le cadre de cette session, il a souligné aussi, qu'à côté du thème scientifique général, une séance sera consacrée à la célébration de «l'Année mondiale de la forêt» et une autre à la présentation des principales actions menées par l'Académie durant l'année 2011.

Après l'allocution du Secrétaire perpétuel, le Pr. Malik Ghallab, Directeur de recherche au CNRS (France), Délégué Général à la Recherche et au Transfert pour l'Innovation à la Direction générale de l'INRIA (France), Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, a, dans un exposé introductif, présenté le thème scientifique général de la session plénière.

Au cours de la séance d'ouverture, des conventions de partenariat ont été signées entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification d'une part, et l'Académie des Technologies de France d'autre part; celle-ci vient enrichir celle déjà signée il y a trois ans avec l'Académie des Sciences de France.

Par la suite, deux allocutions de courtoisie furent présentées, dans le cadre de cette cérémonie d'ouverture, par Mme Catherine Bréchignac, Secrétaire perpétuelle de l'Académie des Sciences de l'Institut de France, et Mr. le Pr. François Guinot, Délégué des relations internationales de l'Académie de Technologie de France, Président Honoraire de l'Académie des Technologies.

A l'issue de la cérémonie d'ouverture, l'Académie a procédé à l'élection de Mme Rajae El Aouad, comme Directeur des séances, en remplacement de Mr. Ahmed El Hassani dont le mandat est venu à expiration.

Après la pause-café, l'Académie a poursuivi ses travaux par une première séance sur «les défis interdisciplinaires en sciences et ingénierie numériques» en examinant plusieurs volets particulier et d'abord sur «*sciences et ingénierie numériques en sciences de la vie*», au cours duquel quatre exposés furent présentés par :

- Pr. Nicholas Ayache, Professeur à l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), France, sur «*Imagerie médicale et informatique : vers un patient numérique personnalisé*»;
- Dr. Abdessamad Tridane, Arizona State University, USA, sur «*Modélisation des épidémies : de l'approche mathématique à l'approche multidisciplinaire*»;
- Pr. Jacques Demongeot, Professeur à l'Université Joseph Fourier, Grenoble, France, sur «*Réseau de régulation génétique pour l'immunologie et l'embryogenèse*»;
- Pr. Hassan Hbid, Professeur à l'Université Cadi Ayad, Marrakech, Maroc, sur «*La modélisation des relations individu-groupe-population : de la cellule aux ensembles urbains*».

Une discussion a suivi ces exposés, animée principalement par Mme. Rajae El Aouad, Directeur des séances et membre résidente de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Mercredi 15 février 2012 (après midi)

Suite du panel sur «les défis interdisciplinaires en SIN»

Le mercredi après midi, l'Académie a poursuivi ses travaux en examinant le sujet relatif aux «*sciences et ingénierie numériques en physique, chimie, et ingénierie*», au cours duquel trois communications furent présentées par :

- Pr. Fayssal Ben Khaldoun, Professeur à l'Université Paris 13, France, sur «*Revue, sur les volumes finis adaptatifs en science et ingénierie : rôle des simulations en dynamique des fluides dans l'industrie*»;
- Pr. Mohammed Seaid, Professeur à l'Université de Durham, UK, sur «*Revue, sur les volumes finis adaptatifs en science et ingénierie : rôle des simulations en dynamique des fluides dans les domaines de l'eau et de l'environnement*».
- Pr. Rajae Cherkaoui El Moursli, Professeur à l'Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc, sur «*Défis liés aux données de l'expérience ATLAS au LHC*».

Une discussion a suivi ces exposés, animée principalement par Mme. Rajae El Aouad, Directeur des séances et membre résidente de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Après la pause-café, l'Académie a poursuivi ses travaux en abordant un troisième sujet sur «sciences et ingénierie numériques en sciences de l'environnement», au cours duquel deux communications furent présentées par :

- Pr. Eric Blayo, Professeur à l'Université Joseph Fourier, Grenoble, France, sur «*Système de prévision numérique des fluides géophysiques*»;
- Pr. Daniel Auclair, Chercheur à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Montpellier, France sur «*De l'écologie théorique à l'ingénierie écologique : place de la modélisation*»;

Au cours de cette séance, un exposé se rapportant au second panel mentionné ci-dessus, a été présenté par :

- Pr. Jinghai Li, Vice Président de l'Académie des Sciences de Chine, Institut du Génie des Procédés, Pékin, Chine, sur «*Simulation en temps réel des procédés chimiques : rêve ou réalité?*».

Une discussion a suivi ces exposés, animée principalement par Mme. Rajae El Aouad, Directeur des séances et membre résidente de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

A la fin de cette séance, un panel de discussion et débat sur «les SIN interdisciplinaires en sciences de la vie, des matériaux et de l'environnement» a été animé et modéré par :

- Pr. Gérard Fuller, Professeur à l'Université Stanford, USA, membre de l'Académie Nationale de l'Ingénierie (USA), membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques;
- Pr. Driss Ouazar, Professeur à l'Ecole Mohammadia des Ingénieurs, Rabat membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques;
- Pr. Rajae El Aouad, Directeur de l'Institut National d'Hygiène, Membre résidente de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Jeudi 16 février 2012
Séance sur «Méthodes et outils des SIN»

La matinée du jeudi 16 février 2012 fut consacrée au panel sur le thème «Mathématiques et informatique», au cours duquel deux exposés furent présentés, respectivement, par :

- Pr. Jean-Christophe Yoccoz, invité spécial de la session plénière 2012, médaille Fields 1994, Professeur à l'ENS, Paris, Membre de l'Académie des Sciences (France) et Professeur au Collège de France, sur «*Systèmes dynamiques : exemple du billard*»;
- Pr. John O'Reilly, Professeur à l'Université Cranfield, membre de l'Académie Royal d'Ingénierie (Royaume Uni) et membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, sur «*TIC – un outil de transformation interdisciplinaire utile pour la science et l'Innovation*».

Après la pause café, fut traité le sujet «Simulation et calcul de haute performance», et a fait l'objet de deux exposés présentés par :

- Pr. Marc Parizeau, Professeur à l'Université de Laval, Québec, Canada, sur «*Calcul haute performance : défis et réalisations*»;
- Pr. Bruno Arnaldi, Professeur à l'INSA de Rennes, France, sur «*Simulations complexes, interaction, exploration et réalité virtuelle*».

Une discussion a suivi ces exposés, animée principalement par Mme. Rajae El Aouad, Directeur des séances et membre résidente de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Après déjeuner, les travaux de la session plénière se sont poursuivis en abordant le volet «Modèles alternatifs et représentations», au cours duquel deux communications furent présentées par :

- Pr. Bastien Chopard, Professeur à l'Université de Genève, Suisse, sur «*La méthode de «Réseau-Boltzmann» et ses applications en science et ingénierie numérique*»;
- Pr. Franco Bagnoli, Professeur à l'Université de Florence, Italie, sur «*Synchronisation et contrôle du chaos dans les automates cellulaires*».

Après la pause café, un quatrième sujet «Données et connaissances», fut abordé et a fait l'objet de deux exposés présentés par :

- Pr. Fabrizio Gagliardi, Microsoft Research, Genève, Suisse,, sur «*données massives en science et nuage numériques*»;
- Pr. Daoud Ait Kadi, Professeur à l'Université de Laval, Québec, Canada, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sur «*Prise en compte, en conception, de la fiabilité et de la maintenabilité des systèmes*».

Une discussion a suivi ces exposés, animée principalement par Mme. Rajae El Aouad, Directeur des séances et membre résidente de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

A la fin de cette séance, un panel de discussion et débat sur «les méthodes et outils des SIN» a été animé et modéré par :

- Pr. Eric Sandewall, Professeur à l'Université de Linköping, Suède, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques;
- Mr. Rachid Ben Mokhtar, Président de l'Observatoire National du Développement Humain, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques;
- Pr. Philippe Tanguy, Total, France, Membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Vendredi 17 février 2012 (matin)

**Séance consacrée à la commémoration de l'année internationale de la forêt
&
Présentation du rapport d'activités 2011-2012**

La première partie de la séance du vendredi matin 17 février 2012 fut consacré à la commémoration de l'année internationale de la forêt. Trois communications furent présentées :

- *«La forêt marocaine : réalité et avenir»* par Dr. Abdeladim Lhafi, Haut Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Rabat, Maroc,
- *«Les espaces boisés méditerranéens»* par Pr. Jean-Paul Lanly, membre de l'Académie d'Agriculture, France,
- *«Recherche forestière au Maroc»* par Dr. Said Hajib, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Rabat, Maroc, Professeur à l'Université Mohamed V-Agdal, Rabat (Maroc).

Une discussion a suivi ces exposés, animée principalement par Mme. Rajae El Aouad, Directeur des séances et membre résidente de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Après la pause café, l'Académie a poursuivi ses travaux à huit clos. Au cours de cette séance, le Secrétaire perpétuel de l'Académie a présenté le rapport d'activité de l'Académie durant l'année 2011-2012.

Dans le cadre de ses différentes missions qui lui confère le Dahir de sa création, l'Académie a poursuivi sa politique de mise en œuvre de son plan d'action au cours de l'année 2011-2012 :

- *en matière de promotion, développement et financement de la recherche scientifique et technologique par :*
 - *financement des projets de l'appel d'offres 2010;*
 - *financement des projets dans le cadre de coopérations internationales;*
 - *suivi des projets de recherche financés en 2008 qui ont donné lieu jusqu'à présent à 97 publications dans des revues internationales, 1 brevet, 32 doctorats ainsi que 100 Masters;*
 - *soutien aux manifestations scientifiques; jusqu'à fin février 2012, l'Académie a soutenu 18 manifestations scientifiques;*

- participation à 5 manifestations scientifiques au Maroc et à 7 manifestations à l'étranger;
- subvention accordée au laboratoire des procédés de séparation de la Faculté des Sciences de Kenitra pour l'acquisition du matériel d'un pilote industriel d'ultrafiltration et de microfiltration, qui a donné lieu au dépôt de 2 brevets;
- attribution d'une bourse d'excellence à un doctorant travaillant sur le projet ATLAS dans le cadre du projet LHC (Large Hadronic Collider) au CERN à Genève,
- création de l'école académique sur le thème «modélisation et prospective économique»;
- création du groupe de recherche «sciences et humanités»;
- soutien au «réseau théorie des systèmes»;
- en matière de réalisation des études et enquêtes sur le secteur de la recherche scientifique et technologique par :
 - organisation de la session ordinaire préparatoire de la session plénière et présentation des données actualisées sur l'état des sciences et technologies au Maroc,
- en matière de politique de développement de la recherche scientifique et technologique par :
 - participation de l'Académie aux travaux d'instances nationales (CSE, CNACES, CA du CNRST...).
- en matière de la diffusion de la culture scientifique et du développement de l'enseignement des sciences par :
 - organisation de la 6^{ème} édition des journées «les jeunes et la science au service de développement», sous le signe de l'année mondiale de la chimie,
 - organisation d'un cycle de conférences;
 - organisation de séminaires, ateliers, journées d'étude...
 - participation au salon de la recherche de l'innovation;
 - participation au salon international de l'édition et du livre;
 - diffusion des publications de l'Académie (Actes de la session plénière 2011, Bulletin d'information de l'Académie (N°8, 9 et 10), Lettre de l'Académie (N°13, 14, et 15) et Volumes 1 et 2 du Journal de l'Académie «Frontiers in Science and Engineering»;
 - organisation du séminaire sur «l'enseignement des sciences : cas du Maroc et de la Malaisie»
 - attribution des allocations d'excellence à huit nouveaux lauréats du concours général en sciences et techniques, organisé pour les meilleurs bacheliers des disciplines scientifiques et techniques, dans le cadre de la convention de partenariat signée avec le Ministère de l'Éducation Nationale.
- sur le plan international, développement de la présence de l'Académie et renforcement des liens de coopération bilatérale et multilatérale.

Après cette présentation, les académiciens purent entamer une large discussion qui a permis de dégager un certain nombre de recommandations :

- renforcer la diffusion de l'information autour des activités de l'Académie entre ses membres,
- assurer une collaboration et une coordination adéquates entre les collègues scientifiques,

- mener une réflexion collégiale sur les causes et les conséquences de la baisse du nombre de doctorats soutenus ces dernières années,
- évaluer l'impact de l'Académie sur la communauté scientifique et sur la politique publique en matière de recherche scientifique et technologique,
- donner un avis sur la coopération scientifique et technique entre le Maroc et l'Union Européenne,
- promouvoir la coopération internationale et contribuer à la formation des jeunes chercheurs,
- renforcer les actions en faveur de la diffusion de la culture scientifique et du développement de l'enseignement des sciences.
- Suite à cette discussion, le Secrétaire perpétuel a pris la parole pour apporter les précisions supplémentaires suivantes :
- programmer une session ordinaire (anniversaire de l'Académie) pour discuter le projet du document sur les données actualisées de l'état de la science au Maroc,
- organiser un séminaire sur la bibliothèque de l'Académie,
- l'Académie procédera à une réflexion sur les questions relatives aux OGM, aux dons d'organes, à la bioéthique,
- arriver à informer au préalable les académiciens (6 mois à l'avance) des activités de l'Académie.

Vendredi 17 février 2012 (après-midi)

**Réunion des collèges scientifiques - Renouvellement des instances de l'Académie
&
Séance de clôture**

Suite à la réunion des collèges scientifiques, chaque directeur a passé en revue le bilan des activités de l'année 2011, le plan d'action 2012 et les résultats de l'élection du directeur et du co-directeur suivants :

- ***Collège des Sciences et techniques du vivant***
 - Directeur : Albert Sasson (reconduit)
 - co-directeur : M^{me} Rajae El Aouad (reconduite)
- ***Collège des Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de la mer***
 - Directeur : Mr. Ahmed El Hassani (reconduit)
 - co-directeur : Mr. Driss Ouazar (élu)
- ***Collège des Sciences physiques et chimiques***
 - Directeur : Mr. Mokhtar Essassi (reconduit)
 - co-directeur : Mr. Hassan Saidi (reconduit)
- ***Collège des Sciences de la modélisation et de l'information***
 - Directeur : Mr. Youssef Ouknine (reconduit)
 - co-directeur : Mr. Abdelmalek Azizi (reconduit)

- ***Collège des Ingénierie, Transfert et Innovation technologiques***
 - Directeur : Mr Mahfoud Zyad (reconduit)
 - co-directeur : Mr Ali Boukhari (reconduit)
- ***Collège des Etudes stratégiques et Développement économique***
 - Directeur : Rachid Ben Mokhtar
 - co-directeur : Mr. Mohammed Berriane

Les académiciens ont reconduit également les anciens membres du Conseil de l'Académie et les membres de la Commission des travaux dans leur mandat.

Après, la parole a été donnée aux Prs. Jean Dercourt et Philippe Taquet, qui au nom des membres associés, ont exprimé leurs vifs remerciements à leurs confrères marocains et leurs félicitations pour la réussite de cette session.

A la fin de cette séance, Monsieur le Secrétaire perpétuel a pris la parole et dégagé les principales conclusions que l'on peut tirer de la session, en insistant sur sa richesse scientifique et la qualité des interventions et débats; il a également rappelé quelques chantiers essentiels qui attendent l'Académie durant l'année 2012 :

- ***préparer le document sur l'état de la recherche pour le mois de mai 2012;***
- ***élaborer et mettre en œuvre le projet de création d'un musée de sciences régional avec la collaboration de l'AREF de la région de Rabat, Salé, Zemmour, Zaër;***
- ***poursuivre les actions en faveur du développement de l'enseignement des sciences en partenariat avec le Ministère de l'Éducation National;***
- ***assurer la parution deux fois par an du journal scientifique de l'Académie «frontiers in science and engineering»;***
- ***promouvoir l'excellence scientifique en organisant des activités d'octroi de prix et distinctions;***
- ***renforcer les relations de partenariat bilatéral et multilatéral.***

La clôture des travaux est intervenue à l'issue de cette séance, au cours de laquelle l'ensemble des académiciens ont adopté un message de loyauté et de gratitude adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu L'assiste et Le protège – pour Sa Haute Sollicitude et pour les encouragements qu'Il donne en permanence à l'ensemble de la communauté scientifique du Maroc et pour son Action résolue pour le développement de la science au Maroc.

CONCLUSIONS DE LA SESSION PLÉNIÈRE 2012

*de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
sur les Sciences et l'ingénierie numériques*

La révolution des sciences et de l'ingénierie numériques

On assiste depuis peu au développement spectaculaire de trois catégories d'instruments, conceptuels et matériels, qui amplifient nos mécanismes de formulation et de résolution de problèmes, de compréhension du monde et d'ingénierie. Il s'agit :

- des modèles et des méthodes numériques, de la *simulation*, et du calcul à haute performance;
- des techniques d'imagerie, d'instrumentation de systèmes complexes, d'extraction et de recueil de données par des réseaux de *capteurs* communicants;
- des méthodes de traitement de *données massives*, de conservation, de fouille, d'association croisée, d'analyse, d'apprentissage de nouvelles relations et de visualisation de données issues des capteurs et des simulations.

La convergence de ces trois catégories d'instruments, leurs possibilités d'intégration, de composition de composants simples en systèmes de plus en plus complexes, de mise en réseau et de diffusion à des échelles inconnues jusqu'ici ont révolutionné tous les champs du savoir et de l'ingénierie. Ces approches changent profondément les bases épistémiques ainsi que les appareils conceptuels et pratiques des scientifiques et des ingénieurs. Elles leur permettent de :

- Observer, expérimenter in-silico, acquérir, visualiser et traiter des données massives;
- Représenter ces observations par des modèles prédictifs;
- Concevoir et réaliser des prototypes virtuels pour des prises des décisions pertinentes.

Dans tous les domaines scientifiques, les couplages entre divers phénomènes créent les difficultés majeures. La complexité de ces couplages peut être abordée en utilisant des techniques analytiques complémentaires, combinées en des approches numériques cohérentes. Ces approches numériques intègrent des modèles multi-physiques et multi-échelles, s'appuient sur de multiples mesures et données, et réalisent des simulations et des visualisations puissantes. Elles ouvrent de nouveaux paradigmes d'investigation pour les sciences de la matière, les sciences de la vie, celles de l'environnement, ainsi que les sciences humaines et sociales. Elles ont un impact profond sur la production scientifique, sur son organisation, ses modes d'évaluation et de diffusion.

Les approches numériques bouleversent également l'ingénierie dans tous les secteurs de production et de service. Elles ont entièrement modifié l'économie des processus de conception et radicalement transformé les mécanismes d'innovation. La conception de systèmes se fait dorénavant par *composition* incrémentale des modèles numériques de leurs composantes et par *intégration* en calculs qui permettent parfois des preuves formelles de propriétés, sinon des simulations réalistes, pour la caractérisation et l'optimisation des systèmes à concevoir.

La puissance de cette nouvelle boucle de conception se traduit en particulier :

- En termes de coût et de rapidité : elle réduit les étapes de maquettage de l'ingénierie traditionnelle et raccourcit le processus de conception;
- Elle se traduit également en la capacité d'explorer numériquement et de façon guidée un ensemble considérable de designs possibles, voire de designs a priori impossibles;
- Elle permet l'ouverture du processus de conception de façon coordonnée à de nombreux métiers et, dans certains cas, de façon délibérément anarchique à la créativité des foules;
- Elle ouvre la voie à de nouvelles et puissantes propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles (supervision, diagnostic, cycle de vie) du système à concevoir en lui intégrant des capteurs, des actionneurs, des calculateurs et des moyens de communication *embarqués*, en tant qu'organes actifs et intelligents participant aux fonctions du système et à son utilisation.

Les sciences et l'ingénierie numériques se présentent aujourd'hui comme un enjeu stratégique majeur pour le développement social et économique. Les principales agences de recherche dans le monde leur consacrent des programmes et des financements prioritaires. Des organismes publics leur sont dédiés dans divers pays. Nombreuses sont les grandes universités qui leur réservent de nouvelles structures et unités de formation et de recherche.

Impact et pertinence des sciences et de l'ingénierie numériques pour le Maroc

Le développement des sciences numériques est en particulier essentiel au Maroc dans les domaines suivants :

- *Les sciences de l'environnement et les sciences de la terre*, initialement focalisées sur les disciplines de base que sont, entre autre, la géologie, la chimie atmosphérique, l'hydrologie, l'océanographie ou la sismologie. Les connections entre ces disciplines ont récemment fait ressortir des défis essentiels, notamment en climatologie et en écologie. Ces couplages ont conduit au paradigme des *sciences de la terre*. Un champ disciplinaire croissant de plus en plus utile pour la prise de décisions vitales, par le biais des modèles numériques, nécessaires pour une vision à long terme.
- *La santé et les sciences de la vie* démontrent les succès et les défis des sciences numériques à travers divers domaines d'application. L'imagerie et le traitement intensif de données ont transformé et amélioré la plupart des pratiques médicales. Ainsi, un modèle numérique du cœur intègre de multiples aspects allant de l'électrophysiologie, et de la mécanique du muscle, à la dynamique du fluide sanguin, pour données individualisées issues de l'imagerie médicale. La biochimie numérique conduit à de puissantes techniques de dépistage en pharmacologie pour prévoir des effets de médicaments; elle tient compte des modèles de plus en plus précis des cellules et leurs interactions et ouvre la voie aux thérapies personnalisées.
- *Les sciences humaines et sociales* expriment des besoins considérables de modèles économiques réalistes, de modèles démographiques ou de la dynamique des villes et leur organisation de plus en plus complexe. Le développement des instruments de collecte et de traitement des données et des outils de simulation prenant en compte le comportement humain et les contraintes sociales est également essentiel.

- *La Chimie et les sciences des matériaux.* L'étude de la structure et des propriétés des matériaux, des niveaux atomiques et moléculaires aux niveaux macroscopiques et fonctionnels, donne lieu à une grande variété d'applications. Celles-ci incluent en particulier les applications médicales et industrielles des nanotechnologies, par exemple pour les phosphates, l'argile et les matériaux hétérogènes : céramique, métaux, polymères, semi-conducteurs, composites et biomatériaux. *In silico*, les techniques de sélection ont déjà prouvé leur potentiel dans des domaines tels que les polymères photovoltaïques, prometteurs pour le développement de projets solaires marocains.

Par ailleurs, *l'ingénierie numérique* peut contribuer au développement social et économique du Maroc en particulier dans les secteurs suivants :

- *Le domaine de l'énergie.* Les applications vont des nouveaux matériaux et de dispositifs de production de l'énergie, à l'intégration de systèmes énergétiques dans des réseaux intelligents. Des techniques de criblage et de sélection numériques donnent des résultats en photovoltaïque pour le choix des semi-conducteurs. Le travail sur des réseaux électriques illustre l'ingénierie numérique pour la conception et la réalisation de systèmes intelligents de gestion et de transport de l'énergie.
- *Le domaine du transport* fait face aujourd'hui aux défis des nouvelles énergies et à l'intégration de nouvelles modalités d'utilisation des véhicules dans des réseaux intégrés multimodaux de transport. Il nécessite des modèles allant de la mécanique et de la propulsion à la biomécanique de l'utilisateur, mais aussi des modèles sociologiques et de comportement des individus et des foules, où des simulations réalistes commencent à être développées.
- *Le domaine de la construction et de l'habitat.* Les problèmes de modélisation, de conception et d'optimisation de bâtiments, d'intégration de l'habitat dans l'espace physique et urbain, de gestion et d'exploitation de l'habitat, bénéficient largement des techniques numériques.
- *Les cités numériques.* Le poids démographique des villes ne cesse de croître ainsi que la complexité de leur gestion. Les cités numériques permettent d'aborder les problèmes d'organisation efficace d'un large spectre de services urbains, associés aux environnements de travail, de communication, de culture, de sport et de divertissement ainsi qu'aux réseaux sociaux.
- *L'industrie chimique et minière.* Les techniques numériques fournissent des modèles précis de processus chimiques et biochimiques complexes et permettent leur contrôle en temps réel pour des rendements optimisés. L'étude et le contrôle de la croissance de micro-algues et de phytoplancton pour la production de biocarburants ouvrent une perspective prometteuse. Les applications de ces processus aux industries des phosphates sont importantes pour l'économie marocaine. La géophysique numérique et les techniques d'imagerie sismique sont également essentielles pour l'industrie minière du Maroc, dont le sol riche est encore sous exploité.
- *L'agronomie* est un domaine d'ingénierie de base pour l'économie marocaine. Les modèles et les simulations pour la croissance des plantes et leur évolution dans leur environnement écologique, fournissent de nouveaux moyens pour optimiser les rendements des techniques agricoles. Ils sont déjà appliqués à l'optimisation de la culture de la betterave à sucre au Maroc et restent très prometteurs pour d'autres secteurs de l'agronomie.

La session plénière 2012 de l'Académie Hassan II

La session plénière 2012 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a été consacrée aux défis des Sciences et l'ingénierie numériques. Elle a donné lieu à une vingtaine de conférences de synthèse et à de nombreuses discussions, en particulier au cours de deux tables rondes, abordant l'ensemble des points qui précèdent, en particulier aux niveaux :

- Des modèles mathématiques, des méthodes numériques, des techniques de simulation et de calcul intensif à haute performance;
- Des techniques d'instrumentation, de mesures, et d'imagerie exploitant de vastes réseaux de capteurs communiquant pour la collecte de signaux et l'observation;
- Des méthodes de traitement, de conservation et de visualisation de données massives, issues des mesures et des calculs, et des techniques d'indexation, de fouilles de données, de fusion et d'apprentissage automatique, permettant de passer de signaux aux données pertinentes, puis à de nouvelles connaissances.

L'apport de ces nouveaux paradigmes d'investigation a été illustré dans les avancées récentes de la médecine et des sciences de la vie, des sciences de la terre et de l'environnement, de l'agronomie et de l'écologie, du génie chimique et de l'ingénierie.

La session plénière a consacré une première journée aux *défis interdisciplinaires des sciences et de l'ingénierie numériques*, abordés en trois sessions.

- Les sciences du vivant
- L'ingénierie et les sciences de la matière
- L'environnement et l'écologie

Une deuxième journée a été consacrée aux *méthodes et outils des sciences et de l'ingénierie numériques*, présentés en quatre sessions :

- Mathématiques et informatique
- Simulation et calcul de haute performance
- Modèles et représentations alternatives
- Données et connaissances

Plusieurs conférenciers ont démontré que les défis sociétaux et scientifiques majeurs de notre époque ne relèvent pas de disciplines isolées, mais de démarches interdisciplinaires pour lesquelles les sciences et l'ingénierie numériques apportent les instruments conceptuels et pratiques d'investigation et d'avancement des connaissances.

En conclusion de cette session plénière, il a été convenu que l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques :

1. *Promeuve le développement des Sciences et l'ingénierie numériques au Maroc*, en particulier par le soutien à *des projets de recherche pluridisciplinaires*, intégrant des compétences multiples pour le développement de méthodes et d'instruments des Sciences et l'ingénierie numériques sur des problématiques spécifiques et pertinentes pour notre pays.

2. Recommande des actions de formation sur les Sciences et l'ingénierie numériques aux niveaux de :

- 2.1. *La formation scientifique aux concepts et méthodes de calculabilité et de traitement de l'information.* Cette formation doit être introduite dès le lycée et développée largement dans tous les cursus scientifiques des universités et des écoles d'ingénieurs, y compris dans les départements de médecine, d'agronomie et des sciences de l'environnement. Les universités et les grandes écoles marocaines doivent instamment développer leurs cursus dans les sciences et l'ingénierie numériques, en particulier par des formations avancées en mathématiques appliquées, en informatique et dans les domaines associés pour former les générations futures de scientifiques et d'ingénieurs capables de maîtriser les concepts et les outils de demain.
- 2.2. *L'alphabétisation numérique* et l'initiation aux outils informatiques qui devraient commencer dès le cycle primaire, et être largement développées dans le cycle secondaire et la formation continue. Cette formation doit être perçue comme une nécessité sociale, un moyen de développement fantastique pour le Maroc qui ouvre la voie à de nouveaux emplois et à de nouvelles activités économiques et sociales.

La commission des travaux de l'académie veillera à la mise en œuvre adéquate de ces recommandations.

LISTE DES PARTICIPANTS à la session de mars 2012

Membres de l'Académie

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Driss ABOUTAJDINE	Professeur STIC Faculté des Sciences, Rabat	Membre résident	SMI
Daoud AIT-KADI	Professeur Productique-génie industriel Université Laval, Canada	Membre résident	SMI
Mohamed AIT-KADI	Professeur Président du Conseil Général du Développement Agricole	Membre résident	STETM
Omar ASSOBBEI	Professeur Sciences de la mer Faculté des Sciences El Jadida	Membre correspondant	STETM
Ismail AKALAY	Directeur Général de l'Hydrométallurgie MANAGEM (ONA)	Membre correspondant	ITIT
Abdelmalek AZIZI	Professeur Mathématiques Faculté des Sciences, Oujda	Membre correspondant	SMI
Mohammed BELAICHE	Professeur Physique ENS, Rabat	Membre correspondant	SPC
Rachid BENMOKHTAR BENABDELLAH	Président de l'Observatoire National du Développement Humain, Rabat	Membre résident	ESDE

Collèges (abréviations):

- SPC : Sciences Physique et Chimiques
- STV : Sciences et Techniques du Vivant
- SMI : Sciences de la Modélisation et de l'Information
- ESDE : Etudes Stratégique et Développement Economique
- ITIT : Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique
- STETM : Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer

LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Abdelilah BENYOUSSEF	Professeur Physique Faculté des Sciences, Rabat	Membre résident	SPC
Mohamed BERRIANE	Doyen, Faculté des Lettres	Membre correspondant	ESDE
Mohamed BESRI	Professeur Protection des Plantes	Membre correspondant	STV
Jean-Jacques BONNET	Professeur Université Paul Sabatier Directeur du Laboratoire de Chimie de Coordination	Membre associé	SPC
Badia BOUAB	Professeur Paléontologie Faculté des Sciences - Rabat	Membre correspondant	STETM
Yahia BOUGHALEB	Professeur de Physique Doyen, Faculté des Sciences El Jadida	Membre correspondant	SPC
Ali BOUKHARI	Professeur de Chimie Doyen, Faculté des Sciences Kénitra	Membre correspondant	ITIT
Tijani BOUNAHMIDI	Vice-Président Université Mohamed V Agdal - Rabat	Membre correspondant	ITIT
Mostapha BOUSMINA	Professeur Physique des polymères et nanotechnologies	Chancelier Membre résident	SPC
Mohammed CHERKAoui	Professeur – Physique Université du Metz - France	Membre correspondant	SPC
Rajaa EL MOURSli	Professeur de Physique Faculté des sciences- Rabat	Membre correspondant	SPC

LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Taïeb CHKILI	Professeur de Neurologie Président de l'Université Mohammed V-Souissi	Membre résident	STV
Jean DERCOURT (France)	Professeur de Géologie Université Pierre et Marie Curie (Paris) Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences (France)	Membre associé	STETM
Rajae EL AOUAD	Professeur de Génétique Directrice Institut National d'Hygiène	Membre résident	STV
Noureddine EL AOUI	Professeur d'économie Faculté de Droit - Rabat	Membre résident	ESTE
Ahmed EL HASSANI	Directeur l'Institut Scientifique Université Mohamed V	Membre résident	STETM
Abdelhaq EL JAI	Professeur - Mathématiques Laboratoire de Théories des Systèmes Université Perpignan - France	Membre résident	SMI
Mokhtar ESSASSI	Professeur - Chimie Faculté des Sciences - Rabat	Membre résident	SPC
Omar FASSI-FEHRI	Professeur de Mécanique Faculté des Sciences - Rabat	Membre résident Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques	SPC
Gerald G. FULLER (USA)	Fellow of the Academy of Engineering Department Chemical Engineering (Stanford University)	Membre associé	SPC
Francisco GARCIA- GARCIA (Mexique)	Director General de Gestión Forestal y Suelos Secretario de Medio Ambiente	Membre associé	STV

LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Nadia GHAZZALI	Professeur Titulaire de la Chaire de recherche CRSNG-Industrielle Alliance sur les femmes en sciences et génie Départ. Maths et de Statistique Université Laval (Québec)	Membre correspondant	SMI
Claude GRISCELLI (France)	Institut Necker Faculté de Médecine-Université René Descarte - France	Membre associé	STV
Abderrahim MAAZOUZ	Professeur – INSA Départ. de Génie Mécanique Conception Lyon – France	Membre résident	ITIT
Carlos MARTINEZ- ALONSO (Espagne)	Professeur d'immunologie Président- Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique (CSIC – Madrid)	Membre associé	STV
Sellama NADIFI	Professeur de Génétique et immunologie Faculté de Médecine - Casablanca	Membre correspondant	STV
Driss OUAZAR	Professeur Hydromécanique (EMI) Université Mohamed V Agdal, Rabat	Membre résident	STETM
Youssef OUKNINE	Professeur Faculté des Sciences Université Cadi Ayyad Marrakech	Membre résident	SMI
El Hassan SAIDI	Professeur - Physique Faculté des Sciences, Rabat	Membre résident	SPC
Albert SASSON	Professeur Sciences biologiques Consultant auprès UNESCO	Membre résident	STV

LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Abdelaziz SEFIANI	Professeur Faculté de Médecine - Rabat Directeur Département Génétique médicale (INH) Rabat	Membre correspondant	STV
Khalid SEKKAT	Professeur – Economie Université Libre de Bruxelles Belgique	Membre correspondant	ESDE
Zouheir SEKKAT	Professeur Nanotechnologies - AUI (School of Science and Engineering) Osaka University	Membre correspondant	SPC
Philippe A. TANGUY (Canada)	Professeur -Département of Chemical Enginnering Ecole Polytechnique de Montréal	Membre associé	ITIT
André ZAOUI (France)	Professeur Micromécanique des Matériaux Ecole Polytechnique Membre de l'Académie des Sciences	Membre associé	SPC
Mahfoud ZIYAD	Professeur de Chimie Vice Doyen Faculté des Sciences - Rabat	Membre correspondant	ITIT

LISTE DES INVITES

ayant présenté une communication

Prénom et NOM	Affiliation
Bruno ARNALDI	INSA de Rennes, France
Daniel AUCLAIR	Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Montpellier, France
Nicolas AYACHE	Institut Nationale de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), France
Franco BAGNOLI	Université de Florence, Italie
Fayssal Ben KHALDOUN	Université Paris 13, France
Eric BLAYO	Université Joseph Fourier, Grenoble, France
Catherine BRÉCHIGNAC	Secrétaire Perpétuelle, Académie des Sciences de France
Bastien CHOPARD	Université de Genève, Suisse
Jacques DEMONGEOT	Université Joseph Fourier, Grenoble, France
Fabrizio GAGLIADI	Microsoft Research, Genève, Suisse
François GUINOT	Président Honoraire, Académie des Technologies de France
Said HAJIB	Haut-Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Rabat, Maroc
Hassan HBID	Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
Jean-Paul LANLY	Membre de l'Académie d'Agriculture, France
Abdeladim LHAFI	Haut-Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Rabat, Maroc
Jinghai LI	Institut du Génie des Procédés, Pékin, Chine
Arantes OLIVERA	Vice-Président, Académie des Sciences de Lisbonne, Portugal
Mohammed SEAID	Université de Durham, UK
Marc PARIZEAU	Université Laval, Québec, Canada
Abdessamad TRIDANE	Arizona State University, USA
Jean-Christophe YOCCOZ	Ecole normale Supérieure, Paris, membre de l'Académie des Sciences (France) et professeur au Collège de France



صورة لأعضاء الأكاديمية أثناء دورتها العامة الرسمية لسنة 2012

Les membres de l'Académie lors de la Session Plénière Solennelle 2012

سعداء لإبرام اتفاقية التعاون مع أكاديمية التكنولوجيا بفرنسا التي ستضاف إلى اتفاقية التعاون التي أبرمت مع أكاديمية العلوم الفرنسية في سنة 2009.

أصحاب السعادة،

سيداتي سادتي،

في نهاية هذه الكلمة، يشرفني أن أتوجه بالشكر الجزيل إلى السيد رئيس الحكومة وإلى السيد رئيس مجلس المستشارين وإلى السادة الوزراء الذين شرفونا بحضورهم، كما أشكر جميع الشخصيات التي أبت إلا أن تشرفنا بحضورها ومشاركتها في هذه الجلسة الافتتاحية للدورة الرسمية العامة للأكاديمية. وأخص بالذكر الأستاذة كاترين بريشينيكا، أمينة السر الدائم للأكاديمية العلوم بفرنسا، والأستاذ أرنانتيس إي أوليفيرا، رئيس أكاديمية العلوم بلشبونة، والسيد فرانسوا غينو، ممثل أكاديمية التكنولوجيا بفرنسا، وممثلي بعثة أكاديمية العلوم بماليزيا.

كما أقدم بالشكر الجزيل للضيف الخاص لهذه الدورة، الأستاذ جون كريستوف يوكوز، عضو أكاديمية العلوم الفرنسية والحاصل على ميدالية فيلد للرياضيات سنة 1994، الذي سنستمع إليه بفرح واهتمام كبيرين غدا صباحا خلال الجلسة المخصصة للرياضيات والمعلومات.

كما أتوجه بالشكر الجزيل، إلى جميع الشخصيات العلمية البارزة، التي أتت من المغرب ومن خارج المملكة (فرنسا، الولايات المتحدة الأمريكية، الولاية المتحدة البريطانية، السويد، الصين، كندا، على قبولها دعوتنا للمشاركة وتقديم محاضرات أو عروض علمية خلال هذه الدورة. مرحبا بهم بيننا.

كما أقدم بجزيل الشكر لصديقي الأستاذ عبد اللطيف بربيش، أمين السر الدائم للأكاديمية المملكة وإلى جميع العاملين معه، على كل المساعدات والتسهيلات اللوجيستكية التي يقدمها كعادته لتنظيم دوراتنا الرسمية.

إنني أشكر زملائنا الأعضاء المشاركين الذين يساهمون بقوة في أنشطة الأكاديمية خاصة على حرصهم على الحضور في الدورات الرسمية العامة.

أريد كذلك أن أقدم بالشكر الحار لنائب أمين السر الدائم ولكل أعضاء مجلس الأكاديمية ولجنة الأعمال والهيئات العلمية وكل أعضاء الأكاديمية، وجميع العاملين في إدارتها على ما يقدموه من عطاء لصالح الأكاديمية وخصوصا بالنسبة لتحضير هذه الدورة في أحسن الظروف، التي نتمنى النجاح لأشغالها ولأكاديميتنا أن ترقى إلى ما يطمح لها راعيها صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله وأيده، أن نكون «في خدمة الوطن، وأن نساهم في تنمية العلوم بأبعادها الكونية».

شكرا على حسن إصغائكم واستماعكم.

أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،

إن العلوم الرقمية والرياضيات وتفاعلهما، وأيضا النمذجة، والمحاكاة الرقمية المعقدة، والحساب ذات التأدية الجد مرتفعة، أصبحوا في صميم الرهانات العلمية الحاسمة، والأساس لعديد من التطبيقات التكنولوجية المبتكرة.

إن بلادنا تستخدم، في العديد من المجالات، التكنولوجيات الناتجة عن العلوم والهندسة الرقمية، إلا أنه مازال هناك الكثير من الأمور يتعين علينا القيام بها في مجالات مهمة بالنسبة لتنمية بلادنا، لاسيما تلك المتعلقة بتحديد مفصل ودقيق للثروات الطبيعية (مثل صقل الخريطة الجيولوجية وخريطة التربة للبلاد، مع إحصاء كل الموارد المعدنية، والنباتية، والبحرية، وأيضا التنوع البيولوجي الوطني)، وإعداد التراب الوطني، وتدبير العالم الحضري والقروي (تنظيم السير والمرور، إعداد التراب والتنمية، الخ.)، وتحديث الخدمات العامة والخاصة، وتحسين التسيير الوظيفي للنظام الصحي، سواء على مستوى التخطيط، وعلى مستوى البحث والتنمية، وأيضا على مستوى عدد من التطبيقات الصناعية من أجل دعم وتطوير المخططات القطاعية في البلاد (المغرب الأخضر، المغرب الأزرق، الطاقة المتجددة، مخطط انبثاق، مخطط الثروات السمكية...).

فبالإضافة إلى هذه التحديات العلمية والتقنية التي يجب على الباحثين المغاربة المساهمة في حلها انطلاقا من اختصاصاتهم، فإن التحديات مازالت قائمة على مستوى التكوين والتربية. على عكس الماضي، أصبح اليوم الحصول على المعلومات العلمية والتقنية بشكل هائل، وعلى التمكن من أدوات المحاكاة، والتصور، والتحليل أكثر انتشارا مما كان عليه في الماضي، وهذا يوسع بشكل متميز أثر تحكم آليات العلوم والهندسة الرقمية في النشاط المهني وفي الحياة اليومية للمواطنين. في هذا الميدان، كما في باقي الميادين الأخرى تظل مسألة تكوين الكفاءات والموارد البشرية قضية مصيرية وحاسمة.

أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،

خلال هذه الدورة الرسمية ستخصص ثلاثة جلسات نصف يومية لدراسة ومناقشة التحديات العلمية والتكنولوجية المرتبطة بالعلوم والهندسة الرقمية، فضلا عن الإسهامات الممكنة لتنمية مختلف القطاعات النشطة والمناهج الدراسية في المغرب.

في إطار أشغال هذه الدورة، وموازة مع الموضوع العلمي العام المخصص «للعلوم والهندسة الرقمية»، الذي سيشغلنا لمدة يومين، سنخصص جلسة يوم الجمعة 17 فبراير للإسهام في الاحتفاء بالسنة الدولية للغابة التي أقرتها الجمعية العامة للأمم المتحدة، تحت شعار «الغابات للمجتمع». وبهذه المناسبة، أشكر المندوب السامي للمياه والغابات ومحاربة التصحر، الدكتور عبد العظيم الحافي على قبوله دعوتنا لتقديم عرض تمهيدي حول موضوع «الغابة المغربية : واقع ومستقبل». والذي كذلك، سنكون سعداء، لإبرام معه اتفاقية شراكة عند نهاية هذه الجلسة. سنكون بنفس المناسبة

بالنسبة لمجموع القاعدة العامة لمعطيات الإنتاج العلمي العالمي فإن المغرب يحتل المرتبة 60 من بين 120 بلد مصنف. كل هذه المعطيات حول المنظومة الوطنية في ميدان البحث والإبداع التي تم الحصول عليها وتحيينها في إطار هذه الدراسة سيتم تقديمها في الأسابيع القادمة من طرف الفريق الذي اشتغل عليها، كما أن الأكاديمية تأخذ على عاتقها، على ضوء هذه المعطيات، تحليل الوضعية العلمية في بلادنا وتقديم اقتراحات تهدف إلى الرفع من المستوى العلمي والتقني ببلادنا.

أصحاب السعادة،

سيداتي سادتي،

خلال السنة المنصرمة، سعت الأكاديمية إلى تطوير مختلف أنشطتها من خلال اهتمامها الدائم بالبحث وتفضيل الامتياز في إطار مختلف برامجها الرامية إلى نشر الثقافة العلمية، وتطوير تدريس العلوم، والنهوض بالبحث العلمي (طلب عروض 2011)، وإجراء الدراسات والخبرات حول قطاع البحث دون إغفال ضمان حضور متميز للأكاديمية على المستوى الدولي.

إن الموضوع العلمي العام الذي تم اختياره لهذه الدورة الرسمية، والذي حظي برضا صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، هو "العلوم والهندسة الرقمية". وبهذه المناسبة نريد أن نعبر لجلالة الملك محمد السادس - نصره الله -، عن أصدق مشاعر الامتنان والتقدير وعن عمق جميل العرفان، راجين من الله سبحانه وتعالى أن نكون أهلاً لثقتة الغالية ورعايته الكريمة.

أكيد أن اختيار موضوع "العلوم والهندسة الرقمية" راجع إلى الدور الأساسي الذي تلعبه الرياضيات والعلوم الرقمية في الحياة العادية، وأيضاً في التكنولوجيات وباقي العلوم، كما أن أهمية هذا الموضوع راجعة اليوم بالخصوص إلى أهمية مكانة العلوم الرقمية في خلق المعارف الجديدة وتقديم المعرفة.

يمكن اعتبار العلوم والهندسة الرقمية كنتيجة لتطور الرياضيات التطبيقية والأدوات المعلوماتية. فهي تستند، في أبسط صور لها، على مجموعة من تقنيات التفكير المنطقي التي تمكن من تجزئة وحل المشاكل المعقدة باستخدام النماذج الفيزيائية، ووصف المشكل القائم، والتقنيات المعتمدة، وإنشاء النماذج الصناعية، والتنبؤ في بعض الحالات بسلوك الظواهر الطبيعية، والمساطر الصناعية والآليات عند تصنيعها واستخدامها. فهي تعتبر كذلك نتيجة لتطور طويل للبحث العلمي اتسم بمراحل عديدة، امتدت من مرحلة اختراع آلة باسكال سنة 1645 إلى مراحل الاختراعات الحديثة، في بداية هذا القرن، مع صناعة أول معالج الكم من قبل فريق من جامعة يال؛ كما أن امتداد هذه المرحلة الطويلة تميزت كذلك بالبصمات التي تركتها أشغال عدد كبير من العلماء أمثال باسكال، وليبنيز، وتورنغ، وفان نوومان، الذين اهتموا جميعاً بتصوير لغة تسمح باستنباط الحساب؛ بالإضافة إلى هؤلاء، اسمحو لي إضافة اسم الخوارزمي، العالم الكبير في الرياضيات من أصل فارسي، الذي يرجع له الفضل في اختراع علم الجبر، والذي يعود اسمه إلى أصل كلمة "ألغوريتم"، التي تمثل اليوم القاعدة في البرمجة المعلوماتية.

للقرن الواحد والعشرين ستكون تنافسية حول الذكاء والمعرفة، هذا ما أدى بالأستاذ أحمد زويل، الحاصل على جائزة نوبل للكيمياء سنة 1999 إلى القول أن ”العلم والتكنولوجيا أصبحا العملة الجديدة للقرن الواحد والعشرين“.

أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،

تشهد بلادنا في السنوات الأخيرة، تحت القيادة النيرة لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، تطورات عميقة تعكس الإرادة الواضحة لوضع البلاد على سكة التنمية المستدامة، التي تلعب فيها العلوم والتكنولوجيا دورا استراتيجيا؛ ولا يمكن ربح هذه المعركة دون مشاركة فعالة في آن واحد من طرف المنظومة العلمية والمقاولة؛ ويظل الهدف الآني الآخر هو إدماج قطاع البحث والابتكار في كل القطاعات الاقتصادية لإنتاج القيمة المضافة. لذا أصبح من المستعجل التركيز على ضرورة إعطاء نفس جديد للعلوم والتكنولوجيا في بلادنا، وذلك بنهج سياسة جريئة تهدف إلى تكوين الباحثين بأعداد كافية، أولا، في الميادين التي تتوفر فيها بلادنا على مؤهلات طبيعية وتحتل فيها مواقع متقدمة على المستوى الدولي، وثانيا، في الميادين الإستراتيجية التي لا مناص من الاهتمام بها كقطاع الطاقة والتغذية والماء والبيئة....

خلال دورتها الرسمية المنعقدة في فبراير 2008، قررت أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات دراسة وضعية البحث العلمي والابتكار التكنولوجي ببلادنا، وتقديم اقتراحات من شأنها تعزيز فعالية الجهود التي تبذلها السلطات العمومية في هذا المجال، وذلك من أجل إعطاء نفس جديد للسياسة الوطنية في ميدان البحث العلمي. هذا التفكير الأولي نتج عنه إصدار وثيقة، في مارس 2009، تحت عنوان ”من أجل نفس جديد للبحث العلمي والتقني في خدمة التنمية بالمغرب“. بعد ثلاث سنوات، نضن انه أصبح من المفيد، خصوصا بعد تطبيق البرنامج الإستعجالي، القيام بتفكير جديد ودراسة جديدة لوضعية البحث العلمي والابتكار التكنولوجي ببلادنا اعتمادا على المعطيات العامة من جهة وعلى المعطيات المتعلقة بمختلف التخصصات العلمية من جهة أخرى. أغتنم هذه الفرصة لإعطاء بعض المعطيات والمؤشرات الكمية، التي تم تجميعها حديثا (معطيات 2010) بمساعدة فريق مكون من ممثلي مختلف الفاعلين في ميدان البحث العلمي والذين أشد بحرارة على أيديهم، وتبين هذه المعطيات أن مجموع العاملين في قطاع البحث العلمي انتقل من 30000 عنصرا سنة 2006 إلى أكثر من 36000 سنة 2010. على مستوى الموارد المالية، ارتفعت نفقات الاستهلاك الداخلية الإجمالية في البحث العلمي من أجل التنمية ما بين 2006 و 2010 من 3.7 مليار درهم إلى 5.7 مليار درهم، بزيادة تفوق 54 بالمائة. وعرفت نسبة النفقة الداخلية للبحث التنموي في الناتج الداخلي الخام تطورا بنسبة ضئيلة حيث انتقل من 0.64 في المائة سنة 2006 إلى 0.74 في المائة سنة 2010، مبرزا أن بلادنا لا زالت لم تستطع تحقيق هدف الوصول إلى نسبة 1 في المائة من الناتج الداخلي الإجمالي لفائدة البحث العلمي سنة 2010 كما حدده الميثاق الوطني للتربية والتكوين.

أما على مستوى الإنتاج العلمي، تبين المعطيات (WOS)، حسب المعهد المغربي للمعلومة العلمية أن المغرب يمثل 0.12 في المائة من الإنتاج العلمي العالمي، أي ما يعادل 1300 ورقة علمية في السنة. أما

بسم الله الرحمن الرحيم

السيد رئيس الحكومة،
السيد رئيس مجلس المستشارين،
السادة الوزراء،
أصحاب السعادة،
السيدات والسادة أعضاء الأكاديمية،
سيداتي سادتي،

إن الدورة العامة الرسمية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، من اللحظات المتميزة التي تسمح بأن نلتقي من جديد لنوفي بإحدى أهم مهام مؤسستنا، التي، كما ينص عليها الظهير المحدث لها، تسمح بجمع كل أعضاء الأكاديمية بصفة منتظمة بهدف تطوير التشاور والتواصل بين المنظومة العلمية الوطنية وشخصيات علمية أجنبية حول أهم القضايا والتساؤلات التي تهم المجتمع، وحول آخر المستجدات والإنجازات في ميدان العلوم في المغرب وخارج المغرب.

إن انعقاد الدورة العامة الرسمية لأكاديميتنا تسمح كذلك، في كل مرة، بمناقشة أنجع السبل للقيام بمهامنا وتنفيذها على أحسن وجه، والتشاور حول تعبئة الطاقات وأحسن الطرق لجعل نتائج العلم في خدمة التنمية في بلادنا. إنها، أيضا، مناسبة للتشاور حول التقدم المستمر للعلم، وعلى أحسن الوسائل لتطويره وإشعاعه، وكذلك لتعزيز مكانة بلادنا باعتبارها أرضا للحوار واللقاء بين رجال ونساء العلم والمعرفة.

إنه لشرف عظيم أن يحضر معنا في هذه الجلسة الافتتاحية الشخصيات التي استجابت لدعوتنا. وإننا بهذا الحضور الكريم ولهم منا جزيل الشكر.

أصحاب السعادة،
سيداتي سادتي،

أصبح عصرنا اليوم مسرحا لتحولات قوية، لدرجة أن البعض يعتبر أننا أصبحنا نعيش ثورة صناعية ثالثة – ترتبط بالتكنولوجيات المتجددة للمعلومات والاتصال – والتي يصاحبها تغيير هائل على مستوى مناهج المعرفة. لقد أصبح حجم التغيرات التكنولوجية في العقود القليلة الأخيرة يؤثر بشكل قوي على إمكانيات خلق ونقل ومعالجة المعارف، حيث أصبحنا نعيش في ما يسميه البعض بالعصر الرقمي.

إن المنتجات المنحدرة من العلوم والتكنولوجيا تمثل بالفعل، وستظل تمثل أكثر في المستقبل، حصة هائلة من الثروة الجماعية. إن العمالة الأربعة (غوغل، أبل، فيسبوك / وأمازون) يتقاسمون السوق العالمي الرقمي ويمثلون ما يناهز 750 مليار دولار كثروة بالنسبة لهم جميعا. إن التنافسية العالمية

كلمة الأستاذ عمر الفاسي الفهري
أمين السرداءم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات
في
الجلسة الافتتاحية الرسمية لأشغال الدورة العامة لسنة 2012
لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات
- الرباط، الأربعاء 15 فبراير 2012 -

أي ما يعادل 1300 ورقة علمية في السنة، ويحتل المغرب المرتبة 60 من بين 120 بلد مصنف علميا.

وفي ختام أشغال الدورة، تم تقديم التقرير السنوي لأعمال وأنشطة الأكاديمية خلال السنة المنصرمة، حيث انكب أعضاء الأكاديمية على دراسة وتعميق النقاش حول تجربتها الفتية، مع الحرص على أن تقوم بمهامها على أحسن وجه، حتى تتمكن من الإسهام في رفع ما طرحه التنمية من تحديات، ولاسيما تلك المرتبطة بالتنمية البشرية.

ولتوطيد علاقات التعاون العلمي والتكنولوجي بين أكاديمية الحسن الثاني للعلوم و التقنيات والمؤسسات الأجنبية المماثلة، وبين الأكاديمية والمؤسسات العمومية الوطنية ذات الاهتمام المشترك، تم خلال هذه الدورة إبرام معاهدين للشراكة مع كل من أكاديمية التكنولوجيا بفرنسا، والمندوبية السامية للمياه والغابات ومحاربة التصحر بالمغرب.

مولاي صاحب الجلالة

لقد استحضر المشاركون خلال مناقشاتهم ومداخلاتهم، توجيهاتكم السديدة، التي ما فتئتم، أعز الله أمركم، تولونها باستمرار للنهوض بالتقدم العلمي، وتنمية التجديد التكنولوجي في بلادنا، وهي توجيهات تعبر عن رغبة جلالتم الأكيدة في أن ترسم أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، التي تحظى برعايتكم الغالية ودعمكم الموصول، المسالك الملائمة للنهوض برسالتها، حتى تساهم في خدمة تنمية البلاد اقتصاديا واجتماعيا، وفي جعل المجتمع المغربي مجتمعا منتجا ومنفتحا على علوم وتكنولوجيا العصر، متشعبا بقيم الحوار بين الثقافات، ومعتزا بهويته، ومتشبثا بتاريخه المجيد وقيمه الخالدة، ووفيا للمبادئ والمثل السامية، القائمة على التضامن والتعايش، في ظل الكرامة والحرية واحترام الآخر.

حفظكم الله يا مولاي، بما حفظ به الذكر الحكيم، وأقر عينكم بولي عهدكم الجليل صاحب السمو الملكي الأمير مولاي الحسن، وبكريمتم المصونة صاحبة السمو الملكي الأميرة للا خديجة، وشد أزركم بشقيقكم السعيد صاحب السمو الملكي الأمير المولى الرشيد، وبسائر أفراد العائلة الملكية الشريفة، إنه على ما يشاء قدير، وبالإجابة جدير. والسلام على المقام العالي بالله.

خديم الأعتاب الشريفة

عمر الفاسي الفهري

حرر بالرباط يوم الجمعة 24 ربيع الأول 1433 هجرية،
الموافق ل 17 فبراير 2012 ميلادية.

بسم الله الرحمن الرحيم، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين

مولاي صاحب الجلالة

بعد تقديم ما يليق من فروض الطاعة والولاء، وكل ما يليق بمقام سيدنا المنصور بالله من واجب التبجيل والإجلال، يتشرف خديم الأعتاب الشريفة عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم للأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، أصالة عن نفسه ونيابة عن أعضائها، المشاركين في دورتها العامة الرسمية لسنة 2012، المنعقدة في قاعة المحاضرات الكبرى للأكاديمية الملكية المغربية، بعاصمة مملكتكم، أيام الأربعاء والخميس والجمعة 22 و23 و24 ربيع الأول 1433 هجرية، موافق ل15 و16 و17 فبراير 2012 ميلادية، أن يتقدم إلى مولانا أمير المؤمنين بأسمى آيات الولاء والإخلاص، وبأصدق مشاعر الامتنان والاحترام، معبرا للسدة العالية بالله عما يغمر أعضاء الأكاديمية من فخر واعتزاز، ومن سعادة وابتهاج، بعد مشاركتهم ومساهماتهم في أشغال هذه الدورة، مؤكدا لجلالتكم عزمهم الراسخ على مواصلة القيام بدورهم ومهامهم بكل إخلاص وتفان، راجين من الله العلي القدير أن ينصركم ويسدد خطاكم، وأن يكونوا عند حسن ظن ملكهم الهمام حفظه الله ونصره.

مولاي صاحب الجلالة

عالجت هذه الدورة الموضوع العلمي العام المتعلق «بالعلوم والهندسة الرقمية». وتمحورت أشغالها حول دراسة ومناقشة التحديات العلمية والتكنولوجية المرتبطة بالعلوم والهندسة الرقمية، وتطبيقاتها في مختلف المجالات الاقتصادية والاجتماعية فضلا عن المساهمات العلمية المتعلقة بالنماذج الرياضية المتعددة المستويات، وتقنيات اقتناء ومعالجة المعطيات، ودقة المحاكاة والتنبؤ بها (مثل التنبؤ بحالة الطقس أو الكوارث الطبيعية). كما انكب المشاركون على تقييم ومعالجة المفاهيم الجديدة للعلوم والهندسة الرقمية، وإتقان البيانات، واللجوء الواسع لبنوك المعطيات. وقد تم في هذا الصدد، تقديم عدة عروض علمية من قبل عدد من أعضاء الأكاديمية وعلماء باحثين وشخصيات علمية مدعوة من المغرب ومن خارجه (فرنسا، إيطاليا، الولايات المتحدة الأمريكية، المملكة البريطانية، السويد، الصين، كندا).

وتميزت أشغال هذه الدورة العامة الرسمية، كذلك، بالإسهام في الاحتفاء بالسنة الدولية للغابات التي أقرتها الجمعية العامة للأمم المتحدة، تحت شعار «الغابة في صالح المجتمع»، بهدف الاحتفال بالدور الرئيسي الذي يضطلع به المجتمع في التدبير المستدام لغابات العالم والمحافظة عليها. وفي هذا الصدد، تم تقديم عروض حول الغابة والبحث الغابوي في المغرب.

كما كانت هذه الدورة مناسبة لتقديم بعض المعطيات المتعلقة بتطوير البحث العلمي والتكنولوجي في بلادنا، ويتبين من خلالها على الخصوص أن المغرب ينتج 0,12 في المائة من الإنتاج العلمي العالمي،

نص البرقية المرفوعة

إلى السدة العالفة بالله

صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله

على إثر اختتام أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2012

وفي الختام جدد أمين السر الدائم تشكرا ته لجميع المساهمين في هذه الدورة وخصوصا للشخصيات التي تقدمت بعروض أو مداخلات في الموضوع العلمي العام لهذه الدورة.

بعد ذلك تم اختتام أشغال هذه الدورة بالمصادقة على نص البرقية المرفوعة من طرف الأكاديميين إلى صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله والمشفوعة بمشاعر التقدير والشكر والامتنان والتعلق بأهداب العرش العلوي المجيد.

• **هيئة علوم الفيزياء والكيمياء**

- المدير: إعادة انتخاب السيد المختار الساسي
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد حسن السعيد

• **هيئة علوم التنظير والإعلام**

- المدير: إعادة انتخاب السيد يوسف أكنين
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد عبد المالك عزيزي

• **هيئة علوم الهندسة، الإبداع والنقل التكنولوجي**

- المدير: إعادة انتخاب السيد محفوض زياد
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد علي البخاري

• **هيئة الدراسات الاستراتيجية والتنمية الاقتصادية**

- المدير: انتخاب السيد رشيد بن المختار
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد محمد بريان

بعد ذلك، تم إعادة انتخاب الأعضاء السابقين في مجلس الأكاديمية، كما تم تجديد الثقة كذلك في أعضاء لجنة الأعمال السابقين.

وخلال الجلسة الختامية، تناول الكلمة السيد أمين السر الدائم حيث تطرق لأهم النتائج التي تم استخلاصها من هذه الدورة، وأكد على جودة وغناء المداخلات والمناقشة، كما ذكر كذلك بالأعمال التالية التي يجب القيام بها خلال سنة 2012:

- تحضير الوثيقة الجديدة حول واقع البحث العلمي في بلادنا، وتحيين الوثيقة حول انتعاش البحث العلمي،
- العمل على تحقيق مشروع إنشاء متحف جهوي للعلوم، بتنسيق وتعاون مع الأكاديمية الجهوية للتربية والتكوين لجهة الرباط سلا زمور زعير،
- متابعة العمل بهدف تنمية تعليم العلوم بمشاركة مع وزارة التربية الوطنية،
- ضمان نشر مرتين في السنة لمجلة الأكاديمية «حدود العلوم والهندسة»،
- تشجيع التميز العلمي بتنظيم أنشطة لتقديم الجوائز والمكافآت العلمية،
- تعزيز علاقات الشراكة الثنائية والمتعددة الأطراف.

- التفكير في القضايا المتعلقة بالخلايا المعدلة جينيا، والتبرع بالأعضاء، وأخلاقيات علم الأحياء، وسلامة العلوم في بلادنا، وتشجيع نقاش مسئول حول هذه القضايا.
- النهوض بالتعاون الدولي وتعزيز حضور وإشعاع الأكاديمية في المشهد العلمي الوطني والدولي، والإسهام في تكوين الباحثين الشباب.
- تعزيز العمل لصالح نشر الثقافة العلمية و الرفع من تدريس العلوم.
- بعد هذا النقاش، أخذ الكلمة أمين السر الدائم لتقديم التوضيحات الإضافية التالية :
- برمجة دورة عادية لمناقشة الوثيقة المتعلقة بالمعطيات والمؤشرات الحديثة حول واقع العلوم بالمغرب،
- تنظيم ندوة حول خزانة الأكاديمية،
- تقديم رأي الأكاديمية حول القضايا المتعلقة بالخلايا المعدلة جينيا، والتبرع بالأعضاء، وأخلاقيات علم الأحياء، وسلامة العلوم، عن طريق الإحالة أو عن طريق الرأي الداخلي.
- العمل على إيصال المعلومات المتعلقة بأنشطة الأكاديمية إلى الأكاديميين (على الأقل ستة أشهر من قبل).

الجمعة 24 ربيع الثاني 1433 الموافق ل 17 فبراير 2012 بعد الزوال

تجديد أجهزة الأكاديمية

الجلسة الختامية

واصلت الأكاديمية أشغالها يوم الجمعة 24 ربيع الثاني 1433 الموافق ل 17 فبراير 2012 بعد الزوال، باجتماع كل هيئة علمية على حدة لعرض حصيلة الأنشطة خلال سنة 2011، وتقديم برنامج عمل لسنة 2012، ولانتخاب المدير و نائب المدير لكل هيئة. بعد ذلك واصلت الأكاديمية أشغالها في جلسة مغلقة حيث قدم مديرو الهيئات العلمية حصيلة الأنشطة لكل هيئة خلال سنة 2011، وبرنامج عمل لسنة 2012. أما بخصوص انتخاب مدير ونائب مدير كل هيئة، فقد أسفرت الانتخابات على النتائج التالية:

• هيئة علوم وتقنيات الأحياء

- المدير: إعادة انتخاب السيد ألبير ساسون
- نائبة المدير: إعادة انتخاب السيدة رجاء العواد

• هيئة علوم وتقنيات البيئة والأرض والبحر

- المدير: إعادة انتخاب السيد أحمد الحسني
- نائب المدير: انتخاب السيد إدريس وزار.

- مساهمة الأكاديمية في أشغال الهيئات الوطنية (المجلس الأعلى للتعليم، اللجنة الوطنية لتنسيق التعليم العالي، المجلس الإداري للمركز الوطني للبحث العلمي والتقني....)

• **في مجال النهوض بنشر الثقافة العلمية وتنمية تعليم العلوم:**

- تنظيم الدورة السابعة لأيام «الشباب والعلم في خدمة التنمية» تحت شعار «السنة الدولية للكيمياء».

- تنظيم حلقة المحاضرات.

- تنظيم الندوات، واللقاءات والأيام الدراسية....

- المساهمة في معرض البحث والابتكار.

- المساهمة في المعرض الدولي للنشر والكتاب.

- نشر منشورات الأكاديمية (وقائع جلسات الدورة الرسمية 2011، النشرة العلمية رقم 8، 9، و10، رسالة الأكاديمية رقم 13، 14 و15، و المجلد 1 و2 من مجلة الأكاديمية «حدود في العلوم والهندسة».

- تنظيم ندوة حول «تدريس العلوم : الواقع في المغرب وفي ماليزيا».

- تشجيع الامتياز من خلال توزيع منح الامتياز للفائزين الثمانية في المباراة الوطنية في العلوم والتقنيات التي شارك فيها المتفوقون الأولون الحاصلين على شهادة البكالوريا لسنة 2011 في المسالك العلمية والتقنية وذلك في إطار معاهدة الشراكة الموقعة مع وزارة التربية الوطنية والتعليم العالي وتكوين الأطر والبحث العلمي.

• **على مستوى الدولي تعزيز حضور الأكاديمية وتقوية التعاون الثنائي والمتعدد الأطراف.**

بعد تقديم هذا التقرير، جرت مناقشة واسعة بين الأكاديميين، أسفرت على التوصيات التالية:

• تعزيز وتقوية نشر المعلومات حول أنشطة الأكاديمية بين أعضائها وبين مكونات المشهد العلمي الوطني والدولي.

• ضمان نجاح التعاون والتنسيق بين الهيئات العلمية للأكاديمية.

• القيام بالتفكير الجماعي حول الأسباب والانعكاسات الناتجة عن انخفاض عدد الدكتوراهات المقدمة خلال السنوات الأخيرة.

• تقييم تأثير دور الأكاديمية على المجموعة العلمية الوطنية وعلى السياسة العمومية في مجال البحث العلمي والتكنولوجي.

• تقديم رأي الأكاديمية حول التعاون العلمي والتقني بين المغرب والاتحاد الأوروبي.

بعد هذه العروض، جرت مناقشة سيرت من طرف السيدة رجاء العواد مديرة الجلسات، وعضوة مقيمة بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات.

بعد الاستراحة، تابعت الأكاديمية أشغالها في جلسة مغلقة. في بداية الجلسة قدم أمين السر الدائم للأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات التقرير عن أنشطة الأكاديمية لسنة 2011-2012. وفي إطار تفعيل المهام الرئيسية للأكاديمية المنصوص عليها في الظهير الشريف المحدث لها، قامت الأكاديمية، خلال سنة 2011-2012، بعدة أعمال وأنشطة لاسيما في المجالات التالية:

• في مجال النهوض وتنمية البحث العلمي والتكنولوجي:

- تمويل مشاريع البحث التي تم دعمها من طرف الأكاديمية في إطار طلب العروض 2010.
- تمويل مشاريع البحث في إطار التعاون الدولي.
- تتبع مشاريع البحث التي تم دعمها من طرف الأكاديمية ابتداء من سنة 2008، والتي مكنت لحد الآن من الحصول على النتائج التالية: 97 ورقة علمية في المجلات الدولية، براءة واحدة، و32 دكتوراه وكذلك 100 ماجستير.
- دعم التظاهرات العلمية؛ حيث تم دعم 18 تظاهرة علمية إلى غاية نهاية فبراير 2012.
- مساهمة الأكاديمية في 5 تظاهرة علمية داخل الوطن وفي 7 تظاهرة خارج الوطن.
- تقديم الدعم لأحد المختبرات العلمية التابع لكلية العلوم بالقنيطرة لأجل اقتناء بعض المعدات العلمية، والذي أدى إلى وضع براءتين للاختراع.
- تقديم منحة الامتياز لأحد الطلبة قصد تحضير الدكتوراة موضوعها مرتبط بمشروع أطلس ATLAS في إطار التجربة القائمة بـ (LHC (Large Hadronic Collider التابع للمركز الأوروبي للأبحاث النووية (CERN) بجنيف.
- خلق المدرسة الأكاديمية حول موضوع «النمذجة ومستقبلية الاقتصاد».
- خلق مجموعة البحث حول «العلوم والإنسانيات».
- دعم شبكة «نظرية النظم».

• في مجال القيام بالدراسات والتحقيقات حول قطاع البحث العلمي والتكنولوجي:

- تنظيم دورة عادية لتهيئ الدورة الرسمية العامة ولتقديم المعطيات والمؤشرات حول واقع العلوم والتكنولوجيا بالمغرب.

• في مجال المساهمة في السياسة الوطنية للبحث العلمي والتقني:

- تنظيم دورة عادية للأكاديمية حول موضوع «الهندسة المغربية: الرهانات وإستراتيجية التنمية».

- الأستاذ فرانكو بانيولي (Franco Bagnoli)، جامعة فلورانس، إيطاليا حول «تزامن ومراقبة الفوضى في الخلايا الآلية».
- بعد الاستراحة كانت الأكاديمية على موعد مع دراسة الموضوع الرابع حول «المعطيات والمعارف» الذي تم الاستماع خلال الجلسة إلى مداخلتين لكل من :
- الأستاذ فابريزيو جاجلياردي (Fabrizio Gagliardi)، ميكروسوفت البحث، جنيف، سويسرا حول «المعطيات الهائلة في العلوم وطريقة معالجتها»؛
- الأستاذ داود آيت قاضي، أستاذ بجامعة لافال، كيبك، كندا حول الهندسة الرقمية والبحث التحليلي».
- في ختام هذه العروض، تم تخصيص جلسة للحوار والمناقشة حول موضوع «العلوم والهندسة الرقمية : أدوات وأساليب» سيرت ونشطت من طرف:
- الأستاذ إيريك ساندويل (Eric Sandewall)، عضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، جامعة لينكوبينك، السويد؛
- الأستاذ رشيد بن مختار، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، رئيس المرصد الوطني للتنمية البشرية، المغرب؛
- الأستاذ فيليب طانجي (Philippe Tanguy)، عضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، طوطال، فرنسا.

الجمعة 24 ربيع الثاني 1433 الموافق ل 17 فبراير 2012

جلسة مخصصة للاحتفاء بالسنة الدولية للغابة ولتقديم التقرير السنوي حول أعمال ونشاط الأكاديمية أثناء السنة المنتهية

- تم تخصيص الجلسة الأولى لصباح يوم الجمعة 24 ربيع الثاني 1433 الموافق ل 17 فبراير 2012 للاحتفاء بالسنة الدولية للغابة، قدمت خلالها ثلاثة عروض علمية، وهي:
- «الغابة المغربية : واقع ومستقبل» من طرف الدكتور عبد العظيم الحافي، المندوب السامي للمياه والغابات ومحاربة التصحر، الرباط، المغرب؛
 - «المساحات الغابوية في دول حوض البحر الأبيض المتوسط» من طرف الأستاذ جان بول بلاني، عضو بأكاديمية الفلاحة، فرنسا؛
 - «البحث الغابوي في المغرب» من طرف الدكتور سعيد حبيب، المندوبية السامية للمياه والغابات ومحاربة التصحر، الرباط، المغرب.

- إدريس وزار، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، المدرسة المحمدية للمهندسين، الرباط، المغرب؛
- رجاء عواد، عضوة مقيمة بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، المعهد الوطني الصحي، الرباط، المغرب.

الخميس 23 ربيع الثاني 1433 الموافق ل 16 فبراير 2012

الجلسة حول «أدوات وأساليب العلوم والهندسة الرقمية»

خصصت الجلسة الصباحية ليوم الخميس 23 ربيع الثاني 1433 الموافق ل 16 فبراير 2012، للمحور المتعلق ب «الرياضيات والمعلومات»، الذي تم خلاله الاستماع إلى عرضين قدم على التوالي من طرف:

- الأستاذ جان كريستوف يوكوز (Jean-Christophe Yoccoz)، خريج المدرسة العليا للأساتذة، باريس، عضو أكاديمية العلوم الفرنسية، أستاذ في كوليغ دو فرانس وضيف خاص للدورة الرسمية العامة 2012، حاصل على ميدالية فيلد للرياضيات سنة 1994، قدم عرضا حول موضوع «المنظومات الديناميكية : مثال لعبة billard»؛

- الأستاذ جون أوريلي (John O'Reilly)، عضو مشارك في أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، جامعة كرانفيلد، عضو في الأكاديمية الملكية للهندسة (المملكة المتحدة البريطانية) حول موضوع «تكنولوجية المعلومات والاتصالات: أداة مفيدة للتحويل متعدد التخصصات للعلم والابتكار».

بعد الاستراحة تمت معالجة الموضوع حول «المحاكاة والحساب ذا المستوى الرفيع» الذي تم الاستماع فيه إلى عرضين قدم من طرف :

- الأستاذ مارك باريزو (Marc Parizeau)، أستاذ بجامعة لافال، كيبك، كندا حول «الحساب ذا المستوى الرفيع : تحديات وإنجازات»؛

- الأستاذ برونو أرناledi (Bruno Arnaledi)، المعهد الوطني للعلوم التطبيقية، رين، فرنسا حول «المحاكاة المعقدة : تفاعل، استكشاف، وواقع افتراضي».

بعد الاستماع إلى هذه العروض، جرت مناقشة واسعة بين الأكاديميين، سيرت ونشطت بالخصوص من طرف السيدة رجاء العواد، مديرة الجلسات، وعضوه مقيمة بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات.

في الزوال تابعت الأكاديمية أشغالها بدراسة ومناقشة الموضوع المتعلق بالجانب «النماذج والتصورات البديلة»، حيث تم الاستماع خلال هذه الجلسة إلى عرضين قدما من طرف :

- الأستاذ باستيان شوبارد (Bastien Chopard)، جامعة جنيف، سويسرا حول «منهجية «شبكة-بولتزمان Boltzmann» وتطبيقاتها في العلوم والهندسة»؛

الأربعاء 22 ربيع الثاني 1433 الموافق ل 15 فبراير 2012 بعد الزوال
متابعة الجلسة الأولى حول «التحديات المتعددة الاختصاصات في العلوم والهندسة
الرقمية»

خلال جلسة يوم الأربعاء 15 فبراير 2012 بعد الزوال، تابعت الأكاديمية أشغالها بدراسة الموضوع حول «العلوم والهندسة الرقمية في الفيزياء والكيمياء وعلوم الهندسة»، الذي تم خلاله الاستماع إلى ثلاثة عروض قدمت من طرف السيدات والسادة:

- الأستاذ فيصل بن خلدون، أستاذ بجامعة باريس 13 بفرنسا حول موضوع «دينامية الموائع الحسابية في العلوم والهندسة و دورها في التصنيع»؛
 - الأستاذ محمد سعيد، أستاذ بجامعة دورهام بالمملكة المتحدة حول موضوع «دينامية الموائع الحسابية في العلوم والهندسة ودورها في ميادين الماء والبيئة»؛
 - الأستاذة رجاء الشرقاوي مرسللي، عضوه مراسلة بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، أستاذة بجامعة محمد الخامس أكادال، المغرب حول «تحديات اقتناء ومعالجة المعطيات الهائلة في تجربة أطلس لـ LHC (المصادم الكبير لـ Hadron)».
- و تلت هذه العروض مناقشة عامة.

بعد الاستراحة، تابعت الأكاديمية أشغالها بدراسة ومناقشة الموضوع الثالث حول «العلوم والهندسة الرقمية في علوم البيئة»، تم الاستماع خلال هذه الجلسة إلى عرضين قدما من طرف:

- الأستاذ إيريك بلايو (Eric Blayo)، أستاذ بجامعة جوزيف فورنيي (Joseph Fournier)، غرونوبل، فرنسا حول «الأساليب الحسابية التنبؤية للعلوم البيئية»؛
- الأستاذ دانييل أوكلير (Daniel Auclair)، مركز التعاون الدولي للبحث الزراعي من أجل التنمية، مونبولي، فرنسا حول «العلوم والهندسة الرقمية في الإيكولوجية وعلوم النباتات».

خلال هذه الجلسة تم الاستماع كذلك إلى عرض كان مقررا في الموضوع الثاني قدم من طرف :

- الأستاذ جينغاي لي (Jinghai Li)، معهد هندسة التصرفات، بكين، الصين حول «محاكاة التصرفات الكيميائية في وقتها الحقيقي : حلم أو واقع؟».

بعد هذه العروض خصصت جلسة للحوار والمناقشة حول موضوع «العلوم والهندسة الرقمية في علوم الحياة والمواد والبيئة» قام بتنشيطها الأساتذة:

- جيرالد فولير (Gérard Fuller)، عضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، جامعة ستانفورد، الولايات المتحدة الأمريكية، عضو في الأكاديمية الوطنية للهندسة (الولايات المتحدة الأمريكية)؛

بعد خطاب أمين السر الدائم، تناول الكلمة الأستاذ مالك غلاب، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، ومدير البحث في مختبر تحليل وهندسة النظم، المركز الوطني للبحث العلمي، تولوز، فرنسا، لإلقاء عرض تمهيدي وتقديم برنامج الموضوع العلمي العام لهذه الدورة الرسمية.

وخلال الجلسة الافتتاحية، تم التوقيع على معاهدة الشراكة بين أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات والندوبية السامية للمياه والغابات ومحاربة التصحر، وكذلك على معاهدة التعاون بين الأكاديمية وأكاديمية التكنولوجيا بفرنسا، التي ولاشك ستعزز معاهدة التعاون التي تم توقيعها قبل ثلاث سنوات مع أكاديمية العلوم الفرنسية.

بعد ذلك قدمت الأستاذة كاترين بريشنيك (Catherine Bréchnignac)، أمينة السر الدائمة لأكاديمية العلوم الفرنسية، كلمة مجاملة وصادقة، تلتها أيضا كلمة مجاملة للأستاذ فرانسوا جينو (François Guinot)، مندوب العلاقات الدولية بأكاديمية التكنولوجيا الفرنسية بمناسبة افتتاح هذه الدورة.

مباشرة بعد الجلسة الافتتاحية، تم انتخاب السيدة رجاء العواد مديرة للجلسات خلفا للسيد أحمد الحسني الذي انتهت ولايته.

بعد ذلك، تابعت الأكاديمية أشغالها في جلستها الأولى بدراسة الموضوع العلمي حول «التحديات المتعددة الاختصاصات في العلوم والهندسة الرقمية»، وبتحليل عدة جوانب مختلفة تتمحور أولا حول «العلوم والهندسة الرقمية في علوم الحياة»، والتي تم أثنائها الاستماع إلى أربعة عروض قدمت من طرف السادة :

- الأستاذ نيكولا عياش (Nicholas Ayache)، أستاذ بالمعهد الوطني للبحث في المعلومات والتحكم الآلي بفرنسا حول «التصوير الطبي والمعلومات : نحو تشخيص المريض الرقمي»؛
- الأستاذ كيمين سجولندر (Kimmen Sjolander)، أستاذ بجامعة بيركلي بالولايات المتحدة الأمريكية حول «العلوم والهندسة الرقمية في الفيلوجينوميك»؛
- الأستاذ جاك دومونجو (Jacques Demongeot)، أستاذ بجامعة جوزيف فورنيي، غرونوبل، بفرنسا حول «شبكات الجينات التنظيمية للمناعة وتخلق الجنين»؛
- الأستاذ حسن هبيد، أستاذ بجامعة القاضي عياض، مراكش، المغرب حول «نمذجة العلاقات بين الفرد والجماعة والسكان : من الخلايا إلى المجموعات الحضرية».

بعد هذه العروض، جرت مناقشة واسعة بين الأكاديميين، سيرت ونشطت بالخصوص من طرف السيدة رجاء العواد مديرة الجلسات، وعضوة مقيمة بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات.

انعقدت الدورة الرسمية العامة لسنة 2012 لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات بقاعة المحاضرات بمقر أكاديمية المملكة بالرباط أيام 22-23 و24 ربيع الثاني 1433 الموافق لـ 15-16-17 فبراير 2012، حول الموضوع العلمي العام «العلوم والهندسة الرقمية».

الأربعاء 22 ربيع الثاني 1433 الموافق لـ 15 فبراير 2012 صباحا

الجلسة الافتتاحية

انعقدت الجلسة الافتتاحية لأشغال الدورة الرسمية لسنة 2012 لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات بقاعة المحاضرات بمقر أكاديمية المملكة بالرباط يوم الأربعاء 22 ربيع الثاني 1433 الموافق لـ 15 فبراير 2012 على الساعة التاسعة صباحا بحضور رئيس الحكومة، ووزير التربية الوطنية، ووزير التعليم العالي والبحث العلمي وتكوين الأطر، وسفراء الصين والمكسيك وماليزيا والبرتغال وهنغاريا وإسبانيا والسنغال، والأكاديميين وعدد من الشخصيات المدعوة من عالم العلم والثقافة.

في بداية الجلسة الافتتاحية، تناول الكلمة الأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، وذكر بأن انعقاد الدورة العامة الرسمية السنوية تعتبر دائما من اللحظات المتميزة، ووفاء لإنجاز إحدى أهم مهام الأكاديمية، كما ورد في القانون المحدث لها، وهي جمع كل أعضاء الأكاديمية بصفة منتظمة مرة في كل سنة بهدف تطوير التشاور والتواصل بين المنظومة العلمية الوطنية وشخصيات علمية أجنبية حول أهم القضايا والتساؤلات التي تهم المجتمع، وحول آخر المستجدات والإنجازات في ميدان العلوم في المغرب وخارج المغرب، وكذلك لمناقشة أنجع السبل للقيام بمهام الأكاديمية على أحسن وجه، والعمل على وضع نتائج العلم في خدمة التنمية في بلادنا. كما ذكر بالضرورة الملحة لإعطاء دفعة جديدة للعلوم والتكنولوجيا في بلادنا، والانخراط السريع لقطاع البحث والابتكار في إنتاج القيمة المضافة في جميع قطاعات الاقتصاد. وفي هذا الباب ذكر بأن الأكاديمية ستعمل قريبا على نشر وثيقة متحينة تتضمن المعطيات والبيانات العلمية والتقنية التي تميز واقع العلم في المغرب، وأيضا أفكارا واقتراحات حول التنمية العلمية والتقنية في بلادنا.

وبخصوص البرنامج الكامل لأشغال هذه الدورة، ذكر بالموضوع العلمي العام الذي تم اختياره لهذه الدورة، بعدما حظي برضا من لدن صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله وأيده، والذي يتمحور حول موضوع «العلوم والهندسة الرقمية». وفي كلمته شدد أمين السر الدائم على الدور الحاسم الذي تلعبه اليوم العلوم والهندسة الرقمية في كثير من التكنولوجيات وأيضا في مختلف العلوم؛ حيث أوضح أن أهمية العلوم والهندسة الرقمية، على شكلها المعقد، لا تكمن فقط في اقتناء ومعالجة المعلومة ومحاكاة السلوك، بل إنها تنتج أيضا معارف جديدة، وتساهم في تطوير المعرفة والكفاءات في مختلف المجالات العلمية والتقنية. كما ذكر في الأخير، في إطار أشغال هذه الدورة، وبجانب الموضوع العلمي العام، سيتم تخصيص جلسة للاحتفاء بالسنة الدولية للغابة، وأخيرا جلسة لتقديم التقرير السنوي للأنشطة الرئيسية التي قامت بها الأكاديمية خلال سنة 2011.

محضر أشغال الدورة الرسمية العامة

لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

لسنة 1433 هجرية الموافق لسنة 2012 ميلادية

وعلى الرغم من التقدم المذهل للعلوم والهندسة الرقمية، تظل هناك تحديات كبيرة يحب التغلب عليها؛ لكونها ترتبط بالنماذج الرياضية المتعددة المستويات، وبتقنيات اقتناء ومعالجة المعطيات، وبالمحاكاة ودقة التنبؤ بها، خصوصا على المدى الطويل (مثل التنبؤ بحالة الطقس، أو الكوارث الطبيعية)، وبقوة الحواسيب والآلات الحاسبة، و توسع استعمال خوارزميات الحساب.

إن المغرب يستخدم، الآن، في العديد من المجالات، التكنولوجيات الناجمة عن العلوم والهندسة الرقمية، إلا أنه مازال هناك الكثير من الأمور يتعين علينا القيام بها في مجالات مهمة بالنسبة لتنمية البلاد، لاسيما تلك المتعلقة بتحديد دقيق للثروات الطبيعية (مثل صقل الخريطة الجيولوجية للبلاد، وإحصاء الموارد المعدنية، والنباتية، والبحرية، والتنوع البيولوجي الوطني)، وإعداد التراب الوطني، وتدبير العالم الحضري والقروي (تنظيم السير والمرور، إعداد التراب والتنمية، الخ.)، وتحديث الخدمات العامة والخاصة، وتحسين التسيير الوظيفي للنظام الصحي، سواء على مستوى التخطيط، أو على مستوى البحث والتنمية، وأيضا على مستوى عدد من التطبيقات الصناعية من أجل مصاحبة وتطوير أكثر للسياسات القطاعية في البلاد (مخطط المغرب الأخضر، المخطط الأزرق، مخطط الطاقات المتجددة، مخطط انبثاق في ميدان الصناعة، مخطط تنمية الثروات البحرية...).

فبالإضافة إلى هذه التحديات العلمية والتقنية التي يجب على الباحثين المغاربة المساهمة في حلها انطلاقا من اختصاصاتهم، لا زالت هناك تحديات قائمة على مستوى التكوين والتربية. وعلى عكس الماضي، أصبح الحصول على المعلومات العلمية والتقنية جد سهلا، وأصبحت أدوات المحاكاة، والتصور، والتحليل أكثر انتشارا مما كانت عليه في الماضي، وهذا يوسع بشكل متميز أثر تحكم آليات العلوم والهندسة الرقمية في النشاط المهني وفي الحياة اليومية للمواطنين.

لقد كانت الدورة العامة الرسمية لسنة 2012 فرصة لدراسة ومناقشة التحديات العلمية والتكنولوجية المرتبطة بالعلوم والهندسة الرقمية فضلا عن الإسهامات الممكنة لتنمية مختلف القطاعات النشطة ومناهج التكوين في المغرب.

لقد حضر هذه الدورة العامة للأكاديمية 2012 عدد من الشخصيات العلمية من المغرب وعلماء بارزين من الخارج (فرنسا، الولايات المتحدة الأمريكية، المملكة البريطانية المتحدة، السويد، الصين، كندا، إيطاليا...)، وكذلك عدد من أصحاب القرار وكبار الفاعلين الاقتصاديين والاجتماعيين من المغرب والخارج للمساهمة في أشغال هذه الدورة العامة الرسمية.

إن العلوم والهندسة الرقمية، على شكلها المعقد، لا تهتم فقط اقتناء ومعالجة المعلومة ومحاكاة السلوك، بل إنها تنتج أيضا معارف جديدة، وتساهم في تطوير المعرفة والكفاءات في مختلف المجالات العلمية والتقنية. فهي بالتالي تفتح نماذج جديدة للبحث والتنقيب في العديد من التخصصات كالفيزياء الفلكية، والكيمياء وعلوم المواد، وعلوم الحياة، وعلوم الأرض، وعلم المناخ، والهندسة، والاقتصاد، والخدمات اللوجيستية، وحتى في العلوم الإنسانية والاجتماعية، وغيرها من حقول المعرفة.

تمتاز العلوم والهندسة الرقمية أيضا بتأثير قوي على نشاط البحث العلمي، وعلى تنظيمه، ومساطر تقييمه، ونشر نتائجه. إنها تسمح كذلك من إحداث ثورة هندسية على مستوى جميع مجالات الإنتاج والخدمات، كما أنها غيرت تماما عمليات التصميم وآليات الابتكار.

تواجهنا اليوم، في كل ميادين العلوم والتكنولوجيا، مشاكل معقدة ناتجة عن تفاعلات بين عدة ظواهر. كما يجب معالجة كل ظاهرة منها باستخدام الأساليب المناسبة والتمثيلية الرياضية الملائمة، مع أخذ بعين الاعتبار مختلف التأثيرات التفاعلية المتضمنة. كما يمكن التغلب على هذه المزوجات المعقدة باستعمال تقنيات تحليلية متكاملة، وفق نمط متماسك ومتكامل. إن الاحتمالات للدمج الرقمي للنماذج المتعددة الفيزياء والمقاييس، وإتقان البيانات، ومعالجة المعطيات، واللجوء الواسع لبنوك المعطيات، وقوة رموز المحاكاة والتصور واستعمال الدعامات المعلوماتية، كلها تفتح آفاق متعددة لتخصصات جديدة، وتطورات تكنولوجية هامة. وعلى سبيل المثال، يمكن في مجال المواد، القيام بالنمذجة والمحاكاة على مستوى الجزيئات تسمح في بعض الحالات من توقع وجود جزيئية أو مجموعة من الجزيئات لتطبيق معين، ومن التعرف على استقرارها ومكوناتها قبل تركيبها ومعاينتها في المختبر. كما يمكن للنمذجة المتعددة المقاييس، إلى جانب المحاكاة الرقمية، في بعض الحالات، اختيار المكونات الأساسية، واقتراحها لتصنيع الأدوات من مواد غير متجانسة، مع التنبؤ بمواصفاتها (السيراميك، مزيج البوليمير، المواد المركبة النانومترية، والمواد ذات هيكل صفاحي، الخ).

كما يمكن أيضا للنمذجة المتكاملة أن تأخذ بعين الاعتبار التأثير المشترك لعدة عوامل في آن واحد عبر المزوجات المعقدة لظواهر فيزيائية، وكيميائية، وبيولوجية، في نفس إطار المحاكاة وتوقع السلوك لكافة العناصر المجتمعة. وهذا هو الحال بالنسبة للنماذج الرقمية لمحاكاة عملية اشتغال أحد أعضاء الجسم، مثل نظام القلب والشرابين، التي يجب أن تدمج فيه نماذج متعددة، ومرتبطة بالفيزيولوجيا الكهربائية، وبميكانيك العضلات، وتدفق الدم والهواء، والتحول الغذائي للقلب، وحقن عضلة القلب، الخ. كما يتم التعامل مع هذه النماذج بالمزاوجة بين مختلف الظواهرات في سياق نهج شامل، يوفر معلومات أساسية لعملية اشتغال نظام القلب والشرابين بصفة كاملة.

مقدمة

يمكن اعتبار الرياضيات من العناصر السبّاقة في خلق المعرفة العلمية الكمية، والمفاهيم المجردة، والتفكير المنطقي. كما أنها سمحت بهيكلية الفكر الإنساني، وترجمة المفاهيم والآليات على المستوى العلمي إلى معادلات كمية لتصبح بمثابة قانوناً. كما أن الرياضيات سمحت في البداية للمجتمعات القديمة أن تصبح قادرة على القيام بعمليات القياس والعد والخصم وعلى تنظيم متماسك للمجتمع في مجالات صناعة الآلات وبناء السكن، وتدبير الزراعة والمحاصيل والتجارة، وكذلك تحديد المواعيد وجدولة الأحداث والتنبؤ بها بما في ذلك الظواهر الفلكية وغيرها. كما مكنت لاحقاً من صياغة القوانين التي تتحكم في تسيير وتطور الطبيعة بطريقة كمية.

إن اختراع الآلة، وصناعتها في حجم صغير (اكتشاف علم الإلكترونيات)، ومراقبتها (المعلومات)، كان لهم تأثير غير مسبوق على الحياة اليومية وعلى تسيير المجتمع ككل. باستخدام الحاسوب من طرف العلماء والمقاولات الصناعية وكذلك من طرف العموم غيرت الثورة المعلوماتية علاقتنا بالمفاهيم المادية، وبتصور الأشياء وتصنيعها وأيضاً الحصول على المعلومة ومعالجتها.

إن تطور الرياضيات التطبيقية والأدوات المعلوماتية سمحت بظهور وتنمية فرع جديد من العلوم تصنف بالعلوم والهندسة الرقمية، والتي تستند، في أبسط صورة لها، على مجموعة من تقنيات التفكير المنطقي التي تمكن من تجزئة وحل المشاكل المعقدة باستخدام النماذج الفيزيائية، ووصف المشكل القائم، والتقنيات المعتمدة في الرياضيات وألغوريثمات والمعلومات. إنها تسمح كذلك باقتناء ومعالجة المعلومة بطريقة سهلة ومنظمة، ومحاكاة الأحداث التي يصعب تجربتها في المختبرات، وإنشاء النماذج الصناعية، والتنبؤ في بعض الحالات بسلوك الظواهر الطبيعية، والمساطر الصناعية والآليات عند تصنيعها واستخدامها. إن العلوم والهندسة الرقمية تسمح، على سبيل المثال، عن طريق الحاسوب، بتصميم وتحديد مكونات الطائرة أو السيارة أو أي مكون صناعي آخر، واختبار سلوك كل كائن على شكل فردي، ثم على شكل متكامل، قبل الانتقال إلى التصنيع الفعلي، كما أنها تسمح بمحاكاة الظروف المناخية والتنبؤ بآثارها، وأيضاً الحصول على بعض المعلومات مثل الإشارات الضوئية للأقمار الصناعية ومعالجتها وتحويلها إلى معرفة الكون، لاسيما فيما يتعلق بمعرفة مقاييس وحركة هيكلية الأجسام الفلكية وما إلى ذلك. مما يشكل بعض الأمثلة البسيطة التي توضح أهمية العلوم والهندسة الرقمية والآثار المترتبة عن تطبيقاتها.



المملكة المغربية

أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

أشغال

الدورة العامة الرسمية

لسنة 2012

الرباط : 15 - 17 فبراير 2012



صاحب الجلالة الملك محمد السادس - نصره الله -

راعي أكاديمية الحسن الثاني

للعلوم والتقنيات



المملكة المغربية

أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

أشغال الدورة العامة الرسمية
لسنة 2012

الرباط : 15 - 17 فبراير 2012