



Centre International de Mathématiques Pures et Appliquées

Université Ibn Tofail

Kénitra - Juillet 2019

Ecole de Recherche CIMPA

**Modélisation, Analyse Mathématique et Calcul
Scientifique dans la Gestion des Déchets Ménagers**

<https://sites.google.com/uit.ac.ma/cimpa2019maroc>

Bilan scientifique

Table des matières

1	Introduction et impacts	2
2	Informations générales	3
3	Contenu scientifique	4
	3.1 Introduction	4
	3.2 Liste des cours	5
	3.3 Emploi du temps	10
4	Les participant(e)s	11

1 Introduction et impacts

Avec l'augmentation de la population mondiale, le développement industriel et la croissance exponentielle de la consommation, les différents types de déchets sont devenus une vraie problématique environnementale. Dans les pays en voie de développement et les pays émergents, ce sont principalement les déchets ménagers qui ont besoin d'une gestion durable et écologique. Les centres de stockage dans les principales villes sont généralement prévus un peu partout comme solution permettant de préserver l'environnement. Ces centres permettront de trouver une solution pour éviter la pollution des eaux souterraines (source d'eau potable) par le lixiviat (jus des déchets) et récupérer le biogaz libéré par les déchets lors de la biodégradation, pour éventuellement être valorisé.

Dans ces centres, différents phénomènes physiques, chimiques et biologiques sont mis en jeu. La modélisation mathématique est d'un grand intérêt pour pouvoir optimiser les solutions liées aux différents aspects de la gestion des déchets.

L'école de recherche CIMPA qui a eu lieu à Kenitra du 3 au 13 juillet 2019 sous le titre "*Modélisation, Analyse Mathématique et Calcul Scientifique dans la Gestion des Déchets Ménagers*" est un vecteur de progrès et a un impact important au point de vue régional et international. En effet

- elle a traité un sujet structurant pour l'avenir de la problématique des déchets ménagers au niveau de la recherche mathématique et ses applications environnementales aussi bien au niveau local qu'international ;
- elle a mobilisé des experts internationaux de haut niveau en modélisation et analyse mathématique sur une problématique de grande importance ;
- elle a permis un échange fructifiant entre les experts internationaux et les participants qui ont pu être sensibilisés à la modélisation et l'analyse mathématique de biodégradation et ses applications environnementales comme la gestion des déchets et la valorisation du biogaz récupéré,
- elle a non seulement pu renforcer une coopération Nord-Sud dans la thématique de l'école, déjà initiée dans un cadre bilatéral, mais elle a aussi permis un rapprochement des pays africains, dont 9 ont été représentés durant les 10 jours de l'école ;
- elle a créé un espace d'échange permettant de poser des sujets mathématiques faisant fonctionner l'interdisciplinarité caractéristique du thème de cette école et dont les résultats des recherches à mener pourraient apporter une aide précieuse aux décideurs, concernant la valorisation des énergies nouvelles ;
- l'organisation paritaire a permis un rayonnement de la femme mathématicienne dont la participation au niveau des experts était de 50% et celle de l'ensemble des participant(e)s, à peu près, de 35%.

Cette école est, entre autres, un point de départ d'une collaboration mathématique euro-africaine pour le développement durable à travers le traitement et la valorisation des déchets ménagers. La modélisation et l'analyse mathématique permettront de prédire les comportements des différents systèmes complexes régissant les phénomènes de biodégradation, d'écoulement et de transport, sous-jacents à la gestion des déchets. Les contacts réalisés aboutiront, nous l'espérons, sur d'autres collaborations bilatérales et multi-latérales.

2 Informations générales

TITRE DE L'ÉCOLE : **Modélisation, Analyse Mathématique et Calcul Scientifique dans la Gestion des Déchets Ménagers**. Ecole satellite de ICIAM Valencia 2019.

LANGUE OFFICIELLE DE L'ÉCOLE : **Français**

PAYS D'ACCUEIL : **Maroc**

NOM ET ADRESSE DE L'INSTITUTION D'ACCUEIL : **Université Ibn Tofaïl, Faculté des Sciences, B.P. 133, Kenitra 14 000**

DATES : **3/7/2019 - 13/7/2019**

COORDINATRICE LOCALE : **Zoubida MGHAZLI,**
Professeure à l'Université Ibn Tofaïl au Maroc.
Adresse email : zoubida.mghazli@uit.ac.ma

COORDINATRICE EXTÉRIEURE : **Elena VÁZQUEZ-CENDÓN,**
Professeur à University of Santiago de Compostela en Espagne.
Adresse email : elena.vazquez.cendon@usc.es

LISTES DES PROFESSEUR(E)S INVITÉ(E)S

Nom et Prénom	Genre	Institution
EL ALAOUI Linda	Femme	Université de Paris 13 France
EL KHATTABI Noha	Femme	Université Mohammed V, Rabat Maroc
HARMAND Jérôme	Homme	INRA, Narbone France
HECHT Frédéric	Homme	Université Pierre et Marie Curie, Paris France
MÉLÉARD Sylvie	Femme	Ecole Polytechnique, Paris France
QUINTARD Michel	Homme	Université Paul Sabatier France
RAPAPORT Alain	Homme	Université de Montpellier France
VAZQUEZ Elena	Femme	University of de Santiago de Compostela Espagne

3 Contenu scientifique

3.1 Introduction

L'objectif de cette école est une initiation à la modélisation mathématique et numérique de la gestion des déchets urbains, en réunissant des spécialistes dans la modélisation, l'analyse mathématique et le calcul scientifique des phénomènes liés à cette gestion. L'objectif étant que les participants puissent être initiés aux différents modèles mathématiques liés à cette problématique, allant du transport des déchets jusqu'à l'impact de la décharge sur la nappe, et principalement les phénomènes de biodégradation, d'écoulement et de transport du lixiviat et du biogaz dans les centres de stockage. Le recyclage de la phase liquide des déchets ménagers est un autre aspect de cette gestion. Les techniques de modélisation et optimisation qui seront développées dans cette école pourraient être utilisées dans la problématique du recyclage de l'eau par l'approche "Réutilisation des Eaux Usées".

Deux aspects majeurs de cette modélisation peuvent être dégagés : l'aspect gestion intégrée des déchets et l'aspect gestion du centre de stockage.

Le premier aspect et première problématique qui se pose dans ce contexte, concerne le choix d'une gestion intégrée et durable de ces déchets. Pour décider du système de collecte, de traitement, d'emplacement d'installation,... et bien d'autres planifications, avec un coût minimal, la modélisation mathématique est d'un grand intérêt, et a fait l'objet du **Cours 1** du Professeure Noha El Khattabi intitulé "*Modélisation mathématique pour une gestion intégrée et durable des déchets ménagers et assimilés (DMA) dans les pays en voie de développement*".

L'accent sera mis essentiellement sur le deuxième aspect de cette problématique et qui est la modélisation dans les centres de stockage. En effet, une fois la gestion des déchets réalisée et l'option d'un centre de stockage choisie, il faudra comprendre les phénomènes physiques, chimiques et biologiques qui s'y opèrent pour pouvoir bien évaluer le taux de biogaz et du lixiviat qui s'y dégagent. Pour cela, ce centre de stockage de déchet peut être assimilé à un milieu poreux. Le **Cours 2** du Professeur Michel Quintard intitulé "*Modélisation des Transferts en Milieux Poreux dans le contexte Stockage de déchets et Compostage*", a présenté dans un contexte multi-échelle articulé autour de la problématique de la gestion des déchets ménagers (stockage, compostage, ...), les modèles macroscopiques associés aux principaux mécanismes de transport en milieu poreux, aboutissant à des systèmes d'équations aux dérivées partielles (EDP) de différents types (elliptique, parabolique et hyperbolique) couplées avec des équations différentielles ordinaires (EDO) liées à la biodégradation.

Ce milieu assimilé à un milieu poreux subit une évolution temporelle sous l'effet des différents processus physico-chimique comme l'altération et la précipitation des phases minérales... , ainsi que sous l'effet de l'activité biologique comme la croissance du biofilm bactérien qui a pour conséquence, entre autres, la bio-obstruction des pores et changent ainsi la porosité du milieu. Les modèles obtenus sont des systèmes fortement couplés et dépendent de nombreux paramètres. L'étude complète de cette évolution temporelle est encore un défi scientifique majeur du point de vue de la modélisation numérique. Les deux modules sur les méthodes numériques dispensés dans le cadre de cette école ont été une initiation et ont permis aux participants d'avoir une ouverture sur les différentes questions, liées à la problématique posée, non encore résolues .

Pour la résolution numérique des équations aux dérivées partielles des différents modèles mathématiques obtenus, les deux principales méthodes les plus utilisées sont celle des éléments finis et celle de volumes finis. Deux modules ont été assurés pour ces méthodes. Le Professeur Frédéric Hecht a donné au **Cours 3** une initiation à l'utilisation du logiciel "*FreeFem++*" , dont il est le concepteur avec le Professeur Olivier Pironneau. Ce

logiciel consiste à résoudre les formulations variationnelles des EDP par la méthode des éléments finis. Le couplage EDP/EDO a été traité dans le cadre de ce cours. Des exercices sous forme de mini-projets ont été proposés aux participants pour approfondir les notions étudiées et réaliser une première application dans le cadre de la thématique. Le **Cours 4** du Professeure Elena Vazquez intitulé *"Introduction of finite volume methods for environmental applications"* portait sur la méthode des volumes finis bien adaptée au phénomènes de transport très présents dans cette problématique des centres de stockage. Comme cela a été déjà signalé dans le **Cours 2**, les EDP obtenues sont couplées avec des EDO liées à la biodégradation, un processus physico-chimique complexe durant lequel les bactéries transforment la matière organique en composés minéraux et gazeux. La biodégradation est le "moteur" essentiel dans la gestion des centres de stockage. Il est alors impératif de bien comprendre les différentes phases de ce processus pour bien modéliser les différents phénomènes sous-jacents et les paramètres déterminants. Il y a deux approches possibles : l'approche déterministe et l'approche stochastique. Les modules **Cours 5**, **Cours 6** et **Cours 7** sont liés directement à la modélisation, sous différents aspects, des phénomènes biologiques relatifs à la thématique de l'école.

Vu la structure de la matière poreuse formée par les déchets, il a été démontré expérimentalement que la biodégradation se fait par un système de biofilm, qui est une accumulation de bactéries à la surface du substrat solide. Il est alors important de pouvoir prévoir la structure microbienne présente dans la décharge, leur prolifération peut être à l'origine de détérioration ou de l'efficacité des systèmes de drainage et de réinjection. Le **Cours 5** du Professeure Linda El Alaoui intitulé *"Modélisation mathématique de la croissance d'un biofilm"* a été une bonne introduction à la croissance d'un biofilm modélisée par des équations aux dérivées partielles dans le cas déterministe.

Toujours dans le cas déterministe, le couplage Biologie/hydrodynamique amène à des problèmes mathématiques particuliers principalement en présence d'hétérogénéités pouvant être bénéfiques pour le rendement ou la stabilité d'un écosystème. Pour mettre à profit cette dernière assertion, une modélisation mathématique avec une approche d'optimisation dans la conception de certains procédés biologiques peut être nécessaire. Ceci a été l'objet du **Cours 6** des Professeurs Jérôme Harmand et Alain Rapaport intitulé *"Des modèles simples pour spatialiser les systèmes biologiques"*.

Les phénomènes biologiques liés à la biodégradation, en particulier dans les centres de stockage, sont des phénomènes fortement aléatoires. L'incorporation d'une incertitude stochastique pourrait souligner le rôle de l'hétérogénéité dans le modèle mathématique. La modélisation stochastique de ces phénomènes est ainsi incontournable. Le **Cours 7** du Professeure Sylvie Méléard intitulé *"Modèles stochastiques de l'adaptation biologique"*, a abordé les concepts de base de ces phénomènes. Ce cours traité les modèles stochastiques de population prenant en compte un processus de naissance et mort en temps continu avec mutation et compétition. Cela permet de mieux comprendre l'adaptation des bactéries dans un milieu où les nutriments changent au cours du temps.

3.2 Liste des cours

Cours 1 : Modélisation mathématique pour une gestion intégrée et durable des déchets ménagers et assimilés (DMA) dans les pays en voie de développement

Noha EL Khattabi,

Professeure à l'Université Mohammed V. Département de Mathématique.

Responsable de l'Equipe d'Analyse Non Linéaire, Modélisation et Aide à la Décision.

Responsable du Master Analyse et Applications

E-mail : n.elkhatabi@um5s.net.ma

Résumé du cours

Ce cours a pour objectif de présenter et d'analyser des modèles mathématiques d'optimisation et de simulation pour une gestion intégrée et durable des DMA. En raison des dommages environnementaux causés par les sites d'enfouissement, de la rareté des terres situées à proximité des centres urbains et de l'opposition croissante du public, il est impératif aujourd'hui de considérer des systèmes de gestion des déchets mondiaux, qui doivent sur le long terme, à la fois réduire la dépendance aux sites d'enfouissement, contrôler les effets néfastes des émissions de gaz, optimiser la valorisation énergétique et minimiser les coûts. Le nombre croissant d'options rend plus difficile pour un ingénieur ou un planificateur de gestion des déchets de décider du système de collecte, de traitement et d'élimination qui répond au mieux aux besoins actuels et futurs d'une communauté particulière. La combinaison des capacités des modèles mathématiques et de l'expertise en gestion des déchets permet une planification sur le long terme qui repose d'une part sur les données prévisionnelles pour la composition et la génération des déchets sur un horizon souhaité et d'autre part sur la conception des installations de transfert, un programme de recyclage, le choix des technologies de traitement et de valorisation le mieux adapté aux spécificités du déchet de la région considérée. Les modèles existants de planification de systèmes de gestion vont de modèles simples, de calcul de coûts à des modèles plus complexes qui sélectionnent les technologies du système, les capacités et les emplacements des installations pour répondre à un ensemble de contraintes au coût minimum dans le respect des objectifs sociaux, environnementaux, techniques et politiques. Le cours débutera par une introduction générale sur les problématiques liées à la gestion des déchets avec un état de l'art sur la modélisation mathématique dans ce domaine. Ensuite, tout en introduisant les outils mathématiques utilisés, nous présenterons dans un premier temps, des modèles économiques d'optimisation dynamique et de contrôle optimal pour maximiser des rendements, minimiser des coûts ou optimiser le bien être. Nous proposerons, dans un deuxième temps, un modèle descriptif de la dynamique biologique au sein des lixivats, un modèle de collecte basé sur de la PLM, des modèles Gris de prévision des quantités de déchets et du biogaz extraits ainsi qu'un modèle statistique de saisonnalité des flux des déchets.

Cours 2 : Modélisation des Transferts en Milieux Poreux dans le contexte Stockage de déchets et Compostage

Michel Quintard

Directeur de Recherche Emerite au CNRS,
Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse IMFT. Université de Toulouse, France
Médaille de bronze du C.N.R.S. 1984.

Prix Coron-Thévenet décerné par l'Académie des Sciences de Paris 1994.

Chevalier de la Légion d'Honneur (pour l'action en tant que Pdt du CS de l'IRSN) juillet 2009

Présidence InterPore (2019-2024)

E-mail : michel.quintard@imft.fr

Résumé du cours

Le cours a pour objectif de présenter, dans un contexte multi-échelle principalement ar-

ticulé autour de la problématique de la gestion des déchets ménagers (stockage, compostage, ...), les modèles macroscopiques associés aux principaux mécanismes de transport en milieu poreux. Dans un premier temps on présente la problématique multi-échelle pore/Darcy/Grande échelle dans le contexte d'un stockage de déchet et d'une installation de compostage. Le modèle conceptuel à l'échelle du pore fait apparaître plusieurs phases (solide inerte, solide biodégradable, biofilm, eau, gaz) et de nombreux constituants. Après une discussion de la question de la séparation des échelles et de l'émergence de modèles macroscopiques à l'échelle de Darcy, l'introduction de variables macroscopiques par diverses méthodes est abordée, avec une illustration particulière se basant sur des moyennes spatiales. Un cas simple d'une équation de diffusion avec un coefficient de diffusion hétérogène est introduit de façon à montrer le lien entre équations microscopiques et macroscopiques et la notion d'équation et de propriété de transport effectives. Par la suite, plusieurs mécanismes élémentaires de transport sont abordés.

Cours 3 : Freefem ++

Frédéric Hecht

Professeur UMPC, Sorbonne Universités, France.

Laboratoire Jacques-Louis Lions Membre de l'équipe Alpines INRIA , Paris-Rocquencourt

Directeur adjoint Fédération de recherche mathématiques Paris centre Lauréat du Prix de la FONDATION D'ENTREPRISE EADS (Sciences et Ingénierie) 2013 décerné par l'académie de sciences.

Lauréat du premier prix en 1989 du concours IBM en calcul numérique intensif 3 pour la génération automatique de maillage tridimensionnel.

E-mail : frederic.hecht@sorbonne-universite.fr

Résumé du cours

FreeFem++ is a (PDE) Partial Differential Equation solver. It has its own language. freefem scripts can solve multiphysics non linear systems in 2D and 3D and couple ODE/PDE. Problems involving PDE (2d, 3d) from several branches of physics such as fluid-structure interactions require interpolations of data on several meshes and their manipulation within one program. FreeFem++ includes a fast 2d-tree-based interpolation algorithm and a language for the manipulation of data on multiple meshes (as a follow up of bamg (now a part of FreeFem++). FreeFem++ is written in C++ and the FreeFem++ language is a C++ idiom. It runs on Macs, Windows, Unix machines. FreeFem++ replaces the older freefem and freefem+.

Cours 4 : Introduction to finite volume methods for environmental applications

Elena Vázquez-Cendón,

Université de Santiago de Compostela, Espagne

Coordonnateur général du Master en mathématiques industrielles (www.m2i.es)

Doyenne de la faculté de mathématiques de l'USC depuis le 16 juin 2017

E-mail elena.vazquez.cendon@usc.es

Résumé du cours

Finite volume methods are nowadays routinely used in numerous applications and by a broad multidisciplinary scientific community. The main aim of this course is to communicate this important tool to students involving in the training of students in different science and technology fields in which numerical methods for partial differential equations are used. The selection of contents is based on the author's experience giving PhD and master courses indifferent universities. The introduction of new concepts and numerical methods go together with simple exercises, examples and applications that contribute to reinforce them. In addition, some of them involve the execution of some MATLAB codes. The initial knowledge of these graduate students is very different; with this in mind the author aims to promote an understanding of common terminology with a balance between mathematical rigor and physical intuition that characterizes the origin of the methods. Parts 1 and 2 of this course aims to be a first contact with finite volume methods trying, once studied, to follow more specific bibliographical references and use of commercial programs or open source software within the framework of Computational Fluid Dynamics(CFD). Finally, in part 3 we present problems solved using finite volume methods. In particular the IBER model(<http://iberaula.es/web/index.php>) is a two-dimensional mathematical model for the simulation of free surface flow in rivers and estuaries.

Cours 5 : Modélisation mathématique de la croissance d'un biofilm

Linda El Alaoui

Maître de conférences à l'Université Paris 13, Villetaneuse France

E-mail : elalaoui@math.univ-paris13.fr

Résumé du cours

Un biofilm est une communauté de micro-organismes (bactéries, champignons, algues, protozoaires), adhérant entre eux et à une surface évoluant généralement dans des milieux aqueux ou exposés à l'humidité. Les biofilms se développent aussi bien sur des surfaces minérales, organiques qu'industrielles. Ces derniers sont bénéfiques lorsqu'ils participent au renouvellement de l'écosystème. Certains biofilms bactériens, par contre, représentent une menace pour la santé humaine, notamment en milieu hospitalier puisqu'ils peuvent être à l'origine de maladies nosocomiales. Dans ce cours nous nous intéresserons à la modélisation de la croissance de biofilms bactériens par un système d'équations aux dérivées partielles non linéaires avec interface. Puis, nous étudierons une approximation de ce modèle par une méthode d'éléments finis étendus permettant de prendre en compte l'interface entre le biofilm et son environnement. Enfin, nous aborderons la mise en oeuvre informatique de cette méthode.

Cours 6 : Des modèles simples pour spatialiser les systèmes biologiques

Jérôme Harmand

Directeur de recherche à l'INRA au Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (LBE-INRA) à Narbonne (France).

Coordinateur de l'équipe SAMI "Système, Analyse, Modélisation, Informatique"

E-mail : jerome.harmand@inra.fr

Alain Rapaport

Directeur de recherche en mathématiques appliquées à l'unité de recherche MISTEA

Université de Montpellier,
INRA, Montpellier SupAgro, Montpellier (France)

E-mail : alain.rapaport@inra.fr

Résumé du cours

L'optimisation des procédés biologiques utilisés pour traiter et/ou valoriser la pollution posent des enjeux importants à l'échelle industrielle. Si la plupart de ces procédés peuvent être considérés comme (spatialement) homogènes à l'échelle du laboratoire, les systèmes industriels - ou naturels - sont le plus souvent hétérogènes. Un enjeu est de comprendre le rôle de la spatialisation sur les performances de ces procédés, et d'optimiser la conception des systèmes opérationnels. Le couplage biologie/hydrodynamique amène des caractéristiques particulières : certaines hétérogénéités ont des effets bénéfiques pour le rendement ou la stabilité des écosystèmes, alors que d'autres peuvent être pénalisantes. Il peut être alors intéressant de chercher à les imposer lors de la conception des systèmes plutôt que de les subir. L'intérêt pour la modélisation de procédés biologiques hétérogènes ne s'en trouve que renforcée. Nous étudions une représentation mathématique de ces hétérogénéités à l'aide de compartiments homogènes interconnectés, sous un angle "entrées-sorties". Ce type de représentation n'est pas aussi fidèle que peuvent l'être des modèles à base de systèmes d'équations aux dérivées partielles pour décrire les répartitions spatio-temporelles des différents constituants à l'intérieur mêmes des bioréacteurs, mais peut être une bonne représentation du comportement "entrées-sorties" des procédés, ce qui permet d'utiliser la théorie des systèmes et du contrôle (automatique, commande optimale). L'objectif de ce cours est de monter cette approche, les résultats qu'elle permet d'obtenir et de les illustrer sur plusieurs cas de figures (conception optimale, traitement de la pollution dans un lac, recirculation du lixiviat dans une décharge....)

Références utiles pour le cours :

1. Harmand, J., C. Lobry, A. Rapaport et T. Sari (2017) *La modélisation du chémostat*, ISTE Editions, 220 pages.
2. Harmand, J., C. Lobry, A. Rapaport et T. Sari (2017) *The Chemostat : Mathematical Theory of Microorganism Cultures*, Wiley-ISTE Editions, 240 pages.

Cours 7 : Modèles stochastiques de l'adaptation biologique

Sylvie Méléard

Professeure à l'Ecole Polytechnique, Palaiseau, France

Porteur de la Chaire "Modélisation Mathématique et Biodiversité" (Véolia Environnement, Muséum National d'Histoire Naturelle, Ecole Polytechnique) "

Responsable de l'équipe PEIPS au CMAP : Population evolution and interacting particle systems.

Responsable du Master Mathématiques et Sciences du Vivant

Membre du comité de pilotage de la Fondation de Mathématiques Jacques Hadamard FMJH

Editeur en chef de "Stochastic processes and applications"

Editeuse associée de "Annals of Applied Probability", "Mathematics in Action", "Bernoulli", "Stochastics Partial Differential Equations", "Journal de l'Ecole Polytechnique", "Mathématiques & applications" SMAI-Springer. "

Membre du conseil d'Ecole de TelecomParisTech

E-mail : sylvie.meleard@polytechnique.edu

Résumé du cours :

Dans ce cours, nous présentons un modèle stochastique de population qui prend en compte les comportements individuels. Plus précisément c'est un processus de naissance et mort en temps continu avec mutation et compétition. Les individus sont caractérisés par un paramètre phénotypique héritable par reproduction sauf en cas de mutation où un nouveau type peut apparaître, créant ainsi de la variabilité dans la population. La compétition entre les individus est liée au partage des ressources et peut induire la sélection des individus les mieux adaptés. Ces mécanismes d'hérédité, mutation et sélection résument la théorie de l'évolution darwinienne. A partir de ce modèle, nous étudierons des approximations en grande population et montrerons les liens avec les modèles classiques de dynamique ou de génétique des populations. Nous mettrons également en évidence les échelles de temps évolutives permettant d'observer l'invasion et la fixation de mutants. A partir de ce modèle, nous pourrions également intégrer plus explicitement la dynamique des ressources. Nous montrerons comment ces modèles peuvent se décliner pour mieux comprendre l'adaptation des bactéries dans un milieu où les nutriments changent au cours du temps.

3.3 Emploi du temps

A l'exception de la première journée, les matinées et les après-midis comprenaient chacune deux cours séparés par une pause café de 30 minutes. Chaque séance a été dispensée avec 45 mn de cours et 30 minutes d'exercices. Les déjeuners se sont déroulés entre 12h30 à 14h. La journée se cultive par une séance de discussion et d'échange entre l'ensemble des participants. Celle du mercredi 10 juillet a été consacrée à une séance de poster des participants et qui a été particulièrement appréciée.

Une visite de la réserve naturelle Sidi-Boughaba et Mehdia a été organisée l'après midi du samedi 6 juillet. La journée du dimanche 7 juillet a été consacrée à la visite de la ville de Rabat. La soirée du Jeudi 11 juillet était une soirée Gala.

	Matin	Après midi
Me 3/7	Accueil/ouverture/N. El Khattabi	S. Méléard/N. El Khattabi/M. Quintard
Je 4/7	S. Méléard / N. El Khattabi	M. Quintard / S. Méléard
Ve 5/7	M. Quintard / S. Méléard	M. Quintard / N. El Khattabi
Sa 6/7	S. Méléard / M. Quintard	Visite Sidi-Boughaba-Mehdia
Di 7/7	Viste de Rabat	Viste de Rabat

	Matin	Après midi
Lu 8/7	F. hecht /N. El Khattabi	J. Harmand / F. hecht
Ma 9/7	L. El Alaoui /F. hecht	E. Vasquez / J. Harmand
Me 10/7	E. Vasquez / J. Harmand	E. Vasquez / F. hecht
Je 11/7	F. hecht / A. Rapaport	L. El Alaoui / E. Vasquez
Ve 12/7	A. Rapaport / E. Vasquez	A. Rapaport / L. El Alaoui
Sa 13/7	A. Rapaport / L. El Alaoui	

4 Les participant(e)s

Les participant(e)s sont essentiellement des doctorant(e)s, des post-doctorant(e)s et des jeunes chercheurs en mathématiques appliquées aux problèmes d'environnement issus de pays francophones.

Le site du CIMPA dédié aux candidatures non marocaines a reçu 85 demandes dont 57 ont été acceptés pour participer à l'école. Parmi ces derniers 16 candidat(e)s ont participé dont 13 financés par le CIMPA, 2 par le fond alloué par l'IMU et un à ses propres frais. Le site pour les candidateures marocaines et du Nord a reçu 140 demandes dont 37 ont été acceptées et ont pris part à cette école. L'ensemble des participant(e)s, s'est élevé à 61, issus des universités des pays suivants

1. l'Algérie,
2. le Benin,
3. le Cameroun,
4. le Congo,
5. la Cote d'Ivoire,
6. l'Espagne,
7. la France,
8. le Maroc (5 villes),
9. la Mauritanie,
10. le Sénégal,
11. la Tunisie.

LISTE DES PARTICIPANT(E)S

N	Nom et Prénom	genre	Université
1	Abaali Mostafa (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
2	Abdelhak Ahmed	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
3	Aboubakar Hamadjam	H	UIT-University of Ngaoundere, Cameroon
4	Alla Abdellah	H	Université Med V , Rabat, Maroc
5	Allam Brahim (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
6	Amattouch Mohamed	H	Univ. Abdelmalek Essadi, Tanger, Maroc
7	Bahri Mustapha (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. My Ismail, Meknès, Maroc
8	Bellalat Sara (<i>Doctorante</i>)	F	Univ. Med V, Rabat, Maroc
9	Benabdallah Mohsine	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
10	Blal Khallih	H	I.S.C.A.E., Mauritanie
11	Benatia Nawfel (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
12	Bouibrine Yousra (<i>Doctorante</i>)	F	Univ. Med V, Rabat, Maroc
13	Boulahna Ismail (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Med V, Maroc
14	Bourza Mohamed (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
15	Bouزيد Leila	F	Univ. de Mostaganem, Algérie
16	Cherkaoui Dekkaki Othman (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Med V, Rabat, Maroc

N	Nom et Prénom	Genre	Université
17	Chaira Abdellatif	H	Univ. My Ismail, Meknès, Maroc
18	Chitour Yacine (<i>Rprésentant CIMPA</i>)	H	Univ. Paris-Sud 11, France
19	Dali Youcef Manel (<i>Doctorante</i>)	F	INRA- Narbone, France
20	El Alaoui Linda (<i>Professeure invitée</i>)	F	Univ. Paris 13, France
21	El Amerany Khadija (<i>Doctorante</i>)	F	Univ.Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
22	El Bhih Amine (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Hassan II, Casablanca, Maroc
23	El Gourari Aiad	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
24	El Hassouni Souad	F	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
25	EL Hamra Fatima Ez-Zahra (<i>Doctorante</i>)	F	UM6P, Benguerir, Maroc
26	El Khattabi Noha (<i>Professeure invitée</i>)	F	Univ. Med V, Rabt, Maroc
27	Elemine Vall Med Saad Bouh	H	Univ. Nouakchott Al-Aasriya, Mauritanie
28	Ezzine Faten	F	Faculté des Sciences de Sfax, Tunisie
29	Ezzine Abdelmajid (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Med V, Rabat, Maroc
30	Fosta Mbogne David Jaures	H	Univ. of Ngaoundere,Cameroon
31	Godem Jean-Jacques Narcis (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Abomey Calavi, Benin
32	Guitanou Anas (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Abdelmalek Essadi, Tanger, Maroc
33	Halim Yacine	H	Univ. Abdelhafid Boussouf Mila, Algérie
34	Hamou Maamar Maghnia	F	Univ. Mostaganem, Algérie
35	Hanaki Mohammed (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Ibn Tofaïl, enitra, Maroc
36	Harmand Jérôme (<i>Professeur invité</i>)	H	INRA- Narbone, France
37	Hecht Frédéric (<i>Professeur invité</i>)	H	Univ. Paris La Sorbone, France
38	Igouzal Mohamed	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
39	Jabrane Hamza (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
40	Kaicer Mohamed	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
41	Kicha Abir	F	Univ. de Sfax, Tunisie
42	Kouakou kouadio Remi	H	Univ. Nangui Abrogoua, côte d'Ivoire
43	Maslouhi Abdellatif	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
44	Melzi Imane (<i>Doctorante</i>)	F	Ecole Normale Sup. Kouba, Algérie
45	Méléard Sylvie (<i>Professeure invitée</i>)	F	Ecole Polytechnique Palaiseau,France
46	Mghazli Zoubida	F	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
47	Nabti Abderrazak	H	Univ. de Tebessa, Algerie
48	Naji Ilyas	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
49	Ouchtout Salih (<i>Doctorant</i>)	H	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
50	Quintard Michel (<i>Professeur invité</i>)	H	I.M.F de Toulouse, France
51	Raïssi Nadia	F	Univ. Med V, Rabat, Maroc
52	Rapaport Alain (<i>Professeur invité</i>)	H	Univ. de Montpellier, France
53	Rhoudaf Mohammed	H	Univ. My Ismail, Meknès, Maroc
54	Sabir Soukaina	F	Univ. Med V, Rabat, Maroc
55	Sam Serigne Fallou	H	Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal
56	Slimani Soumia (<i>Doctorante</i>)	F	E.M.I., Rabat,Maroc
57	Talbi Ibtissam	F	Univ. Frères Mentouri, Algérie
58	Tchouanti Fotsa Josué (<i>Doctorant</i>)	H	Ecole Polytechnique Palaiseau, France
59	Tenga Patrick	H	Univ. Nouveaux Horizons, Congo
60	Touhami Soumia (<i>Doctorante</i>)	F	Univ.My Ismail, Méknès, Maroc
61	Vazquez-Cendon Elena (<i>Professeure invitée</i>)	F	Univ.Santiago de Compostella, Espagne