

Programme de l'école CIMPA :
Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Du 24 Septembre au 28 Septembre 2022

Matin

	Jour 1 Samedi 24/09/ 22	Jour 2 Dimanche 25/09/ 22	Jour 3 Lundi 26/09/22	Jour 4 Mardi 27/09/22	Jour 5 Mercredi 28/09/22
8:30 à 9:15	Ouverture	Conf 1 Optimizing bacterial resource allocation : Metabolite production in bioreactors J-L Gouzé	8:30 à 10h Cours 1 Relations ressources--consommateurs : Contexte et problématique J. Harmand	Conf 2 Optimizing bacterial resource allocation : Metabolite production in bioreactors J-L Gouzé	8:30 à 10h Cours 6 Etude mathématique de quelques modèles biologiques du chémostat N. Abdellatif
9:30 à 11:00	Cours 1 Relations ressources--consommateurs : Contexte et problématique J. Harmand	Cours 2 Commensalisme et syntrophie T. Sari	10:15 à 11:15 Cours 3 Sur-rendement dans le chémostat à l'aide de commande périodique A.Rapaport	Cours 4 Les modèles du chémostat considérés du point de vue épidémiologique C. Lobry	10:15 à 11:15 Cours 6 Etude mathématique de quelques modèles biologiques du chémostat N. Abdellatif
11:15 à 12:45	Cours 1 Relations ressources--consommateurs : Contexte et problématique J. Harmand	Cours 3 Sur-rendement dans le chémostat à l'aide de commande périodique A.Rapaport	11:30 à 13:00 Cours 2 Commensalisme et syntrophie T. Sari	Cours 5 Oscillations on ordinary differential equations of mixed type S. Pinelas	11:30 à 13:00 Cours 5 Oscillations on ordinary differential equations of mixed type S. Pinelas
Pause déjeuner					

Programme de l'école CIMPA :
Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Du 24 Septembre au 28 Septembre 2022
Après-midi

	Jour 1 Samedi 24/09/ 22	Jour 2 Dimanche 25/09/ 22	Jour 3 Lundi 26/09/22	Jour 4 Mardi 27/09/22	Jour 5 Mercredi 28/09/22
14:00 à 15:30	<p>Cours 2 Commensalisme et syntrophie</p> <p>T. Sari</p>	<p>Cours 3 Sur-rendement dans le chémostat à l'aide de commande périodique</p> <p>A.Rapaport</p>	<p>14:30 à 16:00</p> <p>Cours 2 14H30 16H Commensalisme et syntrophie</p>	Temps libre	<p>Cours 5 Oscillations on ordinary differential equations of mixed type</p> <p>S. Pinelas</p>
15:45 à 17:15	<p>TP/TD 1 Modélisation de processus biologiques utilisant l'identification des paramètres à partir des données réelles</p> <p>R. Fekih Salem</p>	<p>TP/TD 2 Modélisation de processus biologiques utilisant l'identification des paramètres à partir des données réelles</p> <p>R. Fekih Salem</p>	<p>T. Sari</p>		<p>TP/TD 4 Etude numérique de quelques modèles biologiques du chémostat</p> <p>R. Fekih Salem</p>

Programme de l'école CIMPA :
Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Du 29 Septembre au 03 Octobre 2022
Matin

	Jour 6 Jeudi 29 Sept 22	Jour 7 Vendredi 30 Sept 22	Jour 8 Samedi 01 Oct 22	Jour 9 Dimanche 02 Oct 22	Jour 10 Lundi 03 Oct 22
8:30 à 9:15	Conf 4 Optimisation du fonctionnement du bioréacteur à membrane pour le traitement des eaux usées F. Ellouze	Conf 3 Delay-Differential Equation Model for Covid 19 E. Moulaye Ely	8:30-10:00 Cours 9 Modélisation mathématique pour la gestion durable des agroécosystèmes S. Touzeau	8:30-10:00 Cours 8 Mathematical and statistical methods for dynamic models in agriculture S. Selmane	8:30-9:30 Cours 7 Modélisation mathématique de la gestion des ressources naturelles N. Raissi
9:30 à 11:00	Workshop : Les écoulements en milieux poreux R. Bouhlila	Cours 4 Les modèles du chémostat considérés du point de vue épidémiologique C. Lobry	10:15-11:45 Cours 4 Les modèles du chémostat considérés du point de vue épidémiologique C. Lobry	10:15-11:15 Cours 7 Modélisation mathématique de la gestion des ressources naturelles N. Raissi	9:45-10:45 Cours 7 Modélisation mathématique de la gestion des ressources naturelles N. El Khattabi
11:15 à 12:45	Transport de solutés en milieux poreux L. Guellouz	Cours 5 Oscillations on ordinary differential equations of mixed type S. Pinelas	12:00-13:30 Cours 8 Mathematical and statistical methods for dynamic models in agriculture S. Selmane	11:30-12:30 Cours 7 Modélisation mathématique de la gestion des ressources naturelles N. El Khattabi	11:00-12:30 Cours 9 Modélisation mathématique pour la gestion durable des agroécosystèmes S. Touzeau
Pause déjeuner					

Programme de l'école CIMPA :
Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Du 29 Septembre au 03 Octobre 2022
Après-midi

	Jour 6 Jeudi 29 Sept 22	Jour 7 Vendredi 30 Sept 22	Jour 8 Samedi 01 Oct 22	Jour 9 Dimanche 02 Oct 22	Jour 10 Lundi 03 Oct 22
14:00 à 15:30	Atelier d'application Hydrus 1D/2D L. Guellouz/ N. Zemni	Cours 8 Mathematical and statistical methods for dynamic models in agriculture S. Selmane	Temps libre	Cours 9 Modélisation mathématique pour la gestion durable des agroécosystèmes S. Touzeau	TP/TD 6 Modélisation mathématique pour la gestion durable des agroécosystèmes S. Touzeau
15:45 à 17:15	Atelier d'application Hydrus 1D/2D L. Guellouz/ N. Zemni	TP/TD 4 Etude numérique de quelques modèles biologiques du chémostat R. Fekih Salem		TP/TD 5 Computer simulations with R Package ZeBook S. Selmane	Clôture

Programme de l'école CIMPA :
Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Cours et Conférences

Cours 1, 2, 3,4

Titre : Relations ressources-consommateurs. Du modèle du chémostat aux modèles d'épidémiologie

Cours 1

Titre : Contexte et problématique

Niveau : Cours Introductif

Durée : 3*1h30

NOM et Prénom : HARMAND Jérôme

Genre: M

Institution et fonction : INRAE, Univ Montpellier, Directeur de Recherche

Pays: France

Résumé du cours : Les biotechnologies sont désormais utilisées dans tous les secteurs de l'activité humaine. Leurs cœurs fonctionnels, les écosystèmes microbiens, sont des systèmes complexes dont les propriétés n'en finissent pas d'étonner qui prend le temps de les observer. Les concepts pronés par la bioéconomie - ou économie circulaire - doivent nous permettre de relever les défis toujours plus grands qui se dressent devant nous. Ce premier cours s'attachera à décrypter la diversité des systèmes biotechnologiques - aussi bien artificiels que naturels - que l'homme tente de maîtriser. Nous proposerons un état de l'art de leur modélisation et présenterons les grands défis et enjeux relativement aux techniques de l'ingénieur, notamment de l'automatique, les mathématiques appliquées et les approches numériques au sens large.

Ce premier cours se structurera selon les axes suivants :

1. Contexte et enjeux des biotechnologies, défis et enjeux sociétaux
2. De la nécessité de modéliser : rôle du modèle du chémostat
3. Exemples et applications
4. Des modèles plus complexes

Cours 2

Titre : Commensalisme et syntrophie

Niveau : Cours introductif

Programme de l'école CIMPA : Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Durée : 4*1h30

NOM et Prénom : SARI Tewfik

Genre: M

Institution et fonction : INRAE, Univ Montpellier, Directeur de Recherche

Pays: France

Résumé du cours : Dans le cours précédent, des modèles simples, éventuellement faisant intervenir 'plusieurs étapes biologiques' - chaque étape étant constituée d'un couple ressource/consommateur ou substrat/biomasse - ont été proposés. Dans la première partie de ce cours on s'intéresse à leurs propriétés mathématiques. Mais il s'agit de modèles présentant une 'structure cascade' où des modèles de dimension $2n$ peuvent être étudiés comme n modèles de dimension 2 où la sortie d'une étape est l'entrée d'une autre. On s'intéresse donc ensuite aux systèmes dits 'syntrophes' dans lesquels la croissance du microorganisme de la première étape dépend non seulement du premier substrat mais également du produit, substrat de la seconde étape. On étudie donc un système de dimension 4. On étudie ensuite un certain d'extension de ces modèles. Le cours s'organise comme suit :

1. Introduction au modèle du chémostat. Principe d'exclusion compétitive
2. Modèle à plusieurs étapes : le Commensalisme et la syntrophie permettent la coexistence des espèces
3. L'inhibition comme facteur de coexistence
4. Autre mécanismes de coexistence : densité dépendance des fonctions de croissance, compétition intra et interspécifiques, entrées périodiques, floculation, chaînes trophiques. Modèles plus complexes

Cours 3

Titre : Sur-rendement dans le chémostat à l'aide de commande périodique

Niveau : Cours Avancé

Durée : 4h

NOM et Prénom : RAPAPORT Alain

Genre: M

Institution et fonction : INRAE, Univ Montpellier, Directeur de Recherche

Pays: France

Programme de l'école CIMPA : Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Résumé du cours : Les cours précédents s'intéressent surtout aux propriétés asymptotiques des modèles de bioprocédés et donc soumis à des entrées constantes. Dans ce cours, on s'intéressera à des systèmes soumis à des entrées variant dans le temps.

En particulier, on étudiera le comportement des solutions du modèle du chémostat lorsque l'entrée est soumise à un régime périodique, en revisitant les résultats connus pour une entrée constante. En particulier, on s'intéressera à établir des comparaisons pour des solutions périodiques :

1. en termes de performance moyenne sur une période
2. en termes de coexistence entre espèces lorsque le Principe d'Exclusion Compétitive s'applique pour une entrée constante.

Ces questions sont motivées par la prise en compte de fluctuations environnementales (exemple: rythme jour/nuit pour des micro-algues), mais également en termes d'optimisation de conditions opératoires pour des applications industrielles.

Cours 4

Titre : Les modèles du chémostat considérés du point de vue épidémiologique

Niveau : Cours Avancé

Durée : 4*1h30

NOM et Prénom : CLAUDE Lobry

Genre: M

Institution et fonction : INRAE, Univ Montpellier, Directeur de Recherche

Pays: France

Résumé du cours : En écologie théorique, on désigne par relation ressource-consommateur (ou proie-prédateur) la relation dans laquelle une espèce, le consommateur, 'absorbe' une autre espèce pour s'en nourrir. En épidémiologie la relation est différente en ce sens que l'agent pathogène ne détruit pas nécessairement l'hôte qu'il infecte. Cette différence biologique essentielle ne se retrouve pas nécessairement dans les modèles. Par exemple, comme il aura été expliqué dans la première partie de ce cours, dans le cas de bactéries qui consomment un substrat on écrira, dans un chémostat:

$dx(t)/dt = \mu s(t) x(t) - D x(t)$ où $s(t)$ est la quantité de substrat à l'instant t et $x(t)$ la quantité de bactéries alors que dans le cas d'un virus qui contamine des humains on écrira :

$dI(t)/dt = \beta S(t) I(t) - \gamma I(t)$ où, cette fois, $I(t)$ est la quantité d'infectés et $S(t)$ celle des susceptibles (d'être infectés). Ainsi les systèmes différentiels qui interviennent dans divers aspects de la théorie du chémostat (compétition, réseaux de réacteur, etc...) se retrouvent dans certains

Programme de l'école CIMPA : Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

modèles épidémiologiques. Ce cours explorera quelques analogies et différences entre les deux domaines, en partant des théories les plus anciennes des années 1920 (Lotka-Volterra et Kermack-McKendrick) pour aller vers des modèles plus récents (Arditi-Ginzburg).

Cours 5

Titre : Oscillations on ordinary differential equations of mixed type

Niveau : Cours Avancé

Durée : 4*1h30

NOM et Prénom : PINELAS Sandra

Genre: F

Institution et fonction : Departamento de Ciências Exatas e Engenharia, Academia Militar

Pays: Portugal

Résumé du cours : On this mini-course we will study several ordinary differential equations and systems of mixed type, analysing the oscillatory and the asymptotic behaviour. Some important applications will be introduced.

Cours 6

Titre : Etude mathématique et numérique de quelques modèles biologiques du Chémostat.

Niveau : Cours Avancé

Durée : 2*1h30

NOM et Prénom : ABDELLATIF Nahla

Genre: F

Institution et fonction : ENSI-Université de Manouba - Maître de Conférences

Pays: Tunisie

Résumé du cours : En liaison avec les cours 1, 2, 3 et 4, nous considérons un modèle de digestion anaérobie simple où nous faisons l'analyse mathématique des équilibres et de la stabilité. Nous présenterons des diagrammes opératoires et nous proposerons quelques extensions du modèle.

Ce cours est complété par des TP sur machine avec le logiciel Scilab.

Programme de l'école CIMPA :
Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Cours 7

Titre : Modélisation mathématique de la gestion des ressources naturelles

Niveau : Cours Avancé

Durée : 4*1h30

NOM et Prénom : RAISSI Nadia et KHATTABI Noha

Genre: F

Institution et fonction : Université Mohammed V de Rabat, Professeur

Pays: Maroc

Résumé du cours : Le cadre conceptuel des modèles à l'étude fera l'objet de la première partie de ce cours. Il s'agit de l'analyse et le contrôle des systèmes dynamiques. La théorie du contrôle se trouve au centre de cette approche, après un aperçu de ses fondements, j'aborderai les concepts d'invariance qui interviennent dans la seconde partie du cours. Deux applications seront présentées : à savoir la modélisation bioéconomique de la gestion des pêches et la modélisation de la valorisation des déchets ménagers. Une approche quantitative permet au moyen de simulations numériques de confirmer la robustesse et la fiabilité des modèles à l'étude.

Cours 8

Titre: Mathematical and statistical methods for dynamic models in agriculture

Niveau : Cours Avancé

Durée : 3*1h30

NOM et Prénom : SELMANE Schehrazad

Genre: F

Institution et fonction : University of Sciences and Technology Houari Boumediene, Professeur

Pays: Algérie

Résumé du cours : In this mini-course, we will introduce the basics of dynamic systems as well as the statistical concepts in modeling. Numerous real-world examples from agriculture will be given. Description of dynamic system simulation processes and computer simulation on the presented examples using R package ZeBook will be presented.

Programme de l'école CIMPA : Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

1. Introduction to dynamic system models
2. Developing dynamic system models
3. A review of statistical concepts important in modeling
4. A primer on the R programming language and computer simulation
5. Brief history of agricultural systems modeling
6. Real-world examples of agricultural system models
7. An Overview of the R Package ZeBook
8. Computer simulation on the presented examples

Cours 9

Titre : Modélisation mathématique pour la gestion durable des agroécosystèmes

Niveau : Cours Avancé

Durée : 3*1h30

NOM et Prénom : TOUZEAU Suzanne

Genre: F

Institution et fonction : Institut Sophia Agrobiotec, INRAE, Université Côte d'Azur, CNRS & Inria Sophia Antipolis Méditerranée, Chargée de Recherche

Pays: France

Résumé du cours : Ravageurs et pathogènes engendrent des pertes considérables sur les cultures vivrières et de rente dans le monde entier et menacent en outre la sécurité alimentaire. Leur contrôle est donc un enjeu majeur. Ce contrôle repose souvent sur l'emploi de pesticides, dont l'impact financier, environnemental et sanitaire ne peut être négligé, et dont l'efficacité est parfois limitée. Des méthodes de lutte alternatives doivent donc être explorées, telles que la mise en place de pratiques culturales défavorables aux pathogènes, différentes techniques de biocontrôle et/ou l'utilisation de variétés résistantes. Pour aider à concevoir des stratégies efficaces et durables, les modèles mathématiques sont

Programme de l'école CIMPA : Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

particulièrement pertinents, car les expériences de terrain sont longues et coûteuses. Les modèles épidémiologiques classiques sont alors adaptés pour représenter les interactions plantes-parasites et leurs spécificités (par exemple, culture pérenne ou saisonnière, dispersion des ravageurs et inoculum). Ce cours abordera tout d'abord les modèles épidémiologiques classiques type « SIR » (sensible-infecté-retiré). Puis il se concentrera sur la construction de modèles adaptés à divers pathosystèmes, ainsi que sur les études mathématiques ou numériques permettant de contrôler durablement les pathogènes. Il s'appuiera sur des exemples concrets, comme la gestion des résistances variétales pour lutter contre les nématodes phytoparasites des cultures maraîchères ou le phoma du colza, l'introduction de jachères ou de cultures mauvais-hôtes pour limiter l'infestation de nématodes dans les plantations de bananes, différentes méthodes de lutte contre les scolytes ou la rouille du caféier, etc. Il comprendra également des études de cas et/ou des sessions pratiques.

Séances de travaux pratiques

TD/TP 1 et 2 :

Titre : Modélisation de processus biologiques utilisant l'identification des paramètres à partir des données réelles

Durée : 2*1h30

NOM et Prénom : FEKIH-SALEM Radhouane

Genre: M

Institution et fonction: ISIMa, Univ. Monastir, Maître Assistant

Pays: Tunisie

Contenu : Dans ces Travaux Pratiques, on étudie la structure des modèles macroscopiques des bioprocédés à partir des schémas réactionnels. Pour l'identifiabilité pratique, on présente la théorie d'estimation des paramètres (approche du maximum de vraisemblance) et les procédures d'analyse des incertitudes des modèles (au niveau paramétrique et au niveau des variables simulées). En simulation, on utilise le logiciel IDEAS afin de générer un code d'identification qui sera développé par la suite en MATLAB.

Programme de l'école CIMPA :
Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

TD/TP 3 et 4 :

Titre : Etude numérique de quelques modèles biologiques du chémostat

Durée : 2* 1h30

NOM et Prénom : FEKIH-SALEM Radhouane

Genre: M

Institution et fonction: ISIMa, Univ. Monastir, Maître Assistant

Pays: Tunisie

Contenu : Ce TP a pour objet l'illustration des résultats théoriques présentés pendant le cours 6, ainsi que la construction des diagrammes opératoires de modèles simples.

TD/TP 6

Titre : Computer simulations with R Package ZeBook.

Durée : 1h30

NOM et Prénom : SELMANE Schehrazad

Genre: F

Institution et fonction: University of Sciences and Technology Houari Boumediene, Professeur

Pays: Algérie

Contenu: This session gives an overview of the R Package ZeBook, in view of computer simulations of some agricultural system models described in course 8.

TD/TP 7

Titre : Modélisation mathématique pour la gestion durable des agroécosystèmes.

Durée : 1h30

NOM : TOUZEAU

Programme de l'école CIMPA : Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Prénom : Suzanne

Genre : F

Institution et fonction : Institut Sophia Agrobiotech, INRAE, Université Côte d'Azur, CNRS
& Inria Sophia Antipolis Méditerranée - Chercheure

Pays : France

Contenu: Cette session est consacrée à des études de cas et des sessions pratiques en application au cours 9.

Activités participatives

Activité 1

Description : Conférence (Conf 1 et 2)

Durée : 2*45 mn

NOM et Prénom : GOUZE Jean-Luc, INRIA (France)- Directeur de Recherche

Titre : Optimizing bacterial resource allocation: metabolite production in bioreactors

Résumé : We show novel results addressing the problem of synthesizing a metabolite of interest in continuous bioreactors through resource allocation control. Our approach is based on a coarse-grained self-replicator dynamical model that accounts for microbial culture growth inside the bioreactor, and incorporates a synthetic growth switch that allows to externally modify the RNA polymerase concentration of the bacterial population, thus disrupting the natural process of allocation of available resources in bacteria. Further on, we study its asymptotic behavior using dynamical systems theory, and we provide conditions for the persistence of the bacterial population. We aim to maximize the synthesis of the metabolite of interest during a fixed interval of time in terms of the resource allocation decision. The latter is formulated as an Optimal Control Problem which is then solved through Pontryagin's Maximum Principle. We analyze the solution of the problem and propose a sub-optimal control strategy given by a constant allocation decision, which eventually takes the system to the optimal steady-state production regime. On this basis, we study and compare the two most significant steady-state production objectives in continuous bioreactors: biomass production and metabolite production. For this last purpose, and in addition to the allocation parameter, we control the dilution rate of the bioreactor, and we analyze the results through a numerical approach. The resulting two-dimensional optimization problem is defined in terms of Michaelis-Menten kinetics, and takes into account the constraints for the existence of the equilibrium of interest.

Programme de l'école CIMPA : Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Activité 2

Description : Conférence (Conf 3)

Durée : 45mn

NOM et Prénom : MOULAYE ELY Elkhomeini, IUP, Université Nouakchott (Mauritanie), Maître de Conférences

Titre: Delay-Differential Equation Model for Covid 19

Résumé: A mathematical model based on delay-differential equations is introduced to understand the behavior of the spread of Covid 19, and compared to two currently used differential equation models. Our new models can account to understand oscillatory behavior, the nature of fluctuations and to find an outcome important for a global stability of the model.

Equilibrium points are calculated for both models and examples of various types of growth curves are given. An introduction on the delay differential equations, and some examples of different fields of application will be presented.

Activité 3

Description : Conférence (Conf 4)

Durée : 45mn

NOM et Prénom : ELLOUZE Fatma, INSAT, Université de Carthage - Maître assistante

Titre: Optimisation de la stratégie de fonctionnement du bioréacteur à membrane pour le traitement des eaux usées

Résumé: Le bioréacteur à membrane (BRM) est une technologie qui a maintenant prouvé son efficacité pour traiter efficacement les eaux usées et produire une eau de qualité. Cependant, comme tout procédé faisant intervenir des membranes, le colmatage est l'inconvénient majeur qu'il faut maîtriser afin d'éviter les pertes de performances et les surcoûts énergétiques.

Des études récentes (N. Kalboussi et al., 2018) basées sur des modèles prédictifs proposent des stratégies de fonctionnement (filtration /nettoyage) optimales pour contrôler le colmatage.

L'objectif de ce travail est de montrer comment ces approches récentes d'optimisation sur des BRM influent sur le traitement des eaux usées et de conclure quant à leurs efficacités sur le plan pratique en termes de qualité d'eau produite, productivité et consommation énergétique.

Programme de l'école CIMPA :
Vert numérique : Biologie mathématique et Ecologie théorique

Activité 4

Description : Workshop : « Irrigation intelligente avec des eaux saumâtres dans un contexte d'aridité ».

Durée : 3h

NOM et Prénom : BOUHLILA Rachida et GUELLOUZ Lamia - LMHE, ENIT (Tunisie).

Cours 1. Les écoulements en Milieux Poreux.

Cours 2. Transport de solutés en Milieux poreux.

Activité 5

Description : Atelier d'application sur Hydrus 1D/2D

Durée : 3h

NOM et Prénom : GUELLOUZ Lamia et Nessrine Zemni- LMHE, ENIT (Tunisie).