



# Descriptif des Modules - 6<sup>ème</sup> semestre Bachelor ès sciences en Biologie

Version du 8 décembre 2022

## Table des matières

<b>MODULE 4 DU 20 FEVRIER AU 21 MARS 2023</b> .....	<b>2</b>
ADVANCED MOLECULAR, CELLULAR AND DEVELOPMENTAL BIOLOGY .....	3
DE LA CLINIQUE A LA RECHERCHE... ET RETOUR ! .....	4
ÉCOLOGIE ET COMPORTEMENT .....	6
<b>MODULE 5 : DU 22 MARS AU 27 AVRIL 2023</b> .....	<b>8</b>
GENETICS AND GENOME EVOLUTION.....	9
PHYSIOLOGIE DES SYSTEMES COMPLEXES .....	10
THE DYNAMIC CELL .....	13
<b>MODULE 6 : DU 1<sup>ER</sup> MAI AU 1<sup>ER</sup> JUIN 2023</b> .....	<b>16</b>
BIODIVERSITÉ ET HABITATS .....	17
BIOTIC INTERACTIONS .....	18
TECHNIQUES D'INVESTIGATION FONCTIONNELLE .....	20

## Plan d'études – descriptif des Modules à choix du semestre 6

1 module à choisir dans le module 4

### Module 4 du 20 février au 21 mars 2023

Enseignements / Courses		Français /Anglais	C	E/S	TP	Responsable Intervenant(s)	Crédits ECTS
<b>Cours avancé de la biologie moléculaire, cellulaire et du développement / Advanced Molecular, Cellular and Developmental Biology</b> (effectif max. 36 pers.)							<b>Resp. : Margot Thome</b> <b>Lieu : Epalinges, Dorigny</b>
Bases moléculaires du cancer <i>Molecular Basis of Cancer</i>	A	16	-	16	Thome M., Julliard-Favre M.	9	
Cycle cellulaire, réplication et recombinaison de l'ADN <i>Cell Cycle, DNA Replication and Recombination</i>	A	12	-	-	Gruber S., Pelet S.		
Dégradation par le protéasome <i>Proteasome Degradation</i>	A	10	-	-	Staub O., Fankhauser C.		
Horloges circadiennes <i>Circadian Clocks</i>	A	5	-	-	Fankhauser C., Franken P., Legris M.		
Introduction à la lecture et présentation de la littérature scientifique <i>Introduction to Reading and Presentation of Scientific Literature</i>	A	1	-	-	Thome M.		
Régulation post-transcriptionnelle des gènes et maladies <i>Post-transcriptional Gene Regulation and Diseases</i>	A	6	-	-	Roignant J.-Y.		
Structuration des organismes <i>Body Patterning</i>	A	14	-	-	Benton R.	9	
Compréhension et interprétation de la littérature scientifique <i>Understanding &amp; Interpretation of Scientific Literature</i>	A	-	11	-	All teachers involved in the module		
<b>Total</b>		<b>64</b>	<b>11</b>	<b>16</b>			
<b>De la clinique à la recherche... et retour! / From Clinics to Basics... and back!</b> (effectif max. 50 pers.)							<b>Resp. : Angela Ciuffi</b> <b>Lieu : Bugnon</b>
Concepts généraux (anamnèse, diagnostic, traitement) <i>General Concepts (Anamnesis, Diagnostic, Treatment)</i>	F	11	6	-	Ciuffi A., Kritikos A., Croxatto A., Choong E., Cerutti L., Fayet A.	9	
Chapitres choisis (maladies, troubles, analyses spécifiques) <i>Selected Chapters (Diseases, Disorders, Specific Analyses)</i>	F	35	13	-	Ciuffi A., Fayet A., Leuenberger N., Ribi C., Bauer F., Blum S., Coste A., D'Acremont V., De Vallière S., Boilat-Blanco N., Laurent-Applegate L.A., Raffoul W., Abdel-Sayed P., Michalik L., Hirt N., Senn L., Gouttenoire J., Maillard M., Hequet D., Castella V.		
Apprentissage par problèmes (APP) <i>Learning by Problem Solving</i>	F	-	12	-	Ciuffi A., Coste A., Gouttenoire J., all teachers involved in the module		
Travaux pratiques / travaux dirigés <i>Practical Work / Tutorial</i>	F	-	-	23	Ciuffi A., Prod'hom G., Opota O., Coste A., Boilat-Blanco N., Miauton A., Cristinelli S., Brandt L., Aruanno M., Hirt N., Abdel-Sayed P., Leuenberger N., Bauer F., Braissant O., Leuba S., Castella V., Chevalley D.		
<b>Total</b>		<b>46</b>	<b>31</b>	<b>23</b>			
<b>Ecologie et comportement / Ecology and Behaviour</b> (effectif max. 48 pers.)							<b>Resp. : Alexandre Roulin</b> <b>Lieu : Dorigny</b>
Comportement, écologie et conservation des amphibiens, reptiles et oiseaux <i>Behavior, Ecology and Conservation of Amphibians, Reptiles and Birds</i>	F	10	4	-	Roulin A., Dubey S.	9	
Ecologie microbienne et microbiologie environnementale <i>Environmental Microbiology and Microbial Diversity</i>	A	14	-	-	Engel P., Mitri S.		
Génétique de la conservation <i>Conservation Genetics</i>	F	14	-	-	Fumagalli L.		
Introduction à la biologie de la conservation <i>Introduction to Conservation Biology</i>	A	14	4	-	Wedekind C.		
Journée des carrières en conservation <i>Conservation Day</i>	F/A	-	8	-	Guisan A., Fumagalli L.		
Modélisation dynamique des populations <i>Modeling of Population Dynamics</i>	A	7	7	-	Kawecki T.		
Sociobiologie <i>Sociobiology</i>	F	14	-	-	Chapuisat M.		
<b>Total</b>		<b>73</b>	<b>23</b>	<b>-</b>			

# **Advanced Molecular, Cellular and Developmental Biology**

**Coordinator:** Margot Thome

**Teachers:** R. Benton, C. Fankhauser, M. Juillard-Favre, P. Franken, S. Gruber, S. Pelet, J.-Y. Roignant, O. Staub, M. Thome

**Optional teaching - Module 4**

**Semester:** spring

**Teaching volume:** 91 hours (64 C, 11 E/S, 16 Lab)

**Target public:** 3rd year students, Bachelor of Biology

**Teaching language:** English

## **Objectives**

The objective of this module is to deepen the students' understanding of molecular mechanisms controlling the development of organisms and tumorigenesis. At an advanced level and with the help of well-defined examples, the lectures will explain how information encoded in the genome is used to elaborate the morphological and physiological features of organisms. We will explore how clock genes affect physiology and behavior and how molecular mechanisms have evolved to create new morphologies and/or adaptations to different environments, by comparing bacterial, animal and plant models. Another goal of this course is to learn how errors in the genetic program can cause a disease like cancer, by altering cellular signaling pathways. These studies are accompanied by lab work that will familiarize students with state-of-the-art techniques to measure cellular proliferation and survival of cancer cells. Finally, the students' understanding and critical evaluation of the scientific literature will be strengthened with an exercise of reading and presentation of selected scientific articles.

## **Content**

- Mechanisms controlling body patterning and morphological evolution
- Circadian clocks – regulating physiological processes
- The cell cycle – how it regulates and coordinates DNA replication and recombination
- Role of ubiquitination and ubiquitin-like modifications in protein homeostasis and autophagy
- Gene expression – focus on posttranscriptional gene regulation and diseases
- Molecular basis of cancer (including lab work on cell proliferation and survival)
- Understanding and presentation of scientific articles

## **Suggested textbooks**

- Alberts, «Molecular Biology of the Cell»
- Lewin, «Genes VIII»
- Weinberg, «The Biology of Cancer»
- Barton, «Evolution»

## De la clinique à la recherche... et retour !

**Enseignante responsable** : Angela Ciuffi

**Intervenant(s)** : A. Kritikos, A. Croxatto, E. Choong, L. Cerutti, A. Fayet, A. Coste, V. D'Acremont, N. Boillat-Blanco, S. De Vallière, E. Moulin, C. Ribi, F. Bauer, S. Blum, J. Gouttenoire, M. Marx, L. Senn, N. Leuenberger, V. Castilla, L.A. Laurent-Applegate, W. Raffoul, P. Abdel-Sayed, N. Hirt, L. Michalik, P. Jafari, S. Cristinelli, L. Brandt, M. Aruanno, G. Mathez, B. Mersinoglu, O. Opota, G. Prod'hom, A. Miauton, M. Perreau, O. Braissant, S. Leuba, A. Ciuffi.

**Enseignement Optionnel** – Module 4

**Semestre** : printemps

**Volume horaire** : 100 heures (46 C, 31 E/S, 23 TP)

**Public cible** : étudiant·e·s de 3<sup>e</sup> année du Bachelor en biologie

**Langue d'enseignement** : français

### **Objectif**

L'objectif principal de ce module est de comprendre et assimiler la démarche intellectuelle allant de l'identification d'un problème à sa résolution, et de voir quelles sont les difficultés rencontrées lors de ce parcours. Plus généralement, ce module vise donc à stimuler la réflexion en utilisant des problématiques médicales.

Plus particulièrement, les buts sont de :

- Comprendre l'importance d'un arbre des connaissances et le rôle de la recherche expérimentale dans son élaboration. Savoir élaborer, structurer et utiliser un arbre des connaissances.
- Comprendre que le diagnostic différentiel est un outil essentiel, à l'interface entre la biologie et la médecine, dans l'utilisation d'un arbre décisionnel.
- Identifier le diagnostic (ou la méthode expérimentale) à utiliser selon les circonstances.
- Comprendre que le diagnostic (ou la méthode expérimentale) est une étape et non une finalité.
- Identifier les limites actuelles des connaissances.

### **Contenu**

Le contenu de ce module s'articule autour de 4 blocs principaux :

- Le premier bloc a pour but de donner une vision générale, orientée "patient·e", qui part du problème clinique qu'il faut diagnostiquer et qui finit idéalement par l'élimination du problème en question. Les étapes-clé sont donc : analyse du phénotype (symptômes) – diagnostic – traitement (avec suivi du succès).
- Le deuxième bloc utilise des exemples choisis de pathologies pour illustrer les concepts généraux de manière plus approfondie, pour mettre en évidence l'importance de la recherche dans l'élaboration des arbres des connaissances, pour mettre en place les outils nécessaires à l'utilisation des arbres décisionnels, et pour stimuler les discussions en utilisant des thématiques et des préoccupations actuelles.
- Le troisième bloc est centré sur le diagnostic, qui est à l'interface entre la biologie et la médecine. Ce bloc d'enseignement plus pratique débute par la visite de quelques laboratoires diagnostics du CHUV (si cela est possible), et se termine par des travaux pratiques toujours de type diagnostic réalisés par les étudiant·e·s.
- Le quatrième et dernier bloc est constitué d'apprentissages par problèmes (APP). Cela consiste à résumer la démarche de l'élaboration et de l'utilisation d'un arbre à travers l'étude de problèmes cliniques réels. Si la situation sanitaire le permet, les étudiants seront répartis en

petits groupes et présenteront oralement à la fin des APP leur cas et leur démarche à leurs collègues.

**Evaluation.**

Validation de cours + Examen écrit (3h) sur ordinateur

**Mots clés**

Arbre des connaissances

Arbre décisionnel

Interface médecine-biologie

Symptômes/Phénotype

Diagnostic différentiel

Traitement/Pharmacologie

Suivi/Validation

# Écologie et comportement

**Enseignant responsable** : Alexandre Roulin

**Intervenants** : M. Chapuisat, S. Dubey, P Engel, L. Fumagalli, A. Guisan T. Kawecki, S. Mitri, A. Roulin, C. Wedekind

## **Enseignement Optionnel – Module 4**

**Semestre** : printemps

**Volume horaire** : 96 heures (73 C, 23 E/S)

**Public cible** : étudiants de 3<sup>e</sup> année du Bachelor en biologie

**Langue d'enseignement** : français / anglais

### **Objectif**

L'objectif de ce module est de présenter aux étudiants les interactions des organismes avec le milieu naturel, en tenant compte de leurs différents niveaux d'organisation.

Modélisation dynamique des populations : Modèles déterministes et stochastiques, estimations de paramètres, gestion de populations, analyse des équilibres dans le système d'une et de deux espèces. (Cours donné en anglais).

Introduction à la biologie de la conservation II : Ce cours est la suite du cours « *Population biology and conservation* » (semestre d'automne BSc 3). (Cours donné en anglais).

Écologie, évolution et conservation chez les amphibiens, reptiles et oiseaux : Approche scientifique de l'écologie comportementale et conservation sur le terrain. (Cours donné en français, diapositives en anglais).

Écologie microbienne et microbiologie environnementale : Acquérir une connaissance sur les interactions entre microbes et avec leur environnement, et apprendre des techniques d'analyse de diversité et génomique des microbes. (Cours donné en anglais).

Sociobiologie : Mieux comprendre comment la coopération et la socialité apparaissent au cours de l'évolution. (Cours donné en français).

Génétique de la conservation : Étudier les facteurs génétiques qui influencent les risques d'extinction des populations et des espèces, ainsi que les stratégies visant à minimiser ces risques. (Cours donné en français).

Journée des carrières en conservation (Conservation) Day : Cette journée permet aux étudiants de rencontrer les acteurs suisses de la biologie de la conservation. (Conférences données en français ou en anglais).

### **Contenu**

Modélisation dynamique des populations : Modèles déterministes, stochasticités, estimations de paramètres, gestion de populations, cycles proies-prédateurs et compétition interspécifique.

Introduction à la biologie de la conservation II : L'accent est mis sur (i) les aspects qui déterminent le potentiel évolutif des populations et qui sont influencés par les activités humaines, et (ii) la « tragédie des biens communs » et d'autres concepts théoriques du jeu.

Écologie, évolution et conservation chez les amphibiens, reptiles et oiseaux : Diversité, distribution, menaces, espèces invasives, génétique de la conservation, plan de gestion, sortie sur le terrain pour étudier les reptiles, amphibiens et chouettes.

Écologie microbienne et microbiologie environnementale : Méthodes en écologie microbienne, diversité microbienne, interactions physicochimiques et la vie microbienne, les processus géochimiques, interactions symbiotiques, évolution et génomique microbienne, biorémédiation.

Sociobiologie : Ce cours porte sur les bases biologiques et l'évolution du comportement social animal et humain.

Génétique de la conservation : biodiversité et extinction ; perte de diversité génétique et adaptabilité ; dépression de consanguinité ; fragmentation génétique des populations ; dérive génétique dans les populations de petite taille ; populations génétiquement viables ; reproduction en captivité ; réintroductions ; hybridation et introgression génétique ; unités de gestion intraspécifiques ; génomique de la conservation.

Journée des carrières en conservation (Conservation Day) : Cette journée est destinée aux étudiants ayant un intérêt pour la biologie de la conservation, mais également aux doctorants, post-docs et autres collaborateurs intéressés. Elle permet de découvrir les grandes ONG internationales responsables de l'environnement (IUCN, WWF) ainsi que les ONG nationales ou locales (Pro Natura), les banques de données suisses (CSCF) ou encore certains offices et départements de la Confédération et des Cantons (ex. OFEV, CCFN). <https://wp.unil.ch/conservationday>

### **Bibliographie**

Modélisation dynamique des populations: TJ Case (2000) *An illustrated Guide to theoretical ecology* (Oxford).

Introduction à la biologie de la conservation II : Allendorf, F. W., Luikart, G. & Aitken, S. N. (2013) *Conservation and the Genetics of Populations*. (Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, USA).

Écologie, évolution et conservation chez les amphibiens, reptiles et oiseaux : Danchin, E., Giraldeau, L.-A. & Cézilly, F. (2005) *Écologie comportementale*. Dunod, Paris.

Kenneth, Dodd, C. *A Handbook of Techniques*. Techniques in ecology and conservation series. Oxford University Press. 2016.

Écologie microbienne et microbiologie environnementale : PDF en forme électronique. D. L. Kirchman. *Processes in Microbial Ecology*. Oxford University Press, 2012. Maier, Pepper and Gerba. *Environmental microbiology*. Academic Press, 2000. Brock *Biologie of Microorganisms* 11th edition (2007) Chapters 17, 18, 19, 28, 30.

Sociobiologie : Aron & Passera (2000) *Les sociétés animales* (DeBoeck)  
Boyd & Silk (2004) *L'aventure humaine, des molécules à la culture* (DeBoeck).

Génétique de la Conservation :

Frankham R, Ballou JD & Briscoe DA. 2010. *Introduction to Conservation Genetics*. 2nd Edition. Cambridge University Press

### **Mots clés**

Adaptation, allométrie, analyse comparative, budget énergétique, conservation, écologie, ectothermie, endothermie, évolution, comportement, régulation, socialité, coopération, conflit, métabolisme énergétique, torpeur, variation physiologique, diversité génétique, consanguinité, extinction.

1 module à choisir dans le module 5

## Module 5 : du 22 mars au 27 avril 2023

Enseignements / Courses		Français /Anglais	C	E/S	TP	Responsable Intervenant(s)	Crédits ECTS	
MODULE 5	<b>Génétique et évolution des génomes / Genetics and Genome Evolution</b> (effectif max. 40 pers.)					Resp. : Alexandre Reymond/Nicolas Salamin Lieu : Dorigny		
	Bioinformatique pour la génomique <i>Bioinformatics for Genomics</i>	A	10	10	-	Bergmann S.	9	
	Épigénétique <i>Epigenetics</i>	A	8	10	-	Gambetta M.C.		
	Epistasie, oligogénéicité, pléiotropie et au-delà <i>Epistasis, Oligogenicity, Pleiotropy and beyond</i>	A	6	-	-	van Leeuwen J.		
	Études d'association pangénomique <i>Genome Wide Association Studies</i>	A	6	6	-	Kutalik Z.		
	Evolution des chromosomes <i>Evolution of Chromosomes</i>	A	8	-	-	Arguello R.		
	Génétique du cancer <i>Cancer Genetics</i>	A	2	2	-	Ciriello G.		
	Génome bactérien et évolution <i>Bacterial Genomes and Evolution</i>	A	8	-	-	Greub G.		
	Génomique structurale et mutation <i>Structural Genomics and Mutation</i>	A	8	10	-	Reymond A.		
	Introduction à la génétique quantitative <i>Introduction to Quantitative Genetics</i>	A	8	4	-	Salamin N.		
	<b>Total</b>		56	38	-			
	MODULE 5	<b>Physiologie des systèmes complexes / Physiology of Complex Systems</b> (effectif max. 50 pers.)					Resp. : Olivier Staub Lieu : Bugnon, Epalinges	
		Bases pharmacologie et toxicologie <i>Basis of Pharmacology and Toxicology</i>	F/A	20	-	4	Broillet M.-C., Staub O., Kellenberger S., Diviani D., Choong E.	9
		Le système immunitaire <i>The Immune System</i>	F/A	15	-	8	Luther S., Tacchini-Cottier F., Rebsamen M.	
		Métabolisme et endocrinologie <i>Metabolism and Endocrinology</i>	F/A	22	-	-	Pitteloud N., Messina A., Sykiotis G., Place N., Millet G., Pellegrin M.	
Neurobiologie <i>Neurobiology</i>		F/A	24	2	2	Lüthi A., Dwir D., Stoop R., Franken P., Chatton J.-Y., Paolicelli R., Chu Sin Chung P., Fernandez L.		
<b>Total</b>		81	2	14				
MODULE 5	<b>La cellule en mouvement / The Dynamic Cell</b> (effectif max. 40 pers.)				TP rotations	Resp. : Stephan Gruber Lieu : Dorigny		
	Ciliés: organelles cellulaires - structure, fonction, évolution et maladies <i>Cilia: Cellular Antennae - Structure, Function, Evolution and Disease</i>	A	5	-	-	Benton R.	9	
	Contrôles de la réplication et ségrégation du génome <i>Cell Cycle Control of Genome Duplication and Segregation</i>	A	6	-	16	Gruber S., Pelet S.		
	Dynamique et organisation de la membrane plasmique <i>Dynamics and Organisation of the Plasma Membrane</i>	A	8	-	-	Geldner N.		
	Écriture scientifique <i>Scientific writing</i>	A	-	1	-	Gruber S.		
	Evolution d'une cellule eucaryote <i>Evolution of the Eukaryotic Cell</i>	A	8	-	16	Fasshauer D.		
	L'homéostasie des protéines et des lipides dans les compartiments intracellulaires <i>Homeostasis of Proteins and Lipids in Intracellular Compartments</i>	A	4	-	16	Mayer A.		
	La division cellulaire : quand, où, comment? <i>Cell Division : When, Where, How?</i>	A	6	-	16	Vjestica A.		
	La division cellulaire dans les bactéries <i>Cell Division in Bacteria</i>	A	4	-	16	Jacquier N.		
	Origine, division et dynamique des chloroplastes <i>Chloroplast Origin, Division and Dynamics</i>	A	4	-	-	Fankhauser C.		
	Régulation du cycle cellulaire chez les bactéries <i>Bacterial Cell Cycle Regulation</i>	A	8	-	-	Collier J.		
	Sénescence et vieillissement cellulaire <i>Cellular Senescence and Aging</i>	A	4	-	-	Ocampo Méndez A.		
	Lecture critique de la littérature scientifique <i>Critical Reading of the Scientific Literature</i>	A	-	7	-	Vjestica A., Gruber S., Geldner N., Benton R., Fasshauer D., Jacquier N.		
	<b>Total</b>		57	8	32			



# **Genetics and Genome Evolution**

**Enseignant responsable** : Alexandre Reymond, Nicolas Salamin

**Intervenants** : R. Arguello, S. Bergmann, G. Ciriello, M.C. Gambetta, G. Greub, Z. Kutalik, J. von Leeuwen, Z. Kutalik, A. Reymond, N. Salamin

## **Enseignement Optionnel – Module 5**

**Semestre** : printemps

**Volume horaire** : 94 heures (56 C, 38 E/S)

**Public cible** : étudiants 3<sup>e</sup> année du Bachelor en biologie

**Langue d'enseignement** : anglais

### **Objectif**

L'objectif de ce module est de s'appuyer sur les bases acquises pour comprendre la complexité du génome, appréhender les lois de la génétique et l'évolution moléculaire. L'étudiant apprendra (i) à distinguer les différents éléments qui constituent le génome, (ii) comment ces éléments sont recrutés et/ou mobilisés et évoluent, (iii) comment l'information génétique et la structure des génomes se modifie/évolue au cours du temps, (iv) que certaines formes d'hérédité ne suivent pas les règles traditionnelles de transmission mendélienne, (v) les différences entre mutations germinales et somatiques et leurs effets, (vi) comment établir des liens entre génotypes et phénotypes, et (vii) apprendre à comparer les données génomiques entre organismes et les mécanismes d'évolution et de divergence entre les espèces.

### **Contenu**

- Génomique structurale et mutation
- Génome bactérien et évolution
- Bioinformatique pour la génomique
- Génétique quantitative
- Epigénétique
- Mutations somatiques : l'exemple du cancer
- Evolution des chromosomes : l'exemple des chromosomessexuels
- Epistasie, oligogénicité, pléiotropie et au-delà : variation sur l'hérédité Mendélienne

### **Bibliographie**

- Human Molecular Genetics 3, T Strachan, AP Read
- Essentials of Genetics 6th edition, WS Klug, MR Cummings, CA Spencer
- Analyse Génétique Moderne, AJF Griffiths, WM Gelbart, JH Miller, RC Lewontin
- Introduction to Quantitative Genetics, DS Falconer, TFC Mackay

### **Mots clés**

**Génome, évolution, génétique, génétique quantitative, mutation, bioinformatique, pathologie**

# Physiologie des systèmes complexes

**Enseignant responsable :** Olivier Staub

**Enseignement à choix – Module 5**

**Semestre :** printemps

**Volume horaire :** 96 heures (80 C, 2 E/S, 14 TP)

**Public cible :** étudiants 3ème année du Bachelor en biologie

**Langue d'enseignement :** français / anglais

## **Objectif du module**

L'objectif de ce module est de montrer aux étudiants comment certaines tâches physiologiques complexes sont assurées par différents systèmes au sein d'un organisme.

## **Le contenu est structuré en 4 parties**

- Le système immunitaire
- Neurobiologie
- Métabolisme, endocrinologie et sport-nutrition-métabolisme-récupération
- Bases pharmacologie toxicologie

## **I. Le système immunitaire**

**Enseignant responsable et intervenants :** Sanjiv Luther, F. Tacchini-Cottier ; TP : Manuele Rebsamen

**Volume horaire :** 15 heures de cours et 8 heures de TP

### **Objectif**

L'objectif du cours est de :

- Connaître le déroulement de la différenciation de lymphocytes T et B de la cellule souche hématopoïétique
- Pouvoir décrire le rôle de la présentation d'antigène (tolérance centrale et périphérique) dans la tolérance immunologique. Délétion, anergie, régulation.
- Connaître le rôle des cellules régulatrices T dans la tolérance centrale et périphérique.
- Avoir des notions sur l'activation B et T et les voies de signalisation.
- Pouvoir nommer le rôle des macrophages, neutrophiles, cellules dendritiques, lymphocytes B et T dans ces réponses immunitaires.
- Pouvoir décrire le déroulement d'une réponse immunitaire innée et adaptative contre un virus et une bactérie. Connaître les mécanismes effecteurs de la réponse immunitaire innée et adaptative.

L'objectif des TP est de familiariser l'étudiant avec les techniques principales utilisées actuellement en immunologie cellulaire et moléculaire.

### **Contenu du cours**

- La différenciation des leukocytes (moelle osseuse et thymus)
- Les cellules présentatrices d'antigènes
- La co-stimulation
- Les mécanismes effecteurs
- La tolérance immunologique
- Le déroulement d'une réponse immunitaire
- La réponse immunitaire contre les microbes
- L'interaction pathogène-hôte

## Contenu des TPs

Les TPs sont centrés sur le thème général du développement et de l'activation des lymphocytes. Ils comprennent 2 x 2 après-midis (2 après-midis, cours répété 2 fois) de travaux expérimentaux qui sont accompagnés par une introduction générale, des séminaires révisant la théorie et pratique, et une discussion finale.

Les expériences pratiques comprennent notamment :

- Isolation de lymphocytes primaires de la rate et du thymus de la souris.
- Marquage des lymphocytes murins et analyse par cytométrie de flux.

## Bibliographie

Janeway's Immunobiology, 10th edition in English (2022), or 9<sup>th</sup> edition in French

Kenneth M. Murphy, Paul Travers, Mark Walport, Garland Science Publishing – ISSN 9780815342434

Online Version of the 9<sup>th</sup> edition: <https://renouvaud1.primo.exlibrisgroup.com>

## II. Neurobiologie

**Enseignant responsable et intervenants** : A. Lüthi, P. Franken, J.-Y. Chatton, I. Décosterd, R. Stoop, J. Cabungcal, R. Paolicelli

**Volume horaire** : 24 heures de cours, 2 heures de travaux pratiques (démonstration de neuroanatomie), 2 heures de séminaire (discussion d'articles)

**Objectif** : Acquérir une vision générale de la neurobiologie sur la base de 4 chapitres choisis allant des cellules aux circuits et aux systèmes complexes : accent sur la plasticité

### Contenu

#### **Cellules gliales**

*Décrit les éléments cellulaires caractéristiques des cellules gliales et montre leurs rôles fonctionnels et leur plasticité dans des situations pathologiques.*

Introduction, types de cellules gliales, rôles dans la physiologie du cerveau et plasticité en réponse aux atteintes cérébrales (réaction gliale). Eléments et fonctions de la microglie. Eléments et fonctions des astrocytes.

#### **Développement des circuits neuronaux**

*Traite les étapes principales de la différenciation et la formation des circuits neuronaux avec accent sur la plasticité développementale.*

Prolifération et migration : exemple des interneurons corticaux. Différenciation de l'arborisation dendritique en rapport avec la formation des circuits intracorticaux. Régulation de la phase précoce de neurogenèse par les neurotransmetteurs.

#### **Plasticité du système nociceptif**

*Décrit l'organisation des voies de la douleur et les grands principes de la plasticité fonctionnelle de ce système.*

Introduction, rappel des bases anatomiques et organisation des voies de la douleur. Modèles expérimentaux et approche expérimentale. Plasticité synaptique et moléculaire.

#### **Le sommeil**

*Traite les aspects de base, neuroanatomiques et neurophysiologiques du sommeil, incluant les relations avec la plasticité synaptique.*

Le sommeil comme discipline neuroscientifique. Terminologie et états du sommeil. Centres neuroanatomiques impliqués dans la régulation du rythme sommeil/veille. Mécanismes cellulaires du sommeil. Sommeil et plasticité synaptique.

### Bibliographie

Purves et al. (2005). *Neurosciences : 3<sup>ème</sup> édition. De Boeck*. Chapitres : 9 (la douleur) ; 21-22 (les débuts du développement cérébral ; la construction des circuits neuronaux) ; 27 (le sommeil et la veille).  
Reviews : Volterra and Meldolesi (2005): *Nature Review Neuroscience* 6 : 626-640 (les astrocytes) ;  
Ransohoff and Cardona (2010) : *Nature* 468 : 253-262 (la microglie)

### III. Métabolisme et endocrinologie

**Enseignant responsable et intervenants** : N. Pitteloup, G. Sykiotis, A. Messina, M. Pellegrin, N. Place, G. Millet

**Volume horaire** : 21 heures de cours ex-cathedra

#### **Objectif**

Apprendre le fonctionnement et le rôle du système endocrinien avec un focus particulier sur le métabolisme

#### **Contenu**

##### **Introduction :**

Description du système endocrinien (communication à distance). Les hormones (type, production, stockage, sécrétion, transport, action). Les récepteurs (type, structure fonction).

##### **Synchronisation et modulation des fonctions endocriniennes :**

Rôle de l'hypothalamus et de l'hypophyse. Interaction des glandes. Système feed-back. Intégration des informations.

##### **Métabolisme :**

Contrôle du métabolisme énergétique. Adaptation au stress. Métabolisme glucidique et lipidique. Obésité. Croissance et développement. Reproduction. Physiologie thyroïdienne.

#### **Sport-Nutrition-Métabolisme-Récupération**

### IV. Bases pharmacologie et toxicologie

**Enseignant responsable et intervenants** : Marie-Christine Broillet, E. Choong, O. Staub, S. Kellenberger, D. Diviani

**Volume horaire** : 20 heures de cours + 4 heures de TP

**Objectif** : Acquérir des notions de base en pharmacologie et toxicologie

#### **Contenu**

##### **Introduction**

Définitions de bases. Grands principes de pharmacologie (cinétique et dynamique). Déroulement et utilité des phases d'études animales, cliniques et pré-cliniques.

##### **Exemples de développement de médicaments**

Quelques grandes classes de médicaments (les  $\beta$ -bloqueurs, les anti-inflammatoires non-stéroïdiens, les anti-HIV, les anti-cancéreux) : de leurs découvertes à leurs applications thérapeutiques, sans oublier leurs effets secondaires et leurs toxicités.

##### **Aspects de toxicologie générale**

Principes, historique, évaluation, réglementation. Exemples de catégories de toxiques (métaux, solvants, pesticides,...) et de leurs mécanismes de toxicité.

##### **Exemples de pharmacogénétique-pharmacogénomique**

Comment les gènes influencent l'activité des médicaments sur l'organisme.

**Bibliographie** : Rang & Dale's Pharmacology

# The Dynamic Cell

**Enseignante responsable** : Stephan Gruber

**Intervenants** : R. Benton, J. Collier, A. Ocampo Méndez, C. Fankhauser, D. Fasshauer, N. Geldner, S. Gruber, N. Jacquier, A. Vjestica, A. Mayer,

## **Enseignement Optionnel – Module 5**

**Semestre** : printemps

**Volume horaire** : 97 heures (57 C, 8 E/S, 32 TP)

**Public cible** : étudiants de 3<sup>e</sup> année du Bachelor en biologie

**Langue d'enseignement**: anglais

### **Objectif**

L'objectif de ce module est de comprendre les mécanismes qui forment et perpétuent l'unité fondamentale de la vie : la cellule. Quatre thèmes majeurs seront traités : la division cellulaire, l'organisation membranaire, l'organisation spatiale de la cellule et la perversion de ces mécanismes par pathogènes et endosymbiontes. Les cours ont pour but d'exposer la dynamique de ces processus fondamentaux et de présenter des thèmes de recherche actuels en biologie cellulaire. Deux travaux pratiques à choix viendront compléter cet enseignement. L'étudiant(e) entrainera sa compréhension, son esprit critique et la rédaction scientifique à travers la lecture d'un article scientifique et la rédaction d'un résumé.

### **Lectures:**

*Bacterial cell cycle regulation (Justine Collier)* : This course will describe how major events of the bacterial cell cycle are regulated and coordinated with one another: cell division, chromosome replication and segregation, and cell differentiation.

*Chromosome dynamics during the cell cycle (Stephan Gruber)* : In this course, students will get (i) to know novel techniques for studying chromosome structure and dynamics genome-wide and at high resolution, (ii) to understand principles of chromosome organization in different domains of life and (iii) to learn how chromosome folding machines also act as DNA-based immunity systems.

*Cell division: when, where, how? (Aleksandar Vjestica)* : This course aims to describe and get students to think about fundamental cellular events in the process of cell division, by highlighting current research questions. The course will cover topics such as: controls for entry into and exit from mitosis, building the mitotic spindle and segregating chromosomes, dividing the cell in two, symmetric and asymmetric cell division.

*Dynamics and organisation of the plasma membrane (Niko Geldner)* : We will look at examples that illustrate the different ways that a plasma membrane can become organized into distinct subdomains. We will discuss how the dynamics of protein localization can be regulated, how it affects subdomain functionality and how it can determine the mechanisms by which it is established and maintained.

*Cilia: cellular antennae - structure, function, evolution and disease (Richard Benton)* : This course will describe the biology of cilia, encompassing their structure and assembly, their sensory and motility functions in a range of organisms, the diseases resulting from defective cilia and the potential mechanisms by which these organelles have evolved.

*Homeostasis of proteins and lipids in intracellular compartments (Andreas Mayer)* :

- Inheritance of organelles during cell division

- Maintenance of organelle size and structure despite continuous flow of materials, especially in the endomembrane system
- Biosynthetic links between organelles
- Adaptation of organelle content and surface
- Replacement and elimination of organelles

*An evolutionary perspective on eukaryotic membrane trafficking (Evolution of the eukaryotic cell) (Dirk Fasshauer)* : Eukaryotic cells – those that make up trees, mushrooms, and human beings - are subdivided into various functionally distinct internal membrane-bounded compartments. They are equipped with a nucleus and a mitochondrion, as well as elaborate cytoskeletal and membrane trafficking systems. This intricate cellular architecture appears to have emerged suddenly, without intermediates. In the course, we will discuss the following questions: How did a humble bacterium make this evolutionary leap from a simple prokaryotic cell to a more complex eukaryotic cell? Who are the progenitors of the ancestral eukaryotic cell? When did this quantum leap occur? How, and in which order, did they acquire their novel traits?

*Cell division in bacteria (Nicolas Jacquier)*: This course will describe the mechanisms of cell division in bacteria. It will describe how membranes and peptidoglycan are modified to allow multiplication of these microorganisms. The diversity of mechanisms that evolved in different bacteria will be explored, from the model *Escherichia coli* to pathogenic bacteria such as *Chlamydiae* and more exotic bacteria with atypical division mechanisms.

*Cellular hallmarks of aging (Alejandro Ocampo Méndez)*: Aging can be defined as the progressive decline in the ability of cells or organisms to resist damage, stress and disease. This lecture will describe our current understanding of the cellular hallmarks driving the aging process with a special focus on epigenetic dysregulation.

*Chloroplast origin, division and dynamics (Christian Fankhauser)* : The following topics will be covered:

- 1) Origins of chloroplasts. Major steps required for the domestication resulting in an organelle, include a few words about the situation in the sea slug that uses chloroplasts that it obtains by feeding on algae.
- 2) Coordination of chloroplast and nuclear gene expression, innovations derived from this endosymbiotic event. Why have chloroplasts (and mitochondria) kept a genome?
- 3) Protein import into the chloroplast (different pathways), the dual origin of the main TIC/TOC pathway.
- 4) Division of the chloroplasts. Dual origin of the division machinery.
- 5) Chloroplast movements within cells. Light controls their position, signaling from light perception to actin based chloroplast movements. A few words on movements of amyloplasts in plant cells and how this serves as gravity sensors.

*Scientific writing (Stephan Gruber)* : This short lecture will give the students guidelines on how to write a scientific text.

### **Exercises:**

*Critical reading of scientific literature (Stephan Gruber, Sophie Martin, Niko Geldner, Richard Benton, Dirk Fasshauer, Nicolas Jacquier)* : Students will critically read one original research paper in discussion with each other and with the teachers. Three distinct groups of students will be formed. The aims are to dissect the thought process and the logic of each paper, discriminate results from interpretation and understand the techniques used. This will be evaluated through the writing of a short paper summary.

### **Practicals:**

Each student will perform two practical courses from the list below.

*Cell division: when, where, how? (Aleksandar Vjestica)* :

In this practical course, students will observe

A: How fission yeast cells arrest in different stages of the cell cycle in response to environmental and genetic perturbations. Students will prepare samples from these conditions and monitor the DNA

content of cells using flow cytometry. Flow cytometry analysis will be used to quantify the dynamics and the stage of the cell cycle arrest.

B: How the the major cell cycle oscillator (cyclin B) is synthesized and degraded during the cell cycle. Students will prepare samples for fluorescence microscopy of the GFP-tagged cyclin. Microscopy and image analysis tools will be used to derive quantitative information.

*A chromosome folding machine acting as DNA-based defence system in bacteria (Stephan Gruber) :* In this practical course, students will discover how a bacterial defence system specifically recognizes and eliminates mobile DNA elements (plasmids) based on their DNA size and shape. Biochemical techniques and molecular biology approaches will be employed to elucidate the action of the defence system and to reveal the fate of target DNA molecules. Potential applications of this DNA-based system in biotechnology will be discussed.

*Homeostasis of proteins and lipids in intracellular compartments (Andreas Mayer) :*

- Mammalian cell culture
- Transfection, RNAi
- Immunofluorescence microscopy
- 3D-reconstruction
- Time-lapse microscopy

*An evolutionary perspective on eukaryotic membrane trafficking (Dirk Fasshauer) :* In this practical course, biochemical and biophysical approaches will be employed to compare the interaction mode within different vesicle fusion machineries.

*Localization of divisome component in Chlamydiae (Nicolas Jacquier):* The students will get insights into the following methods:

- Mammalian cell culture
- Infection of mammalian cells with *Chlamydiae*
- Immunofluorescence microscopy
- Quantitative PCR
- Western blotting

### **Bibliographie**

- *Cells*, Benjamin Lewin, Lynne Cassimeris, Vishwanath Lingappa and George Plopper, Jones and Bartlett publishers.
- *The Cell Cycle – Principles of Control*, David O Morgan, Primers in Biology, Oxford University Press.
- *Cellular Microbiology* 2<sup>nd</sup> édition 2005 ASM Press Eitors Cossart p, Boquet P, Normark S & Rappuoli R.
- *Microbiology: An Evolving Science*, J.L. Slonczewski and J.W. Foster, 2009.
- Reviews provided by the teachers at the beginning of the module.

### **Mots clés**

Cell cycle, checkpoint, mitosis, cytokinesis, cytoskeleton, membrane, chloroplast, intracellular bacteria, endosymbionts, intracellular traffic, cilium, signaling, evolution, organelle biogenesis, subcellular fractionation, yeast, eukaryotic cell, vesicle trafficking, endomembrane system, cell division, chromosome replication, cell differentiation, plasma membrane microdomains, lateral diffusion barriers, endocytosis, polarity

*1 module à choisir dans le module 6*

# Module 6 : du 1<sup>er</sup> mai au 1<sup>er</sup> juin 2023

Enseignements / Courses		Français /Anglais	C	E/S	TP	Responsable Intervenant(s)	Crédits ECTS
<b>MODULE 6</b>	<b>Biodiversité et habitats / Biodiversity and Habitat</b> (effectif max. 40 pers.)						<b>Resp. : Tanja Schwander</b> Lieu : Dorigny
	Analyse des habitats <i>Study of Plant Habitat</i>	F	12	-	-	Vittoz P.	9
	Biogéographie historique <i>Historical Biogeography</i>	F	4	-	-	Fumagalli L.	
	Biogéographie végétale <i>Plant Biogeography</i>	F	8	-	-	Guisan A.	
	Faunistique des invertébrés <i>Entomology</i>	F	14	-	9	Schwander T., Gattoliat J.-L.	
	Faunistique des vertébrés <i>Biology of Vertebrates</i>	F	14	-	8	Glaizot O., Fumagalli L., Dubey S.,	
	Floristique théorique <i>Identification of Swiss Flora</i>	F	4	-	9	Vittoz P.	
	Travaux pratiques de terrain intégrés <i>Integrated Practical Work</i>	F	-	-	30	Schwander T., Vittoz P., Freitag A., Milliet E.	
	<b>Total</b>		<b>56</b>	<b>-</b>	<b>56</b>		
	<b>Interactions biotiques / Biotic Interactions</b> (effectif max. 40 pers.)						<b>Resp. : Jérôme Gouttenoire</b> Lieu : Dorigny, Epalinges
Bactéries-hôtes <i>Bacteria-Hosts</i>	A	12	-	-	Vonaesch P., Keel C.	9	
Champignons-hôtes <i>Fungi-Hosts</i>	A	12	-	-	Coste A., Sanders I., Lamoth F.		
Endosymbiontes et parasites bactériens <i>Endosymbionts and Bacterial Parasites</i>	A	10	-	-	Greub G.		
Microbiome de l'abeille <i>Bee Microbiome</i>	A	4	-	-	Engel P.		
Parasites <i>Parasites</i>	A	6	-	-	Esser von Bieren J.		
Plantes-insectes <i>Plants-Insects</i>	A	10	-	-	Reymond P.		
Virus-hôtes <i>Viruses-Hosts</i>	A	10	-	-	Gouttenoire J., Ciuffi A.		
Travaux pratiques : initiation à la recherche (2x18h à choix) <i>Practical Work : Introduction to Research</i>	A	-	-	36	Gouttenoire J.		
Journal Club <i>Journal Club</i>	A	-	4	-	Gouttenoire J., Reymond P., Esser von Bieren J., Ciuffi A., Greub G., Keel C., Fumeaux C.		
<b>Total</b>		<b>64</b>	<b>4</b>	<b>36</b>			
<b>Techniques d'investigation fonctionnelle / Techniques for Functional Investigation</b> (effectif max. 40 pers.)						<b>Resp. : Jean-Yves Chatton</b> Lieu : Bugnon	
Techniques d'électrophysiologie <i>Electrophysiology Techniques</i>	F/A	14	-	28	Broillet M.-C., Stoop R., Lüthi A., Kellenberger S., vacat	9	
Techniques d'imagerie <i>Imaging Techniques</i>	F/A	34	4	28	Chatton J.-Y., Paolicelli R.M., Broillet M.-C., Genoud C., Kasas S., Morgenthaler F., Thomas A., Bénéchet A., Neukomm L.		
<b>Total</b>		<b>48</b>	<b>4</b>	<b>56</b>			



# **Biodiversité et habitats**

**Enseignant responsable** : Tanja Schwander

**Intervenants** : T. Schwander, L. Fumagalli, P. Vittoz, A. Guisan, S. Dubey, J.-L. Gattolliat, A. Freitag, O. Glaizot

Semestre : printemps

**Volume horaire** : 112 heures (56 C, 56 TP)

**Public cible** : étudiants 3<sup>e</sup> année du Bachelor en biologie

**Langue d'enseignement** : français

## **Objectifs**

Connaissance de la flore et de la faune dans un contexte européen

Etude des principaux facteurs influençant la distribution actuelle et passée des espèces.

Capacité à identifier ces espèces à l'aide des clés appropriées et connaissance des plus importantes.

Connaissance de l'utilisation et de l'intérêt des espèces caractéristiques et indicatrices.

Capacité à identifier et à caractériser les habitats de Suisse sur la base de listes d'espèces.

Utilisation des outils d'analyse et de validation des données.

## **Contenu**

- Faunistique des Vertébrés
- Entomologie
- Floristique théorique
- Analyse des habitats
- Biogéographie historique
- Biogéographie végétale
- TP de terrain intégrés de 3 jours en Valais

## **Bibliographie**

R. Delarze & Y. Gonseth 2008. Guide des milieux naturels de Suisse. Rossolis, 424 p.

Autres ouvrages d'identification des espèces indiquées dans les descriptifs respectifs des cours.

## **Mots clés**

Habitats, analyses écologiques, végétation, espèces indicatrices, mammifères, oiseaux, reptiles, amphibiens, insectes, plantes vasculaires.

# **Biotic Interactions**

**Person in charge** : Jérôme Gouttenoire

**Teachers** : A. Ciuffi, A. Coste, P. Engel, J. Eßer-von Bieren, J. Gouttenoire, G. Greub, C. Keel, F. Lamoth, P. Reymond, P. Vonaesch

## **Optional course – Module 6**

**Semester:** spring

**Teaching hours:** 104 hours (64 C, 4 E/S, 36 TP)

**Target audience:** 3rd year Bachelor students in Biology

**Language:** english

### **Aims**

The aim of this module is to provide students with a general view of cellular and molecular mechanisms that govern interactions between prokaryotic and eukaryotic organisms. Courses are complemented with small research projects in laboratories and with a journal club.

### **Content**

- *Bacteria-hosts* (C. Keel, P. Vonaesch): Basic knowledge and examples of bacterial interaction with different hosts. Mechanisms and signals involved.
- *Plants-insects* (P. Reymond): Plant perception of herbivorous insects. Signaling pathways and transcription of defense genes. Plant-insect coevolution.
- *Viruses-hosts* (A. Ciuffi, J. Gouttenoire): Manipulation of the host cell by viruses to promote entry, replication, persistence, expression and production.
- *Fungi-hosts* (A. Coste, F. Lamoth, I. Sanders): Basic principles of interactions between fungi of medical or environmental importance with microbes, plants, insects or mammals.
- *Endosymbionts and intracellular bacterial parasites* (G. Greub): Symbiosis as a key element of bacterial evolution, examples of bacterial symbionts of amoebae, insects and nematodes. Evolution of symbionts into chloroplasts (cyanobacteria & chlamydiales) and mitochondria (rickettsiales & rhizobiales). Cell machinery corruption by intracellular bacteria, e.g. Rickettsia & Chlamydiae.
- *Parasites* (J. Eßer-von Bieren): Basics of host-parasite interactions, including host defense mechanisms against different parasites (protozoa, helminths) and parasitic immune evasion strategies.
- *Bee microbiome* (P. Engel): Genetic and evolutionary basis of bacterial adaptation to different hosts. Bee and bumblebee microbiome analysis. Functional role and symbiotic abilities of bacteria that colonize social insects.

### **Practicals**

Participation to two research projects in relation to the teaching, immersed in laboratories.

### **Journal Club**

Study and presentation of scientific articles in small groups with one teacher.

### **Bibliography**

- Principles of Virology, Flint et al. (2004), ASM Press.
- Molecular Biology of Parasitic Protozoa (Frontiers in Molecular biology) Edited by DF Smith and M Parsons; Oxford University Press (1996)
- Molecular Biology of the Cell, Bruce et al.
- Biochemistry, Berg et al.

- Erb M. and Reymond P. (2019) Molecular interactions between plants and insect herbivores. Annual Review of Plant Biology 70: 527-557.

**Keywords**

Bacterial pathogenesis, quorum sensing, role of iron, toxins, secretion systems, signaling

Herbivorous insects, jasmonates, defense genes, coevolution

Virus entry, genome replication, genome integration, virus budding and release

Fungal pathogens and symbionts

Endosymbionts and evolution, cell corruption

Protozoan parasites, helminths, host defense, immune evasion

Bee microbiome

# Techniques d'investigation fonctionnelle

**Enseignants responsables** : Marie-Christine Broillet & Jean-Yves Chatton

**Intervenants** : J.-Y. Chatton, R.-M. Paolicelli, M.-C. Broillet, C. Genoud, A. Volterra, S. Kasas., F. Morgenthaler, A. Bénéchet, A. Thomas, R. Stoop, A. Lüthi, S. Kellenberger

## **Enseignement Optionnel – Module 6**

**Semestre** : printemps

**Volume horaire** : 108 heures (48 C, 4 E/S : Excursions, 56 TP)

**Public cible** : étudiants 3<sup>e</sup> année du Bachelor en biologie

**Langue d'enseignement** : français

### **Objectif**

Acquérir une vision intégrée des approches expérimentales de physiologie cellulaire (microscopie, imagerie, électrophysiologie)

### **Contenu**

#### ***Introduction***

Plan du cours, références, définitions de bases, etc...

#### ***Microscopie, Imagerie, Chromatographie***

Principes et notions de base des différents types de microscopie (optique, confocale, 3D, TIRF, électronique)

Formation et analyse d'images

Exemples d'applications sur des échantillons d'origine végétale ou animale, fixés ou vivants

Principes d'imagerie calcique

Principes d'imagerie fonctionnelle (MRI, PET, OCT, échographie).

Principes d'analyses chromatographiques (Phase liquide, phase gazeuse)

Principes d'imagerie par spectrométrie de masse

#### ***Electrophysiologie***

Principes, historique, descriptions des différentes catégories de mesures (extracellulaires, intracellulaires, membranaires).

Exemples choisis d'investigations des fonctions cellulaires et des applications médicales chez l'homme.

### **Bibliographie**

- *Methods in Cellular Imaging*, Periasamy, eds. Oxford University Press, 2001

- *Practical electrophysiological methods*, H. Kettenmann & R. Grantyn, eds. Wiley-Liss, 1993

### **Mots clés**

Microscopie, imagerie, électrophysiologie, chromatographie.