

ÉCOLOGIE CHIMIQUE

LE LANGAGE DE LA NATURE

Préface

Alain Fuchs, président du CNRS



cherche
midi

SOMMAIRE DU DOSSIER DE PRESSE

Communiqué de presse

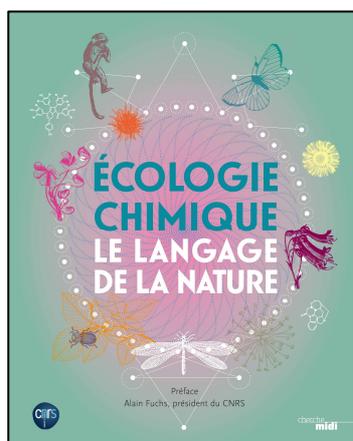
Sommaire du livre

Avant-propos de **Françoise Gaill**, directrice de l'Institut écologie et environnement du CNRS et de **Martine Hossaert-McKey**, directrice adjointe scientifique de l'Institut Écologie et Environnement du CNRS

Préface d'**Alain Fuchs**, président du CNRS

Extraits tirés du livre *Écologie chimique*

Listes des auteurs et des contributeurs



Parution le 25 octobre 2012

ÉCOLOGIE CHIMIQUE

LE LANGAGE DE LA NATURE

*Ouvrage collectif sous la direction de Martine Hossaert McKey et d'Anne-Geneviève Bagnères-Urbany - Institut écologie et environnement (INEE) du CNRS
Préface d'Alain Fuchs, président du CNRS*

L'ouvrage "Écologie chimique : le langage de la nature" rédigé par des chercheurs issus de laboratoires CNRS ou associés, paraît le 25 octobre 2012 en librairie. Publié par le cherche midi, en partenariat avec le CNRS, ce livre grand public dévoile les secrets d'une science encore récente : l'écologie chimique ou l'art de décrypter le langage chimique qui nous environne.

Les odeurs font partie de notre vie quotidienne... La majorité des espèces, y compris les hommes, échangent entre elles à l'aide de molécules et de signaux chimiques. Reproduction, alimentation, défense... Dans toutes ces fonctions, la communication chimique est de très loin le mode de communication le plus utilisé dans le monde vivant ! Ce livre fascinant permet de découvrir les secrets de cette science qui étudie, selon une approche interdisciplinaire (chimie, biologie, éthologie, génomique, etc.), les interactions entre les organismes entre eux et avec leur environnement, via des molécules complexes d'une grande diversité.

Une cinquantaine de spécialistes, issus de laboratoires CNRS ou associés, présentent dans cet ouvrage les différentes facettes de cette « chimio-diversité ». Ils nous aident ainsi à interpréter ce langage de la nature qui façonne les interactions indispensables au fonctionnement et à la préservation des écosystèmes terrestres ou aquatiques.

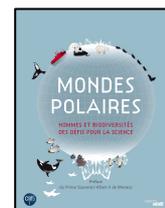
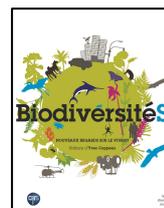
Dans la même collection (en partenariat avec le CNRS) :
Biodiversité(s) (2010) et *Mondes polaires* (2012).

192 pages (17x22) – 24,90 €
Mise en vente le 25 octobre 2012

Contacts presse :

Solène Perronno 01 44 39 24 92 sperronno@cherche-midi.com

Muriel Ilous 01 44 96 43 09 muriel.ilous@cnrs-dir.fr



SOMMAIRE

Avant-propos	09
Préface	10
1. Molécules et Nature réconciliées par l'écologie chimique	12
2. Le langage chimique : de l'émission à l'intégration des signaux	28
3. Le parfum du sexe	46
4. Les odeurs sont-elles des signaux trompeurs?	58
5. Odeurs en sociétés	72
6. Des médiations chimiques en poupées russes	86
7. Armes chimiques pour organismes immobiles	102
8. Défense et communication chez les micro-organismes	118
9. Communiquer pour mieux envahir	128
10. Le métabolisme : une source d'inspiration	140
11. L'écologie chimique dans un monde en mutation	152
12. Comprendre pour agir et restaurer durablement	170
Glossaire	184
Liste des auteurs	188
Pour en savoir plus et crédits photographiques	190
Remerciements	191



Avant-propos

Les changements globaux qui touchent notre planète ne se limitent pas à des modifications du climat ou de la composition de l'atmosphère. Ils affectent également toute la dynamique du vivant, en perturbant les écosystèmes et les espèces qui les constituent. Ces effets ont un impact notamment sur les interactions entre les espèces ou entre les individus d'une même espèce, interactions pourtant primordiales pour le maintien des communautés et écosystèmes où la médiation chimique joue une place prépondérante.

L'étude de la médiation chimique est ainsi le terrain de jeu de l'écologie chimique. Une large diversité de molécules, allant de composés très simples à des mélanges très complexes, est impliquée dans la perception de l'environnement, dans la communication entre individus et dans les mécanismes de défenses mis en place dans les interactions antagonistes. Ce domaine scientifique récent et transdisciplinaire réussit le tour de force de réconcilier écologie et chimie.

Ainsi le monde n'est pas que vert, rouge ou bleu, mais il est aussi odeurs séduisantes, comme les phéromones sexuelles, ou odeurs dangereuses, comme les toxines ou les venins.

La recherche en écologie chimique abordée dans ce livre est un des thèmes prioritaires de l'Institut écologie et environnement du CNRS. Porté par une communauté française novatrice de rang international, ce domaine s'est

nettement imposé ces dernières années comme porteur d'axes prometteurs de recherche, au carrefour d'interfaces multiples.

L'écologie chimique nous donne aussi un cadre pour mieux interpréter, étendre et valoriser nos connaissances sur la diversité des substances naturelles. Les chercheurs commencent à comprendre ainsi leurs rôles dans les processus de communication au sein de biotopes très divers, aquatiques ou terrestres, et entre organismes dans les règnes animal, végétal, fongique ou bactérien. L'écologie chimique est aussi source d'inspiration pour de nouvelles applications et nous aide à concevoir les futures écotechnologies nécessaires à la résolution de problèmes environnementaux.

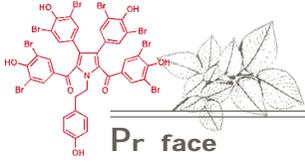
Cet ouvrage amène le lecteur à explorer les mille facettes du langage des molécules qui unit biodiversité et chimiodiversité du monde vivant.

Françoise Gaill

Directrice de l'Institut écologie et environnement du CNRS

Martine Hossaert-McKey

Directrice adjointe scientifique de l'Institut écologie et environnement du CNRS



Biochimie, biophysique, astrobiologie, astrophysique... Bien souvent, les échanges et les rapprochements de disciplines scientifiques, dont les objets d'étude et les paradigmes sont parfois très éloignés les uns des autres, se sont révélés extraordinairement féconds et ont même permis de donner naissance à de nouvelles disciplines. L'écologie chimique, née d'une convergence entre chimie et écologie, est une illustration particulièrement réussie de l'intérêt que revêtent ces dialogues interdisciplinaires. Le CNRS est particulièrement attaché à ce rapprochement des disciplines, rendu possible par la pluralité des compétences de notre organisme.

Cette discipline encore récente pourrait se définir comme « l'art de décrypter le langage universel de la nature », un langage chimique et impalpable qui permet aux organismes vivants de communiquer entre eux et avec leur environnement, devenant intelligible grâce aux compétences mutualisées des écologues et des chimistes, mais aussi des physiologistes, des biochimistes et des éthologues.

L'écologie chimique a fait ses premiers pas dans les années 1960 avec la description d'une phéromone sexuelle de papillon, celle du bombyx du mûrier, puis est devenue une science à part entière dans les années 1980. L'une des préoccupations majeures du xxi^e siècle étant la protection de notre environnement, malmené et pollué par les activités humaines, l'écologie chimique trouve aujourd'hui une résonance toute particulière. À travers la compréhension fine des interactions chimiques qui se jouent dans le monde du vivant, elle nous offre en effet des solutions originales pour gérer durablement notre planète.

Bien souvent, la recherche à l'interface de champs disciplinaires donne lieu à des échanges fertiles et permet d'accéder à de nouvelles connaissances. Ainsi, l'écologie chimique a ouvert une nouvelle fenêtre sur le monde vivant, sur la communication chimique qui se met en place au sein des populations animales, végétales, mais aussi fongiques ou bactériennes.

L'accumulation de données physiologiques, physico-chimiques, génétiques et éthologiques puis les concepts qui en découlent ont mis en évidence l'importance fondamentale de la communication chimique entre les êtres vivants. Ces interactions, via des molécules plus ou moins complexes, confèrent au vivant les capacités d'attirer un partenaire pour se reproduire, se nourrir ou bien se défendre. Elles confèrent [à] par exemple à l'orchidée la capacité d'attirer des insectes pollinisateurs par illusion sexuelle ou à l'acacia de s'associer à la fourmi pour éviter d'être mangé par l'éléphant ! L'objectif général de l'écologie chimique est d'essayer d'apporter des réponses pertinentes aux problèmes de l'écologie scientifique, à l'échelle moléculaire. Il peut s'agir de l'élucidation de mécanismes biologiques à l'aide des outils de la chimie organique et structurale, de la découverte de nouvelles voies de biosynthèse en lien étroit avec les techniques de génomique, de la synthèse de molécules d'intérêt environnemental, du développement de nouveaux outils analytiques et génomiques adaptés aux substances naturelles.

Au-delà de ces connaissances fondamentales, l'écologie chimique offre une source d'inspiration extrêmement précieuse aux scientifiques. Au chimiste, pour commencer, qui découvre des voies de synthèse extrêmement astucieuses, simples, efficaces et économes en énergie. À l'écologue, qui découvre de nouvelles molécules d'intérêt et développe de nouveaux outils pour protéger les cultures de certains parasites via des biopesticides, ou pour gérer les élevages grâce aux phéromones naturelles, ou encore dépolluer les sols à l'aide de certaines plantes. En effet, certaines espèces végétales sont capables de se développer sur des terrains hautement contaminés en métaux lourds, voire de séquestrer les polluants hautement toxiques dans leurs feuilles, et apportent des solutions originales à la décontamination des sols.

Nature, écologie... et chimie. Ce rapprochement n'allait pas de soi, et ce n'est pas le moindre des mérites de cet ouvrage que d'illustrer de façon éclatante la proposition de Jean-Marie Lehn selon laquelle la chimie est « la science de la matière informée ».

Alain Fuchs
Président du CNRS



La reproduction, en général, et la sexualité, en particulier, conditionnent la capacité des espèces à s'installer dans un milieu et à le coloniser. Chez les plantes, les stratégies de reproduction impliquent très souvent des associations avec des insectes, mais aussi des oiseaux et des mammifères, pour le transport du pollen. Pour attirer ces pollinisateurs variés, elles émettent notamment de nombreux composés olfactifs volatils. De même, chez les animaux, les odeurs ont un rôle généralement déterminant dans la détection et le choix d'un partenaire sexuel. Bien que les mécanismes moléculaires de détection et de production de ces parfums présentent des différences entre vertébrés et invertébrés, il existe de très fortes similitudes en ce qui concerne leurs codage et décodage nerveux. Ainsi, l'éléphante d'Asie utilise la même phéromone sexuelle que de nombreux papillons !

3. Le parfum du sexe

FOCUS

recherche



Ruche de *Apis ligustica*.

PARFUM D'ABEILLES

Parmi toutes les espèces d'abeilles, l'abeille domestique, *Apis mellifera*, présente une organisation sociale complexe. Alors que ces abeilles utilisent les odeurs à l'extérieur de la ruche pour optimiser le butinage et s'orienter plus efficacement vers les fleurs à partir desquelles elles se nourrissent, les odeurs qu'elles produisent dans la colonie sont indispensables au développement harmonieux du nid.

De façon classique, les abeilles émettent des signaux chimiques, des phéromones incitatrices, qui induisent des comportements précis chez les individus qui les perçoivent. Il en existe de nombreux exemples. Ainsi, à la vue d'un intrus, les ouvrières gardiennes produisent des molécules odorantes qui provoquent le comportement défensif des ouvrières soldats, qui sortent alors de la ruche pour piquer l'intrus.

Mais le plus étonnant est la faculté de ces insectes à produire des phéromones capables de bouleverser la physiologie des receveurs. Ainsi, pour assurer la complète maîtrise de la descendance de la colonie, la reine produit des phéromones modificatrices qui inhibent le développement des ovaires des ouvrières. Ce bouquet de molécules est produit par la glande mandibulaire de la reine et possède en premier lieu des effets incitateurs en induisant le comportement de cour des ouvrières vis-à-vis de la reine. Lorsque la reine se déplace parmi les ouvrières, celles-ci perçoivent la phéromone royale qui provoque des comportements de léchage ou d'antennation de la reine par les ouvrières. Ce comportement permet à la reine de diffuser ses phéromones peu volatiles parmi les ouvrières et de les castrer chimiquement. La même molécule peut donc induire un comportement spécifique et, simultanément, modifier la physiologie des receveurs.



Abeille (*Apis mellifera*)
sur un oranger.

Les phéromones produites par les larves sont un autre exemple remarquable. Ces molécules leur permettent d'être reconnues par les abeilles nourrices, tout en stimulant leurs glandes nourrices et en inhibant le développement de leurs ovaires. En outre, ces molécules conservent les ouvrières à l'état de nourrices et retardent le moment où elles vont devenir butineuses. Ainsi, les larves orientent les comportements et la physiologie des ouvrières nourrices à leur profit.

Par ailleurs, un même signal chimique peut posséder des effets incitateurs et inhibiteurs, et être produit par différents acteurs de la colonie. C'est le cas par exemple de l'oléate d'éthyle, sécrété par les larves, les butineuses et la reine, qui inhibe le développement comportemental des ouvrières du nid et assure l'équilibre entre le nombre d'abeilles nourrices ou butineuses dans la colonie. Toutes ces phéromones sont donc appelées « phéromones sociales ».

La face cachée des interactions : des micropartenaires au cœur de la nutrition

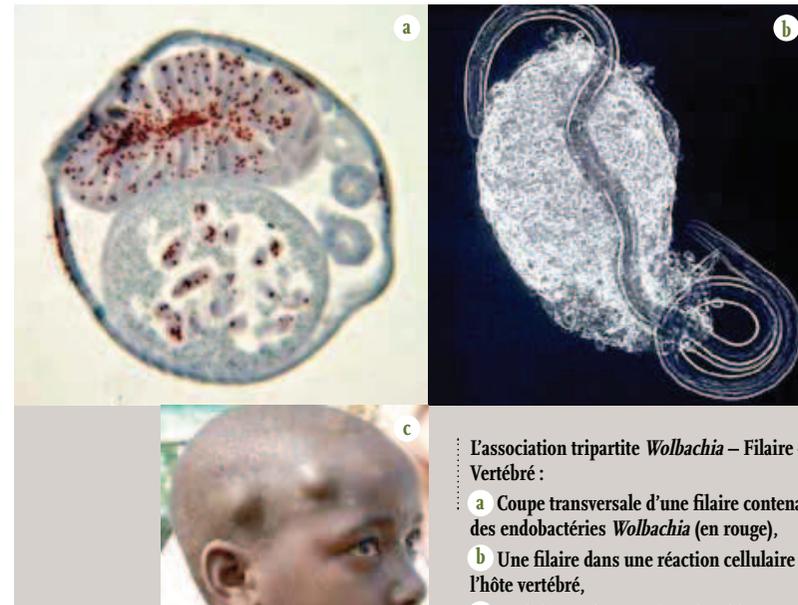
La nutrition motive la plupart des interactions entre les organismes vivants. La capacité nutritionnelle des organismes n'est pas seulement due à leurs propres fonctions métaboliques, mais aussi à celles prises en charge (ou facilitées) par des micro-organismes symbiotiques. En apportant de nouvelles capacités métaboliques codées par des gènes inexistantes chez leurs hôtes, ces micro-organismes leur permettent d'exploiter des ressources nutritionnelles particulières et de s'adapter à des environnements extrêmes, voire de contrecarrer les variations et perturbations du milieu.

Les micro-organismes permettent à leurs hôtes d'exploiter des ressources nutritionnelles particulières et de s'adapter à des environnements extrêmes, voire de contrecarrer les variations et perturbations du milieu.

Les insectes consommant des végétaux regroupent des espèces utilisant des ressources nutritionnelles très variées, difficiles à dégrader, toxiques, ou particulièrement pauvres ou déséquilibrées en nutriments. Les micro-organismes associés aux insectes permettent l'exploitation de telles ressources alimentaires. Par exemple, les pucerons, en hébergeant dans des structures spécialisées leurs bactéries *Buchnera*, se sont spécialisés dans l'exploitation de la sève des plantes, ressource plutôt carencée en acides aminés et vitamines. Les méthodes métagénomiques ont permis d'identifier quels composés à

valeur nutritive et précurseurs métaboliques (vitamines, acides gras, acides aminés, polyisoprénoïdes...) sont synthétisés par la bactérie symbiotique et fournis au puceron, et vice versa. En parallèle des apports métaboliques directs vers leurs insectes hôtes, les bactéries symbiotiques peuvent également agir en amont sur la plante qui sert de substrat alimentaire. C'est le cas de la bactérie *Wolbachia* qui, par exemple, lorsqu'elle est associée à la chrysomèle des racines du maïs (*Diabrotica virgifera*), peut inhiber les défenses de la plante, en agissant vraisemblablement sur les hormones signaux induisant la mise en place des défenses de la plante (acide jasmonique, acide salicylique

et/jou éthylène), ou encore, associée à la mineuse du pommier (*Phyllonorycter blancardella*), permet de retarder la dégradation nutritionnelle automnale des feuilles en participant à la synthèse de phytohormones comme les cytokinines. *Wolbachia* est, en outre, impliquée dans une relation mutualiste avec des vers parasites du système lymphatique et des tissus cutanés chez les vertébrés où elle participe au bon développement de l'embryogénèse du nématode. En retour, *Wolbachia* a besoin de la filaire pour assurer son métabolisme. Dans cette association tripartite une question clé est donc celle de la communication entre les trois partenaires : entre la bactérie et la filaire, la filaire et le vertébré et la bactérie et le vertébré. Ainsi, il existe des mécanismes élaborés par le vertébré pour lutter contre le nématode et sa bactérie associée, et d'autres mis en place par la filaire et *Wolbachia* pour échapper à cette réponse défensive.



L'association tripartite *Wolbachia* – Filaire – Vertébré :

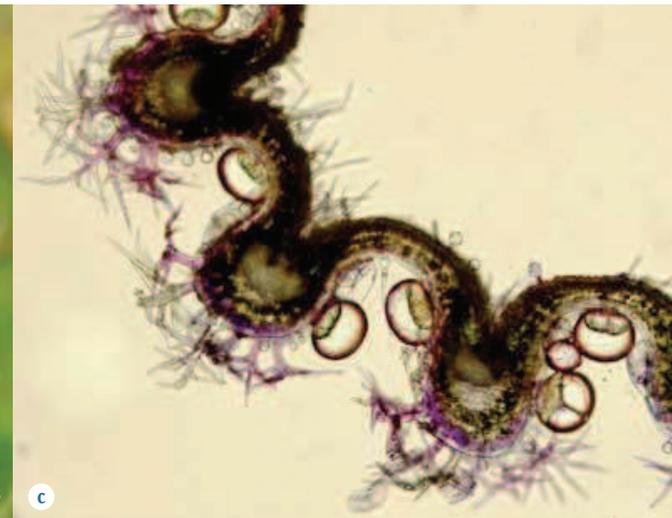
- a** Coupe transversale d'une filaire contenant des endobactéries *Wolbachia* (en rouge),
- b** Une filaire dans une réaction cellulaire de l'hôte vertébré,
- c** Nodules onchocerciens chez l'homme.



a



b



c

L'OR BLEU DE PROVENCE MENACÉ PAR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Depuis plusieurs siècles, la lavande fait partie de l'économie provençale. Elle contribue au dynamisme économique de la région : production et vente d'huile essentielle, miel, bouquets et autres produits dérivés ; attractivité touristique par l'embellissement des paysages.

À la fois symbole et vertu, la lavande produit des huiles essentielles parfumées, riches en molécules aromatiques volatiles qui sont stockées dans des glandes à la surface de ses feuilles et de ses calices. Véritables médiateurs chimiques, les molécules aromatiques permettent à la plante de se défendre face à

un environnement changeant, aux attaques de pathogènes ou de phytophages. C'est aussi un moyen d'attirer les pollinisateurs, favorisant la reproduction et l'apiculture locale.

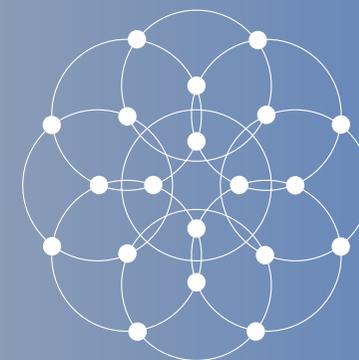
Les cultures de lavande, jamais irriguées, étaient jusque-là bien adaptées au terroir de Provence, avec ses sols calcaires et caillouteux où aucune autre culture n'est possible. Cependant, depuis une dizaine d'années, les lavanderaies françaises subissent un déclin sévère dû aux effets conjoints des épisodes de sécheresse répétés et de la maladie du dépérissement. Cette maladie est imputable

- a Un champ traditionnel de lavande.
- b Les médiateurs chimiques produits par la lavande permettent d'attirer les pollinisateurs.
- c Surface du calice de lavande (microscopie optique) : les glandes rondes contiennent l'huile essentielle.

à un agent pathogène, le phytoplasme de Stolbur, très présent dans le bassin méditerranéen et qui parasite notamment la vigne et la tomate. Il est transmis aux lavandes par un insecte de la famille des cicadelles.

Durant les cinq dernières années, les surfaces cultivées en lavande ont diminué de 30 à 40 % et le tonnage d'huile essentielle de lavande a chuté de 85 à 29 tonnes. Les lavanderaies françaises sont donc gravement menacées et, avec elles, un peu de l'âme de la Provence que Giono affectionnait tant. L'espoir pourrait être apporté grâce aux recherches menées actuellement

pour identifier des composés de défenses naturelles à la sécheresse et des composés intervenant dans le choix de plantes par la cicadelle vectrice du Stolbur.

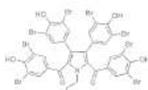




LISTE D'AUTEURS

AUTEURS

- BAGNÈRES-URBANY Anne-Geneviève**, Institut de recherche sur la biologie de l'insecte (IRBI), <http://irbi.univ-tours.fr>
- BALDY Virginie**, Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale (IMBE), <http://www.imbe.fr/>
- BANAIGS Bernard**, Laboratoire de chimie des biomolécules et de l'environnement (LCBE), <http://lcbe.univ-perp.fr/>
- BAUDINO Sylvie**, Laboratoire de biotechnologies végétales appliquées aux plantes aromatiques et médicinales (LBVpam), <http://portail.univ-st-etienne.fr/bienvenue/recherche/laboratoire-de-biotechnologies-vegetales-appliquees-aux-plantes-aromatiques-et-medicinales-26130.kjsp>
- BERTRAND Cédric**, Laboratoire de chimie des biomolécules et de l'environnement (LCBE), <http://lcbe.univ-perp.fr/>
- CAISSARD Jean-Claude**, Laboratoire de biotechnologies végétales appliquées aux plantes aromatiques et médicinales (LBVpam), <http://portail.univ-st-etienne.fr/bienvenue/recherche/laboratoire-de-biotechnologies-vegetales-appliquees-aux-plantes-aromatiques-et-medicinales-26130.kjsp>
- CHARPENTIER Marie**, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), <http://www.cefe.cnrs.fr/>
- CORTESERO Anne-Marie**, Institut de génétique environnement et protection des plantes (IGEPP), <http://www4.inra.fr/sante-plantes-environnement/Actualites/Igepp>
- FERNANDEZ Catherine**, Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale (IMBE), <http://www.imbe.fr/>
- GANEM Guila**, Institut des sciences de l'évolution de Montpellier (ISEM), http://www.isem.univ-montp2.fr/ganem_guila
- GIRON David**, Institut de recherche sur la biologie de l'insecte (IRBI), <http://irbi.univ-tours.fr/>
- GRISON Claude**, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), <http://www.cefe.cnrs.fr/substances-naturelles-et-mediations-chimiques/claude-grison>
- GROSJEAN Yaël**, Centre des sciences du goût et de l'alimentation (CSGA), <http://www2.dijon.inra.fr/csga/>
- HOSSAERT-MCKEY Martine**, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), <http://www.cefe.cnrs.fr/>
- LA BARRE Stéphane**, Végétaux marins et biomolécules (BioChiMar), <http://www.sb-roscoff.fr/umr7139.html>
- LEBLANC Catherine**, Végétaux marins et biomolécules <http://www.sb-roscoff.fr/umr7139.html>
- LUCAS Christophe**, Institut de recherche sur la biologie de l'insecte (IRBI), <http://irbi.univ-tours.fr/index.php?page=lucas>
- NAGNAN-LE MEILLOUR Patricia**, Unité de glycobiologie structurale et fonctionnelle (UGSF), <http://ugsf-umr-glycobiologie.univ-lille1.fr/>
- NAY Bastien**, Molécules de communication et adaptation des microorganismes (MCAM), <http://www.mnhn.fr/mcam/>
- PÉREZ Thierry**, Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale (IMBE), <http://www.imbe.fr/>
- POUPON Erwan**, Biomolécules : Conception, isolement, synthèse (BioCIS), <http://www.biocis.u-psud.fr/>
- REBUFFAT Sylvie**, Molécules de communication et adaptation des microorganismes (MCAM), <http://www.mnhn.fr/mcam/>
- THOMAS Olivier**, Institut de chimie de Nice (INC), <http://www.unice.fr/icn/>
- SCHATZ Bertrand**, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), <http://www.cefe.cnrs.fr/>
- VIARD Frédérique**, Adaptation et diversité en milieu marin (AD2M), <http://www.sb-roscoff.fr/umr7144.html>



CONTRIBUTEURS

- ARNAULT Ingrid**, CETU Innophyt - Centre d'expertise et de transfert universitaire, <http://innophyt.univ-tours.fr/accueil/>
- AUGER Jacques**, Institut de recherche sur la biologie de l'insecte (IRBI), <http://irbi.univ-tours.fr/>
- AUKAULOO Ally**, Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay (ICMMO), <http://www.icmmo.u-psud.fr>
- AUMEERUDDY-THOMAS Yildiz**, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), <http://www.cefe.cnrs.fr/>
- BARTHES Nicolas**, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), <http://www.cefe.cnrs.fr/>
- BELLANGER Jean-Michel**, Centre de recherche de biochimie macromoléculaire (CRBM), <http://www.crbm.cnrs.fr>
- BENDHAMANE Mohammed**, Reproduction et développement des plantes (RDP), <http://www.ens-lyon.eu/recherche/laboratoire-de-reproduction-et-developpement-des-plantes-umr-5667-81870.kjsp>
- BESSIERE Jean-Marie**, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), <http://www.cefe.cnrs.fr/>
- BONNARD Isabelle**, Université de Perpignan Via Domitia (UPVD), <http://lcbe.univ-perp.fr/>
- BOURDY Geneviève**, Pharmacochimie et pharmacologie pour le développement (PHARMA-DEV), <http://www.pharmadev.ird.fr/>
- BOURGUET Marie-Lise**, Molécules de communication et adaptation des microorganismes (MCAM), <http://www.mnhn.fr/mcam>
- BOUSQUET-MÉLOU Anne**, Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale (IMBE), <http://www.imbe.fr/>
- BOUSTIE Joël**, Institut des sciences chimiques de Rennes (Equipe PNSCM), <http://www.scienceschimiques.univ-rennes1.fr>
- BUISSON Didier**, Molécules de communication et adaptation des microorganismes (MCAM), <http://www.mnhn.fr/mcam>
- CULIOLI Gérald**, Matériaux polymères interfaces environnement marin (MAPIEM), <http://isitiv.univ-tln.fr/MAPIEM-Materiaux-Polymeres.html>
- DARROUZET Eric**, Institut de recherche sur la biologie de l'insecte (IRBI), <http://irbi.univ-tours.fr/>
- DORMONT Laurent**, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), <http://www.cefe.cnrs.fr/>
- DUGRAVOT Sébastien**, Institut de génétique environnement et protection des plantes (IGEPP), <http://www4.inra.fr/sante-plantes-environnement/Actualites/Igepp>
- FERNANDEZ Xavier**, Institut de chimie de Nice (INC), <http://www.unice.fr/icn/>
- GALAND Pierre**, Laboratoire d'écogéochimie des environnements benthiques (LECOB), <http://lecob.obs-banyuls.fr/>
- GALLET Christiane**, Laboratoire d'écologie alpine (LECA), <http://www-leca.ujf-grenoble.fr/>
- GÉVARD Jérémy**, Institut de recherche sur la biologie de l'insecte (IRBI), <http://irbi.univ-tours.fr/>
- JACQUIN-JOLY Emmanuelle**, Physiologie de l'insecte : signalisation et communication (PISC), <http://www-physiologie-insecte.versailles.inra.fr/>
- JULLIEN Frédéric**, Laboratoire de biotechnologies végétales appliquées aux plantes aromatiques et médicinales (LBVpam), <http://portail.univ-st-etienne.fr/bienvenue/recherche/laboratoire-de-biotechnologies-vegetales-appliquees-aux-plantes-aromatiques-et-medicinales-26130.kjsp>
- KAISER Wilfrid**, Institut de recherche sur la biologie de l'insecte (IRBI), <http://irbi.univ-tours.fr/>
- LE DANVIC Chrystelle**, Unité de glycobiologie structurale et fonctionnelle (UGSF), <http://ugsf-umr-glycobiologie.univ-lille1.fr/>
- LEBRETON Sébastien**, Dept. of Plant Protection Biology
- LE BRIS Nadine**, Laboratoire d'écogéochimie des environnements benthiques (LECOB), <http://lecob.obs-banyuls.fr/>

LE CONTE Yves, Laboratoire de biologie et protection de l'abeille, https://www.paca.inra.fr/les_recherches/pole_adaptation_au_changement_global_acg_1/abeilles_et_environment

LEJEUSNE Christophe, Biological Station of Doñana-CSIC, <http://www.ebd.csic.es/website1/Principal.aspx>

LI Yanyan, Molécules de Communication et adaptation des microorganismes (MCAM), <http://www.mnhn.fr/mcam>

LITAUDON Marc, Institut de chimie des substances naturelles (ICSN), <http://www.icsn.cnrs-gif.fr/>

MARTIN Coralie, Molécules de communication et adaptation des microorganismes (MCAM), <http://www.mnhn.fr/mcam>

MEUNIER Joël, Institut für Zoologie, <http://www.bio.uni-mainz.de/zoo/>

MOJA Sandrine, Laboratoire de biotechnologies végétales appliquées aux plantes aromatiques et médicinales (LBVpam), <http://portail.univ-st-etienne.fr/bienvenue/recherche/laboratoire-de-biotechnologies-vegetales-appliquees-aux-plantes-aromatiques-et-medicinales-26130.kjsp>

NICOLÉ Florence, Laboratoire de biotechnologies végétales appliquées aux plantes aromatiques et médicinales (LBVpam), <http://portail.univ-st-etienne.fr/bienvenue/recherche/laboratoire-de-biotechnologies-vegetales-appliquees-aux-plantes-aromatiques-et-medicinales-26130.kjsp>

ORMEÑO Elena, Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale (IMBE), <http://www.imbe.fr/>

PAYRI Claude, Biocomplexité des écosystèmes coralliens de l'Indo-Pacifique (CoRéUs 2), <http://www.ird.fr/la-recherche/unites-de-recherche/227-biocomplexite-des-ecosystemes-coralliens-de-l-indo-pacifique>

PETEK Sylvain, Systématique, adaptation, évolution (SAE), http://www.upmc.fr/fr/recherche/pole_4/pole_vie_et_sante/systematique_adaptation_evolution_sae_umr_7138.html

POTIN Philippe, Végétaux marins et biomolécules, <http://www.sb-roscoff.fr/umr7139.html>

PRADO Soizic, Molécules de communication et adaptation des microorganismes (MCAM), <http://www.mnhn.fr/mcam>

PROFFIT Magali, Division of Plant Protection Biology, Chemical Ecology, Swedish University of Agricultural, <http://www.slu.se/en/faculties/tj/about-the-faculty/departments/plant-protection-biology/>

RENOU Michel, Physiologie de l'insecte : signalisation et communication (PISC), <http://www-physiologie-insecte.versailles.inra.fr/>

RICHARD Franck, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), <http://www.cefe.cnrs.fr/>

RICO-LATTES Isabelle, Interactions moléculaires et réactivité chimique et photochimique (IRMCP), <http://imrcp.ups-tlse.fr/>

ROCHAT Didier, Physiologie de l'insecte : signalisation et communication (PISC), <http://www-physiologie-insecte.versailles.inra.fr/>

SCHAAL Benoist, Centre des sciences du goût et de l'alimentation (CSGA), <http://www2.dijon.inra.fr/csga/index.php>

SELOSSE Marc-André, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), <http://www.cefe.cnrs.fr/>

SMADJA Carole, Institut des sciences de l'évolution de Montpellier (ISEM), <http://www.isem.univ-montp2.fr/>

STIEN Didier, Institut de chimie des substances naturelles (ICSN), <http://www.icsn.cnrs-gif.fr/>

TOMASI Sophie, Institut des sciences chimiques de Rennes (Equipe PNSCM) <http://www.scienceschimiques.univ-rennes1.fr/equipes/pnscm/>

WICKER-THOMAS Claude, Laboratoire évolution, génomes et spéciation (LEGS), <http://www.legs.cnrs-gif.fr>