

Axe 1 : Biodiversité et Chimiodiversité**Responsables : Thierry Perez, Didier Stien****1.1 Contexte**

Cet axe thématique du GDR MediatEC avait été proposé parce qu'il existait un regain d'intérêt pour des grandes aventures « naturalistes » permettant de combler nos manques de connaissances sur la biodiversité de certains écosystèmes continentaux et marins, particulièrement dans des aires géographiques reculées. La biodiversité ne cessant de s'éroder, il y a urgence pour mieux apprécier la richesse de notre patrimoine naturel et de faire la démonstration de tout son potentiel en matière de services écosystémiques.

Les substances naturelles ont été et sont toujours des sources d'inspiration pour la découverte de substances utiles et valorisables. Ainsi, la chimie des substances naturelles, stimulée par l'industrie pharmaceutique, a longtemps soutenu des inventaires de biodiversité. Malheureusement, cette discipline souffre de la concurrence avec la synthèse à haut débit, de l'influence réductrice du criblage pharmacologique à haut débit, et enfin de la diminution de la fréquence des découvertes de molécules originales. Ce dernier point concerne les écosystèmes continentaux les plus accessibles, et nous voulions croire qu'il y avait encore beaucoup à découvrir dans les écosystèmes peu accessibles, et particulièrement dans le milieu marin. L'évolution récente de la recherche interdisciplinaire a été permise par le développement d'outils et de méthodes innovantes (métagénomique, métabolomique par ex.) permettant d'entrevoir de nouvelles possibilités de compréhension plus globale de la diversité du vivant.

1.2 Des prérequis indispensables pour booster une discipline émergente... (depuis trop longtemps !)

Avec les créations successives de plusieurs GDRs liant biodiversité et chimiodiversité (GDRs Ecologie Chimique et BIOCHIMAR dans un premier temps, puis MediatEC), la communauté scientifique française a opéré une restructuration majeure autour de ces questions. Cet effort doit être maintenu de manière à permettre la formation et le recrutement de jeunes chercheurs aux profils interdisciplinaires. Dans ce but, en plus des écoles thématiques que nous organisons tous les deux ans, des enseignements spécialisés en écologie chimique ont été mis en place dans plusieurs universités (Toulon, Lorient, Marseille, Perpignan par ex.). La description de la biodiversité dans toutes ses composantes, et notamment de la chimiodiversité, est un prérequis si l'on veut pouvoir répondre à des questions d'écologie chimique. Chaque nouvelle espèce contribue à l'émergence de nouvelles questions de biologie évolutive ou d'écologie fonctionnelle. Les découvertes de nouvelles molécules posent également de nouvelles questions concernant leur origine et leur action en tant que signaux biologiques ; elles permettent aussi d'aborder des questions fondamentales sur la réactivité moléculaire, les séquences biosynthétiques (chimique et génomique) qui les engendrent, l'impact sur les fonctions biologiques ainsi que leurs régulations.

1.3 Présentation synthétique de réalisations

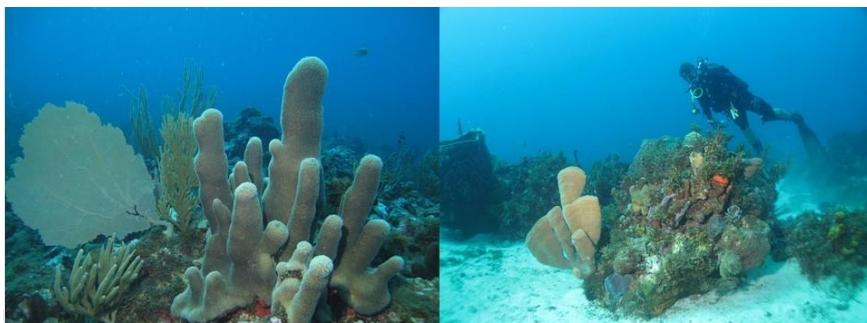
L'axe 1 a regroupé des chercheurs étudiant les mécanismes à l'origine de l'évolution de la diversité du vivant, de sa structuration et de son fonctionnement. L'objectif était de porter un regard holistique sur la diversité des êtres vivants et les mécanismes moléculaires mis en jeu entre les différents partenaires des écosystèmes dans un but d'inventaire, de description d'espèces et de nouvelles molécules, d'étude de la diversité métabolique et des processus d'interaction, et d'étude des processus évolutifs biologiques et chimiques. Parmi les molécules produites par un organisme, les métabolites dits « secondaires » sont caractérisés par une grande diversité, différents degrés de spécialisation et une certaine plasticité. Ainsi, ces molécules peuvent traduire les adaptations des organismes aux contraintes d'un environnement changeant, et le métabolome peut être considéré comme un « produit ou indicateur » de la sélection naturelle.

Ainsi profitant des avancées technologiques importantes dans le domaine de la chimie analytique et de la bioinformatique, nous faisons la promotion des outils de métabolomique de manière à caractériser et à archiver des images du patrimoine biologique et chimique de l'écosystème. La métabolomique permet en effet une « évaluation rapide de la chimio-diversité » et une identification des molécules d'intérêt économique (une alternative au bioguidage) ou des biomarqueurs de processus écologiques. Cette approche particulièrement utile en écologie (voir les applications réalisées dans l'axe 3 « Médiations chimiques dans les écosystèmes » et dans l'axe 6 « Ecologie chimique dans un environnement changeant ») reste intimement liée aux approches traditionnelles d'isolement, de caractérisation de composés originaux, et se montre également extrêmement utile pour l'étude des voies de

biosynthèse (Axe 2). Ainsi, ce premier mandat du GDR MediatEC a vu plusieurs plateaux importants de métabolomique se mettre en place au sein de notre communauté d'écologues (Marseille, Toulon, Perpignan, Nantes, Roscoff par ex.), l'intégration de formations basiques à nos écoles thématiques (ETEC 1, 2 et 3), mais aussi des organisations conjointes plus fréquentes de formations plus pointues avec des collaborateurs métabolomistes membres du RFMF (ex. Atelier Métabolomique CorebioPACA, 12-13 dec. 2016, Marseille). A chacune des AG du GDR MediatEC, une session d'exposés était dédiée à l'axe 1 et la représentation de la métabolomique dans l'ensemble du programme a considérablement augmenté année après année. Enfin, un autre résultat de ce travail, signification de promotion de cette approche, a été l'organisation d'un atelier métabolomique durant le dernier colloque de prospectives d'INEE (22-24 fev. 2017, Bordeaux).

L'Axe 1 s'intéresse à la fois aux microorganismes, aux végétaux et aux animaux, et d'une manière plus générale à la biodiversité et la chimiodiversité des holobiontes. Les travaux scientifiques réalisés au sein de l'Axe 1 proprement dit apportent donc des prérequis indispensables à la réalisation des objectifs scientifiques d'autres axes : 1) apporter des connaissances fondamentales sur la biodiversité dans toutes ces composantes dans des écosystèmes peu explorés ; 2) appliquer les principes de la taxonomie intégrative pour décrire de nouveaux taxons, résoudre des complexes d'espèces cryptiques, soutenir des hypothèses phylogénétiques ou d'évolution des voies de biosynthèse ; 3) caractériser des médiateurs chimiques dont les fonctions écologiques sont étudiées dans le cadre d'autres axes du GDR ; 4) contribuer à la structuration et l'alimentation de bases de données (lien avec l'Axe 8). A travers nos travaux de description de la biodiversité et de la chimiodiversité, nous contribuons au développement de stratégies de conservation et de valorisation dans un souci de développement durable.

Au cours de ce mandat, notre communauté a donc organisé ou participé à de grandes expéditions naturalistes, particulièrement en milieu marin où il reste beaucoup à découvrir. Par exemple, la campagne PACOTILLES a exploré pendant deux mois les écosystèmes littoraux des Petites Antilles, réalisant des collections de référence pour les macrophytes, les coraux et les éponges. Dans ce dernier cas, la taxonomie intégrative est systématiquement employée pour dresser l'inventaire de la biodiversité, son volet métabolomique permettant une première évaluation de la chimiodiversité potentiellement valorisable. Cette campagne réalisée en 2015 produira de nombreux résultats au cours de la prochaine mandature du GDR MediatEC, tout comme TARA-Pacific qui a récemment entrepris un tour des récifs coralliens de la planète pour établir le bulletin de santé des coraux par des approches multi-omiques.



En milieu marin, les expéditions naturalistes telles que PACOTILLES (2015) ou TARA-Pacific (2016-2018) permettent de constituer des collections de référence pour caractériser la biodiversité et la chimiodiversité d'aires géographiques ou écosystèmes mal connus. Les délivrables issus de ces campagnes sont nombreux : nouveaux taxons, nouvelles classifications phylogénétiques, patrons biogéographiques, zones d'endémisme, nouvelles connaissances de la structure et du fonctionnement des écosystèmes, des services écosystémiques, états de conservation, nouvelles molécules potentiellement valorisables... des connaissances fondamentales utiles aux gestionnaires de l'environnement et sources de richesse pour les pays du sud (photos T. Pérez)

- metabolomics and influence of culture parameters » J. Proteome Res. (2017) 16(5), 1962–1975.
 Vieira C, J. Gaubert, O. De Clerck, **C. E. Payri, G. Culoli, O. P. Thomas** « Biological activities associated genus Lobophora (Dictyotales, Phaeophyceae) » Phytochem. Rev. (2017) 16(1), 1-17.
Genta-Jouve G, Croué J., Weinberg L., Cocandea V., Holderith S., Bontemps N., **Suzuki M. and Thomas O. P.** Two-dimensional ultra High pressure liquid chromatography quadrupole/time-of-flight mass spectrometry for semi-targeted natural compounds identification. *Phytochemistry Letters*, 2014, 10, 318-323.
 Fahed L, El Beyrouthy M, Ouaini N, **Eparvier V, Stien D** (2016) Isolation and characterization of santolinoidol, a bisabolene sesquiterpene from Achillea santolinoides subsp wilhelmsii (K. Koch) Greuter. *Tetrahedron Lett* 57:1892-1894
Greff S., Zubia M., **Payri C.**, **Thomas O.P.**, **Pérez T.** (2017). Chemogeography of the red macroalgae Asparagopsis: metabolomics, bioactivity, and relation to invasiveness. *Metabolomics* 13: 33. doi:10.1007/s11306-017-1169-z
 Cachet N., G. **Genta-Jouve**, J. Ivanisevic, P. Chevaldonné, F. Sinniger, **G. Culoli, T. Pérez, O.P. Thomas** « Metabolic profiling reveals deep chemical divergence between two morphotypes of the zoanthid *Parazoanthus axinellae* », *Sci. Rep.* (2015) 5, 8282.
Reverter M., **Pérez T.** Ereskovsky A.V., **Banaigs B.** (2016). Secondary metabolome variability and inducible chemical defenses in the Mediterranean sponge *Aplysina cavernicola*. *Journal of Chemical Ecology* 42(1) : 60-70
 Bauvais C., Zirah S., Piette L., Chaspoul F., **Domart-Coulon I.**, Chapon V., Gallice P., **Rebuffat S.**, **Perez T.**, **Bourguet-Kondracki M.L.** (2015). Sponging up marine metals: Bacterial community associated with the sponge *Spongia officinalis*. *Marine Environmental Research* 104 : 20-30
 Houel E, Nardella F, Jullian V, Valentin A, Vontron-Senecheau C, Villa P, Obrecht A, Kaiser M, Bourreau E, **Odonne G**, Fleury M, Bourdy G, **Eparvier V**, Deharo E, **Stien D** (2016) Wayanin and guaijaverin, two active metabolites found in a *Psidium acutangulum* Mart. ex DC (syn. *P. persoonii* McVaugh) (Myrtaceae) antimalarial decoction from the Wayana Amerindians. *J Ethnopharmacol* 187:241-248
 Toure S, Nirma C, Falkowski M, Dusfour I, Boulogne I, Jahn-Oyac A, Coke M, Azam D, Girod R, Moriou C, **Odonne G**, **Stien D**, Houel E, **Eparvier V** (2017) *Aedes aegypti* Larvicidal Sesquiterpene Alkaloids from Maytenus oblongata. *J Nat Prod* 80:384-390

Axe 2 : Voies du métabolisme

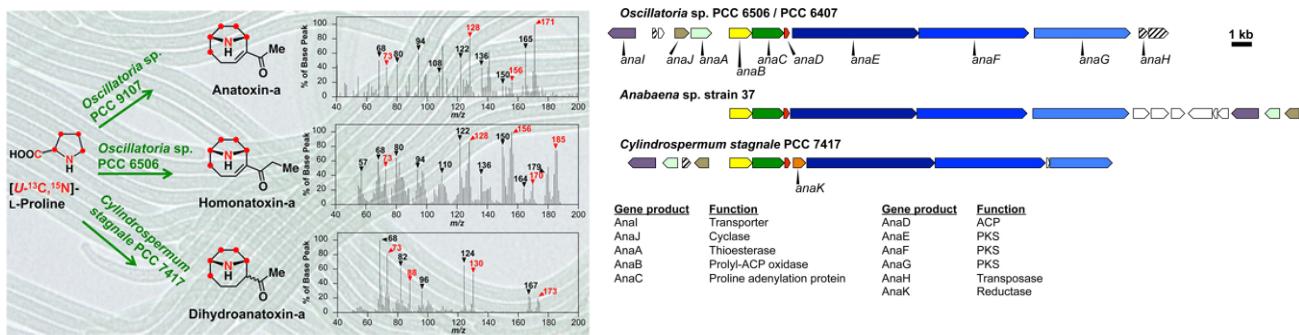
Responsables : Sylvie Baudino et Erwan Poupon

2.1 Évolution et tendances internationales et en France (sur les 5 dernières années)

• Élucidation des voies de biosynthèse

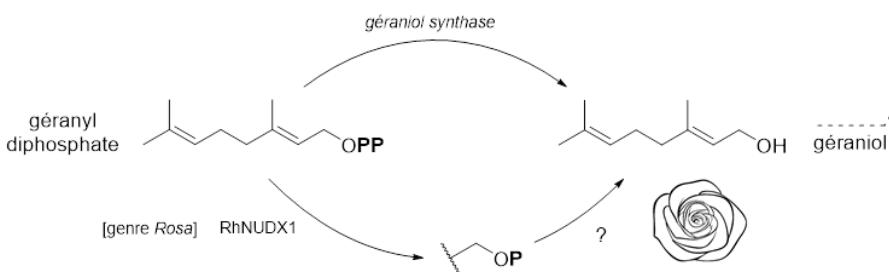
La recherche est allée à une vitesse considérable au cours des 5 dernières années, bénéficiant de toutes les nouvelles avancées de la génomique, de la transcriptomique et de la métabolomique à des coûts de plus en plus abordables. Mais c'est au prix d'un afflux de données en masse dont le traitement et le stockage constituent des enjeux majeurs pour les années à venir. Si ce sont les micro-organismes producteurs de métabolites spécialisés qui ont bénéficié - et de loin - le plus des recherches (bactéries, champignons...), le monde végétal n'est pas en reste avec des avancées majeures dans le domaine. Quelques tendances et faits marquants peuvent être mentionnés :

- Les connaissances accumulées sur la structure, le fonctionnement, la régulation des complexes multi-enzymatiques de biosynthèse chez les micro-organismes (PKS, NRPS, PKS/NRPS) sont phénoménales, elles permettent d'affiner de plus en plus l'acuité des bases de données.



- Élucidation de la biosynthèse de la dihydroanatoxine-a [J. Nat. Prod. 2016, 79, 1775] -

- Chez les plantes, des avancées majeures ont été faites, par exemple dans la connaissance de la biosynthèse des alcaloïdes indolomonoterpéniques dont la localisation multitissulaire est un cas d'école. D'une manière générale, un nombre croissant de phénomènes de convergence dans les voies de biosynthèse, c.a.d. la possibilité pour les plantes d'utiliser des voies différentes pour synthétiser les mêmes molécules, a été démontré.



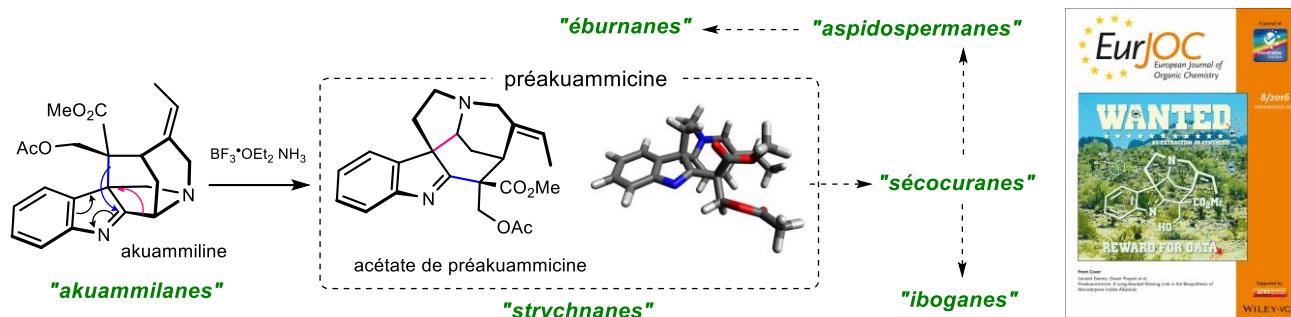
- Biosynthèse de monoterpènes volatiles chez les roses : un résultat majeur de l'axe 2
[Science 2015, 349, 81] -

- La biologie synthétique est en plein essor, il est aujourd'hui envisageable de produire par fermentation des métabolites spécialisés de structures complexes (acide artémisinique précurseur de l'artémisinine, demain des opiacés ...). Les cycles vertueux « Design, Build, Test, Learn » ont quitté l'ingénierie et se popularisent en sciences biologiques.

• Mécanismes moléculaires intimes dans les voies de biosynthèse

La connaissance des mécanismes moléculaires a également progressé par l'apport de la synthèse organique notamment quand elle est bio-inspirée.

- « L'art de la synthèse totale » continue d'apporter son lot de succès, montrant qu'aucune architecture moléculaire complexe n'échappe à la main de l'Homme.
- la catalyse bio-inspirée se développe à vitesse grand V, elle permet notamment d'envisager des fonctionnalisations de carbones non activés à la manière des mono-oxygénases.
- des stratégies biomimétiques bien menées ont continué d'apporter des informations sur les mécanismes moléculaires de la biosynthèse de métabolites spécialisés parfois très complexes.



[des conditions réactionnelles simples permettent, au laboratoire, de convertir l'akuammiline en préakuammicine, un précurseur-clé dans la biosynthèse d'un grand nombre d'alcaloïdes. De nombreuses questions de chirauté ont été soulevées lors de cette étude.]

- Intérêt des corrélations biomimétiques pour la compréhension de mécanismes moléculaires dans les voies de biosynthèse
[Eur. J. Org. Chem. 2016, 1494] -

- dans le domaine de l'analyse structurale, les séquences RMN sont de plus en plus efficaces pour déterminer des structures complexes, les outils de prédiction se démocratisent également. C'est aussi le cas de l'analyse des configurations absolues : à ce titre un nombre conséquent de substances naturelles racémiques ou, plus étrange, scalémiques ont été décrites sur la période.

2.2 Actions menées pour atteindre les objectifs fixés

- La création du GDR a permis de faire se rencontrer des chercheurs et des communautés qui ne se connaissaient pas bien. Les initiatives financées ont été bienvenues pour des échanges de doctorants (p. ex. un projet autour de l'élucidation de la biosynthèse des communésines fongiques).
- Les « projets exploratoires premiers soutiens » du CNRS ont permis de fédérer des chercheurs du GDR (p. ex. : élucidation des voies de biosynthèse chez des éponges marines modèles).
- Des collaborations initiées dans le cadre du GDR ont également menées à des financements ANR (p. ex. les lichens marins comme sources potentielles de molécules anticancéreuses impliquant l'étude des voies de biosynthèse dans le microbiote).
- La participation active des personnes impliquées dans l'axe 2 au cours des journées de prospectives de l'INEE à Bordeaux en février 2017 (p. ex. ateliers « biomimétisme et bio-inspiration ») a permis de clairement afficher le dynamisme de l'axe 2.

2.3 Sélection de la production scientifique

• Élucidation des voies de biosynthèse

- Plantes terrestres :

Biosynthesis of monoterpene scent compounds in roses. Magnard J-L, Roccia A, Caillard J-C, Vergne P, Sun P, Hecquet R, Dubois A, Oyant LH, Jullien F, Nicolle F, Raymond O, Huguet S, Baltenweck R, Meyer S, Claudel P, Jeauffre J, Rohmer M, Foucher F, Hugueney P, Bendahmane M, Baudino S, *Science* 2015, 349, 81.

- Micro-organismes, lichens :

Spatial mapping of lichen specialized metabolites using LDI-MSI: chemical ecology issues for *Ophioparma ventosa*. Le Pogam P, Le Lamer A C, Legouin B, Geairon A, Rogniaux H, Lohezic-Le Devéhat F, Obermayer W, Boustie J, *Sci. Rep.* 2016 [10.1038/srep37807].

- Insectes :

Flexible origin of hydrocarbon/pheromone precursors in *Drosophila melanogaster*. Wicker-Thomas C, Garrido D, Bontonou G, Napal L, Mazuras N, Denis B, Rubin T, Parvy J P, Montagne J. J. Lipid Res. 2015, 56, 2094.

Leaf-mining by *Phyllonorycter blancardella* reprograms the host-leaf transcriptome to modulate phytohormones associated with nutrient mobilization and plant defense. Zhang H, Dugé de Bernonville T, Body M, Glévarec G, Reichelt M, Unsicker S, Bruneau M, Renou JP, Huguet E, Dubreuil G, Giron D. (2016) J. Insect Physiol. 84, 114-127.

• Élucidations structurales déréPLICatives, analyses configurationnelles complexes

Revisiting previously investigated plants: a molecular networking-based study of Geissospermum leave (Vell.) Miers. Fox Ramos A E, Alcover C, Evanno L, Maciuk A, Litaudon M, Duplais C, Bernadat G, Gallard J F, Julian J C, Mouray E, Grellier G, Loiseau P M, Pomel S, Poupon E, Champy P, Beniddir M A, J. Nat. Prod., 80, 1007, 2017

Terrazoanthines, 2-Aminoimidazole alkaloids from the tropical Eastern Pacific zoantharian Terrazoanthus onoi. Guillen P O, Jaramillo K B, Genta-Jouve G, Sinniger F, Rodriguez J, Thomas O P, Org. Lett., 19, 1558., 2017.

Biotransformations versus chemical modifications: new cytotoxic analogs of marine sesquiterpene ilimaquinone. Boufridi A., Petek S., Evanno L., Beniddir M. A., Debitus C., Buisson D., Poupon E. (2016) Tetrahedron Lett. 57, 4922–4925

Boufridi A., Lachkar D., Erpenbeck D., Beniddir M. A., Evanno L., Petek S., Debitus C., Poupon E. (2017) Ilimaquinone and 5-epi-ilimaquinone: beyond a simple diastereomeric ratio, biosynthetic considerations from NMR-based analysis. Aust. J. Chem. 70, 743–750

Axe 3 : Interactions chimiques dans les écosystèmes

Responsables : Catherine Fernandez, Soizic Prado, David Giron

3.1 Objectif de l'axe Interactions chimiques dans les écosystèmes

L'objectif de cet axe du GDR Mediatec résidait dans l'étude des interactions écologiques complexes et de leurs implications sur les processus écosystémiques par l'étude de la médiation chimique impliquée dans la régulation de ces interactions multipartites. Cet objectif vise à mieux appréhender le *fonctionnement* des écosystèmes dans leur globalité mais également leur *dynamique* et leur *évolution* à plus long terme.

Par ailleurs cet axe naissait du double constat, au moment de son élaboration, que : 1. L'étude des médiations chimiques impliquées dans les interactions écologiques restait en France une discipline encore émergente, alors qu'à l'étranger de nombreux groupes s'étaient déjà structurés ; 2. Les récents développements technologiques offraient de nouvelles perspectives pour la caractérisation et la quantification des composés chimiques impliqués dans les interactions multipartites au sein des écosystèmes en combinant approches moléculaires et chimiques.

3.2 Évolution et tendances internationales et en France (sur les 5 dernières années)

Les activités des laboratoires associés à l'axe 3 du GDR Mediatec ont largement contribué au développement des méthodologies et connaissances relatives à la caractérisation chimique et à l'identification des rôles écologiques des médiateurs chimiques (métabolites secondaires et primaires) volatils et/ou diffusibles impliqués dans les interactions multipartites. Les travaux réalisés ont ainsi permis des analyses à différentes échelles (individus, communautés, écosystèmes) avec comme évolution majeure la prise en compte de leurs variabilités temporelle et spatiale.

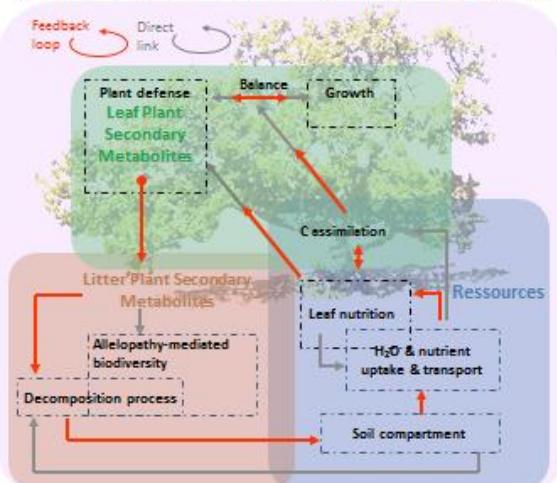
Les avancées majeures de l'axe 3 résident néanmoins dans la contribution très significative de la communauté française en Ecologie Chimique aux avancées scientifiques sur le rôle des micro-organismes dans la synthèse et la médiation chimique entre organismes et dans les processus écosystémiques (décomposition de la matière organique et rétroaction sur les communautés) qui y sont associés. Nos travaux conjoints ont ainsi largement contribué à la dynamique mondiale qui s'intéresse au concept d'*Holobionte*. L'association de chimistes et d'écologistes au sein du GDR Mediatec a ainsi contribué au positionnement stratégique de plusieurs laboratoires qui y sont associés sur la scène internationale, en accord direct avec les objectifs principaux du GDR. Le concept d'*Holobionte* (du grec *holo*, tout, et *bios*, vie) originellement décrit chez les coraux et définissant l'hôte et son microbiote associé comme un « superorganisme » se généralise en effet peu à peu à de nombreux autres organismes (animaux, plantes) mettant ainsi en évidence le rôle fondamental des micro-partenaires associés. Ainsi ce microbiote associé impacte directement la physiologie de l'hôte et contribue directement ou indirectement à la modulation des interactions écologiques au sein des écosystèmes.

Cependant ce microbiote reste très vaste, particulièrement dynamique et difficile à appréhender dans sa fonction au sein des organismes et des écosystèmes. Ainsi malgré les progrès récents de métagénomique et de génomique fonctionnelle, il est encore difficile de pouvoir totalement l'appréhender. Par ailleurs, la caractérisation du rôle de ce microbiote dans la médiation chimique au sein des écosystèmes reste un véritable challenge notamment compte-tenu du fait que peu de ces microorganismes sont cultivables. Des efforts conséquents ont donc été déployés par les équipes du GDR Mediatec pour tenter d'optimiser les conditions de cultures et quelques travaux récents mettent en avant des méthodes innovantes permettant de considérablement augmenter le nombre de souches cultivables (méthode *iChip*, Nature 517, 455–459, 2015). Le deuxième axe méthodologique sur lequel les équipes du GDR se sont très fortement concentrées réside dans le profilage métabolique ciblé afin d'identifier de potentielles signatures chimiques spécifiquement associées à ces microorganismes et impliquées dans la régulation des interactions écologiques complexes (Insect Science, in press, 2017). Les pistes alternatives également à l'étude concernent le traçage *in situ* de la production métabolique. Les progrès récents de métabolomique/fluxomique, de marquages isotopiques et d'imagerie notamment par spectrométrie de masse laissent espérer de belles perspectives dans un

avenir proche. Cette dernière approche, couplée à des analyses en réseaux moléculaires a par exemple permis de montrer que des bactéries *Pseudoalteromonas* associées aux coraux sont capables de produire plus de composés polycétide antifongiques (alteramide) à l'obscurité qu'à la lumière (ACS Chem Biol 17, 2300-8, 2014), période où ils sont le plus vulnérables à l'infection fongique. Enfin, les récents progrès de bio-informatique couplés au nombre croissant de génomes de microorganismes séquencés apparaissent comme une piste intéressante pour tenter de mieux élucider les métabolites présents et leur rôle potentiel.

Dans le cadre du fonctionnement des écosystèmes, les membres de l'axe 3 ont participé au développement de l'écogéochimie qui propose d'appréhender, par des approches intégratives, la complexité des systèmes écologiques et des mécanismes par lesquels les composantes biotiques et abiotiques de l'écosystème interagissent. Elle complète les approches classiques de l'écologie fonctionnelle en abordant sur le même plan les organismes et les composantes de leur environnement abiotique, particulièrement les composés chimiques en interaction avec ces organismes. La modification directe par les communautés d'organismes de leur environnement chimique immédiat, via des composés biologiquement et chimiquement actifs, génère des boucles de rétroactions que l'on peut alors qualifier d'écogéochimiques. Les métabolites secondaires apparaissent alors comme variables forçantes du fonctionnement des écosystèmes, du maintien de la biodiversité et de sa dynamique en particulier via des processus de type allélopathiques.

Exemple d'étude intégrative : effet direct et indirect du changement climatique sur la relation sol-plante (ANR programme blanc SecPrime²)



L'ensemble des résultats acqui-

ainsi encore plus dans la nécessité

de développer des approches intégratives et d'allier les compétences pluridisciplinaires pour répondre à des questionnements clés d'écologie. Le GDR MediatEC, par la complémentarité des approches écologiques et chimiques aura largement contribué à produire des avancées scientifiques significatives dans la compréhension de la médiation chimique dans les écosystèmes et dans le positionnement international des équipes de recherche françaises qui y sont rattachées.

3.4 Sélection de références et production scientifique au sein de l'axe

- Ternon E, Zarate L, Chenesseau S, Croue J, Dumollard R, Suzuki MT, Thomas OP – (2016) – Spherulization as a process for the exudation of chemical cues by the encrusting sponge C-crabe. Sci Rep 6
- Tian Y, Armand S, Buisson D, Kunz C, Hachette F, Dupont J, Nay B, Prado S – (2014) – The fungal leaf endophyte *Paraconiothyrium* variable specifically metabolizes the host-plant metabolome for its own benefit. Phytochemistry, 108, 95-101
- Lorenzi M.C., Azzani L., Bagnères A.-G., 2014. Evolutionary consequences of deception: Complexity and informational content of colony signature are favored by social parasitism. Current Zoology, 60, 137–148.
- Fernandez C, Monnier Y, Santonja M, Gallet C, Weston L, Saunier A, Prévosto B, Bousquet-Mélou A. (2016). The impact of competition and allelopathy on the trade-off between plant defense and growth in two contrasting tree species. Frontiers in plant sciences. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2016.00594>
- Vieira C., O.P. Thomas, G. Culoli, G. Genta-Jouve, F. Houlbreque, J. Gaubert, O. De Clerck, C.E. Payri « Cold war in the tropics: allelopathic interactions between the brown algal genus *Lobophora* (Dictyotales, Phaeophyceae) and scleractinian corals? » Sci. Rep. (2016) 6, 18637.
- Bonelli M., Lorenzi M.C., Christidès J.-P., Dupont S. & Bagnères A.-G., 2015. Population diversity in cuticular hydrocarbons and mtDNA in a mountain social wasp. Journal of Chemical Ecology, 41, 22-31.
- Hossaert-McKey M., Proffit M., Soler C.C.L., Chen C., Bessière J-M., Schatz B., and Borges R.M. 2016. How to be a dioecious fig: Alternative strategies for intersexual chemical mimicry in a nursery pollination mutualism. Scientific Report, 6 DOI: 10.1038/srep21236.
- Giron D, Glévarec G. (2014) Cytokinin-induced phenotypes in plant-insect interactions: learning from the bacterial world. J. Chem. Ecol., 40, 826-835
- Hemmerlin A., Tritsch D., Hammann P., Rohmer M., Bach T.J. (2014) Profiling of defense responses in *Escherichia coli* treated with fosmidomycin. Biochimie 99, 54-62.
- Leguet A., Giberna M., Shintu L., Caldarelli S., Moja S., Baudino S., Caillard J-C. (2014) Evidence for early intracellular accumulation of volatile compounds during spadix development in *Arum italicum* L. and preliminary data on some tropical Aroids. Naturwissenschaften 101, 623-35.

- LeConte Y**, Huang Z.Y., Roux M., Zeng Z. J., **Christidès J.-P.**, **Bagnères A.-G.**, 2015. *Varroa destructor* changes cuticular hydrocarbons to mimic its new host, even when the new host is of a different species. *Biology Letters* 11(6): 20150233.
- Glaser N., **Frérot B.**, Leppik E., Monsempes C., Capdeville-Dulac C., Le Ru B., Lecocq T., Harry M., **Jacquin-Joly E.**, Calatayud P-A. (2014) Similar differentiation patterns between PBP expression levels and pheromone component ratios between two Sesamia nonagrioides populations. *Journal of Chemical Ecology* 40, 923–927
- Mérot C., **Frérot, B.**, Leppik E., Joron M. (2015) Beyond magic traits: Multimodal mating cues in *Heliconius* butterflies . *Evolution*, 69, 11 2891-2904
- Younus F, Fraser NJ, Coppin CW, Liu JW, Correy GJ, Chertemps T, Pandey G, **Maïbèche M**, Jackson CJ, Oakeshott JG. (2017) Molecular basis for the behavioral effects of the odorant degrading enzyme Esterase 6 in *Drosophila*. *Scientific Reports* 7: 46188
- de Fouchier A.*, Walker W.B., Montagné N., Steiner C.* , Binyameen M., Schlyter F., Chertemps T., Maria A., François M.-C., Monsempes C., Anderson P., Hansson B.S., Larsson M.C., **Jacquin-Joly E.** (2017) Functional evolution of Lepidoptera olfactory receptors revealed by deorphanization of a moth repertoire. *Nature Communications* 8:15709.
- Conchou L**, **Cabioch L**, Rodriguez L.J.V., Kjellberg F. (2014). Daily rhythm of mutualistic pollinator activity and scent emission in *Ficus septica*: ecological differentiation between co-occurring pollinators and potential consequences for chemical communication and facilitation of host speciation. *PlosONE*, 9, e103581
- Charpentier M.J.E.**, **Barthès N.**, **Proffit M.**, **Bessière J.M.**, **Buatois B.**, **Grison C.** (2012). Critical thinking in the chemical ecology of mammalian communication: Roadmap for future studies. *Functional Ecology*, 26, 769-774.
- Ternon E**, Zarate L, Chenesseau S, Croue J, Dumollard R, **Suzuki MT**, **Thomas OP** (2016) Spherulization as a process for the exudation of chemical cues by the encrusting sponge *C-crambe*. *Sci Rep* 6
- Frérot B., R. **Delle-Vedove**, L. Beaudoin-Ollivier, P. **Zagatti**, P. H. Ducrot, C. **Grison**, M. **Hossaert-McKey**, E. Petit. Fragrant legs in *Paysandisia archon* males (*Lepidoptera, Castniidae*). *Chemoecology*, 2013, 23, 137-142.
- Bornancin L**, I. **Bonnard**, S. C. Mills and B. **Banaigs**. Chemical mediation as a structuring element in marine gastropod predator-prey interactions. *Nat. Prod. Rep.*, 2017,34, 644-676
-



Axe 4 : Ecologie chimique sensorielle

Responsables : Nicolas Barthes, Yaël Grosjean, Benoist Schaal,
Yves Le Conte

4.1 Évolution et tendances à l'international et en France (sur les 5 dernières années)

Le principal objectif de cet axe visait à mettre en évidence les mécanismes moléculaires et cellulaires de la détection des agents olfactifs ou gustatifs, et les processus de traitement neuraux et cognitifs conduisant à une réponse adaptée. Un des enjeux majeurs de ces 5 dernières années au niveau national et international était de poursuivre la caractérisation des récepteurs moléculaires mobilisés dans la détection des ligands chimiques. L'effort a également porté sur la compréhension des voies nerveuses mobilisées pour traiter les signaux et ainsi impacter le comportement et la cognition. Les centres d'intérêts des travaux inclus dans cet axe allaient, au niveau périphérique, de la génétique moléculaire des récepteurs, à la biochimie des interactions ligands-récepteurs et des événements périrécepteurs, et aux phénomènes cellulaires qui pérennissent les capacités de détection de ces éléments sensoriels surexposés au stress environnemental. Au niveau central, les objectifs ciblaient les réseaux nerveux et les ressources neurochimiques impliqués dans la discrimination, la mémoire et les préférences. Ces réseaux nerveux supportent des processus perceptifs qui sont soit spécialisés dans la détection de stimuli à valeur de signal prédisposé, soit généralistes et ubiquitaires qui permettent l'acquisition des conditions de l'environnement local. Les mécanismes de plasticité au sein de ces réseaux neurosensoriels constituent aussi des objets d'étude actives et montrent l'influence cruciale de l'environnement chimique dans la spécification fonctionnelle des systèmes de réception ou de traitement. Enfin, au niveau de l'organisme, les fonctions chimiosensorielles ont été et sont analysées pour leur aptitude à contrôler et réguler les phénomènes physiologiques et développementaux.

Un objectif important de cet axe était également d'aborder les interactions chimie-biologie pour identifier les composés comportementalement actifs dans les mélanges complexes ou au contraire les profils complexes porteurs d'information, mais aussi de comprendre les causes de perturbation chimiosensorielle liées aux phénomènes de pollutions d'origines abiotique, biotique ou anthropique. Actuellement un des enjeux forts dans ce domaine de recherche lié à la perception chimiosensorielle est de comprendre le rôle de récepteurs exprimés dans d'autres cellules ou tissus n'appartenant pas au système gustatif ou olfactif. Ainsi plusieurs questions fondamentales émergent des travaux réalisés ces dernières années, comme par exemple, comment les odorants peuvent influencer les fonctions immunitaires ou métaboliques.

4.2 Actions menées pour atteindre les objectifs fixés

Au cours de ces 5 dernières années, plusieurs équipes du GDR ont été dynamiques en écologie chimique sensorielle. C'est le cas de plusieurs centres de recherche du CNRS (Dijon, Montpellier, Lyon, Toulouse, Tours) ou d'autres

organismes (Tours, Versailles, Jouy-en-Josas, Avignon) couvrant les thématiques chimiosensorielles du niveau moléculaire aux niveaux les plus intégratifs. Les travaux français excellent en particulier dans l'identification de composés odorants biologiquement actifs et dans l'élucidation des mécanismes neurobiologiques et éthologiques de la cognition olfactive et gustative. Les réunions annuelles dans le cadre de ce GDR ont permis la communication des résultats obtenus par les équipes de recherche, et la prise de contacts informels afin de coordonner les efforts de recherche de chacun.

4.3 Sélection de références et production scientifique au sein de l'axe 4

- Schaal B. (2014). Pheromones for Newborns. In: Mucignat-Caretta C, editor. Neurobiology of Chemical Communication. Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis. Chapter 17.
- Mondet F, Alaux C, Severac D, Rohmer M, Mercer AR, Le Conte Y. 2015. Antennae hold a key to Varroa-sensitive hygiene behaviour in honey bees. *Sci Rep.* 5:10454.
- Depetris-Chauvin A., Galagovsky D. & Grosjean Y. 2015. Chemicals and chemoreceptors: ecologically relevant signals driving behavior in *Drosophila*. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 3:41.
- Kremers D, Célérier A, Schaal B, Campagna S, Trabalon M, Böye M, Hausberger M, Lemasson A (2016). Sensory perception in cetaceans: Part I – Current knowledge about dolphin senses as a representative species. *Frontiers in Ecology and Evolution* 4:49 & Part II - Promising Experimental Approaches to Study Chemoreception in Dolphins. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 4:50
- Loos H, Doucet S, Védrières F, Sharapa C, Soussignan R, Durand K, Sagot P, Büttner A, Schaal B (2017). Responses of human neonates to odorants isolated from sweat: reactions to parts does not obligatorily match reactions to wholes. *Journal of Chemical Ecology*, 43, 106-117.
- Ziegler A.B., Mézagé C., Grégoire S., Garcia T., Ferveur J.-F., Bretillon L. & Grosjean Y. (2015) Lack of Dietary Polyunsaturated Fatty Acids Causes Synapse Dysfunction in the *Drosophila* Visual System. *PLOS one*, 10(8), e0135353.
- Dupuy F, Rouyar A., Deisig N., Bourgeois T., Limousin D., Wycke M.A., Anton S., Renou M. (2017) A background of a volatile plant compound alters neural and behavioral responses to the sex pheromone blend in a moth. *Frontiers in Physiology*, 8, 79.
- Poitrotte C, Massol F, Herbert A, Willaume E, Bomo PM, Kappeler PM, Charpentier MJE. 2017. Mandrills use olfaction to socially avoid parasitized conspecifics. *Science Advances*, 3(4),e1601721.
- Perez M, Nowotny T, d'Ettorre P, Giurfa M (2016) Olfactory experience shapes the evaluation of odour similarity in ants: a behavioural and computational analysis. *Proceedings of the Royal Society - Biological Sciences B* 283: 20160551.
- Perez M, Giurfa M, d'Ettorre P. (2015) The scent of mixtures: rules of odour processing in ants. *Scientific Reports*. 5:8659. doi: 10.1038/srep08659.
- Bos N, Roussel E, Giurfa M, d'Ettorre P (2014) Appetitive and aversive olfactory learning induce similar generalization rates in the honey bee. *Animal Cognition* 17:399-406.
- Bordier C, Suchail S, Pioz M, Devaud J-M, Collet C, Charreton M, Le Conte Y, Alaux C (2016) Stress response in honeybees is associated with changes in task-related physiology and energetic metabolism. *Journal of Insect Physiology* 98: 47-54.
- Carcaud J, Giurfa M, Sandoz J-C (2016) Parallel olfactory processing in the honey bee brain: odor learning and generalization under selective lesion of a projection neuron tract. *Frontiers Integrative Neuroscience* 9:75.

Axe 5 : Dialogues moléculaires procaryotes-procaryotes et procaryotes-eucaryotes

Responsables : Sophie Tomasi, Gaël Le Pennec, Marie-Lise Bourguet-Kondracki

5.1 Évolution et tendances à l'international et en France

Conscients de l'importance des interactions hôte-microbiote, qui assurent un rôle fondamental dans la physiologie des organismes et leurs réponses aux perturbations environnementales, nous avions proposé pour ce GDR MediatEC un axe intitulé « Dialogues moléculaires procaryotes- procaryotes et procaryotes-eucaryotes ».

L'intérêt croissant de la communauté scientifique internationale pour ces interactions hôte-microbiote et plus généralement la symbiose* et son fonctionnement s'est poursuivi ces dernières années. Le nombre de congrès internationaux sur le sujet s'est développé de façon considérable. Le 8th International Symbiosis Society Congress, colloque international qui se déroule tous les trois ans avait pour thème en 2015 à Lisbonne « *Symbiotic lifestyle* » et a été présenté avec ces mots « *Symbiosis is today considered ubiquitous and one of the main characteristics of the biological systems, which involves networking at distinct levels through molecular, physical, or physiological communication and allows evolution and adaptation* ». Enfin plusieurs sections ont été dédiées au microbiote animal / végétal dans des congrès de microbiologie (e.g. American Society of Microbiology, ISME).

A l'heure où de nombreuses institutions à travers le monde explorent et analysent les différents modes de symbiose connus à ce jour, la France mène également une recherche dynamique dans ce domaine. De nombreux colloques ont également été organisés cette année en France afin de faire le point de nos connaissances sur les différents modèles d'interactions et d'en comprendre les mécanismes et leurs signalisations : International colloquium Symbiosis in evolution, biology and human health à l'IBPS, International Conference on holobionts au MNHN (co-organisatrice M-L Bourguet-Kondracki), Symbiose et cohabitation à l'Académie des Sciences. Le 1^{er} et le 2^{ème} Colloque de la microbiologie dans tous ses états, organisé respectivement par l'UPMC en 2016 (co-organisatrice S. Collin) et le MNHN en 2017 (co-organisatrice S. Rebuffat), qui ont également consacré plusieurs sessions et interventions aux

symbioses en milieux continentaux et aquatiques et aux rôles joués par les microbiotes sur la santé et l'environnement.

Toutes ces manifestations témoignent de l'importance de mieux connaître le rôle des microorganismes dans les holobiontes. Il est apparu clairement que l'étude des communautés microbiennes et des interactions hôte-microbiote permettent des découvertes en termes de protection de la santé humaine ou animale, de productions végétales et aussi de protection de l'environnement.

* Définition de l'International Symbiosis Society (1998) : association intime et durable entre deux organismes appartenant à deux espèces différentes et qui conduit à de nouvelles voies métaboliques avec ou sans échange de matériel génétique.

5.2 Actions menées pour atteindre les objectifs fixés

Le compartiment microbien des animaux marins, réservoir de microbiodiversité dont la nature et le fonctionnement restent à l'heure actuelle sous-explorés, a été particulièrement étudié dans le cadre de ce GDR. Citons en exemple les travaux de l'équipe SYMBiose MARine SYMAR à l'Université de Nice-Sophia Antipolis. Un travail de thèse, dirigé par Cécile Sabourault, a été soutenu en 2015 par Johana Revel intitulé « *Médiateurs chimiques dans la symbiose cnidaire-dinoflagellés : caractérisation, distribution et réponse au stress* ». Ce travail a été consacré aux relations symbiotiques entre Cnidaires et Dinoflagellés dont on connaît le problème écologique majeur lors des épisodes de blanchissement des coraux. La caractérisation et la distribution des médiateurs chimiques ont été étudiées chez l'anémone de mer *Anemonia viridis*, ainsi que leurs modifications en réponse à un stress, thermique ou chimique, qui conduit à la rupture de la symbiose. Les relations symbiotiques entre Cnidaires-Dinoflagellés ont été étudiées dans ce cas d'un point de vue physiologique et moléculaire associant des approches pluridisciplinaires aux niveaux génétique, transcriptomique, protéomique et métabolomique. Ce travail a été repris pour mettre en place un projet plus large de comparaison entre photosymbioses benthiques et planctoniques (projet ANR 2015-2020 piloté par Fabrice Not à Roscoff), l'objectif étant d'étudier le comportement des associations radiolaires-dinoflagellés en fonctions des modifications environnementales liées au changement climatique global. D'autres travaux, illustrés par les thèses de Julie Croué à l'UPMC (M. Suzuki et Nathalie Bontemps-Tapissier, Directeurs de thèse), Samuel Dupont au MNHN (M-L Bourguet-Kondracki, Directrice de thèse), Delphine Parrot à l'Université de Rennes 1 (S. Tomasi, Directrice de thèse), Charlotte Nirma à l'ICSN (D. Stien, Directeur de thèse), ont porté sur l'étude du microbiote associé aux éponges marines, aux lichens ou aux termites, y compris la production de molécules potentiellement impliquées dans la médiation chimique procaryotes-procaryotes et procaryotes-eucaryotes. Notons aussi les travaux de thèse de Margot Doberva et Léa Girard à l'UPMC (M. Suzuki, R. Lami, J. Baudart P. Lebaron, Directeurs de thèse) parmi d'autres, et qui ont étudié les mécanismes et molécules de quorum-sensing chez les bactéries du plancton marin et les *Vibrios* environnementaux. Ces travaux ont été associés à des projets ANR (MALICA 2013-2018 porté par M. Suzuki et SECIL 2015-2019 porté par D. Stien).

Lors des différentes manifestations qui se sont succédées en France sur le concept de l'holobionte, il est clairement apparu que les organismes hôtes ne pouvaient être étudiés sans tenir compte de la communauté microbienne complexe résidente et des interactions diverses entre partenaires. L'essor de la biologie cellulaire et les approches globales (« omiques ») permettent maintenant une analyse détaillée de ces interactions. Les approches pluridisciplinaires associant la métabolomique, la génomique, la transcriptomique, la protéomique constituent un ensemble très riche d'investigations pour l'étude de la symbiose, des mécanismes moléculaires nécessaires à son maintien et aussi son évolution lors d'un stress biotique ou abiotique. Ces différents aspects ont d'ailleurs fait l'objet de présentations et de discussions lors de l'école thématique d'écologie chimique de Juin 2016. Il est donc nécessaire de promouvoir encore plus et de faciliter l'échange des connaissances entre systèmes, et les avancées techniques qui sont considérables dans de nombreux domaines et en particulier l'intégration des données traversant le continuum génoème – métabolome. Le maintien de cet axe au sein d'un renouvellement du GDR apparaît comme essentiel. L'étude de la diversité et des rôles des microbiotes hébergés par divers organismes, éponges, coraux, insectes plantes... doit donc être soutenue, encouragée et partagée avec un plus grand nombre car tous ces organismes sont influencés par les communautés microbiennes complexes qu'ils hébergent, façonnant leur écologie et leur évolution.

5.3 Principales productions scientifiques au sein de l'axe.

Bauvais C, Bonneau N, Blond A, Perez T, Bourguet-Kondracki M-L and Zirah S. Furanoterpene diversity and variability in the marine sponge *Spongia officinalis* from untargeted LC-MS/MS metabolomic profiling to furanolactam derivatives, Metabolites 2017, in press.

Girard L, Blanchet É, Intertaglia L, Baudart J, Stien D, Suzuki M, Lebaron P, Lami R. Characterization of N-Acyl Homoserine Lactones in *Vibrio tasmaniensis* LGP32 by a Biosensor-Based UHPLC-HRMS/MS Method. Sensors, 2017, 17:906.

Reverter M, Sasal P, Tapissier-Bontemps N, Lechini D, Suzuki M. Characterisation of the gill mucosal bacterial communities of four butterflyfish species: a reservoir of bacterial diversity in coral reefs ecosystems. FEMS Microbiol Ecol. 2017, fix051. doi: 10.1093/femsec/fix051.

- Kopp C, Wisztorski M, Revel J, Mehiri M, Dani V, Capron I, Carette D, Fournier I, Massi L, Mouajjah D, Pagnotta S, Priouzeau F, Salzet M, Meibom A & **Sabourault C.** MALDI-MS and NanoSIMS imaging techniques to study cnidarian-dinoflagellate symbioses. *Zoology*, 2015, 118(2):125-131.
- Nirma C, Eparvier V, Stien D. Reactivation of antibiotic in the entomogenous fungus *Chrysoporthe* sp. SNB-CN74, *Journal of Antibiotics*, 2015, 68:586-590.
- Dani V, Ganot P, Priouzeau F, Furla P & **Sabourault C.** Are Niemann-Pick type C proteins key players in cnidarian-dinoflagellate endosymbioses? *Molecular Ecology*, 2014, 23:4527-40.
- Dobera M, Sanchez Ferandin S, Ferandin Y, Intertaglia L, Croué J, **Suzuki M, Lebaron P, Lami R** (2014) Genome sequence of the sponge-associated Ruegeria halocynthiae strain MOLA R1/13b, a marine Roseobacter with two quorum-sensing-based communication systems. *Genome Announc* 2 e00998-14
- Parrot D, Legrave N, Delmail D, Grube M, **Suzuki M, Tomasi S** (2016) Review - Lichen-Associated Bacteria as a Hot Spot of Chemodiversity: Focus on Uncialamycin, a Promising Compound for Future Medicinal Applications. *Planta Med* 82:1143-1152
- Réduo V., Vallet M., Kumar A., Meslet-Cladière L., Pang K-L, **Pouchus Y.F.**, Georges B., **Grovel O., Bertrand S., Prado S.**, Roullier C., Burgaud G. *Marine Fungi*. In : Stal L.J., Cretiou M.S. (Eds), "The marine microbiome – an untold resource of biodiversity and biotechnological potential", Springer International Publishing, 2016.
-

Axe 6 : Ecologie chimique dans un environnement changeant

Responsables : Frédérique Viard et Olivier Thomas

6.1 Contexte

Les écosystèmes sont soumis à des modifications environnementales sur le long terme mais également sur le court terme, et ce de façon souvent aigüe et de plus en plus fréquente. Ces modifications sont liées aux activités humaines, à des phénomènes naturels et à leurs interactions. La médiation chimique est un élément clé de la structure et du fonctionnement des écosystèmes. Or les changements environnementaux peuvent affecter la biosynthèse des médiateurs chimiques, perturbant ainsi les relations intra- et inter-spécifiques et les équilibres écosystémiques locaux, pour tendre vers d'autres équilibres ou d'autres relations. Ces médiateurs chimiques jouent aussi des rôles importants dans les processus d'acclimatation et d'adaptation des organismes à leur environnement.

Dans ce contexte, à la création du GDR Mediatec, nous avions fait le constat de 1) la présence de laboratoires d'excellence à l'échelle internationale et 2) d'approches en métabolomique environnementale et/ou écologique encore trop rares en France. Nous avions identifié plusieurs laboratoires travaillant sur les effets écologiques, chimiques et évolutifs des changements environnementaux sur les écosystèmes terrestres et/ou marins qui avaient néanmoins initiés de telles recherches. Partant des enjeux sur cet axe, et de ce contexte institutionnel national de recherche, **trois thèmes fédérateurs avaient été alors proposés concernant les relations entre médiations chimiques et perturbations environnementales** : i) l'impact du changement global sur la médiation chimique ; ii) l'impact des contaminants organiques et inorganiques sur le métabolisme ; et iii) les interactions entre introductions biologiques et la médiation chimique au sein des écosystèmes.

Différents partenaires du GDR Mediatec ont fortement contribué aux trois thèmes mentionnés auparavant grâce à leur possibilité d'accéder à des infrastructures de terrain ou expérimentales. Il est à noter qu'un des enjeux sur cet axe et ces thèmes est de pouvoir **développer des approches expérimentales**. Ces dernières permettent de passer d'une approche corrélative à la mise en évidence de causalité ainsi que d'étudier des effets multi-factoriels caractéristiques des changements environnementaux. D'un point de vue technologique, les avancées des **techniques dites « -omiques » ont également permis des avancées significatives** sur ces trois thèmes par les membres du GDR Mediatec, notamment grâce à la comparaison de données moléculaires issues d'organismes subissant différentes variations de facteurs environnementaux. Par exemple le développement de la métabolomique permet d'étudier l'impact sur le métabolisme d'augmentation de la température, de la présence de polluants ou encore les effets de contact entre espèces introduites et indigènes. Le metabarcoding permet également de caractériser efficacement la diversité microbienne, composante clé de nombreuses interactions chimiques.

6.2 Thème 1 : Impact du changement global

De façon surprenante, relativement peu d'études s'adressent à la question du changement global sur les médiations chimiques dans l'environnement. Néanmoins, un certain nombre de collègues français étudient par exemple l'effet du réchauffement climatique ou d'épisodes de sécheresses sur les relations interspécifiques avec des applications étendues aux écosystèmes (CNRS-IMBE) ou aux agrosystèmes (INRA). On remarquera toutefois que les interactions entre les groupes de recherche restent encore trop limitées, notamment du fait des différences entre modèles et/ou terrain d'étude.

Parmi les recherches sur ce thème, et de façon non exhaustive, nous pouvons citer le groupe de Geneviève Chiapuso du laboratoire chrono-environnement qui concentre une partie de ses recherches sur **l'impact du changement climatique sur les interactions plantes-plantes et plantes-micro-organismes dans les tourbières** de l'est de la France, des zones aquatiques particulières et fragiles. Dans un habitat bien différent, sur les rives de la Méditerranée,

des chercheurs de l'IMBE étudient les effets des changements globaux sur la biodiversité méditerranéenne à différents niveaux d'intégration biologique : molécules, organismes, populations et écosystèmes. Dans ce cadre le projet ANR SecPriMe visait à combiner des approches de modélisation avec des données expérimentales pour mieux comprendre **l'impact des sécheresses sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers méditerranéens**. Les groupes niçois de l'INRA et de l'Université Nice Sophia Antipolis sont également particulièrement actifs dans ce domaine avec par exemple un projet notamment soutenu par la région PACA sur **le dépérissement de la lavande** et un projet EraNet StomP sur les effets du **changement climatique sur les interactions avec la tomate**.

Les exemples cités plus hauts sont développés en milieu continental. Dans l'environnement marin moins de laboratoires s'intéressent aux impacts des perturbations climatiques sur les processus d'allélopathie. Nous pouvons néanmoins citer un autre groupe de l'IMBE à Marseille qui étudie les effets **d'épisodes de réchauffement sensible de la mer Méditerranée sur la mortalité de spongiaires** et ainsi la communication avec d'autres espèces de l'écosystème.

Ainsi même si les recherches sur ce thème sont à soutenir et développer, on remarquera la diversité des (quelques) systèmes étudiés.



Diversité des écosystèmes étudiés pour l'influence du changement climatique sur les médiations chimiques

6.3 Thème 2 : Impact de contaminants organiques et inorganiques

Au sein du GDR Mediatec, l'impact de contaminants sur la médiation chimique est là encore surtout étudié en milieu terrestre. Par exemple Magali Proffit du CEFE à Montpellier caractérise **l'impact de polluants atmosphériques sur la rencontre entre espèces dans les interactions plantes-insectes** et sur **la résilience de ces interactions**. Le laboratoire IES à Paris s'intéresse quant à lui à l'effet des **pesticides sur la chemoréception des insectes dans un contexte de protection des plantes**. De nombreuses applications de ces recherches existent notamment dans un cadre de **biocontrôle des cultures**. Il est en effet essentiel d'évaluer l'impact de tout type de composés de type pesticide sur les relations plante-pathogène. C'est une des thématiques phares d'une équipe du CRIOBE à Perpignan dirigée par Cédric Bertrand. Ce laboratoire est particulièrement actif dans l'organisation de rencontres « *Natural Products and Biocontrol* » qui sont organisées tous les ans à Perpignan et qui rassemblent de nombreux membres du GDR Mediatec intéressés par cette thématique.



Médiation chimique : implications sur le biocontrôle en agriculture.

Dans le milieu marin ces études sont beaucoup plus rares même si des équipes niçoises s'intéressent à **l'impact de contaminants sur le métabolisme et donc la communication de spongiaires méditerranéens**. De façon similaire, à la station biologique de Roscoff, Christophe Lejeusne étudie l'impact des ports sur la diversité biologique et les capacités d'acclimatation **d'invertébrés marins** en évaluant en particulier leur **réponse métabolique à une**

augmentation de la concentration métallique. Il est à noter que ces thématiques en milieu marin semblent davantage souffrir de la difficulté de financements.

6.4 Thème 3 : Médiation et invasions biologiques

Il est à noter que la communauté scientifique du domaine des invasions biologiques est déjà organisée dans le cadre d'un GDR (« Invasions Biologiques ») du CNRS sur ce thème. Néanmoins cette thématique prend tout son sens et mérite une organisation dédiée s'agissant des **médiations chimiques, mécanismes clés dans la dynamique des processus d'introduction biologique**. La présence d'espèce non indigènes dans des écosystèmes est un phénomène en accroissement à une échelle planétaire, et ce aussi bien dans les milieux terrestres, dulçaquicoles que marins. Ces processus sont en prise directe avec l'augmentation des échanges commerciaux (traffic maritime, aquaculture etc.). Il est à noter que ce **thème a été étendu aux proliférations d'espèces indigènes**. Outre qu'il existe quelques convergences entre les deux processus (ex. phénomène de « bloom »), dans un certain nombre de cas, le statut des espèces étudiées est ambigu et fait l'objet d'études préalables (cas des espèces cryptogéniques en milieu marin par exemple).

Particulièrement actifs dans ce domaine de recherche appliquée aux études des relations insectes-parasites, les équipes de l'IRBI étudient **les médiateurs chimiques impliqués dans ces interactions avec des espèces non indigènes de termites et de frelon** en particulier.



Insectes sociaux et algues : deux modèles pour l'étude de l'impact d'espèces invasives et/ou proliférantes et de leurs métabolites sur des espèces locales.

Sur cette thématique plusieurs groupes de recherche en France s'intéresse également aux processus d'introduction biologique ou de prolifération d'organismes et donc de leur impact sur la communication chimique en milieu marin et terrestre. Par exemple le projet **EraNet Seaprolif** coordonné par l'IRD à Nouméa et rassemblant plusieurs partenaires du GDR Mediatec s'est penché sur le **caractère proliférant de l'algue rouge *Asparagopsis taxiformis*** dont le statut de taxon introduit vs. local était indéterminé au démarrage du projet. Les recherches menées ont notamment concerné l'étude des **métabolites de cette algue sur des espèces indigènes de coraux** en particulier dans l'océan pacifique mais aussi en Méditerranée à travers des approches de **métabolomiques et de metabarcoding** (communautés microbiennes associées). Egalement le projet TermiCentre sur la **problématique d'un terme invasif en France d'origine américaine**.

Les **efflorescences de cyanobactéries ou de dinoflagellés toxiques** font aussi partie des phénomènes de plus en plus récurrents en milieu aquatique. Ces questions à fort impact sociétal sont au cœur du GDR Phycotox mais aussi du GIS Cyano. Plusieurs partenaires du GDR Mediatec s'intéressent à ces modèles biologiques à travers la médiation chimique associée aux métabolites produits. Le projet **ANR OCEAN-15** a été récemment financé pour **étudier l'impact écotoxicologique des métabolites produits par le dinoflagellé toxique *Ostreopsis cf ovata* sur des organismes présents sur les côtes méditerranéennes**.

6.5 Point clés du bilan

Il ressort de cet axe « Ecologie Chimique dans un environnement changeant » que cette **thématique est clairement émergente dans notre GDR Mediatec, et que des avancées significatives ont été réalisées**. Différents projets notamment soutenus par l'ANR ont émargé à cet axe ainsi que des thèses, articles et chapitres d'ouvrages (voir plus loin). On retiendra également la **part importante du milieu terrestre dans ces recherches**, en particulier illustrée par les nombreuses recherches sur les relations plantes/insectes et le biocontrôle. Toutefois, dans le cas des invasions biologiques, plusieurs projets ont été financés dans le milieu marin, en particulier sur l'impact de macroalgues introduites/proliférantes, et concernant les conséquences d'efflorescences microalgales sur les espèces locales. Il convient donc de **poursuivre la fédération et les soutiens aux recherches menées en milieu marin** où les enjeux de recherche sur les thèmes de l'axe 6 sont forts.

Quelques soient les milieux ou cas d'étude, on soulignera la **nécessité en infrastructures d'observations et d'expérimentations sur ce domaine de recherche**, à la croisée des chemins entre écologie, évolution et chimie des substances naturelles.

Enfin, il apparaît que les **communautés scientifiques travaillant sur ces domaines de recherche sont de plus en plus nombreuses**. Un soutien actif aux recherches dans ce domaine doit donc être poursuivi, et ce d'autant plus du fait du **fort caractère sociétal de ces études**.

6.6 Eléments de la production scientifique relevant de l'Axe 6

Changement global

Becker C., Desneux N., Monticelli L., Fernandez X., Michel T., Lavois A.-V. Effects of Abiotic Factors on HPV-Mediated Interactions between Plants and Parasitoids. *BioMed Research International* 2015, 342982

Binet P., Rouified S., Jassey V. E. J., Toussaint M.-L., Chiapusio G. Experimental climate warming alters the relationship between fungal root symbiosis and Sphagnum litter phenolics in two peatland microhabitats. *Soil Biology & Biochemistry* 2017, 105, 153-161.

Han P., Desneux N., Michel T., Le Bot J., Seassau A., Wajnberg E., Amiens-Desneux E., Lavois A.-V. Does plant cultivar difference modify the bottom-up effects of resources limitation on plant-insect herbivore interactions? *Journal of Chemical Ecology*, 2016, 42: 1293–1303.

Santonja M., Fernandez C., Proffit M., Gers C., Gauquelin T., Reiter I.M., Cramer W., Baldy V. Plant litter mixture partly mitigates the negative effects of extended drought on soil biota and litter decomposition in a Mediterranean oak forest. *Journal of Ecology*, 2017 doi: 10.1111/1365-2745.12711.

Contaminants

Bozzolan F., Siaussat D., Maria A., Durand N., Pottier M-A., Chertemps T., Maibèche-Coisne M. Antennal uridine diphosphate (UDP)-glycosyltransferases in a pest insect: diversity and putative function in odorant and xenobiotics clearance. *Insect Molecular Biology* 2014 (5): 539-49

Dewer Y., Pottier M-A., Lalouette L., Maria A., Dacher M., Belzunces L.P., Kairo G., Renault D., Maibeche M., Siaussat D. Behavioral and metabolic effects of sublethal doses of two insecticides, chlorpyrifos and methomyl, in the Egyptian cotton leafworm, Spodoptera littoralis (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23, (4) 3086-3096

Lalouette L., Pottier M-A., Wycke M-A., Boitard C., Bozzolan F., Maria A., Demondion E., Chertemps T., Lucas P., Renault D., Maibeche M., Siaussat D.

Unexpected effects of sublethal doses of insecticide on the peripheral olfactory response and sexual behavior in a pest insect. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2016, 23 (4): 3073-85

Médiations & invasions biologiques

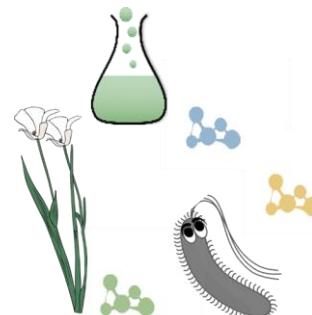
Le Conte Y., Huang Z.H., Roux M., Zeng Z.J., Christidès J.-P., Bagnères A.-G. *Varroa destructor* changes cuticular hydrocarbons to mimic its new host. *Biology Letters*, 2015, 11(6): 20150233.

Greff S., Aires T., Serrao E. A., Engelen A. H., Thomas O. P., Perez T. The interaction between the proliferating macroalgae Asparagopsis taxiformis and the coral *Astrocoetes calycularis* induces changes in microbiome and metabolomic fingerprints. *Scientific Reports* 2017, 7, 42625.

Dewer Y., Pottier M-A., Lalouette L., Maria A., Dacher M., Kairo G., Belzunces L., Renault D., Maibeche M. & Siaussat D. (2016) Behavioral and metabolic effects of sublethal doses of two insecticides, chlorpyrifos and methomyl, in the Egyptian cotton leafworm, Spodoptera littoralis (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 3086-3096.

Axe 7 : Approches globale et transversale de l'ingénierie verte, chimie et écologie combinées

Responsables : Claude Grison, Cédric Bertrand, Didier Buisson



7.1 En ce qui concerne la valorisation du potentiel des médiateurs chimiques en protection des cultures, l'axe 7 a été très actif. En effet porté par une volonté française et européenne de réduire l'utilisation des pesticides conventionnels, le développement des recherches pour la proposition de composés naturels en protection des cultures a pris une place conséquente dans cet axe. Avec 3 congrès internationaux co-organisés par les responsables de l'axe (Natural Products & Biocontrol 2012, 2014 & 2016), et la publication d'un ouvrage dédié (*Natural Products and Biocontrol, Les médiateurs chimiques naturels impliqués dans les mécanismes de protection des cultures. Presse Universitaire de Perpignan, 2014, 109p, ISBN 978-2-35412-234-8*).

7.2 Les applications des biotransformations microbiologiques ont été développées suivants deux axes. Le premier comme outil de chimie verte afin de générer de la diversité moléculaire en préparant des produits autres que ceux obtenus par synthèse organique. Soit parce que la(es) réaction(s) est difficile(s) voire impossible(s), soit parce que l'on obtient des sélectivités (régio-, stréréo-) différentes. Le deuxième axe est l'étude du devenir des polluants dans l'environnement. Les biotransformations avec des souches identifiées permettent de préparer, de caractériser et donc d'étudier l'écotoxicité des produits de transformations biotiques des médicaments re-largués dans

l'environnement. Les différentes approches développées pour mener à bien ces études ont permis de rationaliser la sélection de micro-organismes actifs.

7.3 Les recherches en chimie bio-inspirée et Innovations écologiques en remédiations ont conduit à la création d'une UMR entièrement dédiée à ces activités (ChimEco). **Le nouveau concept de valorisation** des phytotechnologies remédiatrices (phytoextraction et rhizofiltration), **l'écocatalyse** a créé un changement de paradigme : la biomasse issue des phytotechnologies remédiatrices n'est plus un déchet contaminé mais un système naturel de restauration qui possède une haute valeur ajoutée. Cette biomasse constitue un réservoir naturel de métaux de transition précieux en synthèse organique. En d'autres termes, des déchets sont devenus des objets chimiques utiles, innovants et motivants. Validée par 28 brevets, 39 publications, 12 ouvrages scientifiques, 78 conférences, 7 Prix scientifiques de haut niveau, 48 communications, sur la période, cette combinaison inhabituelle et indissociable de l'environnement, de l'écologie et de la chimie a fait émerger un nouvel axe de recherche à l'interface de la chimie durable et de l'ingénierie écologique. Cette approche globale de l'écologie scientifique débouche aujourd'hui sur l'élaboration d'une nouvelle filière verte à économie circulaire qui associe différents partenaires publics et privés aux domaines d'applications complémentaires (écologie de la restauration, industries minière et chimique).

7.4 Production scientifique relevant de l'Axe 7

- Becker C, N. Desneux, L. Monticelli, X. Fernandez, T. Michel, and A.-V. Lavois (2015) - Effects of Abiotic Factors on HPV-Mediated Interactions between Plants and Parasitoids. *BioMed Research International* 2015 article ID:342982 ICN & ISA
- Grison C. M., E. Petit, A. Dobson, C. Grison *Rhizobium metallidurans* sp. nov., a symbiotic heavy-metal resistant bacterium isolated from the *Anthyllis vulneraria* Zn-hyperaccumulator, Int.J. Syst. Evol. Microbiology. February 20, 2015, doi: 10.1099/ijs.0.000130/JSEM.
- Calvayrac C, Romdhane S, Barthelmebs L, Rocaboy E, Cooper JF, Bertrand C. Growth abilities and phenotype stability of a sulcotriione-degrading *Pseudomonas* sp. isolated from soil. International Biodeterioration & Biodegradation. 2014, 91, 104-110.
- Laurence, C.; Rivard, M.; Martens, T.; Morin, C.; Buisson, D.; Bourcier, S.; Sablier, M.; Oturan, M. A., Anticipating the fate and impact of organic environmental contaminants: A new approach applied to the pharmaceutical furosemide. *Chemosphere* 2014, 113, 193-199.
- Meziani S, Dave Oomah B, Zaidi F, Simon-Levert A, Bertrand C, Zaidi-Yahiaoui R. Antibacterial activity of carob (*Ceratonia siliqua* L.) extracts against phytopathogenic bacteria *Pectobacterium atrosepticum*. *Microbial Pathogenesis*, 2015, 78, 95 -102.
- Olvera-Vargas, H.; Leroy, S.; Rivard, M.; Oturan, N.; Oturan, M.; Buisson, D., Microbial biotransformation of furosemide for environmental risk assessment: identification of metabolites and toxicological evaluation. *Environ Sci Pollut Res Int* 2016, 23, (22), 22691-22700.
- Patil, C, Calvayrac, C., Zhou, Y., Romdhane, S., Salvia, M.V., Cooper, J.F., Dayan, F.E., and C. Bertrand,. Environmental Metabolomics Footprinting: a novel concept to assess the impact of a natural triketone herbicide in soil. *Science of the Total Environment* 566–567 (2016) 552–558
- Piola F, Bellvert F, Meiffren G, Rouified S, Walker V, Comte G, Bertrand C. Invasive *Fallopia* × *Bohemica* Interspecific Hybrids Display Different Patterns in Secondary Metabolites. *Ecoscience*, 2013,20(3):230-239.
- Prado, S.; Buisson, D.; Ndoye, I.; Vallet, M.; Nay, B., One-step enantioselective synthesis of (4S)-isosclerone through biotransformation of juglone by an endophytic fungus. *Tetrahedron Letters* 2013, 54, (10), 1189-1191.
- Montaut S., B. S. Guido, C. Grison, P. Rollin. Identification of glucosinolates in seeds of three Brassicaceae species known to hyperaccumulate heavy metals, *Chemistry and Biodiversity*, 2017, Volume 14, Issue 3, e1600311

7.5 Sélection de brevets déposés relevant de l'axe 7

- Grison C., V. Escande. Use of particular metal accumulating plants for implementing catalyzed chemical reactions Brevet international déposé le 21 février 2014 sous le N°PCT/EP2014/053485.,
- Grison C., G. Clave. Composition enrichie en Pd issue de jacinthe d'eau (*Eichornia crassipes*) ayant hyperaccumulé le palladium, US patent n° 62/137,482 déposée le 24 mars 2015.
- Grison C., V. Escande. Utilisation de certaines plantes hyperaccumulatrices de métaux de transition pour des réductions de composés organiques par voies vertes n° PCT/FR2015/000146 déposé le 15 juillet 2015
- Grison C., A. Stanovych, D. Carrasco Utilisation de matériaux naturels d'origine végétale riches en acides phénoliques pour la mise en œuvre de réactions de chimie organique et le recyclage de catalyseurs PCT/FR2017/1752822 déposé le 31 mars 2017,
- Lise Roy, M. El Adouzi, A. Ponchis-Arriaga. Demande de Brevet Français n°1662502 (ref. BR 82667/RIM/SGS) du 15/12/2016.
- André A., K. A. Touré, V. Eparvier, D. Stien. Utilisation de 2,5-dicétopiperazines en tant qu'agents cosmétiques. Demande de Brevet Français n°FR17/51203 du 14/02/2017.
- Falkowski M., A. Rodrigues, V. Eparvier, I. Dusfour, E. Houël, D. Stien. Propriétés insecticides d'un extrait de bois de *Sextonia rubra*, et de ses constituants. Demande de Brevet Français n° FR1458946 du 23/09/2014. Famille de brevets : FR3025979A1; WO2016046489A1; AU2015323631A1.

Axe 8 : Outils transversaux

Responsables : Philippe Potin, Bertrand Schatz, Sylvain Petek, Carole Smadja

8.1 Évolution et tendances

L'écologie chimique et la chimie des produits naturels nécessitent des techniques et des outils pointus et performants en constante évolution compte-tenu de la particularité des systèmes à étudier, ainsi que des moyens de calcul et d'analyse statistique pour traiter les quantités importantes de données générées. Au lancement de ce GDR, le constat était fait d'un certain retard de notre communauté à ce sujet par rapport aux grands laboratoires internationaux du domaine. L'un des objectifs que nous nous étions fixé au travers de cet axe était de promouvoir ces techniques, ces outils, et de faciliter les transferts de compétence. Dans ce contexte, en 2014, la plateforme de traitement et d'analyses de données métabolomiques « Workflow4metabolomics V3 » est devenue opérationnelle et en Janvier 2015 a été inaugurée à Marseille, la plateforme mutualisée MALLABAR, dédiée à l'étude de l'écologie chimique marine (UPLC Q-Tof). A noter enfin que la plateforme Bio2Mar (Perpignan-Banyuls) a obtenu un financement conséquent (CPER 2015-2019) pour l'acquisition de 3 couplages UHPLC-HRMS et le remplacement du spectromètre de RMN, tous ces appareils étant principalement dédiés aux analyses en métabolomique environnementale et/ou appliquée à l'écologie chimique. En parallèle, pour la déréplication et/ou la découverte de nouvelles molécules, sur la base d'analyses MS/MS, l'utilisation du Global Natural Products Social Molecular Networking ([GNPS](#)) a tendance à se généraliser. Plusieurs laboratoires ont aussi développé des approches en imagerie par spectrométrie de masse, en particulier en collaboration avec l'ICSN à Gif/Yvette ou les travaux sur les lichens réalisés dans l'équipe de Joël Boustie (Le Pogam et al. 2016). Des doctorants du GDR comme M. Vallet sont aussi actuellement en post-doctorat au MPI-ICE de Jena en Allemagne ou dans d'autres laboratoires pour se perfectionner sur ces approches.

8.2 Actions menées pour atteindre les objectifs fixés

Au cours de ces 4 dernières années, différentes communications ont été réalisées que ce soit lors des réunions annuelles du GDR^{2,4,7}, ou à l'occasion des Ecoles Thématisques en Ecologie Chimique (ETEC) 2014¹ et 2016⁵. En parallèle, des ateliers pratiques ont été organisés dans le cadre des ETEC 2014^{1b} et 2016^{5c,d}, ou plus spécifiquement par des membres de la communauté sur des outils ou techniques particulières.^{3,6,8,9} Les prochaines journées du GDR qui se tiendront à Montpellier du 2 au 4 Novembre 2017, seront une nouvelle occasion d'aborder ces thématiques lors d'ateliers de discussion. Nous avons donc favorisé la promotion de ces techniques et de ces outils, et facilité les transferts de compétence auprès des différents utilisateurs. Les sites web mis en place permettent de pérenniser cette action.

8.3 Publications des membres du GDR en relation avec l'axe 8

- Courtois EA, Dexter KG, Paine CET, Stien D, Engel J, Baraloto C, Chave J (2016) Evolutionary patterns of volatile terpene emissions across 202 tropical tree species. *Ecol Evol* 6:2854-2864
- Creis E, Delage L, Charton S, Goultquer S, Leblanc C, Potin P, Ar Gall E. 2015. Constitutive or Inducible Protective Mechanisms against UV-B Radiation in the Brown Alga *Fucus vesiculosus*? A Study of Gene Expression and Phlorotannin Content Responses. *PLoS One*;10(6):e0128003.
- Delle-Vedove R., Schatz B., Dufaÿ M. 2017. Understanding intraspecific variation of floral scents in the light of evolutionary ecology. *Annals of Botany* (in press).
- Delétré E., Schatz B., Williams L., Bourguet D., Ratnadass A., Chandre F., Martin T. 2016. Prospects for repellency in pest control – current developments and future challenges. *Chemoecology* 26 (4): 127-142.
- Eyres I, Duvaux L, Gharbi K, Tucker R, Hopkins D, Simon JC, Ferrari J, Smadja CM, Butlin RK. 2017. Targeted re-sequencing confirms the importance of chemosensory genes in aphid host race differentiation. *Mol Ecol* 26:43-58.
- Joffard N., Buatois B., Schatz B. 2016. Integrative taxonomy of the Fly Orchid group: insights from chemical ecology. *Naturwissenschaften* 103: 77-81.
- Hurst JL, Beynon RJ, Armstrong SD, Davidson AJ, Roberts SA, Gómez-Baena G, Smadja CM, Ganem G. 2017. Molecular heterogeneity in major urinary proteins of *Mus musculus* subspecies: potential candidates involved in speciation. *Sci Rep.* 24;7:44992
- Favre L, Ortalo-Magné A, Greff S, Pérez T, Thomas OP, Martin JC, Culoli G. 2017 Discrimination of Four Marine Biofilm-Forming Bacteria by LC-MS Metabolomics and Influence of Culture Parameters. *J Proteome Res* 16(5):1962-1975
- Le Pogam P, Le Lamer AC, Legouin B, Boustie J, Rondeau D. 2016. In situ DART-MS as a Versatile and Rapid Dereplication Tool in Lichenology: Chemical Fingerprinting of *Ophioparma ventosa*. *Phytochem Anal.* 27: 354-363.
- Le Pogam P, Schinkovitz A, Legouin B, Le Lamer AC, Boustie J, Richomme P. 2015. Matrix-Free UV-Laser Desorption Ionization Mass Spectrometry as a Versatile Approach for Accelerating Dereplication Studies on Lichens. *Anal Chem.* 87:10421-8.



Plateau de métabolomique MALLABAR
(IMBE / OSU Institut Pytheas)

- Odonne G, Houel E, Bourdy G, Stien D** (2017) Treating leishmaniasis in Amazonia: A review of ethnomedicinal concepts and pharmaco-chemical analysis of traditional treatments to inspire modern phytotherapies. *J Ethnopharmacol* 199:211–230
- Ternon E, Zarate L, Chenesseau S, Croué J, Dumollard R, Suzuki MT, Thomas OP.** 2016. Spherulization as a process for the exudation of chemical cues by the encrusting sponge *C. crambe*. *Sci Rep.*,6:29474.
- Courtois EA, Dexter KG, Paine CET, Stien D, Engel J, Baraloto C, Chave J** (2016) Evolutionary patterns of volatile terpene emissions across 202 tropical tree species. *Ecol Evol* 6:2854–2864
- Roullier C., Guittot Y., Prado S., Grovel O., Pouchus Y.F. (2016) Marine halogenated compound analysis: from an R package to the isolation of new griseophenone derivatives. *Planta Med.*, 81(S 01), S1-S381. (Abstr.).
- Roullier C., Guittot Y., Valery M., Amand S., Prado S., Robiou du Pont T., Grovel O., Pouchus Y.F. (2016) Automated detection of natural halogenated compounds from LC-MS profiles – Application to the isolation of bioactive chlorinated compounds from marine-derived fungi. *Anal. Chem.*, 88 (18), pp 9143–9150.

8.4. Sites web associés

- [GNPS](https://gnps.ucsd.edu/ProteoSAFe/static/gnps-splash.jsp) : Global Natural Products Social Molecular Networking (<https://gnps.ucsd.edu/ProteoSAFe/static/gnps-splash.jsp>)
- Workflow4metabolomics (<http://workflow4metabolomics.org>)
- Janvier 2015 : plateau MALLABAR, une nouvelle plateforme mutualisée dédiée à l'étude de l'écologie chimique marine (UPLC Q-Tof).
<http://www.ecimar.org/cmsv2/index.php/fr/actualites/196-mise-en-place-du-plateau-de-metabolomique-mallabar>
- <http://workflow4metabolomics.org/training/w4mcourse2016>
- <http://www.france-bioinformatique.fr/fr/evenements/W4E2017>

PRODUCTIONS PAR LES MEMBRES DU GDR – THESES SOUTENUES – CONGRES, COLLOQUES, SYMPOSIUM ORGANISES (SELECTION)

1 - Ouvrages collectifs

De nombreux responsables d'axes et autre membres du GDR ont participé à l'écriture de 2 ouvrages, un en français (publié en 2017 par ISTE), et la traduction de ce dernier en anglais (publié en 2016 par Wiley). Les différents auteurs et chapitres étaient :

Introduction

A.-G. Bagnères, M. Hossaert-McKey

Chapitre 1 : Biodiversité et médiation chimique

B. Schatz D. McKey, T. Perez

Chapitre 2 : Ecologie chimique : une science intégrative

A.-M. Cortesero, M. Proffit, C. Duplais, F. Viard

Chapitre 3 : les odeurs dans la vie sociale des primates

M. Charpentier, G. Odonne, B. Schaal

Chapitre 4 : Microbiome et écologie chimique

Sozic Prado, C. Leblanc, S. Rebuffat

Chapitre 5 : De l'écologie chimique à l'écogéochimie

C. Fernandez, V. Baldy, N. Lebris

Chapitre 6 : Les « omiques » en écologie chimique

S. Baudino, C. Lucas, C Smaja,

Chapitre 7 : Apports de la métabolomique à l'écologie chimique

P. Potin, F. Nicolè, O. Thomas

Chapitre 8 : Outils chimiques, bio-informatiques et bases de données en écologie chimique

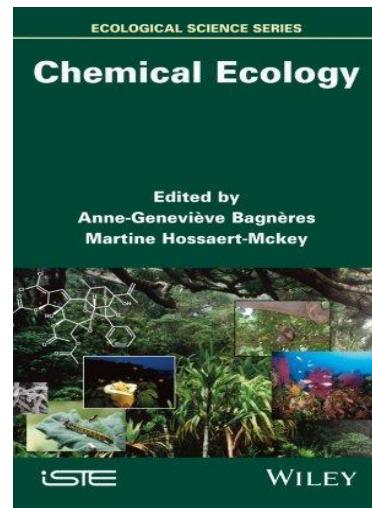
N. Barthès, J.-C. Caillard, J. Just, X. Fernandez

Chapitre 9 : Chimie pour le vivant éco-inspirée

B. Banaigs, A. Al Mourabit, G. Clavé, C. Grison

Conclusion. Prospectives, ou l'écologie chimique de demain

M. Hossaert-McKey et A.-G. Bagnères



2 – Doctorants (soutenances entre 2014-2017)

Thèses soutenues en relation avec l'Axe2.

- Gwenaelle Bontonou** : Caractérisation de gènes impliqués dans la synthèse de phéromones mâles chez *Drosophila melanogaster*, soutenue le 25 avril 2014. (Dir Claude Wicker Thomas)
- Y. Despinasse** 2015 (Université de Saint-Etienne) : « Impact de la sécheresse sur le métabolisme terpénique de la lavande fine dans le contexte du changement climatique global ». Dir. Sylvie Baudino.
- B. Blerot** 2016 (Université de Saint-Etienne) : « Caractérisation de gènes des voies de biosynthèse des terpènes chez le Géranium à odeur de rose ». Dir. Sylvie Baudino.
- P. Sun** 2017 : (Université de Saint-Etienne) : « Etude de gènes impliqués dans la biosynthèse du parfum chez la rose, Rosa x hybrida ». Cotutelle internationale avec le PR. R. Schuurink, Université d'Amsterdam, Dir. Sylvie Baudino.
- P. Le Pogam-Alluard** 2016: (Université Rennes 1) « Analyses de lichens par spectrométrie de masse : déréplication et histolocalisation. Dir. de thèse : Joël Boustie
- A. Skiredj** 2016 (Université Paris-Sud) : Auto-assemblages biomimétiques de squelettes polycycliques complexes. Directeur de thèse : Erwan Poupon
- N. Barbahn** 2015(Université Paris-Sud) : Vers la synthèse totale biomimétique de la lodopyridone et étude phytochimique de Lycopodiella cernua et Nitraria retusa. Directeur de thèse : Erwan Poupon
- A. Boufridi** 2014 : (Université Paris-Sud) De l'étude d'éponges du genre Dactylospongia aux particularités chimiques des ilimaquinones. Directeur de thèse : Erwan Poupon
- C. Gastaldo**, 16-4-2014, Université de Strasbourg. Biosynthèse des unités isopréniques chez les végétaux. (Dir. M. Rohmer)

Thèses soutenues en relation avec l'Axe 3.

- Miriam Reverter** : 2016. Host-parasite interactions in coral reef fish
Directeurs de thèse : Nathalie Bontemps-Tapissier, Pierre Sasal, David Lecchini
- Louis Bornancin** : 2016. Lipopeptides from Cyanobacteria : Structure and Role in a Trophic Cascade
Directeurs : Isabelle Bonnard, Bernard Banaigs
- El Adouzi M.** Déterminants biotiques d'une association durable lâche : interactions entre un microprédateur hématophage, son hôte oiseau et les communautés d'acariens du fumier. Directeurs de thèse Roy L et Bonato O. Soutenance fin 2017
- Nina Joffard**. Taxonomie intégrative des orchidées méditerranéennes, réseaux d'interactions, spéciation & limites d'espèces. Directeurs de thèse Schatz B et Mongelard C. Soutenance fin 2017
- Lilian Rodriguez** 2016. Evolution et écologie des Ceratosolen des Philippines, polliniseurs des figuiers du sous genre Sycomorus. Thèse Université de Montpellier. Directeurs de thèse Kjellberg F et Rasplus JY
- Hui Zhang** 2017. (Univ. Tours) Dialogue chimique et moléculaire entre les insectes manipulateurs de plantes et leurs plante hôtes. Directeur David Giron
- Mariaelena Bonelli** 2015. Co-direction (avec MC Lorenzi). Cotutelle (Univ. de Tours & Univ. Turin (Italie), janvier 2012-Juin 2015. « L'écologie chimique des guêpes sociales : Evolution du code de la reconnaissance coloniale ». Soutenance le 11 juin 2015 (Turin, Italie).
- Marta Elia** 2017. Co-direction (avec MC Lorenzi). Cotutelle (Univ. de Tours & Univ. Turin (Italie)). « Hôtes et parasites : communication chimique et interception des signaux de reconnaissance chez les guêpes *Polistes*. »
- Maxime Hervé** 2014. Écologie chimique de l'interaction colza - méligrège : vers de nouvelles stratégies de contrôle des insectes ravageurs
Encadrement : **Anne-Marie Cortesero** & Régine Delourme
- Lamy Fabrice** 2016. (Univ. Rennes I) Comprendre et manipuler la communication entre les plantes et les insectes pour protéger les cultures : vers l'élaboration d'une stratégie « Push-Pull » pour lutter contre la mouche du chou (*Delia radicum*) (Dir. A-M. Cortesero, D. Poinsot, S. Dugravot)

Thèses soutenues en relation avec l'Axe 4.

- Margot Perez**. 2015. Division du travail, apprentissage et perception des odeurs chez la fourmi *Camponotus aethiops*. Université Paris XIII, Villetaneuse (co-dir. M Giurfa & P d'Ettorre).
- Nicolas Dillion**. 2015. Le traitement multisensoriel des expressions faciales. Influence modulatrice de l'olfaction. Université de Bourgogne, Dijon (co-dir. JY Baudouin & B Schaal).
- Mégane Simonnet**. 2015. Rôle du transporteur d'acides aminés Minidiscs dans le fonctionnement du système nerveux chez *Drosophila melanogaster*. Université de Bourgogne, Dijon (co-dir. G Manière & Y Grosjean).
- Arthur de Fouchier** (2015) : « Caractérisation fonctionnelle des récepteurs chimiosensoriels de la noctuelle du coton: vers le développement d'approches novatrices en protection des cultures ». ED ABIES. (Direction : E. Jacquin-Joly)
- Fanny Mondet** 2014. (co_direction : Pr. A. Mercer Univ. of Otago, New Zealand et INRA Avignon) : Quels défis actuels dans les problématiques agro-environnementales ? Illustration par les stratégies de lutte contre une espèce invasive en apiculture : Le cas des abeilles domestiques tolérantes au parasite *Varroa destructor*.
- Célia Bordier** 2014. (Co-direction : Y. LeConte & Cédric Alaux) : Réponse et résilience au stress chez l'abeille. Université d'Avignon

Thèses soutenues en relation avec l'Axe 5.

- Julie Croué** 2014 (UPMC Paris VI). Bactéries associées à l'éponge Méditerranéenne *Crambe crambe* : diversité et possible rôle dans la biosynthèse des alcaloïdes guanidiniques. Directeurs : Nathalie Bontemps-Tapissier, Marcelino Suzuki.
- Te poerau Mai** 2016. Dirigée par Cécile Debitus (UMR EIO, Tahiti) a soutenu sa thèse en Mai 2016 intitulée : Inhibiteurs du Quorum Sensing de *Vibrio harveyi* issus d'éponges de Polynésie française
- Margot Doberva**. 2016. Le quorum sensing bactérien dans l'environnement marin : diversité moléculaire et génétique des auto-inducteurs. Ecosystèmes. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI. <http://hal.upmc.fr/hal-01214295/document>
- Yi Zang** 2015 (MNHN) New Insight on the Polyketide Metabolites Produced by the Sequenced Fungus *Talaromyces stipitatus* ATCC 10500
Direction Soizic Prado.

Thèses soutenues en relation avec l'Axe 6.

Fahoullia Mohamadi 2014. Univ. Perpignan. Etude des métabolites secondaires des espèces coralliennes de l'ordre des scléractiniaires.

Caractérisation par métabolomique des stress environnementaux

Directeurs : Bernard Banaigs, Isabelle Bonnard, Cédric Bertrand.

Stephane Greff (2016) Étude des mécanismes à l'origine des proliférations de l'algue *Asparagopsis taxiformis* par des approches d'écologie chimique : métabolomique, toxicité naturelle et mesures d'effets biologiques. (Dir. T. Perez, O. Thomas).

Thèses soutenues en relation avec l'Axe 7.

Vanessa Andreu 2015 (Univ. Perpignan). Valorisation de plantes invasives et rudérales : développement de biofungicides utilisables en phytoprotection. Directeur : Cédric Bertrand

Vincent Escandre, Université de Montpellier, 2014. De la phytoextraction à l'écocatalyse: Valorisation de la biomasse chargée en éléments métalliques pour la conception de nouveaux catalyseurs et leur utilisation en synthèse organique durable (Dir C. Grison)

Guillaume LOSFELD, 2014. L'association de la phytoextraction et de l'écocatalyse: un nouveau concept de Chimie Verte, une opportunité pour la remédiation de sites miniers (Dir C. Grison)

Thèses soutenues en relation avec l'Axe 8.

Emilie Deletré 2014. De la répulsion chez les insectes - Cas d'étude du moustique *Anopheles gambiae* et de la mouche blanche *Bemisia tabaci* Directeurs de thèse : Thibaut Martin et Fabrice Chandre (CIRAD)

Marine Vallet 2015 (MNHN). « Etudes de la diversité et des médiateurs chimiques de champignons endophytes associés aux algues brunes *Saccharina latissima*, *Laminaria digitata*, *Pelvetia canaliculata* et *Ascophyllum nodosum* » Direction Soizic Prado.

Emeline Creis 2015. Study of the biosynthesis pathway of phlorotannins in brown algae, toward biochemical characterization of recombinant enzymes and study of ecophysiological responses Dir. Erwan Ar Gall et Philippe Potin..

Léa Cabioc'h 2016. Chemical signaling and defense in brown algal kelps during interactions with herbivores. Directeurs de thèse : Catherine Leblanc et Sylvain Faugeron

Angelique Porciani 2016. Comportement et olfaction d'*Anopheles gambiae* : Interaction entre insecticide et mécanisme de résistance.

Directeurs de thèse : Anna Cohuet et Laurent Dormont

Céline Conan 2016. Metabolomics investigations of seaweed extracts used as plant growth biostimulants and transcriptomics studies of their physiological effects on *Arabidopsis thaliana*. supervised by Philippe Potin et Anne Guiboileau.

3 – Organisation d'écoles thématiques, de congrès et symposia internationaux relatifs au GDR, invitations prestigieuses

Ecole thématiques :

- Co-organisation de l'Ecole Thématique d'Ecologie Chimique 2014 (ETEC 2014) par une écologue (**Virginie Baldy**) et une chimiste (**Soizic Prado**)
- Co-organisation ETEC 2016, Station Biologique de Roscoff, France. Sci terrestres (**Anne-Marie Cortesero**) Sci marines (**C. Leblanc**)
- Ecole-chercheurs : Traitement des données métabolomiques sur l'infrastructure online Workflow4Metabolomics, du 21 au 25 septembre 2015, Station Biologique de Roscoff, France (**Sophie Goultquer**)
- Ecole Thématique Chimie des substances naturelles pour la biologie: approches méthodologiques et innovation (SUBNAT-2014), 22 au 27 juin 2014 (**B. Nay & A. Almourabit**).

Congrès internationaux :

- 8th World Congress of Allelopathy, Juillet 2017, Marseille (Chairs : **C. Fernandez, Geneviève Chiapusio**)
- International Symposium on Insect-Plant-Microorganism interactions, 2-6 Juillet 2017, Tours (Org. **David Giron/IRBI**)
- Natural Products and Biocontrol 2014 et 2016, Perpignan (www.bioncontrol2014.com) (www.bioncontrol2016.com) Organisateur **Cédric Bertrand**
- Workshop CheckIn Bio (Chemical Ecology Inputs in Biological control). 13 Juillet 2017, parc Valrose, Université de Nice Sophia Antipolis, Nice. Organisateurs **Anne-Violette Lavoir et Thomas Michel**
- International Conference on Holobionts Paris (Muséum National d'Histoire Naturelle) April 19-20-21, 2017 Org committee (mb du GDR) **Marie-Lise Bourguet-Kondracki, Isabelle Coulon** (CNRS, MNHN Paris)
- 32e meeting de l'ISCE, Iguazu falls, Brésil, juillet 2016. Organisation d'un symposium « Role of sociality in chemical ecology and inversely" au (**A-G Bagnères** et N. Châline, Univ. Sao Paulo, Brésil)
- International Conference on Ecological Sciences- SFécolologie2016, Marseille, France, 24-28 octobre 2016. Organisation d'un symposium Chemical mediation in ecosystems" à (**A-G Bagnères**, IRBI et **C. Fernandez**, IMBE, Fr)
- Symposium inaugural du GDRI « Integrative Natural Product Chemistry », 6-7 juin 2016, rassemblant 15 conférenciers et 120 participants, Muséum National d'Histoire Naturelle. **B. Nay** : Organisateur

Invitations (sélection)

- **Baudino S**, Sun P., Caillard J-C., Magnard J-L., Roccia A., Vergne P., Dubois A., Hibrand-Saint Oyant L., Jullien F., Nicolè F., Raymond O., Rohmer M., Foucher F., Hugueney P., Bendahmane M., Schuurink R.C., 2016 - Communication orale invitée : A Novel Pathway Towards Monoterpene Scent Compounds in Roses. Gordon Research Conferences, « Plant Volatiles », 31 janvier-5 février 2016, Ventura, USA.
- **Rohmer M**. Biosynthèse des isoprénoides par la voie du MEP chez les bactéries et les plantes : transferts d'électrons et de protons dans la formation des diphosphates d'isopentényle et de diméthylallyle. Ecole Thématique CNRS « SUBNAT-2014 », Chimie des Substances Naturelles pour la Biologie / Approches Méthodologiques et Innovation, Aussois, France, 22-27 juin 2014.
- **Schaal B** (2014). Chemosignals 'designed for' neonates in mammals. Focused Meeting of the Animal Behaviour Society and the Biochemical Society: "Behaviour meets biochemistry: Animals making sense of molecules making scents". Darwin House, London, UK, 18-20 February.

4 - Projets portés par membres du GDR (sélection)

• Projets en relation avec l'Axe 1

- Contrat de collaboration de recherche (n°15/006) 2016-2017 avec l'Office de l'Environnement Corse – Conservatoire Botanique National de Corse sur le thème : Taxonomie intégrative de deux genres d'orchidées de Corse, porteur **B. Schatz**
- PRC-CNRS-NSFC (Chine) 2016-2018 : « Global change, atmospheric pollution and plant-insect communication: the case of figs and fig-wasps », porteur **F.Kjellberg**
- BQR 2012-2013 (30 000 €) : Création du Centre de Recherche sur les Toxines Phalloïdiennes (C.R.T.P.) Coordonnateurs : Dr. P. Poucheret (UMR 95 Qualisud) ; Dr. **F. Fons** et Pr. **S. Rapior** (UMR 5175 CFE).

• Projets en relation avec l'Axe 2.

- ANR ROSASCENT 2017-2020 : Biosynthèse des terpènes du parfum chez la rose., 435703 €, partenaires RDP Lyon, LBVpam Saint-Etienne, IRHS Angers, ICN Nice, porteur **S. Baudino**, LBVpam, Université de Saint-Etienne
- Appel à projet CNRS « PEPS « Exomod » 2014 » : « l'éponge méditerranéenne *Haliclona sarai* comme modèle pour l'étude du métabolisme spécialisé en milieu marin », 2014-2015. **E. Poupon, O. Thomas**, Université de Nice-Sophia Antipolis. Projet reconduit pour un an (2015-2016).
- Projets en relation avec l'Axe 3
- LabEx Corail 2016-2017 : projet Keymicals (Importance de la communication chimique au sein d'un écosystème corallien modèle en Polynésie française), porteur **B. Banaigs**, 15 000 €.
- Tara Fondation 2016-2018 : projet Tara-Pacific “Looking for the microbial complexity of the coral holobiont across the Pacific biodiversity gradients”, porteurs S. Planes, **I. Bonnard, B. Banaigs, O. Thomas**.

• Projets en relation avec l'Axe 4

- ANR 2016-2020 : Coordination du Projet MILKODOR, Volatile compounds that are behaviorally-significant for neonates in murine and human milk (PI **B Schaal**).
- ERC 2012-17 : Projet GliSFCo, Glia, Smell, Food & Courtship in Drosophila (PI **Y Grosjean**).
- Coordination du projet ANR POPIs 2012-2015 : Interactions odeurs de plantes –phéromones et recherche du partenaire : signal ou bruit ? (PI **M. Renou**).
- Programme ANR DEMETER – iEES-Univ Rennes II- Univ Nice 2016 - 2020 : Coordinateur/responsable scientifique dans l'unité : **E. Jacquin-Joly**.
- PEPS-ExoMod-CNRS 2014-2015 : Project OLFACTOP: Mécanismes de l'OLFACtion chez le Pollinisateur spécifique du figuier méditerranéen: interface entre la biologie moléculaire, physiologie et chimie, porté par **M. Proffit**

• Projets en relation avec l'Axe 5

- Projet CNRS-EC2CO 2015-2016 : 20 Keuros, Diversité et rôle des médiateurs du quorum sensing chez les Roseobacter des lagunes côtières). **R Lami** Porteur.

• Projets en relation avec l'Axe 6

- FRB - Fondation Total + MEEM 2017-2019 : projet Acidification des océans / Ecosystem, porteurs S. Mills, **I. Bonnard, B. Banaigs**, 150 000 € + 90 000 €.
- Coordination du projet ANR ODORSCAPE 2015-2020 : Effets du changement climatique sur les émissions de composés volatiles par les plantes et leurs impacts sur l'olfaction de l'insecte (PI **M. Renou**).
- EC2CO-ECODYN-CNRS 2014-2015 : Project O3Com: Impact de l'ozone sur la communication chimique entre plante et pollinisateur porté par **M.Proffit**
- Initiative Structurante EC2CO CNRS 2016-2017 : Projet COMODO - Connecter les mondes verts et bruns: Ecologie trophique des Détritivores et des phytophages en prairie permanente. Partenaires du GDR Mediatec : ICN (**T Michel**) + ISA (**A-V Lavois**) + CEEF
- Région PACA et Fonds de dotation 2016-2019 : « Sauvegarde du Patrimoine Lavandes en Provence ».Projet EUCLIDE - Etude des interactions chimiques dans le déclin de la lavande. Partenaires du GDR Mediatec ICN +BVPam (**F. Nicolle**)+CEEF
- Projets d'intérêt régional - Région Centre FRELON 2011-2014 et FRELON2 2015-2018 : Porteur **E. Darrouzet** Recherche de piège attractant à base de phéromones et étude de la signature chimique chez le frelon asiatique. IRBI
- ANR Projet OCEAN-15 (2016-2019) Ostreopsis Chemical Ecology and Allelopathic Networks (Porteur **O. Thomas**)

• Projets en relation avec l'Axe 7

- PRCI Projet ANR-Fond National Suisse SECIL : Etude de champignons endophytes foliaires : exploration et valorisation de métabolites antibactériens innovants biosourcés. 5 partenaires : LBBM, Groupe J.-L. Wolfender – Université de Genève, UMR EDB – Toulouse, ICSN – Gif-sur-Yvette, Groupe Karl Perron – Université de Genève. Financement ANR 437 k€, FNS 477 kCHF. Coordinateurs **D. Stien** (France), J.-L. Wolfender (Suisse).
- ACTISARM 2012-2015 Projet d'Intérêt régional Centre-Val de Loire : Des sarments de vigne comme biofungicide alternatif pour la vigne 200 k€. Porteur : **Lanoué** (EA2106 BBV).
- Accord cadre UPVM3-Norfeed 2015–2019 ; étude du mode d'action d'un complément alimentaire administré aux volailles pour lutter contre le pou rouge des poules (accord n°1 : 23878 € ; accord n°2 : 13127 €). Porteur **Roy L.**

5 – Prix et Distinctions de statutaires du GDR, postes ouverts en Ecologie Chimique au cours du contrat

Sylvie Baudino-Caissard : Prix de biologie intégrative -Dujarric de la Rivière- de l'Académie des Sciences 2016.

Claude Grison : Prix de chimie -Alexandre Joannidès- de l'Académie des Sciences 2016.

Prix François Sommer- Homme Nature 2016 & Médaille de l'innovation du CNRS 2014

Anne-Geneviève Bagnères : Elue vice-présidente 2016-2017, présidente 2017-2018 de la société internationale d'écologie chimique (ISCE)

Egalement de nombreux étudiants ont reçu des prix lors de congrès internationaux pour leurs présentations (non listés)

Notes : *Plusieurs postes dans les universités françaises et les organismes de recherches ont été ouverts en Ecologie Chimique et de nombreux membres du GDR ont été recrutés dont, Maxime Hervé (MCU Rennes 1), Fanny Mondet (IR INRA Avignon), Virginie Baldy (Professeur Univ Aix-Marseille), Jérémie Gévar (IE INRA Versailles), Emilie Deletré (Chercheur CIRAD Montpellier)...*