

## Structure fédérative

### Document d'autoévaluation

**CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2019-2020**  
VAGUE A

**1. INFORMATIONS ADMINISTRATIVES**  
(Dans la configuration prévue au 1<sup>er</sup> janvier 2021)

**Intitulé complet de la structure fédérative :**

Observatoire de REcherche Montpelliérain de l'Environnement

**Responsable :**

M./M <sup>me</sup>	Nom	Prénom	Corps	Établissement d'enseignement supérieur d'affectation ou organisme d'appartenance
M.	Servat	Eric	DR	IRD

**Type de demande :**

Renouvellement                       Restructuration                       Création ex *nihilo*

En cas de renouvellement ou de restructuration, préciser les labels, n° et intitulés des structures en 2021 :

**Établissement(s) de rattachement de la structure (tutelles)**

<b>Établissement(s) d'enseignement supérieur et de recherche</b> Établissement : Université de Montpellier	<b>Organisme(s) de recherche</b> Organisme : CNRS – IRD - IRSTEA Département ou commission de rattachement :
---	--

**Préciser l'établissement ou organisme responsable du dépôt du dossier :**

*Université de Montpellier*

**Préciser le cas échéant le délégataire unique de gestion :**

**Autres partenaires de la structure :**

Établissement(s) d'enseignement supérieur et de recherche :

Organisme(s) de recherche : CNRS – IRD- IRSTEA

Entreprise(s) :

Autres :

**Classement thématique**

**Domaines, sous-domaines scientifiques et panels disciplinaires Hcéres**

P : ST, ST3, ST6.1

S : SVE, SVE1

S : SHS, SHS3

**Mots-clés**

Biodiversité, Astronomie, Géosciences, Changement global, Observation

### Coordonnées de la structure fédérative

Localisation et établissement : Université de Montpellier – Campus de Triolet

Numéro, voie : Place Eugène Bataillon

Boîte postale : CC 22002 – Bât 22

Code postal et ville : 34095 Montpellier Cedex5

Téléphone : 04 67 14 40 85

Adresse électronique : [contact@oreme.org](mailto:contact@oreme.org)

Site web : <https://oreme.org/>

### Unités membres de la structure fédérative au 1er janvier 2021

Label et n°	Intitulé de l'unité	Responsable	Établissement de rattachement support	Domaine scientifique Hcéres principal (cf. nomenclature)	Unité porteuse / unité associée (*)
UMS3282	OREME	Eric Servat	UM	ST3	Unité porteuse
UMR 5243	GM	Benoît Ildefonse	UM	ST3	Unité associée
UMR 9190	Marbec	Laurent Dagorn	UM	SVE1	Unité associée
UMR 9000	TETIS	Pierre Maurel	INRAE	ST6	Unité associée
UMR 5175	CEFE	Marie-Laure Navas	UM	SVE1	Unité associée
UMR 5569	HSM	Patrick Lachassagne	UM	ST3	Unité associée
UMR 5554	ISEM	Nicolas Galtier	UM	SVE1	Unité associée
UMR 5299	LUPM	Denis Puy	UM	ST3	Unité associée
UMR	G-EAU	Marcel Kuper	INRAE	ST3	Unité associée

(\*) Unité porteuse : plus du tiers des ETP de l'unité intervient dans la structure fédérative

## Liste des personnels affectés en propre à la structure fédérative

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance	Fonction au sein de la structure fédérative	Établissement ou organisme d'appartenance
Baldit	Bérengère	F	1972	Gestionnaire financier	UM
Causse	Léa	F	1986	Responsable analyses ICP-MS sur la plateforme AETE-ISO	UM
Fabre	Juliette	F	1980	Ingénieur Systèmes d'Information	CNRS
Giovanini	Paolo	H	1972	Opérateur en technique d'étude des milieux naturels	CNRS
Koeller	Lucie	F	1992	Opératrice sur la plateforme AETE-ISO	CNRS
Lanson	Catherine	F	1963	Accueil et gestion administrative de la station marine	UM
Laurens	Marielle	F	1964	Responsable administrative station marine - Chargée des relations entreprises	UM
Lobry	Oliver	H	1971	Responsable du système d'information	CNRS
Martin	Arnaud	H	1964	Chargé des relations internationales	UM
Mas	Sébastien	H	1970	Directeur Technique de la Station Marine - Responsable de la plateforme MEDIMEER	CNRS
Mestre	Kevin	H	1991	Opérateur Logistique	UM
Parin	David	H	1977	Opérateur équipements spécialisés	UM
Servat	Eric	H	1957	Directeur d'unité	IRD
Soriano	Solenn	H	1985	Responsable Moyen à la Mer de la Station Marine	UM
Vaillé	Alexia	F	1982	Responsable administrative	CNRS
Valdès	Rémy	H	1983	Opérateur Logistique - Technicien Aquacole de la Station Marine	UM
Zéroili	Hajar	F	1991	Gestionnaire financier	CNRS

### Surfaces recherche prévues spécifiquement pour la structure fédérative au 1<sup>er</sup> janvier 2021

Hors surfaces occupées par les unités de recherche membres de la structure

Établissement(s) d'enseignement supérieur et/ou organisme(s) prenant en charge les coûts d'infrastructure « recherche » de la structure	Ventilation des surfaces (m <sup>2</sup> )
Établissement de rattachement support : <b>Université de Montpellier</b>	265
Établissement de rattachement : <b>Université de Montpellier délocalisé à Sète</b>	1944
Établissement de rattachement :	
Organisme de recherche :	
Organisme de recherche :	
Autres (hôpitaux, CHU, CHR, autre à préciser) :	
<b>TOTAL des surfaces</b>	2209

### Pour les plateformes technologiques seulement

#### Gros équipements (hors équipements spécifiques des unités)

#### Plateforme Technologique de Géochimie Analytique (AETE-ISO) :

Nature	Année d'achat	Coût d'achat	Coût annuel de fonctionnement
IRMS DELTA V+ + Kiel IV Thermo Scientific	2018	345000 €	15000 €
IRMS Delta V+ Flash HT+TC/EA Thermo Scientific	2018	250000 €	10000 €
MC-ICP-MS Neptune + thermoFisher	2017	675000 €	30000 €
Laser Cetac Analyte G2	2017	220000 €	8000 €
IC5000	2017	25000 €	3000 €
GC Trace 1310	2017	25000 €	3000 €
HR-ICP-MS Element XR ThermoFisher	2007	400000 €	10000 €
Laser Excimer 193 nm Compex 102 Lambda Physik	2002	180000 €	8000 €
Q-ICP-MS 7700x Agilent	2010	120000 €	10000 €
iCAP 7400 ThermoFisher	2016	70000 €	8000 €
Q-ICP-MS X Serie II ThermoFisher	2007	120000 €	10000 €
Q-ICP-MS iCAP-Q ThermoFisher	2014	150000 €	10000 €

#### Plateforme expérimentale : MEDIMEER

Nature	Année d'achat	Coût d'achat	Coût annuel de fonctionnement
Auto analyseur + Modules de mesure nitrates + nitrites	2014	33 000 €	3 000 €
Microscope à épifluorescence	2015	39 000 €	3 000 €
Sondes in situ YSI	2015	5 900 €	1 000 €
Modules de mesure phosphates, silicates et nitrites pour auto analyseur	2015	30 000 €	1 000 €
Cytomètre (équipement occasion)	2016	8 000 €	1 000 €
Ponton (jouvence d'un équipement existant)	2018	40 000 €	2 000 €
Titrateur (jouvence d'un équipement existant)	2019	10 400 €	1 000 €
Modules de mesure urée et carbone organique dissous	2019	24 000 €	1 000 €

#### Appartenance à un réseau national ou international (préciser lequel)

REGEF : Réseau national des moyens en géochimie

## 2. DOSSIER SCIENTIFIQUE

### TABLE DES MATIERES

<b>Rapport scientifique</b>	p8
<b>1) Bilan</b>	p8
Constitution de l'OSU OREME	p8
Objectifs et missions de l'OSU OREME	p8
Organigramme	p9
Faits marquants	p10
Eléments budgétaires	p12
Activités des Services d'Observation de l'OSU	p16
Les SNO dont l'OREME est « Coordonnateur »	p16
Les SNO dont l'OREME est « Partenaire »	p21
Les SNO dont l'OREME est « Maître d'Oeuvre »	p33
L'OREME, gestionnaire de moyens mutualisés	p51
L'OREME, partenaire des formations	p55
L'OREME en interaction avec son environnement	p56
L'OREME : Gouvernance et animation	p56
<b>2) Analyse SWOT</b>	p58
<b>Projet pour la période 2021-2025</b>	p60
<b>Annexes</b>	p64
Les SNO dont l'OREME est « Coordonnateur »	p65
Les SNO dont l'OREME est « Partenaire »	p74
Les SNO dont l'OREME est « Maître d'Oeuvre »	p112

## Rapport scientifique

### 1) BILAN

#### **Constitution de l'OSU OREME**

L'Observatoire des Sciences de l'Univers OREME (Observatoire de REcherche Méditerranéen en Environnement) est constitué de huit UMR et d'une UMS :

- UMR 5175 « Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE) »
- UMR 5243 « Géosciences Montpellier (GM) »
- UMR 5299 « Laboratoire Univers et Particules de Montpellier (LUPM) »
- UMR 5554 « Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (ISEM) »
- UMR 5569 « HydroSciences Montpellier (HSM) »
- UMR 9190 « Biodiversité marine et ses usages (MARBEC) »
- UMR « Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages (G-EAU) »
- UMR « Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (Tetis) »
- UMS 3282 « Observatoire de REcherche Méditerranéen de l'Environnement (OREME) »

L'OREME gère deux plates-formes technologiques :

- La plate-forme de géochimie analytique AETE- ISO (Analyse des Eléments en Trace dans l'Environnement & ISotopes)
- La plate-forme MEDIMEER (MEDiterranean platform for Marine Ecosystem Experimental Research)

L'OREME a également développé un Système d'Information avec un portail d'accès aux données bancarisées et gérées par l'OSU.

Afin de mener à bien ses missions, l'OREME s'appuie sur une équipe relativement peu nombreuse, notamment pour ce qui est de son service de gestion (La liste des personnels est mentionnée en page 4).

L'OREME compte aujourd'hui 24 Services d'Observation dont :

- 3 Services Nationaux d'Observation INSU dont l'OSU OREME est « Coordinateur »,
- 9 Services Nationaux d'Observation INSU dont l'OSU OREME est « Partenaire »,
- 12 Services d'Observation (principalement INEE) dont l'OSU OREME est « Maître d'œuvre ».

L'OSU, installé sur le Campus Triolet de l'Université de Montpellier, dispose également de locaux à la Station Marine de l'Université à Sète. A l'horizon 2022, dans le cadre du Projet CPER HydroPolis, il est prévu un déménagement des locaux du Campus Triolet vers le Campus Pharmacie. Ces locaux représentent les superficies suivantes en m<sup>2</sup> SHON sur l'ensemble des localisations :

- Campus Triolet de l'Université de Montpellier – Bât 22 : 265 m<sup>2</sup>
- Station Marine de l'Université localisée à Sète : 2246 m<sup>2</sup> SHON

Pour ce qui est de la Station Marine de l'Université, l'OREME, qui en a la gestion intégrale, n'utilise que 1944 m<sup>2</sup>, les 302 m<sup>2</sup> restants sont utilisés par le Service de Formation Continue de l'UM. La Station Marine accueille en effet des actions de formation continue dans le domaine de l'aquaculture. A ce titre, il y a une mise en commun de compétences et de moyens techniques entre les équipes OSU et Formation Continue.

#### **Objectifs et missions de l'OSU OREME**

En lien et en interaction avec les UMR qui le composent, l'OREME est attentif à développer sa capacité à mobiliser des moyens d'observation pérennes, des compétences scientifiques reconnues et des moyens techniques et analytiques de haut niveau au bénéfice de recherches sur des aspects très divers de l'environnement physique, chimique et biologique méditerranéen mais pas seulement. En effet, aujourd'hui, l'OREME a développé et soutient des tâches d'observation bien au-delà du seul Bassin méditerranéen.

L'Observatoire tisse des liens entre les communautés scientifiques (écologie, biodiversité, sciences de l'univers) afin qu'elles travaillent ensemble sur les signaux obtenus par des systèmes d'observation durables très différents mais complémentaires.

L'un des principaux challenges de l'OREME réside donc dans sa capacité à récolter, intégrer et partager les données hétérogènes associées à ces disciplines avec l'ambition de mettre en évidence des corrélations qui ne pouvaient l'être au préalable. Enjeu majeur de cette mise en relation des données : la découverte de signaux permettant de juger de l'effet du changement global et/ou anthropique et d'en comprendre les mécanismes (aléa, vulnérabilité) dans ses effets environnementaux.

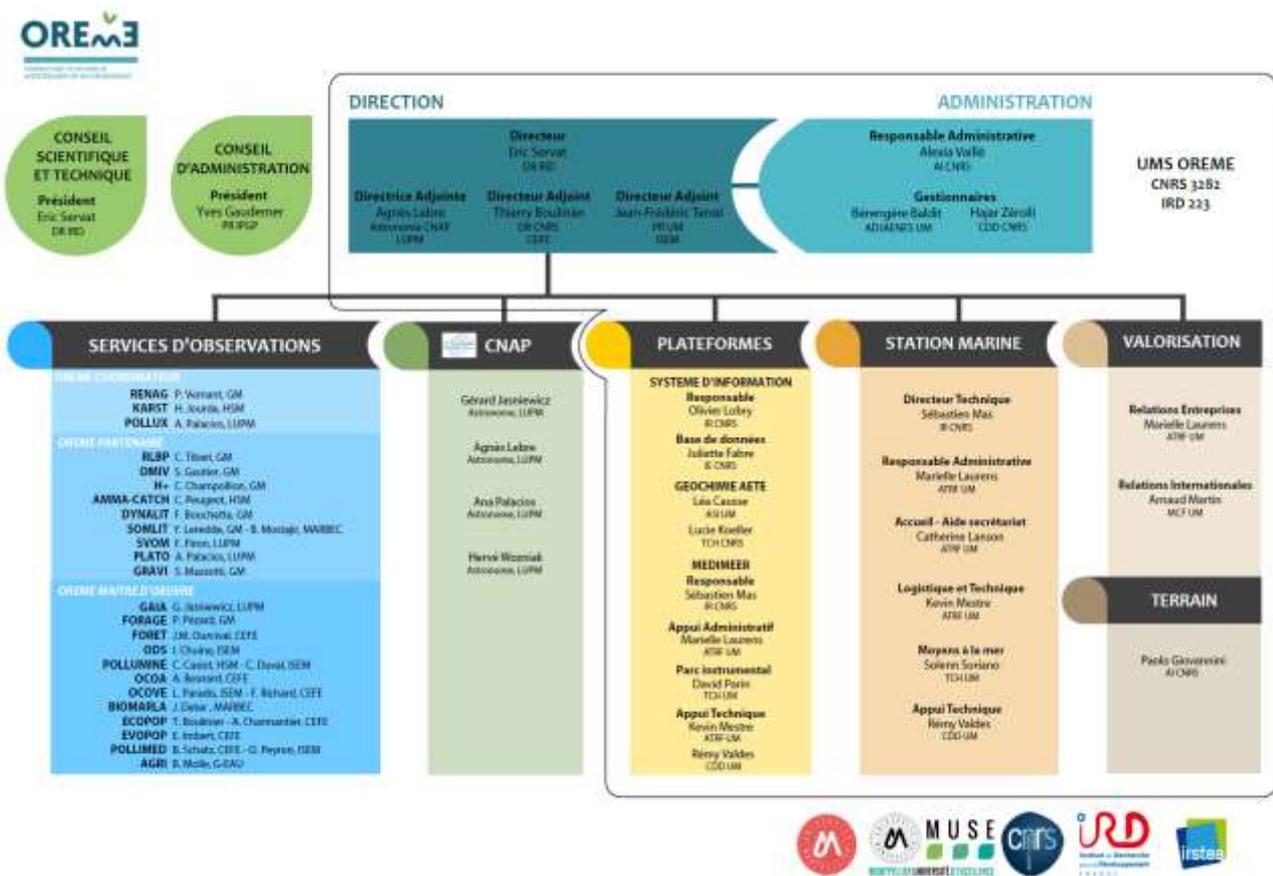
La très forte coloration « environnement » de l'OREME en est une caractéristique. Elle se traduit par une importante participation des communautés « écologie » et « biodiversité » aux missions de l'Observatoire.

L'OREME se focalise principalement sur les risques naturels et l'impact des changements globaux et anthropiques, à travers des missions diversifiées :

- Soutenir l'activité ou le développement d'observations systématiques,
- Élaborer des bases de données environnementales,
- Encourager la mutualisation des moyens analytiques et des savoir-faire,
- Constituer le relais local des réseaux nationaux et internationaux d'observations,
- Jouer pleinement son rôle de partenaire des formations.

## Organigramme

L'organigramme ci-dessous présente à la fois l'Observatoire, Ecole Interne et Composante de l'Université de Montpellier, et ce qui relève uniquement de l'UMS OREME, structure d'appui de l'OSU OREME. Ce qui relève de l'UMS se situe à l'intérieur du trait de contour.



Cet organigramme met en lumière plusieurs points :

- Un faible nombre de CNAP affectés à l'OSU et le fait qu'ils soient tous rattachés à la Section Astronomie-Astrophysique alors que l'OSU est majoritairement positionné sur des problématiques environnementales,
- Un nombre important de Services d'Observation soutenus par l'OSU,
- Des moyens humains techniques affectés en propre à l'OSU très limités au regard de l'activité importante de l'Observatoire,
- Une équipe de gestion/administration peu nombreuse (et sur-sollicitée car l'OSU est utilisée comme structure de gestion pour divers grands programmes impliquant des Unités de l'OSU)
- Une structuration de l'OSU autour de ses plates-formes et du Système d'Information,
- Des moyens importants dédiés à l'activité menée à la Station Marine,
- L'existence de deux Conseils aux rôles complémentaires,
- Une équipe de direction complémentaire dans les domaines scientifiques qu'elle représente,

## **Faits marquants**

- **Modification du périmètre de l'OSU OREME.** Trois nouvelles UMR ont rejoint l'OREME durant la mandature en cours. Le LUPM (Laboratoire Univers et Particules de Montpellier) en 2015, puis les UMR G-EAU (Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages) et TETIS (Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale) ont souhaité rejoindre l'OSU suivant en cela la logique de leurs activités scientifiques et des campagnes d'observation qu'elles mènent. L'entrée des UMR G-EAU et TETIS s'est accompagnée d'un élargissement du périmètre institutionnel dans la mesure où IRSTEA, tutelle de ces deux UMR, a souhaité devenir cotutelle de l'UMS OREME, ce qui a été réalisé en 2016 également.
- **A la date du 1er janvier 2015 la plate-forme MEDIMEER** (MEDITerranean platform for Marine Ecosystem Experimental Research) a été rattachée à l'OSU OREME. C'est un dispositif polyvalent, unique en France et sur le pourtour méditerranéen, qui met à la disposition de la communauté scientifique, du secteur privé et des acteurs socio-économiques : une expertise scientifique de pointe dans la réalisation d'expérimentations en conditions contrôlées dans le domaine de la biologie marine, une large gamme de dispositifs expérimentaux et un ensemble de plateaux techniques. Cette plate-forme est localisée à la Station Marine de l'Université de Montpellier à Sète.
- **Un important travail de révision des Statuts de l'OREME** a été entrepris au début de la mandature actuelle. Il a abouti en 2016 et a permis de donner à l'OSU plus d'équilibre et de stabilité dans son organisation et dans son fonctionnement. Le fait le plus important issu de ces nouveaux Statuts est la mise en place de deux Conseils distincts là où, précédemment, il n'y en avait qu'un, ce qui conduisait parfois à des situations compliquées. Désormais, le Conseil Scientifique et Technique (CST) a pour mission de travailler plus directement sur le fonctionnement et le quotidien des activités de l'OREME quand le Conseil d'Administration (CA) a, quant à lui, un regard plus institutionnel et plus stratégique. Parallèlement, une Convention d'UMS pluri-tutelles a été mise en chantier et devrait être signée par l'ensemble des partenaires dans le courant de l'année 2019.
- **Un important travail d'évaluation des Services d'Observation (SO) et Tâches d'Observation (TO)** a été entrepris entre juillet 2017 et février 2018. Il a permis de faire un point précis sur l'ensemble des activités d'observation soutenues par l'OREME. A l'issue de ce travail, réalisé dans le cadre du Conseil Scientifique et Technique de l'OREME, il a été procédé à une réorganisation de certains SO, à des fusions de TO, à l'arrêt de TO qui ne produisaient plus et à la mise en veille de certaines qui avaient besoin de se réorganiser pour pouvoir continuer à fonctionner. Ce travail, important et nécessaire, n'avait pas été entrepris depuis la création de l'OSU en 2009. Il a donné une base absolument essentielle pour réorganiser efficacement l'ensemble du dispositif d'observation porté par OREME sur laquelle il s'appuie pour continuer à travailler dans de bonnes conditions. Le résultat de ces travaux a été présenté au CA de l'OSU pour validation en mai 2018.
- Fort du travail d'évaluation réalisé en matière de SO et TO, et de la rationalisation à laquelle il a mené, **un Appel d'offres à nouveaux SO et TO a été lancé en juin 2018**, première étape d'un processus, mené là également avec le CST, et qui s'est achevé en février 2019. De nombreuses propositions de SO et TO ont été faites dans le cadre de cet Appel d'offres, en particulier dans le domaine de la Biodiversité,

traduisant en cela un engagement fort de cette communauté scientifique et son souci de labellisation de ses activités d'observation. Au bout du compte, ce sont 5 nouveaux Services d'Observation qui ont été créés et 16 nouvelles Tâches d'Observation qui ont été validées. Il faut noter que, sur ces 16 nouvelles TO, 11 concernaient le SO ECOPOP (Ecologie de Populations) traduisant ce qui est évoqué ci-dessus à savoir le dynamisme et la volonté de reconnaissance des travaux relevant de l'observation au sein de la communauté Biodiversité. Là également, l'ensemble de ce travail qui a mobilisé beaucoup de temps et conduit à de nombreuses interactions avec les porteurs des projets soumis, a été validé par le CA de l'OSU, en mai 2019.

- A l'issue tout d'abord du travail d'évaluation des SO/TO, puis de l'appel d'offres pour de nouveaux SO/TO, l'OSU peut aujourd'hui faire état d'un **positionnement plus lisible au regard de la cartographie de ses missions d'observation**. Son activité se déploie de manière tout à fait claire et visible au sein de SNO qu'il pilote, de SNO dont il est partenaire et de SO dont il est le maître d'œuvre, en particulier dans le domaine de la Biodiversité pour cette dernière catégorie. Ce long et important travail de réorganisation de l'existant et d'ouverture à de nouvelles propositions a permis, comme ce fut le cas pour le travail réalisé sur de nouveaux Statuts, de contribuer à stabiliser et renforcer l'OSU en interne et au sein du site montpellierain. Ces différentes actions renforcent également de manière très significative la spécificité de l'OREME, à savoir sa très forte coloration « environnementale ».
- La qualité et l'intérêt des travaux menés par les équipes soutenues par l'OSU ont permis leur prise en compte et leur **labellisation au niveau national** soit dans le cadre de SNO pilotés par d'autres structures que l'OREME (SNO GRAVI, PLATO et SVOM) soit en tant que SOERE (TEMPO décliné localement en ODS – Observatoire des saisons).
- **La plate-forme de géochimie analytique AETE-ISO** (Analyse des Eléments en Trace dans l'Environnement et ISOTopes) a considérablement évolué durant la période 2015-2019. Elle a bénéficié d'un financement CPER de 1,5 M€, ce qui a permis d'acquérir des équipements de haut niveau (ICPMS et IRMS) et de faire d'AETE-ISO un outil extrêmement performant (voir chapitre consacré à AETE-ISO plus loin). Parallèlement, nous avons également mis en place une gouvernance de la plate-forme AETE-ISO qui s'appuie sur un Comité de gestion, un Comité des utilisateurs et un Comité de pilotage (ce dernier rassemblant les tutelles et les bailleurs ayant financé le projet CPER correspondant). Ainsi AETE-ISO est désormais un outil de très haut niveau fonctionnant en toute transparence et en interaction avec les utilisateurs. L'objectif est dorénavant de l'ouvrir vers d'autres communautés scientifiques que celles qui l'utilisent actuellement ainsi que de mettre ces moyens technologiques à disposition de la sphère socio-économique qui chercherait un accès à des capacités analytiques très évoluées.
- Rattachée à l'OSU en janvier 2015, **la Station Marine de l'Université de Montpellier à Sète a été entièrement réorganisée** durant ce mandat. Alors que la Station s'était très longtemps tenue à l'écart d'un mode de fonctionnement en lien étroit avec les services de l'université, la direction actuelle de l'OREME a fait le choix de la remettre sur un fonctionnement normal et en interaction avec l'université. Cela s'est traduit par une totale remise à plat de l'organisation et du fonctionnement : désignation d'un directeur technique travaillant sur place et sous l'autorité du directeur de l'OREME, mise en place d'une direction administrative déléguée sous l'autorité de la directrice administrative de l'OSU et en lien avec les services centraux et techniques de l'université, recentrage sur les missions d'observation et la plate-forme MEDIMEER (voir plus loin), protocole d'accord avec le Service de Formation Continue pour l'hébergement des formations en aquaculture délivrées sur place, etc. Les nombreux efforts accomplis ont permis de recréer un climat de confiance autour de la Station Marine ce qui a conduit à des investissements importants de la part des tutelles rendant possible, par exemple, la rénovation du ponton indispensable pour toutes les opérations nécessitant bateau, plongée ou encore utilisations des mésocosmes de MEDIMEER. Parallèlement, du fait de cette image renouvelée, la Station a poursuivi dans les autres directions qui lui ont été définies : (i) bien s'intégrer dans l'écosystème sétois qui souhaite développer une dimension enseignement supérieur orienté vers le milieu marin et (ii) être un outil de culture scientifique et de fait la Station (inaugurée en 1879 et chargée d'histoire) accueille désormais des expositions et participe à la vie culturelle sétoise.

- L'OSU OREME développe, à son niveau, des actions d'animation scientifique et technique.** La jeunesse de l'OREME (il fêtera ses 10 ans en octobre 2019) immergé au sein de communautés scientifiques plus anciennes (UMR existant depuis plus de 20 ans pour certaines) et très structurées (LabEx, GIS, etc.) rend cette tâche plus difficile car le programme d'animation est déjà extrêmement chargé. Mais, néanmoins, l'OREME a mis en place : (i) des « Apéros techniques » qui réunissent à des fréquences variables des compétences en permettant des échanges autour de sujets technologiques ou informatiques, (ii) des réunions thématiques ouvertes largement comme ce fut le cas par exemple pour les carnets de terrain électronique (organisées avec la Zone Atelier Antarctique et le Labex CEMEB), et (iii) des Journées d'animation scientifique à vocation d'ouverture au-delà du seul périmètre OREME (en octobre 2018, par exemple, en collaboration avec le LabEx CEMEB et la KIM WATERS, l'OREME a organisé une Journée consacrée aux Sciences participatives).
- Un fait objectif qui peut être considéré comme marquant est **le déséquilibre d'investissement vis à vis de l'OREME de la part de ses tutelles.** La tutelle IRSTEA vient de rejoindre l'OSU et ses personnels impliqués dans l'OSU sont encore peu nombreux. Mais, au regard des tutelles historiques de l'OREME, force est de constater que l'INSU et l'UM ont attribué des postes à l'OSU ce qui n'a toujours pas été le cas de l'INEE comme de l'IRD pour différentes raisons. C'est pénalisant car cela réduit les moyens de développement de la structure. Et, situation paradoxale, alors que l'OREME affiche une activité extrêmement importante dans les domaines de l'écologie et de la biodiversité, l'INEE n'apporte aucune contribution financière à son fonctionnement et donc aux activités d'observation menées par ses équipes et soutenues par l'OREME ou au fonctionnement de la plate-forme MEDIMEER.

## Éléments budgétaires

L'examen des dotations budgétaires entre 2015 et 2019 montre que le budget de l'OREME est relativement constant (Figure 1). Cela se traduit par une légère augmentation de la dotation CNRS/INSU, un accroissement minime de celle de l'IRD et une stabilité de celle de l'Université de Montpellier. La dotation IRSTEA a été réduite de moitié en 2019 pour être conforme à ce que sont les autres dotations de l'établissement dans ce type de structure.

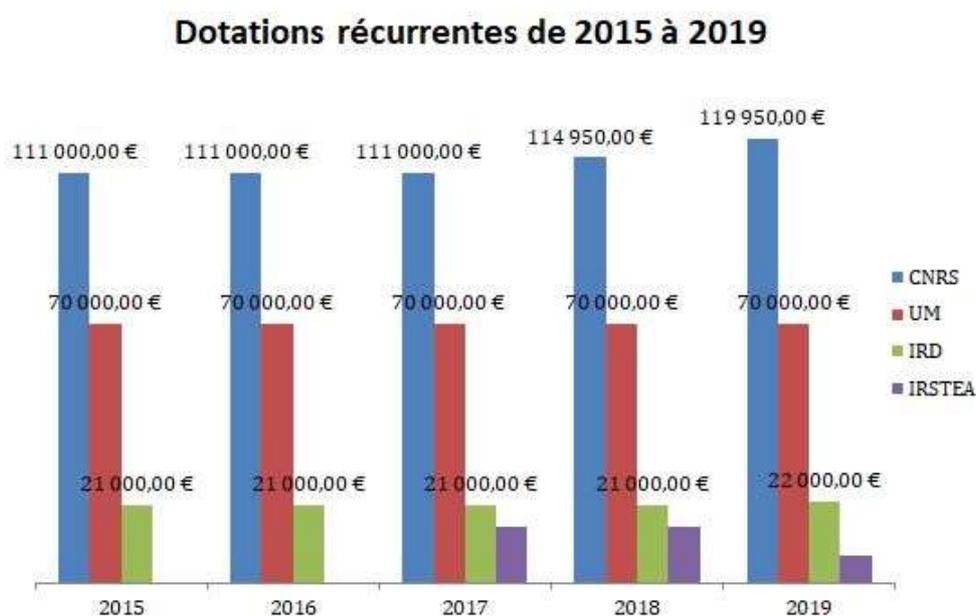


Figure 1 : Dotations récurrentes pour chaque tutelle de 2015 à 2019.

Le Tableau 1 ci-dessous donne la ventilation des crédits du mandat en cours sur les quatre années complètement exécutées. La forte augmentation notée en 2018 est principalement liée au fait que l'OSU a été

chargé de gérer les fonds attribués à la Key Initiative WATERS (KIM WATERS) par le projet MUSE. Il faut souligner que l'OSU est, lui-même, partie prenante de la KIM WATERS du programme MUSE. L'essentiel des crédits est, chaque année, destiné aux Services d'Observation (SNO et SO).

La plate-forme AETE-ISO génère annuellement un flux relativement important de recettes budgétaires. Il est à noter que l'acquisition de nouveaux équipements dans le cadre du CPER entrainera probablement, dans les années à venir, une augmentation de ces recettes. En effet, ces équipements de très haut niveau vont accroître l'offre d'analyse et l'attractivité de la plate-forme.

On voit également que le rôle de « Support de gestion » de l'OSU est en augmentation. L'OSU a, par exemple, joué ce rôle pour le LIA O-LIFE et, actuellement, pour le GIS IM2E et l'Infrastructure Terre. Les masses budgétaires gérées pour le compte de la KIM WATERS ont fait monter de manière significative les crédits en gestion OSU en 2018, action qui se poursuit en 2019.

La réserve correspond à un montant de crédits non distribués en début d'année de manière à autoriser une capacité d'intervention plus tard et en cas de nécessité pu de sollicitation.

<b>Budget total pour la période de 2015 à 2018</b>				
	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>FEI</b>	202000	202000	217000	220950
<b>FEI FLECHES</b>	30000	40000	44500	159500
<b>RESSOURCES PROPRES</b>	170098	176147	114080	193015
<b>SUPPORT DE GESTION</b>	88000	88000	110000	287000
<b>TOTAL</b>	<b>492113</b>	<b>508163</b>	<b>487597</b>	<b>860465</b>
<b>Répartition des crédits utilisés la période de 2015 à 2018</b>				
	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Direction - Fonctionnement</b>	23000	25500	25500	24950
<b>Services d'Observation</b>	163743	197916	172551	179210
<b>Services Nationaux d'Observation</b>	20000	25000	46500	159500
<b>Plateforme Expérimentale MEDIMEER</b>	39727	10000	20000	10000
<b>Plateforme Technologique AETE</b>	113055	101647	72602	120705
<b>Station Marine de Sète</b>	27316	19000	29478	65000
<b>Système d'Information</b>	7500	32500	7500	7500
<b>Réserve</b>	9772	8600	3465	6600
<b>Support de Gestion</b>	88000	88000	110000	287000
<b>TOTAL</b>	<b>492113</b>	<b>508163</b>	<b>487597</b>	<b>860465</b>

**Tableau 1** : Ventilation des crédits du mandat en cours sur les quatre années exécutées (2015 à 2018)

Les Figures 2 à 4 ci-dessous reprennent et explicitent la ventilation des crédits sur la période 2015 – 2018. Elles confirment les chiffres du Tableau 1 et soulignent, en particulier, la primauté donnée aux Services d'Observation et aux plates-formes. L'augmentation des FEI fléchés en 2018 s'explique par la gestion des crédits du SNO RENAG confiés à l'OREME en tant que « OSU pilote ».

La Figure 3, plus spécifiquement, permet de voir que l'OSU est aussi, budgétairement, un acteur impliqué dans l'animation scientifique à différents niveaux : soutien à des colloques et congrès, aux Journées des doctorants des UMR membres de l'OSU, participation à des Salons professionnels. Cette réserve est aussi utilisée pour des actions d'animation menées directement par l'OSU comme les Journées Animation et les « Apéros techniques ».

La Figure 4, quant à elle, met clairement en évidence le rôle joué par l'OSU en matière de « Support de gestion » et notamment depuis la prise en compte de la KIM WATERS.

### Répartition des crédits utilisés 2015 à 2018

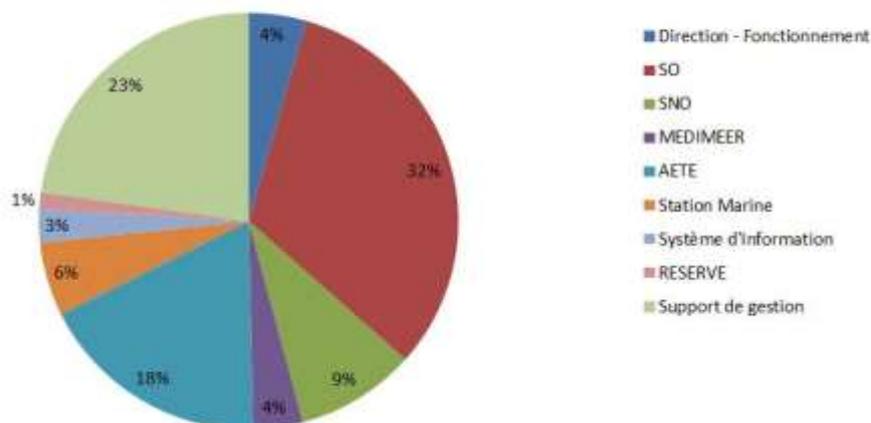


Figure 2 : Répartition des crédits en moyenne interannuelle sur la période 2015-2018

### Utilisation de la réserve pour la période de 2015 à 2018

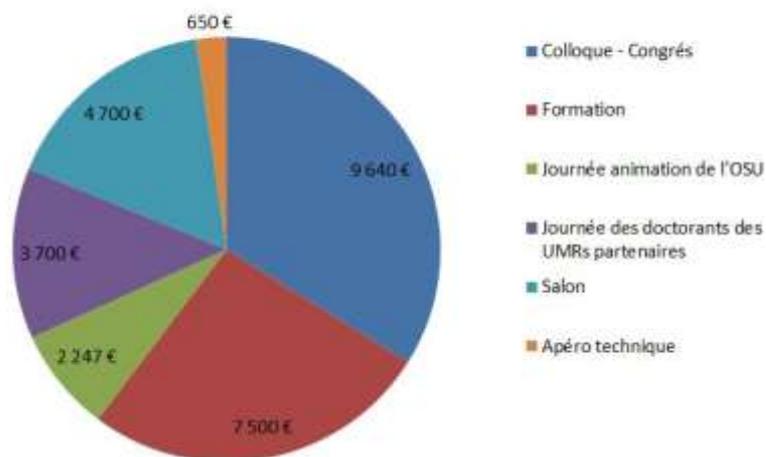


Figure 3 : Utilisation des crédits de la réserve sur la période 2015-2018



**Figure 4** : Masses budgétaires gérées par l'OSU, en tant que « Support de gestion », sur la période 2015-2018

Le Tableau 2 ci-dessous détaille le financement et la réalisation, dans le cadre du CPER 2015-2020 de l'opération d'achats des équipements de la plate-forme AETE-ISO (ICPMS et IRMS).

Dans le cadre de l'obtention du CPER PALM d'un montant de 1 500 000 €

Financement Métropole	600 000 €
Financement CNRS	300 000 €
Financement ETAT	300 000 €
Financement Région	300 000 €
	<b>1 500 000 €</b>

<b>Acquis en Juin 17 - Ouverture aux utilisateurs en 2018</b> SPECTROMETRE DE MASSE A MULTI COLLECTION	900 000 €
<b>Acquis en oct. 2018 - Ouverture prévue en septembre 2019</b> SPECTROMETRE DE MASSE IRMS	345 000 €
<b>Acquis en oct. 2018 - Ouverture prévue en septembre 2019</b> SPECTROMETRE DE MASSE IRMS	250 000 €
	<b>1 495 000 €</b>

**Tableau 2** : Financement et réalisation de l'opération d'achats des équipements de la plate-forme AETE-ISO (ICPMS et IRMS, CPER 2015-2020)

Le Tableau 3 regroupe, quant à lui, l'ensemble des équipements acquis entre 2015 et 2018 avec l'appui de nos tutelles. Au-delà des équipements proprement dit on a aussi intégré à cette liste la « rénovation du ponton de la Station Marine ». Ces travaux, financés à hauteur égale (20 k€) par l'INSU et l'Université de Montpellier, étaient une nécessité absolue pour maintenir l'activité autour du ponton avec le niveau de sécurité adéquat. C'est chose faite et cela a permis d'accueillir des expérimentations en toute sécurité, en particulier dans le cadre de projets européens.

Equipements acquis avec un co-financement de nos tutelles			Co-financements		
			Prix d'achat HT	UM	CNRS
2015	Plateforme technologique AETE	Acquisition d'un système de minéralisation par micro-ondes	40 000 €	36 489 €	
2015	Plateforme expérimentale MEDIMEER	Plate-forme analytique de mesure des nutriments dissouts dans le milieu aquatique»	34 755 €	29 727 €	
2016	Plateforme technologique AETE	Acquisition d'un système ICP Optique (ICP-OES) pour le dosage des éléments majeurs».	38 523 €	20 000 €	20 000 €
2016	Système d'information	Mise en place de services mutualisés pour les données d'observation en environnement	12 785 €	10 000 €	
2018	Rénovation du Ponton	Rénovation et remise aux normes du ponton de la station marine de Sète	40 000 €	20 000 €	20 000 €
2019	Plateforme expérimentale MEDIMEER	Développement du plateau d'analyse des éléments nutritifs	24 189 €	21 189 €	

**Tableau 3** : Equipements acquis entre 2015 et 2018 avec l'appui des tutelles de l'OREME.

## **Activités des Services d'Observation de l'OSU**

L'activité des différents SNO et SO de l'OREME est présentée ici dans ses grandes lignes en fonction des trois catégories caractérisant le rôle de l'OREME : « coordonnateur », « partenaire », « maître d'œuvre ». Afin de faciliter la lecture de cet ensemble de données caractéristiques des SNO et SO, un grand nombre d'éléments (notamment les listes de publications) a été renvoyé en Annexe.

### Les Services Nationaux d'Observation dont l'OREME est « Coordonnateur »

#### **SNO RENAG – RESEAU NATIONAL GNSS**

##### Objectifs

Le SNO RENAG était jusqu'à très récemment constitué uniquement de sites équipés de récepteurs GNSS permanents avec pour objectifs scientifiques :

- L'observation et la quantification de la déformation lente sur le territoire métropolitain qu'elle soit d'origine interne (e.g. détachement d'ancien panneau plongeant de subduction) ou externe (e.g. érosion ou déglaciation). Des résultats nouveaux et inattendus ont été obtenus ces dernières années grâce à la stabilité et la pérennité des stations RENAG dans le temps (cf. Fig. 1). Ces résultats montrent une surrection crustale dans la partie centrale des Alpes allant jusqu'à 2mm/an.
- La séparation des mouvements verticaux tectoniques de ceux associés aux variations du niveau marin. RENAG est associé à SONEL pour cette thématique.
- L'étude de la vapeur d'eau dans la troposphère. Les sites RENAG ont été utilisés par exemple pour des études sur les événements pluvieux intenses cévenoles. Ils sont aussi utilisés de manière horaire pour être assimilés au modèle de prévision météorologique de Météo France.
- L'étude des phénomènes transitoires liés aux surcharges océaniques, hydrologiques et atmosphériques.
- L'ensemble de ces études nécessite de développer des méthodes pour caractériser les mouvements très faibles, ce qui est fait aussi dans le cadre du SNO RENAG depuis 2 ans.

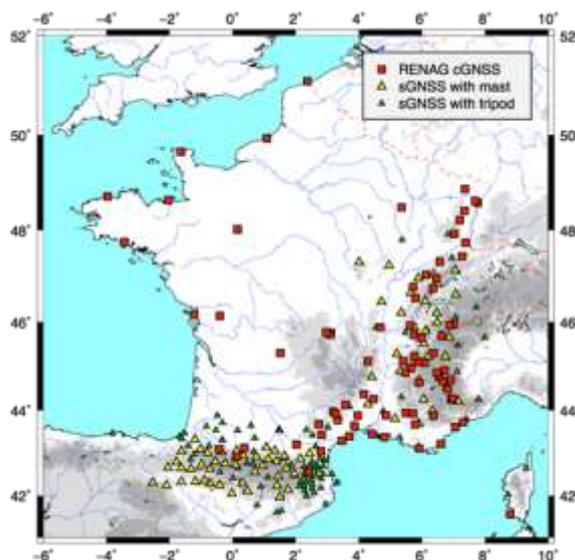


Figure 1 : carte du réseau GNSS du SNO RENAG. Les carrés rouges indiquent les sites permanents qui constituaient le réseau RENAG jusqu'en 2018 et les triangles jaunes indiquent les sites semi-permanents hérités des réseaux de campagne installés dans les années 90 et modifiés pour intégrer le RENAG avec l'aval de la CSNO depuis 2019.

### Gouvernance

Le fonctionnement quotidien des stations GNSS est assuré par plusieurs centres opérationnels en France (l'OREME, l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble, l'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg, l'Observatoire Midi-Pyrénées, l'Observatoire de la Côte d'Azur, l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand et l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques du Mans). D'autre part, des partenariats avec des opérateurs privés permettent d'avoir accès aux données des sites GNSS de ces partenaires (Orphéon et SatInfo).

Depuis juillet 2017 la direction du SNO est assurée par P. Vernant (Géosciences Montpellier/OREME) après 2 mandats de 4 ans d'A. Walpersdorf (ISTerre, Grenoble). Le directeur est épaulé par un bureau dont les membres actuels sont M. Vergnolle (Géosciences Azur), A. Santamaría-Gomez (GET), A. Socquet (ISTerre), T. Person (IGN), L. Rolland (Géosciences Azur), E. Doerflinger (GM), A. Rigo (ENS Paris).

Chaque année une assemblée générale a lieu au printemps. C'est l'occasion de discussions scientifiques, notamment sur la précision des mesures et des méthodes de traitement, ces discussions se font sous la forme de petits challenges scientifiques depuis l'arrivée de la nouvelle direction et vont donner lieu à des publications scientifiques dans les années à venir. C'est aussi lors de cette AG que les évolutions du réseau sont discutées et entérinées. Enfin c'est aussi cette AG qui choisit la personne qui sera proposée à l'INSU comme directeur du SNO sur la base d'un renouvellement tous les 4 ans.

### Orientations à venir

La priorité principale du RENAG est de continuer à maintenir des sites permanents de référence dans le temps, mais aussi de densifier en partie la couverture dans certaines régions (Ouest de la France, Pyrénées), ainsi que d'intégrer des sites d'anciens réseaux de campagnes pour une remesure régulière. Ces données sont bien entendu à la disposition de toute la communauté, mais l'objectif pour RENAG est également de fournir des produits utilisables par tous, comme des séries temporelles disponibles sur le site du RENAG (<http://webrenag.unice.fr>), ainsi que prochainement un champ de vitesses et un champ de déformation validé par la communauté RENAG. RENAG est maintenant intégré dans EPOS (European Plate Observatory System) et les données GNSS européennes seront bientôt distribuées par un portail commun en partie développé par certains membres du RENAG à l'OCA. Un des deux centres de traitement de l'ensemble des données GNSS d'EPOS est l'OSUG, centre opérationnel de RENAG. Enfin, la possibilité de passer les stations RENAG en temps réel pour distribuer un flux Ntrip permettant de faire du GPS cinématique (RTK) de manière simple, fiable et peu coûteuse pour le monde de la recherche académique est à l'étude.

### Faits marquants

Ces dernières années, les données du RENAG ont permis de mettre en évidence une surrection des Alpes qui n'est pas associée à la convergence Afrique-Eurasie. Ces données ont permis d'alimenter de nouvelles pistes de compréhension de la sismotectonique en France (Vernant et al., 2013, Nguyen et al., 2016, Nocquet et al., 2016, Chéry et al., 2016, Mey et al., 2016, Masson et al., soumis, visible sur Solid Earth).

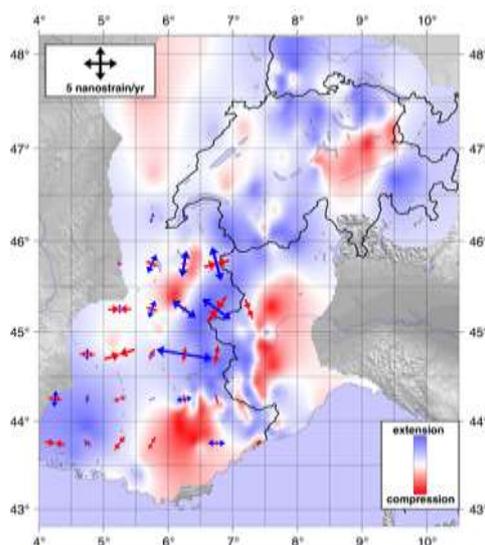


Figure 2 : tenseurs de taux de déformation dérivés des mesures GNSS (extension en bleu et compression en rouge). Les couleurs en arrière-plan indiquent le mode de déformation déduit des mécanismes au foyer de Delacou et al. (2004) (Walpersdorf et al., 2019).

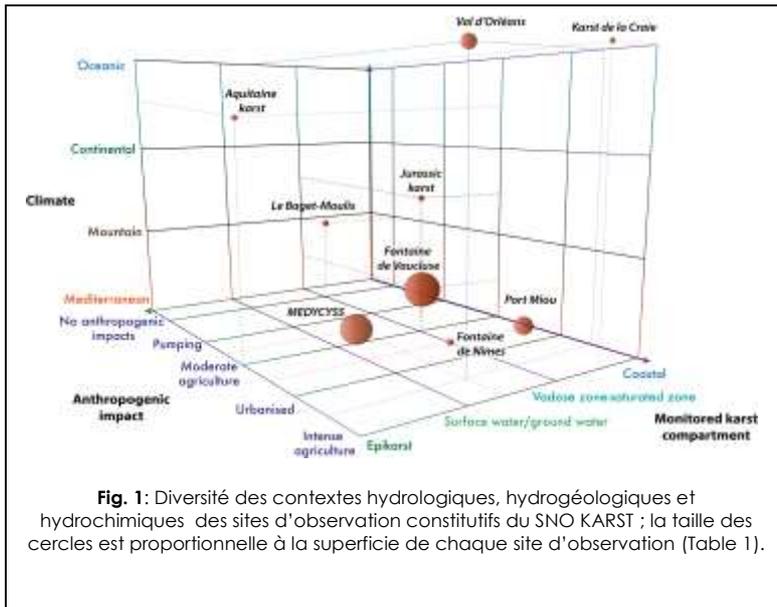
## SNO KARST – Service National d'Observation du KARST

### Objectifs

Le SNO KARST a pour ambition de faire émerger des questions et avancées scientifiques, spécifiquement en termes de modélisation des flux hydrogéochimiques à l'exutoire des hydrosystèmes karstiques, ou encore de liens entre changements globaux et composition physico-chimique des eaux à l'interface entre compartiments hydrologique et hydrogéologique. Une attention particulière est portée sur le lien données-modèles afin, d'une part, de mieux comprendre la physique et la chimie du milieu et, d'autre part, d'enrichir la capacité des modèles à reproduire les variations de flux et de matières.

On peut également noter que les roches carbonatées qui hébergent les systèmes karstiques sont des matériaux éminemment "fragiles" à l'érosion et l'altération, et que ces mécanismes sont eux-mêmes très conditionnés par les modifications attendues du climat, du régime hydrologique et pluviométrique. Ceci rend les karsts encore plus vulnérables sur des échelles de temps assez courtes, caractéristique en général moins prégnante dans les hydrosystèmes classiques plus profonds ou de dynamique hydrique plus lente.

L'aspect transfert de matière et participation aux grands cycles biogéochimiques est également une préoccupation forte de ce SNO, et ce d'autant plus que la vulnérabilité des systèmes karstiques aux modifications des conditions aux limites en surface est forte.



L'ensemble des sites d'observation du SNO KARST (Fig. 1) constitue un panel représentatif des différentes typologies d'environnements carbonatés karstiques.

Du fait de cette diversité des contextes climatiques, lithologiques, structuraux physiographiques et anthropiques, spécifique à ces sites, leur étude collaborative au sein du SNO est un atout pour dégager de grands traits caractéristiques communs des environnements karstiques, notamment en termes de réponse aux changements globaux (Binet et al., 2018, Jourde et al., 2018, Massei et al., 2018). Le SNO KARST permet ainsi d'encourager cet effort au-delà des activités des unités de recherche, i) par une ouverture à l'ensemble de la

communauté scientifique intéressé par ces objets d'étude, et ii) par le regroupement de la communauté scientifique autour de la problématique du suivi à long terme.

### Gouvernance

L'acquisition des données sur les différents sites du SNO KARST est assurée par plusieurs laboratoires, OSUs ou EPIC (HSM/OREME, EMMAH, ISTO/OSUC, M2C/METIS, GET/ECOLAB/OMP, CEREGE/PYTEAS, BRGM, ChronoEnvironnement, I2M/OASU). L'existence de partenariats avec les différents SOs permet par ailleurs de disposer de données non acquises par les équipes du SNO.

Depuis juillet 2014 (date de labellisation par l'INSU) la coordination du SNO KARST est assurée par H. Jourde (HydroSciences Montpellier/OREME), secondé d'un.e adjoint.e (N. Massei/N. Mazzilli depuis 2019) et d'un comité exécutif dont les membres actuels sont les coordinateurs des neuf SO (C. Batiot-Guilhe, N. Mazzilli, S. Binet, M. Fournier, D. Labat, B. Arfib, V. Bailly-Comte, M. Steinmann, R. Lastenet). Chaque année un workshop est organisé sur l'un des sites du SNO, rendez-vous d'échanges et de discussions scientifiques autour des données, des méthodes de traitement et des outils de modélisation développés. Tous les deux ans, un conseil scientifique réunit un comité d'expert qui évalue et analyse les développements et résultats scientifiques réalisés dans le cadre du réseau.

### Orientations à venir

La diversité des sites-ateliers du SNO KARST et des méthodes d'analyse et de modélisation, appliquées dans le cadre d'un suivi spatiotemporel multi-échelles de l'hydrodynamique et de l'hydrochimie, ont pour objectif de permettre une meilleure caractérisation des processus physiques contrôlant les écoulements et le transport dans le but d'une meilleure compréhension et modélisation de la réponse hydrologique de ces hydrosystèmes complexes, notamment aux exutoires. Cette diversité permet de disposer de fenêtres d'observation et de mesure au niveau des différentes zones remarquables qui jouent un rôle essentiel dans la réponse hydrodynamique globale mesurée aux exutoires et les propriétés de transport des hydrosystèmes karstiques: sols, formations superficielles de couverture, épikarst, zone non saturée d'épaisseurs distinctes, forages dans les conduits, les fractures et au sein de blocs fissurés. Pour être en mesure de fournir des éléments de réponse à cette problématique, les observations sont concentrées sur i) le comportement de la zone d'infiltration, incluant sols et/ou formations superficielles de couverture, épikarst et zone non saturée, ii) le comportement de la zone saturée et iii) la variabilité hydrologique et physico-chimique observée aux exutoires des systèmes.

### Faits marquants

Le SNO KARST fait l'objet d'un article dans un numéro spécial de Vadose Zone Journal : SNO KARST: a French network of observatories for the multidisciplinary study of critical zone processes in karst watersheds and aquifers (Jourde et al., 2019) <https://dx.doi.org/10.2136/vzj2018.04.0094> ainsi que de quatre articles dans le numéro spécial Observatoires de la revue Géologues (Binet et al., 2018, Jourde et al., 2018, Massei et al., 2018 ; Mazzilli

et al., 2018). La plateforme de modélisation KartsMod, développée dans le cadre du réseau, a également fait l'objet d'une publication à Environ Mod & Software (Mazzilli et al., 2018).

Du fait de la quantité et de la qualité des données acquises dans le cadre du réseau, le SNO KARST a été sollicité par des chercheurs des Universités de Freiburg (Allemagne) et de Bristol (Angleterre) pour contribuer à une base de données internationale regroupant des chroniques hydrométéorologiques sur plus de 200 sources karstiques. Ce travail fait l'objet d'une publication intitulée World Karst Spring Hydrograph (WoKaSH) database for research and management of the world's fastest-flowing groundwater qui sera soumise (Juin 2019) à Nature Scientific Data.

Sur la base de leur expertise sur la modélisation du karst, différents membres du SNO KARST ont été sollicités pour participer à l'appel à projet PRIMA (Projet Européen). Ce projet Européen PRIMA, intitulé KARMA (Karst Aquifer Resources availability and quality in the Mediterranean Area, 2019-2022) au sein duquel nous portons le WP Modelling tools, a été accepté et débutera en Septembre 2019. Ce projet permettra de renforcer des liens existants à l'international entre les différents membres du SNO KARST et les équipes du KIT (Karlsruhe institute of Technology, Allemagne), l'AUB (American University of Beirut, Liban) et de l'UMA (University of Malaga, Espagne). Il permettra par ailleurs de s'ouvrir à de nouvelles collaborations avec le BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Allemagne), l'URO (University of Rome, Italie) et l'ENIT (Ecole National d'Ingénieurs de Tunis, Tunisie).

La reconnaissance de l'expertise et des savoir-faire du SNO s'est également traduite par la signature de différents accords de collaboration avec des universités étrangères pour favoriser l'accueil et l'échanges d'étudiants et chercheurs/ enseignant chercheurs avec ces universités. Ces collaborations ont permis le développement de projets communs qui se sont traduits par la mise en place d'une thèse de doctorat et l'accueil de chercheurs et étudiants de la China University of Petroleum (UPC/RCOFR, Chine) ainsi que de l'Universidad Nacional Toribio Rodriguez De Mendoza De Amazonas (UNTRM, Pérou).

## SNO Pollux – OSU OREME

### Objectifs

POLLUX est un service national labellisé au titre de l'ANO5 de l'INSU-AA. Il s'agit d'une base de données interopérable de spectres stellaires synthétiques à haute résolution. L'objectif scientifique est de faire de POLLUX la référence pour la découverte de spectres stellaires synthétiques haute résolution sur le web et dans l'OV.

La base a été labellisée en 2006, labellisation reconduite en 2014. Ce SNO a également reçu une évaluation positive de la CSAA-ANO5 en 2016.

Trois mises à jour ou évolutions de la base de données POLLUX ont été publiées entre janvier 2015 et décembre 2018. De nouvelles fonctionnalités ont été mises à disposition pour les utilisateurs de la base (outil de convolution, sélection des modèles par collection). La structure de la base de données elle-même a évolué (structuration, détail des spécificités et spécifications des différents modèles, précision du domaine de longueur d'onde). Ce dernier point a permis de doubler le volume des données en incluant des spectres jusqu'alors écartés (collection AMBRE), d'offrir des spectres dans l'IR et l'UV (la BDD était à l'origine limitée aux spectres dans l'optique) et de proposer en exclusivité des spectres synthétiques issus de simulations 3D. Le nombre total de spectres disponibles est ainsi passé de 8123 en 2015 à 16803 spectres en juillet 2018.

La BDD POLLUX sert également de banc de test aux développements du Data Model et du Data Access Layer de deux groupes de travail au sein de l'IVOA<sup>1</sup> : Simulation (qui décrit des données issues de simulation dans le cadre de l'OV) et Provenance (initié par la communauté des hautes énergies en vue de l'exploitation de la mission CTA, décrivant des données issues de chaînes complexes d'analyse).

La BDD POLLUX est citée dans 71 articles dont 63 articles à comité de lecture. Elle a par ailleurs été présentée dans le cadre du travail sur le ProvDM (provenance DataModel) à divers colloques d'interopérabilité de l'IVOA au cours des 4 dernières années.

---

<sup>1</sup> IVOA : International Virtual Observatory Alliance

L'alimentation de la BDD en nouveaux spectres, en particulier en données couvrant le domaine de l'IR dans le cadre de l'exploitation des instruments comme SpiROU, Spip, ou de la mission Gaia, est envisagée en priorité. Pour ce faire, il conviendra de proposer à court terme une nouvelle collection de spectres issus de modèles d'atmosphère PHOENIX produits par F. Allard à Lyon. Par ailleurs l'ouverture récente aux données 3D a ouvert une voie qu'il faut pouvoir poursuivre, en collaboration avec A. Chiavassa (OCA). A terme, la perspective est aussi d'intégrer les spectres 3D CO5BOLD (produits au GEPI / ObsPM).

Les besoins de ce SNO devraient rester dans la continuité des dernières années.

## Les Services Nationaux d'Observation dont l'OREME est « Partenaire »

### SO RLBP (RESIF)

L'infrastructure de Recherche RESIF est un équipement national d'excellence pour l'observation et la compréhension de la Terre interne. L'IR RESIF forme la contribution française majeure à l'infrastructure de recherche EPOS (European Plate Observatory System)

Une de ces tâches, labellisée par l'INSU au niveau national, est la mise en œuvre et l'opération d'un Réseau Large Bande Permanent (RLBP). Réparti sur l'ensemble du territoire, ce réseau de stations sismologiques permanentes permet d'enregistrer les mouvements du sol provenant de séismes lointains et régionaux. Leur analyse apporte de précieuses informations sur la structure de la Terre à toute échelle et sa dynamique interne. Le SO RLBP trouve donc naturellement et légitimement sa place au sein de l'OSU OREME pour atteindre ces objectifs et se pérenniser.

Quatre sites ont été prospectés et sont supervisés par l'OREME. Le SO RLBP est structuré en 4 tâches d'observation (TO) qui correspondent chacune aux 4 sites instrumentés : La Jasse (LAJAS), Trabuc (TRBF), Balsièges (BALS) et Restinclières (REST).

Les données consistent en un flux continu mesurant le déplacement du sol dans les 3 directions de l'espace (verticale, nord-sud et est-ouest). Ce flux est directement transmis (par ADSL ou satellite) au centre de validation des données (EOST, Strasbourg) qui vérifie et valide avant transfert au centre principal (OSUG, Grenoble) pour distribution et mise en forme des données. Une fois validée, les données sont publiques, librement téléchargeables sur le site internet de RESIF et peuvent être utilisées par la communauté scientifique.

Le développement du réseau est en voie de finalisation. Sur les quatre sites inclus dans OREME, deux sont fonctionnels (LAJAS, TRBF), un troisième est en cours d'intégration (BALS), et le dernier (REST) sera instrumenté en forage dans l'année 2019.

La station LAJAS a la particularité d'être installée dans l'un des rares sites multi-instrumentés par RESIF, colocalisée avec une station permanente GNSS (voir SO GNSS) et des mesures gravimétriques absolues (voir SO H+).

Ce SO implique 4 personnels permanents de GM (1 CR, 1 MdC, 1 IR, 1 AI), le soutien technique ayant été renforcé par l'arrivée de S. Baudin (AI) en nov. 2015. Leur implication varie de 10 à 50%. Actuellement les données de ces sites ne sont pas utilisées dans les problématiques scientifiques principales de GM. Cela explique le fait qu'aucune publication provenant de l'OREME n'utilise les données de ce SO à ce jour. Nous espérons développer cet aspect dans les années prochaines (voir perspectives). La liste des publications relatives au SNO RESIF est consultable sur le site de RESIF (<http://www.resif.fr>).

### Perspectives

Sur le plan technique il s'agit principalement de :

- Finalisation de la construction du réseau,
- Développement de la colocalisation instrumentale dans le cadre de RESIF et de projets régionaux,
- Mise en œuvre de la visualisation des données et des événements sur site,
- Développement d'une base de donnée pour la maintenance et le suivi des sites grâce aux compétences des personnels du système d'information de l'OREME.

Sur le plan scientifique, le site de LAJAS permet d'aborder la dynamique terrestre d'un point de vue pluridisciplinaire en réunissant les 3 aspects de RESIF : sismologie, GPS et gravimétrie (SNO H+, et SNO RESIF-)

RENAG, SNO Gravimétrie). Cela permet d'aborder des thématiques telles que l'effet spatio-temporel des charges externes (climatiques, nappes d'eau...).

Il serait également souhaitable de développer la sismologie environnementale, ce qui impliquera la création d'une nouvelle tâche d'observation. Le signal sismologique enregistré par les stations peut informer sur la charge de fond des rivières, et être un acteur important dans l'alerte des crues soudaines et l'étude des phénomènes d'érosion. Compte tenu de l'intérêt potentiel d'autres équipes universitaires de Montpellier, dans les années qui viennent, il conviendra de travailler à développer un réseau régional et dédié à ces problématiques (littoral, suivi des rivières, risques). Ce réseau pourrait se développer autour de RESIF et dépendre entièrement de l'OREME, afin de répondre à une volonté commune de recherche scientifique et mieux correspondre aux problématiques scientifiques des personnels impliqués ainsi qu'aux enjeux régionaux.

Il existe également des perspectives en matière de formation et d'enseignement. A ce titre, il est prévu de développer la formation et l'enseignement en s'appuyant sur le site de REST, qui se situe sur le Domaine de Restinclières, en collaborant avec la Maison Départementale de l'Environnement qui regroupe déjà de nombreuses activités pédagogiques (expositions, colloques, débats, sciences participatives). Les étudiants des équipes concernées seraient ainsi impliqués dans une démarche de relation avec la société civile et de vulgarisation de leurs travaux. Utiliser aussi les compétences du nouveau service de communication de RESIF permettra d'envisager des interventions sur site pour les scolaires (primaires, secondaires).

## SO OMIV-MONTPELLIER

Pégairolles de l'Escalette est un site de l'OSU OREME depuis 2012. Ce site a intégré l'observatoire national INSU OMIV (Observatoire Multidisciplinaires des Instabilités de Versants) depuis 2017. Il s'agit d'un glissement rotationnel profond (60 m) et relativement lent (quelques cm). Sur ce site, l'impact d'événements pluvieux intenses sur la déstabilisation du versant est étudié à partir d'observations continues, multi-capteurs, multi-paramètres qui sont mesurées principalement en forage. Ces données originales permettent un accès direct à la zone déformée. L'objectif est de comprendre les relations entre précipitations, circulations de fluides, processus internes dans la zone de rupture et déformation au sein du versant pour comprendre la dynamique de ce système. A terme, ce suivi devrait permettre la caractérisation de paramètres précurseurs (durée, volume, délais) aux phénomènes de déstabilisation de versants dans cette vallée où les glissements de terrain menacent de nombreuses infrastructures (A75, ponts, habitations).

Des équipements ont été déployés de manière permanente dans deux forages : un observatoire géophysique (mesures quotidiennes de la résistivité électrique, mesures ponctuelles de la déformation) et un observatoire hydrodynamique (mesures mensuelles de la pression, température, conductivité) qui permet de plus le prélèvement de fluides in-situ analysés à posteriori au laboratoire (traces, majeurs, TOC). Ces observatoires permettent un suivi géophysique, hydrogéologique et géochimique au sein du glissement. Des mesures géophysiques ponctuelles (magnétotellurique, polarisation induite, ERT) ou permanentes (GPS, station météo) ont également été menées sur le site. La station GPS semi-permanente et le pluviomètre sont installés depuis 2015. Un système de monitoring de résistivité électrique de surface a été déployé en Novembre 2018 dans le cadre de l'ANR HYDROSLIDE. Deux sismomètres ont également été installés en Février 2019 pour une durée d'un an.

L'ensemble de ces données et le suivi mis en place depuis 2012 apporte des premiers éléments de réponse sur la dynamique du système (Fig. 1). Les carottes prélevées dans le forage ont apporté une description de l'ensemble des lithologies traversées et des zones déformées (roche de failles, zones de drainage). Des données acquises dans le forage ont mis en évidence un écoulement dans le versant qui coïncide avec la zone de rupture identifiée à environ 47 m de profondeur par les mesures de déformation. Le suivi temporel mis en place a permis aussi de mettre en évidence le cycle saisonnier dans les deux aquifères présents et ont souligné une réponse hydrodynamique en deux temps à un fort événement pluvieux : un transfert de pression arrivant immédiatement après la pluie alors que le transfert de masse intervient avec un délai de 3 mois. Une première analyse des données de résistivité montre que ces dernières semblent plus sensibles au contenu du fluide qu'aux processus internes qui pourraient intervenir au niveau de la zone de rupture.

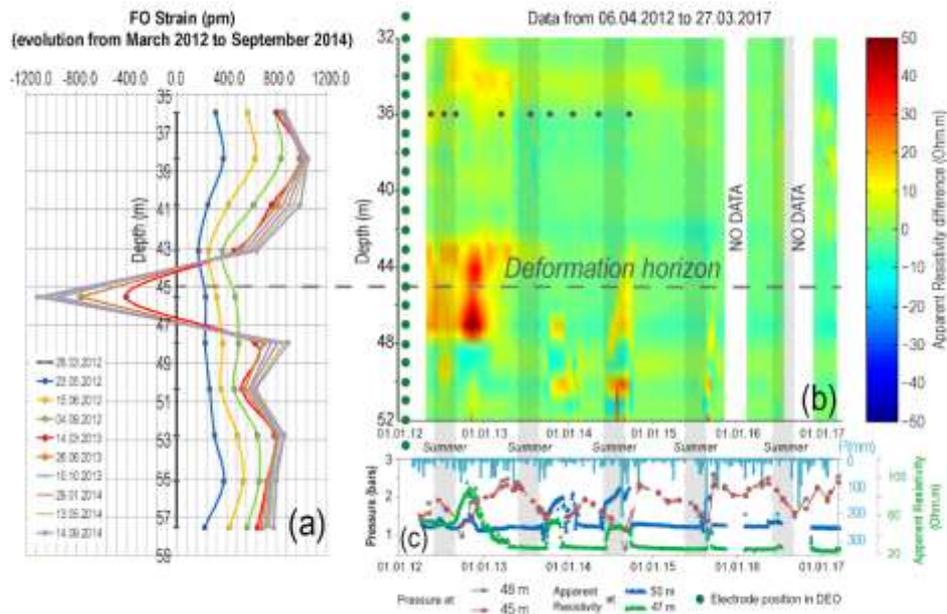


Fig 1 : Suivi géophysique (déformation et variations de la résistivité électrique apparente) enregistré sur le site de Pégairolles de l'Escalette. Comparaison avec les précipitations et la dynamique des deux aquifères. (Denchik et al., 2019).

Les perspectives scientifiques sont dans la continuité du projet actuellement mené : poursuivre les observations pour mieux contraindre la relation pluie-dynamique du versant en s'intéressant aux processus internes qui se développent au niveau de la zone de rupture.

Les perspectives techniques concernent principalement :

- La finalisation de la base de données « résistivité électrique » grâce aux compétences des personnels du système d'information de l'OREME.
- La cartographie fine du glissement par analyse d'images de haute-résolution (LIDAR)
- La télétransmission des données météorologiques
- L'installation d'instruments pour mesurer la déformation d'un ouvrage (pont – mesures laser, extensomètres)

## SO H+ LARZAC

La mission première de l'observatoire H+ est de maintenir et de coordonner un réseau de sites expérimentaux capables de fournir des données pertinentes – y compris des chroniques ou expériences long terme – pour la compréhension du cycle de l'eau et des éléments transportés dans les aquifères. Le couplage mesures / théories / modèles est une autre mission fondamentale de l'observatoire H+.

Le site du Larzac est inséré et animateur de plusieurs réseaux / organismes à l'échelle nationale et internationale : le SNO H+ labélisé par l'INSU ; le SOERE H+ labélisé par ALLENVI ; l'IR OZACR ; l'ITN H2020 ENIGMA (porteur : P. Davy ; 2017-2020). Récemment, le site du Larzac participe au projet « eLter + » qui est démonstrateur de la future infrastructure de recherche européenne eLter (<https://deims.org/83b01fa5-747f-47be-9185-408d73a90fb2>).

Les données acquises sont de nature très variée (température, débit, gravimétrie, GPS, inclinométrie, vapeur d'eau, CO<sub>2</sub>, ...) à des fréquences d'échantillonnage très variables (du 100 Hz à une mesure par heure). La plupart des données sont acquises en continue sur des durées longues. La politique de diffusion est de mettre toutes les données en ligne accessibles à tous sans délai, voir en temps réel lorsque c'est possible (<https://data.oreme.org/observation/gek>; <http://hplus.ore.fr/en/larzac>). L'interopérabilité est assurée avec les bases de données d'autres SNO INSU pertinents (RESIF, RENAG, H+). Les données sont toutes (dans la mesure du possible) acquises en continue sur des durées minimum d'un an pour enregistrer le cycle saisonnier. Pour la

gravimétrie, le GPS, la sismologie et les flux atmosphériques, l'objectif est de travailler à différentes échelles de temps pour mesurer les cycles saisonniers et les changements climatiques (> 10 ans).

A l'échelle locale, les interactions du site H+ Larzac ont eu ou ont lieu :

- avec le SO « mesure de Flux à Puechabon » pour la mise en place de mesure d'évapotranspiration sur le site du Larzac
- avec le SO RESIF-RENAG pour la mesure de la déformation liée aux charges hydrologiques sur le site du Larzac et sur d'autres sites karstiques
- avec le SO Karst pour la réalisation de mesures géophysiques sur le Lez et pour des analyses hydrochimie sur le Durzon (Larzac)
- avec le SO RESIF-RLBP pour l'installation d'un sismomètre large bande permanent (et pour l'aide à des expérimentations sismologiques : projet région « chercheur d'avenir »)
- avec le SO Forage pour des mesures en forage sur le site du Larzac.

Le principal résultat scientifique du SO H+ Larzac est la démonstration de l'utilité des mesures gravimétriques et sismologiques pour l'étude et le suivi des hydro-systèmes complexes comme les karsts. Cette approche quantitative sera poursuivie et complétée par la mise en place de suivi d'humidité des sols (TDR et « cosmic rays »). Par ailleurs, depuis cette année (2019), les suivis chimiques à la source effectués par V. de Montety sur projet sont pérennisés de manière trimestrielle.

Au-delà des aspects thématiques, l'observatoire du Larzac est également un site métrologique de référence permettant : i) Inter-comparaison de gravimètres absolus, ii) la validation de nouveaux instruments face aux instruments existants et iii) valider l'utilisation de nouveaux instruments pour une problématique scientifique en hydrologie.

Les sites ainsi que les données du site H+ Larzac sont utilisés dans la spécialité Dynamique terrestre et risques naturels du master STPE (Sciences de la Terre et des Planètes, Environnement) de l'Université de Montpellier. Chaque année des étudiants de master 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année, ainsi que des doctorants, effectuent leur stage dans le cadre du site H+.

L'objectif scientifique de développement du SO H+ Larzac est double :

- Maintenant que les approches géophysiques (gravimétrie et sismologie) sont quasi maîtrisées et que les durées des observations approchent 5 ans, un objectif est de regarder les variations interannuelles et climatiques pour commencer à regarder si (et comment) l'impact des changements environnementaux peut être mesuré par les outils géophysiques.
- L'autre objectif est de regarder comment les outils géophysiques sont applicables à d'autres systèmes hydrologiques complexes du pourtour méditerranéen comme certains sites du SNO Karst (comme le site du Lez ou de Fontaine de Vaucluse) ou des sites sédimentaires complexes (projet Demeaux : Bassin du Roussillon ou aquifères de la Crau).

## SO AMMA-CATCH – MONTPELLIER

[www.amma-catch.org](http://www.amma-catch.org)

AMMA-CATCH est un SNO porté par l'OSUG (Grenoble), et piloté de manière collégiale par les UMRs IGE (Grenoble), HSM (Montpellier) et GET (Toulouse). Il est constitué de 3 sites expérimentaux de méso-échelle (~ 10 000 km<sup>2</sup>) au Mali-Sénégal, Niger et Bénin. Il est intégré dans l'IR OZCAR (Gaillardet J. et al., 2018)

L'objectif du SNO AMMA-CATCH est de documenter in-situ et sur le long terme les évolutions climatiques, hydrologiques et des couverts végétaux en Afrique de l'Ouest, de manière à diagnostiquer les changements en cours dans la zone critique et anticiper le futur. Les observations réalisées alimentent des recherches dans 3 axes : i) dynamiques à long terme, ii) études de processus et modélisation, iii) applications et réponse à la demande sociétale (Galle et al., 2018). Les données d'observation sont mises à disposition sur une base de données ouverte munie d'une interface cartographique : [bd.amma-catch.org](http://bd.amma-catch.org).

Depuis 2015, 89 articles (WoS) ont été publiés par l'observatoire, et 14 thèse soutenues, dont 8 par des étudiants du Sud.

Deux tâches d'observations (TO) associées sont déclarées à l'OREME : la tâche « Niger » et la tâche « Bénin ». Ce découpage par site plutôt que par tâches thématiques est plus cohérent avec l'organisation du SNO. Ces deux tâches sont transversales, centrées sur l'observation des processus de la zone critique.

Le fonctionnement de l'observatoire est principalement financé par les crédits récurrents des tutelles INSU et IRD, mais chacun des 3 OSUs associés apporte un complément pour des activités d'observation spécifiques menées par les équipes implantées localement à Grenoble, Montpellier et Toulouse. Pour OREME et HSM il s'agit du cycle de l'énergie et du carbone pour la TO Niger (pilotage B. Cappelaere, responsable scientifique du site AMMA-CATCH Niger) et les interactions végétation - cycle de l'eau et un appui à la télétransmission de données pour la TO « Bénin » (pilotage C. Peugeot, responsable scientifique du site AMMA-CATCH Niger).

Les activités menées dans le cadre de la TO Niger ont permis la documentation des cycles couplés eau-énergie-carbone ce qui se traduit par :

- La génération (réanalyse/fusion de données) d'une série météorologique longue de référence à haute résolution pour la modélisation (Leauthaud et al., 2017)
- L'estimation de l'évapotranspiration (ETR) par satellite : développement d'un produit validé au Sahel (Allies et al, 2019) ; valorisation de l'expertise acquise (Hssaine & al, 2018)
- Le référencement du site AMMA-CATCH Niger pour la « CalVal » de la mission satellitaire ECOSTRESS (NASA), dédiée à l'estimation de l'ETR.

Les activités menées dans le cadre de la TO Bénin se sont focalisées sur :

- Le rôle des arbres dans le cycle hydrologique : prélèvements dans les nappes et contribution à l'évapotranspiration de la surface continentale. Implication pour les systèmes agroforestiers. Thèse de B. Awessou à partir de suivis de flux de sève (Awessou et al., 2015, 2017, 2018 ; Mamadou et al., 2016)
- Le développement de la télétransmission de données (optimisation de la gestion du réseau, récupération rapide et traitement accéléré des données). Les données sont gérées par le serveur GeDHyT développé à HSM en 2015 via un projet IRD/SPIRALES (C. Peugeot), mis à disposition de projets partenaires : transmission automatique de rapports quotidiens.
- L'analyse et la modélisation du cycle de l'eau dans la zone critique (Getirana et al. 2017 ; Hector et al., 2015, 2018 ; Rashid et al., 2019).

La vocation du SNO AMMA-CATCH étant la documentation à long terme, la politique de l'observatoire partagée sur tous les sites (et donc les 2 TOs OREME) est i) la consolidation des tâches associées, avec l'objectif de disposer d'au moins 30 ans de données pour toutes les variables suivies (les séries les plus courtes ont 15 ans) et ii) renforcer les applications en réponse à la demande sociétale.

Ce qui se traduit en termes d'objectifs pour la TO Niger par :

- La valorisation de l'expertise flux turbulents dans le développement d'un site miroir au Nord sur l'observatoire MEDYCYSS (SNO Karst) : déploiement d'une tour à flux.
- Le développement d'outils de modélisation intégrés prenant en compte les transferts d'énergie et de masse dans la zone critique (Méditerranée et Sahel).

Et pour la TO Bénin par :

- En lien avec la politique impulsée dans RBV et renforcée dans OZCAR, le développement des suivis de qualité des eaux et de caractérisation géochimique, qui seront également bénéfiques pour le volet « Qualité » du LMI REZOC démarré fin 2018 (collaborations avec la plateforme AETE-ISO de l'OREME à concrétiser). Actions à construire : suivi des pesticides agricoles dans les eaux de surface et souterraines (LMI REZOC), en partenariat avec l'IMT Mines Alès.
- La télétransmission des données de précipitations : mise en production de prototypes à faible coût développés en partenariat HSM/IGE avec l'appui de l'OREME.
- L'amélioration de la prévention du risque d'inondation sur l'Ouémé aval et le Lac Nokoué par méthodes neuronales. Travail de thèse d'un étudiant béninois, 2020-2022, encadrement C. Peugeot,

collaboration A. Johannet HSM/IMT Mines Alès, Système d'Alerte Précoce (SAP) et Institut National de l'Eau (INE) du Bénin.

## SO LITTORAL & TRAIT DE COTE (SNO DYNALIT)

Le SO LTC correspond à la composante Occitanie et PACA (totalité de la façade Méditerranée) du SNO DYNALIT ; il en est un des éléments fondateurs. Il est également la composante dédiée à la mesure long terme du réseau GLADYS porté par l'UMR 5243 Géosciences-Montpellier. Il englobe enfin des missions d'observation strictement méditerranéennes en relation avec la biodiversité (coraux et Posidonia).

Les observations du réseau SO LTC contribuent aux questionnements scientifiques suivants :

- Quantification des évolutions du trait de côte français sur le moyen à long terme.
- Étude de la variabilité des réponses du système littoral au changement climatique.

Le SO LTC a un budget global de 12 000 Euros (6 k€ provenant de l'OSU OREME et 6 k€ provenant du SNO DYNALIT). Ce budget comprend principalement les frais de maintenance (missions, jouvence, petits équipements, ...), l'animation du réseau de chercheurs réalisant les mesures (réseau largement distribué sur la façade Méditerranéenne), et accessoirement la valorisation des travaux du SO.

Les moyens en personnels locaux sont : Fred Bouchette Mcf HDR (ETP 10%). Il bénéficie en plus à la marge du support technique du Système d'Information de l'OSU OREME. L'effort sur la mesure est assumé entièrement par le réseau GLADYS, composé de personnels de différents laboratoires de la façade Méditerranéenne. Le SO LTC ne bénéficie d'aucun soutien technique spécifique en matière de métrologie.

Les équipements du SO sont très limités, mais le SO LTC bénéficie de l'accès au parc GLADYS qui est le parc universitaire d'instruments, consacré à la dynamique du littoral, le plus étoffé en France (plus de 100 appareils de mesure dédiés à l'hydro-morphodynamisme des plages sableuses). Un système de calcul et d'archivage informatique est dédié au SO.

Les données fournies sont stockées sur [www.soltc.org](http://www.soltc.org) et, pour certaines, redistribuées sur le serveur de l'OSU OREME ainsi que sur les serveurs du réseau national DYNALIT. Les données officielles consistent en des suivis du trait de côte, des MNT des plages sélectionnées et les conditions de vagues qui y sont associées. La résolution actuelle de la mesure est bi-annuelle, alignée sur ce qui a été décidé au sein du réseau DYNALIT depuis 2017.

La montée en puissance du réseau GLADYS avec, notamment, la mise en place de l'Institut Universitaire des plages GLADYS sur la façade Méditerranée doit faire l'objet de discussions quant au positionnement de l'OSU OREME dans l'accompagnement de cette structure d'accueil de l'ensemble des moyens de mesure de la façade Méditerranée en hydro-morphodynamisme littoral des plages sableuses. Il est possible que les sites pilotes du SNO DYNALIT en façade Méditerranée soient ajustés en cours de quinquennal afin de répondre à la mise en place de l'Institut des plages.

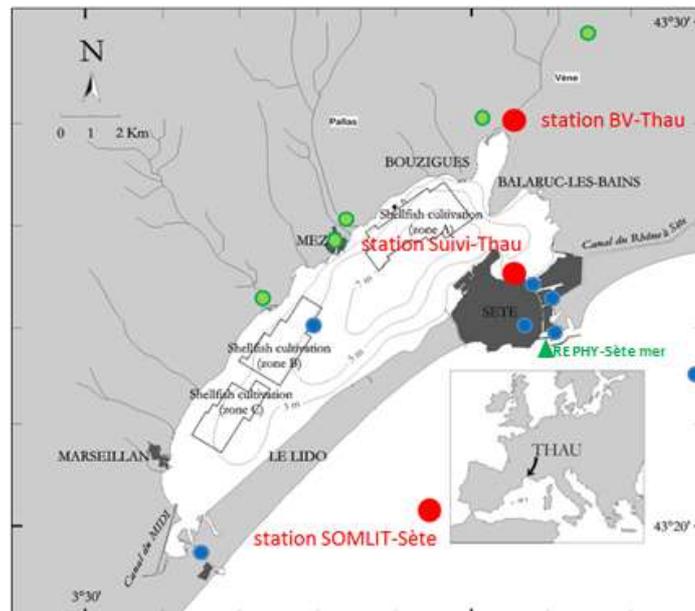
## BILAN DU SO REC-THAU (SNO SOMLIT)

Le SO REC-THAU est, par nature, un SO pluridisciplinaire et original qui a l'ambition de rassembler et renforcer les compétences en océanographie physique et biologique, en hydrologie, en chimie, et en écologie des chercheurs et des cadres techniques des laboratoires HydroSciences, MARBEC, Géosciences et OREME pour couvrir le « Continuum Terre-Lagune-Mer ». Ce continuum a été peu observé simultanément jusque-là, étant situé sur trois milieux distincts avec des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques différentes. A ce titre, les objectifs scientifiques du SO REC-THAU sont d'étudier :

- La complexité et la variabilité des écosystèmes marins côtiers : variabilité des paramètres physico-chimiques et biologiques influençant le fonctionnement de ces écosystèmes,
- Les transferts et échanges sur ce continuum,
- L'évolution à long terme de ces systèmes dans un contexte de changements globaux (anthropiques et climatiques).

Les observations réalisées permettent également des focus sur les événements extrêmes (tempêtes, crues, sécheresses, etc.).

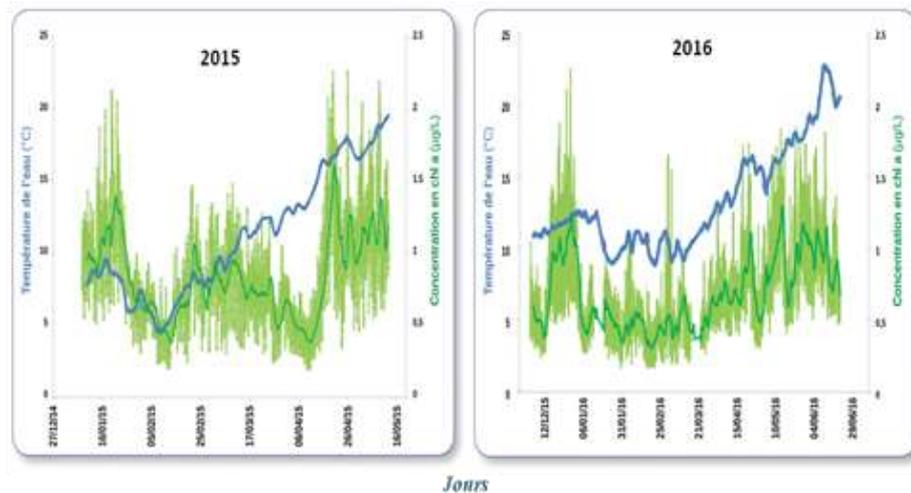
Le SO REC-THAU a commencé ses observations dès le début de la création de l'OSU OREME en 2008. Il a ensuite évolué sous sa forme actuelle avec trois Tâches d'Observation (TO) : TO Bassin-Versant de Thau, TO Suivi-Thau dans la lagune de Thau et TO SOMLIT-Sète en mer en face de la ville de Sète (Fig. 1). Il est à noter que la dernière TO est rattachée au SNO SOMLIT.



**Figure 1** : Carte de positionnement des 3 stations pérennes du SO REC-THAU présentées en rouge. Les stations sur le Bassin Versant Thau, autres que la station pérenne, sont en vert. Les points bleus désignent des stations complémentaires du dispositif (stations météorologiques, courantomètres dans les chenaux, bouée de houle et marégraphe). La station REPHY-Sète mer est indiquée par un triangle vert.

Sur le bassin versant les observations collectées sont la pluviométrie et les flux hydriques du cours d'eau principal (la rivière Vène). Ces données comptent parmi les forçages des modélisations hydrodynamiques de la lagune de Thau. Les avancées portent sur le développement météorologique et sur la définition de compromis entre respect des réglementations et pérennisation de l'hydrométrie. La courbe de tarage de la station de mesure de la rivière Vène a été affinée en mettant en place de 2012 à 2018 un sonar à effet Doppler Sontek Argonaut-SW conçu pour la mesure de la vitesse moyenne de l'écoulement en eaux peu profondes (< 4 m) (Marchand et al. 2014). Les obligations réglementaires de continuité écologique des cours d'eau ont conduit à définir un remodelage optimal du seuil qui conserve la sensibilité hydrométrique et qui intègre un dispositif de montaison pour le rendre franchissable par l'anguille européenne (Marchand et al. 2017 et Poligot-Pitsch et al. 2018).

Les données provenant de la TO Suivi-Thau (Mostajir et al. 2018, disponibles sur la plateforme SEANOE en Creative Commons, (<https://doi.org/10.17882/58280>)) sont utilisées pour différents projets scientifiques nationaux comme par exemple l'ANR Photophyto, Cf. Fig. 2 (Trombetta et al. 2019) ou dans le cadre des projets Transnational Access du projet Européen AQUACOSM (2017-2020) réalisés sur la plate-forme MEDIMEER (c'est le cas, par exemple, du projet « Summer in Spring », mai-juin 2019, (<https://www.aquacosm.eu/mesocosm/medimeer-mediterranean-platform-for-marine-ecosystem-experimental-research/>)).



**Figure 2** : Exemple de données du TO Suivi-Thau publiées en Trombetta et al. (2019). Température (en bleu) et Fluorescence de la chlorophylle a (en vert) mesurés toutes les 15 minutes dans la lagune de Thau à 1 m de profondeur entre Janvier et mai 2015 (à gauche) et entre décembre 2015 et juin 2016 (à droite).

La Station SOMLIT-Sète au-delà d'alimenter la base de données nationale SOMLIT, supporte également les projets nationaux tels que le projet EC2CO Chifre (2017-2019). Ce projet rassemble la communauté méditerranéenne en océanographie côtière afin d'étudier, dans le Golfe du Lion, l'impact des événements extrêmes, crues et tempêtes, sur les écosystèmes côtiers dans un contexte de changements globaux. La réponse rapide (quelques heures à quelques jours) du système marin côtier est étudiée grâce à cinq stations côtières automatiques de mesures, SOLA Banyuls, POEM Perpignan, BESSète (au même emplacement que la Station SOMLIT-Sète), MESURHO à l'embouchure du Rhône et SOLEMIO Marseille. L'objectif principal de ce projet est de rendre compte de la variabilité de la réponse Haute Fréquence (HF) à l'échelle d'une même zone côtière.

L'objectif est de poursuivre le projet scientifique et les observations sur le continuum « Terre-Lagune-Mer » tout en implémentant et intégrant des observations en cours sur la même zone d'étude. Il convient, ainsi, de maintenir les 3 TO (Bassin-Versant, Suivi-Thau et SOMLIT-Sète) et de chercher à intégrer 2 nouvelles TO en mer parties prenantes de SNO existants : SNO COAST-HF (Coastal ocean observing system - High Frequency), et SNO PHYTOBS (Réseau d'observation du phytoplancton). Sur les TO que compterait alors le SO REC-THAU, 3 seraient rattachées à des SNO. La TO Bassin Versant Thau produira les données hydrométéorologiques représentatives des entrées à la lagune mais fournira également les informations relatives à la chronique des écoulements et à leur intermittence pour le Site Atelier Thau de la future Zone Atelier "Petits Fleuves Côtiers Méditerranéens" en cours de montage dans le cadre de la KIM Waters de l'I-SITE MUSE.

Par ailleurs, depuis 2015, la station SOMLIT-Sète était intégrée au réseau SOMLIT dans une phase expérimentale. En avril 2019, après 4 années d'acquisition réussie des données selon les normes standards de SOMLIT et sur la base des excellents résultats analytiques obtenus, la station SOMLIT-Sète a été pleinement intégrée au dossier de labellisation déposé par le réseau auprès de la CSOA de l'INSU.

Enfin, afin d'initier un observatoire cohérent sur le long terme, la Station SNO COAST-HF Sète (Responsables Scientifiques : Y. Leredde et B. Mostajir) a été installée exactement sur le même point d'observation que la Station SOMLIT-Sète afin d'obtenir un ensemble des données biogéochimiques à la fois en basse fréquence (toutes les 2 semaines, SOMLIT) et en haute fréquence avec des capteurs (COAST-HF). A ce dispositif s'ajoute la Station SNO PHYTOBS Sète (Responsable Scientifique F. Vidussi) dédiée à l'observation taxonomique du phytoplancton marin, dont les échantillonnages sont effectués à la Station SOMLIT-Sète en même temps que les observations pour SOMLIT. Ainsi la taxonomie du phytoplancton complète l'ensemble des variables physiques, chimiques et biologiques de cette zone d'étude. Par ailleurs, il est suggéré que la future Station BENTHOBS (V. Ouisse) (Réseau d'observation de la macrofaune benthique) soit installée au même endroit que les trois Stations SOMLIT-Sète, COAST-HF Sète et PHYTOBS Sète. Ainsi, les données issues de l'ensemble de ces Stations alimenteront non seulement les réseaux élémentaires de l'OSU OREME et de l'IR ILICO, mais également ceux des réseaux Européens dont l'un des Super-Sites du projet Européen JERICO-3S (2020-2024) de la Méditerranée Nord-Occidentale.

## SO SVOM (SNO AA-AN02 SVOM)

SVOM est une mission spatiale sino-française dédiée à l'étude des sursauts gamma et autres sources transitoires à partir de 2022. L'OSU OREME est rattaché au SNO AA-AN02 SVOM depuis 2017 au travers des tâches de services réalisées au LUPM. Ce dernier est co-responsable du développement au French Science Center (FSC, au centre de calcul de l'IN2P3 à Villeurbanne) des pipelines de traitement des données de deux des quatre instruments embarqués, le télescope français ECLAIRs (4-150 keV) et le moniteur gamma chinois GRM (50 keV – 5 MeV), et il contribue à l'évaluation des performances de ECLAIRs. Le personnel impliqué dépend entièrement du CNRS/IN2P3, avec 8 chercheurs.ans et 5 ingénieurs.ans cumulés entre début 2015 et mi-2022.

Le soutien financier du CNES aux activités du LUPM dans le cadre du FSC de SVOM est formalisé dans une convention signée avec le CNRS en 2018, qui précise les échéances de paiements et les livrables associés. Pour chaque sursaut (« Core Program » ou CP), le FSC fabriquera une centaine de produits scientifiques de haut niveau (aux standards IVOA), dont une quarantaine seront issus des observations à haute énergie par ECLAIRs et le GRM (coordonnées célestes, courbes de lumière, spectres, etc.). Le LUPM intervient dans l'élaboration d'une trentaine de ces produits, dont une quinzaine sont placés sous sa responsabilité directe. Formellement, le LUPM coordonne trois Work Packages (WP), deux concernant le développement de ces pipelines haute énergie du CP et des logiciels qu'ils exécuteront, et un troisième lié aux besoins de simulation pour leurs tests et validation. Il participe aussi à onze autres WP sans responsabilité directe. Depuis 2015, l'équipe du LUPM a fortement contribué à l'écriture des exigences scientifiques et fourni les spécifications techniques de ces pipelines. Elle a également créé puis animé le groupe qui coordonne leur développement, réparti entre six laboratoires français (Irfu/DAP, IN2P3/APC, INSU/IAP, INSU/IRAP, IN2P3/LUPM) et chinois (IHEP). En 2018, elle a développé avec l'IAP un premier pipeline qui inclut les principaux composants pour la communication avec les services du FSC ainsi qu'une version préliminaire des logiciels d'analyse des données de ECLAIRs et du GRM. Ce pipeline a été livré au FSC et validé lors du Data Challenge 0 (DC-0) qui s'est tenu en janvier 2019.

En parallèle, le LUPM a contribué aux tests du prototype du plan de détection de ECLAIRs au CNES en 2018, et estimé précisément le seuil de codage en énergie des pixels du télescope. Par ailleurs, le LUPM a réalisé des simulations Monte-Carlo utilisant divers catalogues de sursauts gamma et démontré l'excellente performance en spectroscopie attendue du système ECLAIRs+GRM, dans le but de générer les produits scientifiques les plus riches possibles. Enfin, les simulations réalisées ont montré que ces instruments auraient enregistré un signal élevé en provenance de GRB170817A, sursaut gamma court apparu le 17 août 2017. La détection associée d'une émission d'ondes gravitationnelles par les interféromètres LIGO-Virgo a montré que cette source était issue de la fusion de deux étoiles à neutrons, et marqué la naissance de l'astronomie multi-messagers pour laquelle SVOM jouera un rôle majeur dans le futur.

Les activités du LUPM sont en phase avec le planning général de développement du segment sol scientifique français de SVOM. Le principal objectif du DC-0 était de tester les services de communication et d'échange entre les différents composants du FSC, les traitements de données ayant une priorité moindre. La maîtrise technique et méthodologique de l'environnement de développement et d'exécution des traitements des données de ECLAIRs et du GRM est désormais acquise. Dans la continuité de ce travail, les années prochaines seront consacrées au développement de versions avancées des logiciels d'analyse des données de ces instruments, avec deux nouveaux Data Challenges prévus fin 2019 et fin 2020. La collaboration fructueuse avec l'IAP sera maintenue, et les échanges seront renforcés avec les partenaires français et chinois impliqués dans le développement des pipelines haute énergie du CP, notamment au travers d'une documentation partagée sur les données, les réponses et calibrations des instruments, les logiciels et les produits scientifiques qu'ils fabriquent. Il faudra, en particulier, réceptionner certains logiciels développés par les collègues chinois du GRM et veiller à leur bonne intégration au FSC. L'année 2021 sera certainement consacrée à la validation finale de l'ensemble des pipelines. Après le lancement fin 2021, il est prévu non seulement d'assurer la maintenance des pipelines sous responsabilité de l'équipe du LUPM, mais aussi de participer aux activités de calibration en orbite des instruments ECLAIRs et GRM.

## SO PLATO (SNO DE AA-ANO2 - PLATO)

PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of stars) est une mission de classe moyenne (M3) de l'Agence spatiale européenne (ESA) dont le concept a été officiellement accepté fin juin 2017. Le lancement est prévu pour 2026.

L'objectif scientifique de la mission est double. PLATO a d'abord pour objectif de découvrir, par la méthode des transits, des exoplanètes rocheuses de masse similaire à celle de la Terre dans la zone habitable autour d'étoiles similaires au Soleil. Afin de caractériser les propriétés physiques des systèmes d'exoplanètes, la mission PLATO a pour second objectif de déterminer les propriétés stellaires par le biais de l'astérosismologie. PLATO sera la première mission à systématiquement utiliser l'astérosismologie pour caractériser les étoiles hôtes d'exoplanètes, ce qui devrait permettre de lier l'évolution stellaire et planétaire.

La mission PLATO fait partie des services nationaux d'observations de l'INSU. Elle est labellisée sous le volet ANO-02 (<http://insu.obsppm.fr/cnrs/detailSo/100>). L'OSU coordinateur de la mission est PYTHEAS. L'OSU OREME est OSU partenaire de ce service depuis décembre 2018. Les activités sur ce service au sein du LUPM remontent cependant à 2014 et impliquent à des degrés divers 6 personnels du laboratoire (3 MdC, 1 Pr, 2 Ast.).

La structure de la mission PLATO se décompose en trois grands volets : la charge utile, la gestion des données et la préparation scientifique. Les membres du LUPM/OSU OREME interviennent tous au niveau de la préparation scientifique, au sein des workpackages 120000 (Stellar Science) et 140000 (Follow-up coordination). Ces travaux ont pour but d'une part de fournir des modèles d'étoiles et de leurs atmosphères avec une précision encore inégalée et imposée par les spécifications de la mission PLATO (par exemple une précision de 10% sur les âges des étoiles). D'autre part, un travail complémentaire de caractérisation spectroscopique des sources observées par PLATO est nécessaire (suivi sol en amont et pendant le déroulé de la mission), ce à quoi participent les personnels du LUPM.

Au sein du Workpackage général "Stellar Science", Ana Palacios et Bertrand Plez sont chacun responsables d'un workpackage, respectivement celui sur les processus de transport (121200) et sur les modèles d'atmosphères 1D (122100). L'objectif du workpackage 121200 est de fournir des prescriptions et des algorithmes pour prendre en compte les processus physiques transportant à la fois le moment cinétique et les espèces chimiques dans les intérieurs stellaires. Ces processus sont multiples et interdépendants. Leur prise en compte est essentielle pour fournir des grandeurs physiques (rayon, luminosité, masse) réalistes pour les étoiles hôtes d'exoplanètes. Pour le workpackage 122100, l'objectif est de fournir des grilles de modèles d'atmosphères mono-dimensionnelles qui permettront une détermination automatique de la température, de la gravité et de la composition chimique de surface des étoiles hôtes d'exoplanètes.

La responsabilité de ces deux workpackage est confiée à deux membres du LUPM/OSU OREME reconnus internationalement pour leur expertise dans les domaines concernés. En plus des responsabilités listées ci-dessus, le workpackage 121200 voit aussi intervenir Olivier Richard, lui aussi expert dans le domaine de l'évolution stellaire et en particulier du processus de diffusion atomique dans les étoiles.

Au cours du quinquennal passé, des exercices de « hare and hound », des comparaisons de codes et d'algorithmes et des recommandations ont été émises au sein des deux groupes de travail sus-nommés. Ce travail va continuer et s'affiner sur les phases C/D et E1 de la mission, c'est-à-dire jusqu'au lancement prévu en décembre 2026.

Au sein du Workpackage général "Follow-up coordination", Julien Morin, Agnès Lèbre et Eric Josselin, tous trois experts sur le magnétisme des étoiles froides, sont impliqués dans le workpackage 146400 ("Spectropolarimetric follow-up") dont l'objectif est d'acquérir des cartes de répartition du champ magnétique à la surface des étoiles cibles de PLATO. En effet, la présence d'un champ magnétique peut grandement affecter la détection d'exoplanètes en produisant des signaux parasites. Il est donc important de s'affranchir de ce problème par des observations spectro-polarimétriques qui permettent de caractériser cette distribution. Le travail de follow-up a commencé à se mettre en place en 2018, en particulier avec la mise sur le ciel du spectro-polarimètre SPIROu, qui pourra être utilisé pour caractériser des cibles PLATO.

Au cours du prochain quinquennal, l'activité de service autour de PLATO va continuer et monter en puissance au LUPM. Une implication plus forte, en particulier dans le développement de pipeline en relation avec le PDC (Plato Data Center) est envisagée dans la perspective du recrutement CNAP d'un jeune chercheur formé au LUPM et fortement impliqué dans ces aspects au niveau du consortium PLATO.

## SO GRAVIMETRIE (SNO GRAVIMETRIE DE L'IR RESIF)

Le SO Gravimétrie de l'OREME correspond à la Tache d'Observation « Gravimétrie absolue répétée » du SNO Gravimétrie de l'IR RESIF (SNO INSU). Cette tâche d'observation est nouvelle et vient d'être labélisée lors de la demande du SNO 2019. Son responsable local est Stéphane Mazzotti.

Le responsable national du SO est Jean-Paul Boy de l'EOST.

Les observations du SO Gravimétrie ont pour objectif de fournir des séries temporelles long-terme (10 ans et plus) de variations de gravimétrie absolue. Les questions scientifiques qui structurent ce SO sont :

- La dynamique et les processus de déformation actuelle des Alpes ;
- La caractérisation des mouvements verticaux et variations de niveau marin aux marégraphes français ;
- La caractérisation des mouvements du centre de masse des référentiels géodésiques globaux.

Le SO Gravimétrie ayant été labélisé en 2019, les nouvelles mesures n'ont pas débuté. Toutefois, un travail préparatoire de « preuve de concept » a été réalisé et présenté lors du congrès de l'European Geophysical Union à Vienne en 2018 (Barnoux et al., 2018).

## SO GNSS (SNO RENAG)

Le SO GNSS correspond à la composante Languedoc Roussillon / Cévennes / Camargue du SNO RENAG qui est une action spécifique de l'IR RESIF, et contribue activement au projet européen EPOS. Le SO est aussi partenaire du Réseau GNSS Permanent (RGP) de l'IGN (Institut Géographique National). Son responsable local est Erik Doerfliger.

Les observations du réseau Géodésie GNSS (anciennement dites GPS) contribuent aux 3 questionnements scientifiques majeurs suivants :

- Quantification des faibles déformations tectoniques actuelles régionales et nationales.
- Suivi de l'évolution temporelle de la vapeur d'eau atmosphérique pour la météorologie (risque lié aux pluies catastrophiques régionales) et la climatologie.
- Etude des mouvements verticaux induits par des processus environnementaux (chargement hydrologique SNO H+, Subsidence SNO Gravimétrie, Glissements de terrain SNO OMIV, ...).

Les données fournies sont des fichiers GNSS au format international RINEX. Soit des fichiers de 24h avec enregistrement toutes les 30s (tectonique), soit des fichiers horaires avec enregistrement toutes les secondes (météorologie) en plus des métadonnées. Ces fichiers sont diffusés en temps quasi-réel sur les sites du SNO RENAG, sur celui du RGP de l'IGN et au niveau européen par la plateforme des sciences de la terre EPOS.

Le champ de vitesses des déformations tectoniques est calculé et diffusé périodiquement.

L'estimation de la vapeur d'eau atmosphérique est réalisée par l'IGN en temps réel à partir des données fournies par notre SNO et est assimilée dans les modèles de prévision météorologique de Météo France.

En raison des faibles mouvements tectoniques (< 1mm) en France métropolitaine et de l'utilisation des données en climatologie, la durée des observations GNSS ne devrait pas être inférieure à 30 ans.

Deux nouveaux sites seront installés prochainement en Provence (LSBB Laboratoire souterrain à bas bruit de Rustre) pour compléter le réseau d'étude des mouvements verticaux induits par le chargement hydrologique en liaison directe avec le SNO H+. D'autres évolutions concerneront la jeunesse de certains récepteurs et des systèmes de communication et surtout le calcul mensuel des champs de vitesses de l'ensemble des sites GNSS permanents de RENAG.

## SO MEDYCYSS (SNO KARST)

Le SO MEDYCYSS ((Observatoire Multi-Echelle de la DYNamique des Crues et de l'hYdrodynamique Souterraine en milieu karStique) correspond au site régional du réseau national des sites karstiques (SNO KARST), rattaché à l'IR OZCAR. Ses responsables locaux sont Christelle Batiot-Guilhe et Jean-Luc Seidel.

Les questions scientifiques abordées par le SO MEDYCYSS sont les suivantes :

- Observation et caractérisation à diverses échelles (locale et régionale) de l'hydrodynamique souterraine des aquifères karstiques sous l'action de forçages climatiques et anthropiques ;
- Observation et compréhension des processus hydrologiques rapides lors des crues extrêmes dans des bassins versants méditerranéens à forte composante karstique ;
- Observation et détermination du risque de contamination de la ressource en eau souterraine par un suivi couplé hydrodynamique/(bio)géochimique ;
- Observation de la dynamique des gaz dissous dans les eaux souterraines en milieu karstique, afin d'estimer les temps séjour des eaux souterraines et ainsi de caractériser les mécanismes de recharge et la dynamique des écoulements dans les systèmes hétérogènes complexes ;
- Observation et caractérisation isotopique des précipitations sur une transect mer-Cévennes afin de caractériser le marquage des eaux infiltrées vers les aquifères, et d'améliorer la connaissance des systèmes précipitants méditerranéens.

Les types de suivis mis en œuvre par le SO MEDYCYSS sont :

- météorologiques : 6 pluviographes et une station météorologique (Pluie, Vent, Ray, Humidité)
- hydrologiques : mesures de hauteurs d'eau et débits sur 9 stations de mesures ;
- hydrodynamiques et hydrogéochimiques sur une trentaine de points de mesures en partie équipés pour des suivis en continu de paramètres hydrodynamiques (P) et physico-chimiques (T, CE).

Les faits marquants issus de l'activité du SO MEDYCYSS sont de natures très différentes :

- Développements méthodologiques de traceurs naturels des écoulements spécifiques au karst
  - Développement de nouvelles méthodes et techniques instrumentales pour caractériser les flux d'infiltration et les dynamiques de recharge, en particulier durant les « hot moments » que sont les événements climatiques extrêmes. Suivi en continu de la MON (Matière Organique Naturelle) par fluorescence (Quiers et al., 2014, Erostate et al., AIH 2016, Bailly-Comte et al., Hydrogeol. J., 2018), suivi en continu du Rn-222 (Molina Porras et al., Chem. Geol., 2017), mesure des isotopes du radium (Molina Porras et al., Appl. Radiat. & Isot., 2017), des CFC/SF6 et excès d'air (de Montety et al., AIH 2016 ; Perotin et al., EuroKarst 2018).
  - Impulsion depuis 2017 de la structuration d'une communauté « gaz dissous » inter-unités sur Montpellier (UMR-HSM, UMR G-Eau, BRGM, UMR-GM) via des stages de Master 2 (Dupuy 2017, Perotin 2018 ; financement IM2E) et d'une thèse (Thèse L. Perotin, financement Région Occitanie-BRGM, 2018). Cette dynamique de recherche place Montpellier comme 2ème site d'utilisation des gaz dissous en hydrogéologie en France.
  - Identification de l'origine des flux (anthropiques, naturels) dans le karst par une approche couplant l'hydrogéochimie et la structure des communautés bactériennes, Collaboration avec les équipes PHYSE et PoMES d'HSM (Héry et al., AIH 2016; Licznar et al., AFEM, 2017).
- Renforcement des collaborations académiques avec des partenaires industriels et/ou décideurs
  - Partenariat avec TOTAL : Mise en place d'un laboratoire in situ pour caractériser les flux en zone de faille (Site de Rieu Coulon, 5 forages de 50 m distants de 25 m), et financement d'un contrat de thèse sur ce site (V. Clauzon, 2016-2019).
  - Projet CPER/FEDER DEM'EAUX THAU (2017-2021) :Projet de recherche visant à élaborer un démonstrateur de solutions pour la caractérisation et la gestion concertée des ressources en eau d'un réservoir complexe, le système karstique de THAU, par une approche pluridisciplinaire (géologie, hydrogéologie, géochimie et modélisation) en collaboration avec le BRGM, Géosciences Montpellier et la société SYNAPSE. Les données du SO MEDYCYSS sur le système karstique d'Aumelas ont été intégrées dans le jeu de données régionales sur ce territoire.

- Monitoring profond du karst pour la caractérisation de la recharge et de la dynamique des flux à différentes échelles de temps.
  - Mise en place et instrumentation du forage multi-niveaux du Triadou (330 m, équipement "Multi-level monitoring PMPs" SolExperts®, suivis continus en P et T à 5 profondeurs dans le karst et équipés pour le prélèvement d'eau souterraine (Financement ANR EQUIPEX CRITEX 2013-2018 et co-portage WP7.1: Deep monitoring of groundwater).
- Un outil pédagogique fort pour le département d'enseignement Terre Eau Environnement de la Faculté des Sciences de l'Université de Montpellier.

Les perspectives envisagées pour le SO MEDYCYSS le positionnent, en particulier, en tant que chantier fédérateur inter-équipes de l'UMR HydroSciences Montpellier (HSM). Des études exploratoires et innovantes en collaboration avec les 2 équipes de microbiologistes de HSM ont démarré en 2014, afin de préciser les liens entre, d'une part, les propriétés hydrodynamiques et hydrogéochimiques des aquifères et, d'autre part, l'écologie des communautés bactériennes ainsi que l'étude de leur antibiorésistance. Plusieurs campagnes de prélèvements ont été mises en œuvre dans différents compartiments de l'aquifère karstique du Lez (milieu transmissif, milieu capacitif) de façon à identifier les corrélations entre dynamiques d'écoulement et communautés microbiennes spécifiques, et caractériser les interactions entre ces compartiments (notamment en termes de flux bactériens). Cet aquifère étant capté pour l'AEP de la métropole de Montpellier, l'étude de l'antibiorésistance est apparue comme une problématique pertinente à poursuivre.

Cette dynamique inter-équipes a été étendue à travers un projet fédérant 5 équipes de HSM (financement 2018-2019, KIM-Waters/l-site MUSE) portant sur l'étude des flux de contaminants et résistance aux antibiotiques dans l'hydrosystème du Lez (eaux de surface et eau souterraine), depuis sa partie karstique (SO MEDYCYSS), jusqu'au littoral (Observatoire Hommes-Milieu "Littoral méditerranéen"). L'une des ambitions est de coordonner les observations sur le bassin du Lez où existe un fort gradient d'urbanisation depuis le bassin karstique jusqu'au littoral. Ce continuum est par ailleurs un exemple typique d'hydrosystème côtier méditerranéen. Cette action s'inscrit dans le projet de Zone Atelier « Petits fleuves côtiers méditerranéens » porté par l'initiative clé Waters de l'I-SITE MUSE.

Par ailleurs, les perspectives s'inscrivent aussi dans le cadre du développement de collaborations extérieures et de liens avec les réseaux d'observation et l'IR OZCAR.

### Les Services d'Observation dont l'OREME est « Maître d'Œuvre »

#### **SO GAIA**

Les objectifs scientifiques du SO consistent à :

- Définir la stratégie pour la calibration+étalonnage du spectromètre (RVS) à bord du satellite
- Développer les algorithmes de transformation des Vitesses Radiales (VR) spectroscopiques du RVS en VR cinématiques
- Délivrer des données auxiliaires nécessaires à la calibration+étalonnage du RVS
- Fournir une liste avec données VR d'étoiles standard observées au sol pour l'étalonnage et la validation des mesures du RVS (catalogue UMM = University of Montpellier Masterlist)

Gaia est un projet de l'Agence Spatiale Européenne. C'est un SO labellisé au niveau national et son responsable local est Gérard Jasniewicz (CNAP – LUPM).

Le SO national s'appuie sur de nombreuses TO. Le SO local s'appuie sur des observations spectroscopiques sol dans des observatoires astronomiques d'observation (ESO Chili, Observatoire de Haute Provence, Observatoire Pic du Midi).

2018 a vu la livraison du catalogue « University of Montpellier Masterlist » de mesures Vitesse Radiales sol pour l'étalonnage et la validation des données du GAIA-RVS.

Les résultats principaux sont régulièrement publiés sous la forme de Notes Techniques sur le livelink de l'ESA.

Les perspectives s'inscrivent dans le cadre de la préparation des Gaia Data Release au-delà de 2019 au moyen de spectres auxiliaires 3D. Cependant, à Montpellier, Gérard Jasniewicz et Claude Zurbach font valoir leur droit à la retraite entre 2020 et 2019 respectivement. Ce qui limite l'implication de l'OREME à l'avenir.

## SO HYDROGÉOPHYSIQUE EN FORAGE

Ce SO fait partie du réseau H+ depuis sa création, en 2004, avec le site de Majorque aux Baléares. Le travail d'observation va cependant bien au-delà avec plusieurs sites d'observation en Languedoc-Roussillon, dans les Cévennes et en Catalogne développés ces 10 dernières années. Nom du responsable local du SO : Philippe Pezard

Les observations en forage sont centrées sur la dynamique des réservoirs souterrains. Ces cinq dernières années ont été caractérisées à la fois par une croissance de l'activité de monitoring en forage et surtout par une stabilisation des moyens et méthodes, avec maintenant l'enregistrement de données sur certains sites durant plusieurs années [Denchik et al., 2019]. Cette activité de monitoring in-situ de la dynamique des réservoirs souterrain est demeurée pluri thématique (stockage géologique du CO<sub>2</sub>, aléas gravitaires et inondations, hydrodynamique souterraine et notamment intrusion d'eau de mer dans les aquifères côtiers), même si cette dernière est restée dominante en terme d'activité du SO.

Pour les intrusions salines en zone côtière, les projets "Dem'EAU Thau" et "Dem'EAU Roussillon" ont été mis en place ces dernières années dans le cadre de projets FEDER. Ce dernier fait suite et vient compléter le projet ANR "Grain d'sel" (Petelet et al., 2016), avec notamment l'application d'une nouvelle méthode de suivi de nappes par mesures de résistivité répétées dans le temps en forage (Pezard et al. 2015). Le monitoring s'est poursuivi sur le site de Campos dans le cadre du réseau H+ (Gérard et al.; 2017). Egalement en Espagne, nous avons contribué au développement du site d'Argentona, à 30 km au nord de Barcelone avec l'Université de Barcelone et le CSIC dans le contexte du projet "Medistraes" financé par le gouvernement espagnol. L'objet de ce site est une étude multidisciplinaire et à haute résolution spatiale et temporelle des processus combinés d'intrusion marine et de décharge en mer d'eau douce à travers les dépôts clastiques côtiers (Folch et al., 2018). Ce chantier offre l'opportunité de tester de nouvelles méthodes en forage par logging répété (Pezard et al., 2018) ou en station, comme dans le cas de la détection du radon par radiométrie gamma spectrale en forage lors d'un épisode intense de pluie (Diego-Feliu et al., 2018; Goyeche et al., 2018).

Pour le stockage géologique du CO<sub>2</sub>, les travaux se sont concentrés sur la comparaison et l'étude de la complémentarité de différentes méthodes de monitoring du stockage (Pezard et al., 2015 ; Basirat et al., 2016) ou de fuites éventuelles (Denchik et al., 2014). Pour l'étude des aléas gravitaires, le monitoring du versant instable situé au sud du village de Pégairolles de l'Escalette s'est intensifié de façon multidisciplinaire dans le cadre de l'ANR HydroSlide (Denchik et al., 2019). On notera également l'application des méthodes habituellement déployées en forage au monitoring d'une digue expérimentale construite en Arles dans le cadre du projet FUI "Diguintelligente". Ce projet avait pour objet la détection de fuites dans les digues à l'aide de la température avec le système KFB-G (Chevrier et al., 2019).

Les équipements du SO sont constitués des divers équipements installés en forage sur 5 sites d'observation (Maguelone, Barcarès, Argentona, Campos, Pégairolles), qu'il s'agisse de flûte de mesures électriques (Maguelone, Argentona, Campos, Pégairolles), de fibres optiques de mesure de température (Maguelone, Argentona) et de déformation mécanique (Pégairolles), ou de moyen de prélèvements de fluide poral in-situ (Maguelone, Barcarès, Campos, Pégairolles) de type Westbay. Deux systèmes supplémentaires mobiles et dédiés aux mesures semi-permanentes ont été acquis en 2017 dans le cadre de l'EquipEx CRITEX.

Ils pourront être déployés successivement sur différents sites dans le futur, chaque fois sur des durées suffisamment longues pour décrire la réponse des réservoirs du sous-sol aux conditions aux limites, qu'elles soient naturelles ou anthropiques. Il s'agit tout d'abord un système SMD conçu par la société imaGeau et permettant l'enregistrement de mesures électriques en forage en mode galvanique. Ce dispositif transmet chaque jour les données automatiquement et est modifiable à distance, pour changer soit le mode (Wenner, dipôle-dipôle, ...) soit le pas temporel d'acquisition. Un système KFB-G a également été acquis auprès de la société Kloe, et permet le monitoring de température en forage par fibre optique équipée de réseaux de Bragg d'une précision de 0.003°C. Ces deux dispositifs ont été installés en 2018 sur le site d'Argentona en Espagne. Ils pourront être mis en place dans le cadre de CRITEX sur le site du Strengbach, en Alsace, dès qu'un forage permettant de les accueillir sera disponible, ou sur celui de Pégairolles en Languedoc.

A ces sites de monitoring vient s'ajouter l'ensemble des moyens d'intervention ponctuelle en forage de l'équipe TMP de GM, pour un coût total de l'ordre d'1 M€. Ces moyens sont déployés à partir du site de Lavalette situé à 3 km au nord du campus Triolet de l'université de Montpellier. Ces moyens sont régulièrement déployés sur l'ensemble des sites de monitoring, principalement en France et en Espagne.

Le SO Hydrogéophysique en Forage étant une composante de H+, et son principe étant celui de l'observation de la dynamique des réservoirs souterrains sur de longues durées, aucune évolution statutaire n'est envisagée à court terme. Deux nouveaux sites seront installés dans les années qui viennent en Languedoc-Roussillon (Saint-Cyprien et Balaruc) pour compléter le réseau en place des intrusions salées venant de la Méditerranée. D'autres évolutions concerneront la jouvence de certains récepteurs et des systèmes de communication sont également à prévoir.

## SO ECOSYSTEME FORESTIER MEDITERRANEEN

Le SO, piloté par J.M. Ourcival, se réunit environ une fois par mois pour le pilotage du SO et la répartition des crédits entre TO. A noter qu'à partir du début 2020 le SO sera porté par Florent Mouillot.

Les écosystèmes forestiers méditerranéens sont d'importants puits de carbone en dépit d'une forte limitation en eau liée à la sécheresse estivale. Leur vulnérabilité au changement climatique est particulièrement importante, puisque les scénarios climatiques prévoient une augmentation des températures et une diminution des précipitations estivales. Les effets de ces changements climatiques sont visibles : la mortalité des arbres s'accélère dans le sud de l'Europe tandis que le régime d'incendie change. Enfin, la résilience de ces écosystèmes face à ces changements pourrait dépendre de leur forte diversité.

La TO Puéchabon étudie l'écologie et le fonctionnement d'un taillis méditerranéen à chêne vert sur le site expérimental de Puéchabon suivi depuis plus de 30 ans. La TO Système d'Observation Géographique des Incendies constitue une base de données géo-référencée des écosystèmes forestiers méditerranéens affectés chaque année par les incendies. La TO vise à produire une carte annuelle à 2km de résolution des départs de feux et des surfaces brûlées, ainsi que le contour des feux >100ha obtenus par analyse d'images satellitales. Cette base régionale est étendue au niveau global avec les données issues de la télédétection moyenne résolution (base de données globale FRY). La TO Gradient Méditerranéo-Alpin de Placettes forestières (GMAP) intégrée à l'OSU en 2018 étudie les effets du mélange d'espèces forestières et du climat sur divers processus écosystémiques (productivité, décomposition) sur la dynamique et biodiversité des peuplements depuis 2013. Les deux tiers des 40 placettes sont en milieu méditerranéen.

Le rattachement de la nouvelle TO GMAP est pertinent car la question principale est commune, à savoir améliorer notre compréhension du fonctionnement de l'écosystème forestier (via ses différentes facettes : productivité, recyclage des nutriments...), et notamment sa réponse au climat et à des composantes biotiques (densité du peuplement par exemple).

Le site expérimental de Puéchabon est impliqué dans les grandes infrastructures de recherche nationales et européenne (ICOS et AnaEE). Il est actuellement impliqué dans un projet ANR pour la partie recherche fondamentale et un projet en partenariat avec le Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) financé par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation pour la partie recherche appliquée sur la gestion forestière. Le site expérimental de Puéchabon participe également à la Key Initiative Measure WATERS de MUSE en réseau avec 3 autres sites à flux sur des écosystèmes méditerranéens en région Occitanie.

Une convention CD34 et GIPatgeri (Bordeaux) a été signée avec le CEFE pour des interactions sur la caractérisation des incendies et les impacts, incluant des échanges de données, et des cycles de formation. Une première base de données globale de caractérisation des patchs de feux a été créée à partir des images moyenne résolution et mise à disposition de la communauté scientifique internationale par un dépôt des données avec DOI et data paper (Nature Scientific Data) sur le site OSU.

Au cours des 5 dernières années la TO Puéchabon a publié 26 articles, elle a continué à alimenter la base mondiale des flux (Fluxnet), a participé à la création de la base mondiale flux de sève (Sapfluxnet).

La tâche feux a produit 2 bases de données globales publiées dans un data paper (Nature Scientific Data) avec dépôt des données sur le site OSU. (<https://data.oreme.org/doi/view/0e999ffc-e220-41ac-ac85->

[76e92ecd0320#FRY](https://data.oreme.org/doi/view/0e999ffc-e220-41ac-ac85-76e92ecd0320#FRY) et [https://data.oreme.org/doi/view/0e999ffc-e220-41ac-ac85-76e92ecd0320#FRY\\_FRP](https://data.oreme.org/doi/view/0e999ffc-e220-41ac-ac85-76e92ecd0320#FRY_FRP)).

Une base de données des contours et départs d'incendies sur la Tunisie a aussi été produite :

Malgré son caractère récent (initiée en 2013, et premiers résultats en 2016), la TO GMAP a déjà été au cœur de 3 projets ANR, et a concerné 2 thèses.

Le site expérimental de Puéchabon est appelé à être labellisé dans le cadre de l'infrastructure de recherche européenne ERIC-ICOS prévue pour fonctionner jusqu'en 2030. Les dispositifs d'exclusion de pluie sont portés par l'infrastructure ANAEE France financé dans le cadre des investissements d'avenir et seront maintenus en place de façon pérenne dans le cadre de la future ERIC européenne AnaEE.

La tâche feux continuera d'alimenter la base de données globale des incendies FRY avec les mises à jours annuelles. Dans le cadre du projet ESA FIRE CCI (<https://www.esa-fire-cci.org/>), prolongé sur la période 2019-2021, deux nouvelles bases de données de patch de feux seront produites, à partir des données FIRE\_CCIv51 à 250m de résolution, et des données FIRE\_CCI\_SFD à 20m de résolution (images sentinel) sur l'Afrique et l'Amérique du sud. Une synthèse des contours de feux sur la France métropolitaine sera produite à partir des images landsat depuis 1985 et chaque patch de feux sera caractérisé par sa morphologie selon la méthodologie globale FRY pour FRY-France.

La TO GMAP est amenée à s'enrichir de nouvelles placettes au cours des prochaines années pour explorer une plus large gamme de conditions et d'espèces, notamment des placettes avec pin d'Alep et pin sylvestre. Dans la continuité de travaux récents, la TO sera ouverte à de nouvelles collaborations avec l'INRA et le WSL (Suisse). Evidemment le partenariat avec le service RDI de l'ONF sera pérennisé.

## SO OBSERVATOIRE DES SAISONS

Le SO ODS (responsable Isabelle Chuine, CEFE, CNRS) collecte sur l'ensemble du territoire national des données sur les cycles annuels de développement des espèces animales et végétales pour étudier l'impact du changement climatique sur celles-ci. L'acquisition des données est donc pensée sur le long terme (> 30 ans). Les observations alimentent la recherche fondamentale et appliquée dans de nombreux domaines comme par exemple l'impact de la phénologie sur le fonctionnement des organismes vivants, la productivité primaire des agro et écosystèmes et le cycle du carbone, la répartition géographique des espèces et des zones de culture. Il n'est composé que d'une seule tâche d'observation.

Depuis janvier 2017, le SO ODS représente deux des dix observatoires élémentaires du SOERE TEMPO (<https://www6.inra.fr/soere-tempo>): l'Observatoire Forêt et l'Observatoire Citoyen. Le SO ODS a la particularité d'associer depuis sa création science académique et science citoyenne. L'animation du programme de science citoyenne est réalisée par l'association Tela Botanica.

Le SO ODS et le SOERE TEMPO ont poursuivi ces trois dernières années les objectifs suivants :

- Capitaliser des données qui permettront de comprendre les impacts du changement climatique sur les agroécosystèmes.
- Disséminer le plus largement possible, en accord avec les standards et systèmes d'information internationaux des données phénologiques pour l'ensemble du monde vivant.
- Innover sur les outils et méthodologies dédiées à l'observation de la phénologie.
- Favoriser des projets de recherche pluridisciplinaires en son sein et avec l'international grâce à la transversalité et généralité de ses outils.

Les données collectées sont les dates d'occurrence d'événements phénologiques clés dans le cycle annuel de développement des organismes suivis (ex : date de floraison, date de coloration des feuilles, date de retour des animaux migrateurs, etc.). Ces données sont bancarisées dans deux bases de données, l'une localisée au CEFE, l'autre à Tela Botanica (<https://www.tela-botanica.org/>). La diffusion des données et métadonnées se fait sur plusieurs plateformes web : le site web de l'OSU OREME, le portail de l'IR ECOSCOPE, et le portail du SOERE TEMPO. Jusqu'ici l'accès aux données se fait par création d'un compte d'accès après validation de la charte d'utilisation des données.

Les utilisateurs de ces données sont les chercheurs travaillant sur l'environnement au sens large, et en particuliers ceux travaillant en écologie, agronomie, foresterie ; mais aussi les collectivités territoriales, les entreprises privées dont les activités dépendent de l'environnement, les structures gestionnaires de milieux protégés.

Le SO ODS fournit une base de données en ligne accessible sur demande de création de compte d'accès, via différents portails d'accès. ODS fournit également des outils de modélisation de la phénologie (PMP).

Les données ont été utilisées pour répondre de nombreuses questions de recherche. Elles ont permis de suivre l'effet du changement climatique sur la phénologie de nombreuses espèces, de tester des hypothèses sur le déterminisme environnemental et génétique de la phénologie, de paramétrer des modèles prédictifs et les utiliser pour établir des projections des changements phénologiques du au changement climatique futur. Ils sont également utilisés dans les modèles de fonctionnement de la végétation.

Le SO ODS organise chaque année des formations à destination des personnels en charge de la prise de données sur le terrain (formation à l'observation et intercalibration entre observateurs), ainsi que des formations aux outils de modélisation (PMP) développés dans le cadre du SO à destination des chercheurs. Le SO ODS, en partenariat avec le SOERE TEMPO et l'INRA, a également réalisé en 2019 une école technique dédiée à l'innovation dans l'observation phénologique.

ODS a une part de ses activités dédiées au développement de nouvelles techniques d'observation de la phénologie à l'aide d'instruments de mesures (capteurs de radiation solaire, caméra, etc), ainsi qu'au développement d'outils de modélisation (PMP, Phelib library).

Le SO ODS compte parmi ses membres des associations et des structures privées (ex CRPF) auxquelles les formations organisées par le SO sont ouvertes.

Les perspectives du SO s'inscrivent selon plusieurs directions :

- Connexion de la base de donnée hébergée à Tela Botanica au portail TEMPO.
- Connexion aux bases de données Européenne (<http://www.pep725.eu/>) et mondiale (<https://www.plantphenology.org/>)
- Passage en Open Data.
- Refonte du site web du programme de Sciences participatives en mode responsive design pour pouvoir saisir sur tablettes et smartphones les observations.
- Mise en œuvre d'un projet de production d'indicateurs bioclimatiques qui seront diffusés sur internet, en partenariat avec l'INRA et Météo France.
- Améliorer le traçage des publications issues des données du SO.
- Publication en langues anglaise allemande de l'ouvrage de référence Les plantes au rythme des saisons.

## SO POLLUMINE

Le SO POLLUMINE (Suivi de la pollution et adaptabilité biologique en aval des anciens sites miniers) étudie sur le long terme la dynamique, l'évolution, la résistance et la résilience de communautés microbiennes, végétales et de la faune du sol, en relation avec la pollution des eaux et des sols par les métaux au voisinage d'anciens sites miniers.

Deux régions ateliers gardoises, caractéristiques de la géologie et du type de minéralisation à plomb-zinc retrouvés sur le bassin Méditerranéen, font l'objet de suivis dans le cadre du SO : l'ancien site minier de Carnoulès, impacté par le phénomène de drainage minier acide (DMA) induisant une pollution du milieu aquatique par les métaux et l'arsenic, et le district minier de Saint Laurent le Minier, dans lequel la contamination métallique concerne essentiellement le compartiment du sol.

Le SO POLLUMINE, coordonné par C. Casiot, est structuré en trois TO.

- TO1 - Observatoire de l'ancien site minier de Carnoulès. Les observations réalisées sur l'hydrosystème en aval du dépôt de résidus miniers à sulfures de Carnoulès ont pour objectif d'élucider les relations qui

existent entre les caractéristiques physico-chimiques des eaux minières, la structure des communautés microbiennes (bactéries, archaea, eucaryotes) et l'abondance et l'activité de populations impliquées dans l'atténuation naturelle de l'arsenic et du fer.

- TO2 - Effets de la pollution minière sur les traits d'histoire de vie et les interactions biotiques d'une espèce végétale métalloyte. Dans la région de Saint-Laurent le Minier, l'objectif des observations est de mieux comprendre comment l'hétérogénéité de la contamination des sols en métaux lourds (principalement le zinc et le plomb) influence (1) la composition en espèces végétales ainsi que les espèces de pollinisateurs qui les visitent, (2) la phénologie de floraison, la diversité génétique, les taux d'autofécondation chez l'espèce métallicole facultative *Noccaea caerulescens*, et (3) l'adaptation de *Noccaea caerulescens* à des gradients de pollution du sol. Les observations concernent pour moitié des mines abandonnées et des sites témoins (4 au total par année) et sont effectuées principalement sur l'espèce *Noccaea caerulescens*, du fait de son fort potentiel à accumuler les métaux lourds.
- TO3 - Effets des polluants sur la faune du sol en aval des anciens sites miniers. Dans cette tâche, la question posée porte sur les capacités des communautés à réagir face aux différents filtres environnementaux. En ce sens, les gradients de pollution constituent des filtres facilement identifiables, et donc d'excellents contextes pour (1) tester des questions d'écologie relatives à la résistance ou à la résilience des communautés, (2) tester la faune du sol comme indicateur de qualité et de fonctionnement des sols. L'objectif est également de pouvoir replacer les valeurs observées dans une gamme de valeurs existantes dans d'autres bases de données, pour certaines déjà publiées (Joimel et al., 2016; 2017), afin de mieux situer les sols anciennement contaminés. En effet, les SUTMA (Soil of Urban Industrial Technogenic and Military Areas) forment actuellement un groupe relativement hétérogène, qu'il convient de caractériser plus précisément, particulièrement concernant ses composantes biologiques. L'observation, initiée en 2019, porte sur les communautés allant de la mésofaune (collemboles) à la macrofaune (vers de terre, fourmis, carabes...).

Les trois TO forment un ensemble complémentaire permettant de documenter les réponses des écosystèmes aquatiques et terrestres aux pressions qu'exercent les pollutions métalliques. Certaines des approches utilisées (diversité taxonomique et fonctionnelle) sont communes aux trois TO, ce qui pourra faciliter, à terme, la mise en commun des bases de données. La nouvelle tâche « faune du sol » rattachée au SO POLLUMINE en 2018 est développée sur les sites Gardois déjà suivis dans le cadre des deux autres TO ; elle bénéficie donc des données de suivi physico-chimique acquises sur ces sites, ce qui permet d'optimiser l'utilisation des crédits. Par le biais de partage de données et d'approches sur des sites communs, cette nouvelle tâche permet également de tisser des liens plus étroits entre les différents acteurs du SO POLLUMINE, membres de trois UMR, l'ISEM, HSM et le CEFE. Les données générées par les trois TO fournissent un ensemble d'informations utiles aux organismes responsables de la gestion de l'eau ou des sites et sols pollués tels que le SMAGE, l'ADEME, le BRGM, favorisant ainsi le développement de partenariats entre les unités de recherche et ces organismes. Par ailleurs, les données recueillies dans le cadre du SO sont régulièrement utilisées dans les enseignements de M1 et M2 de l'UM ; des sorties sur le terrain (3 à 4/an) sont organisées chaque année sur certains sites.

### Résultats marquants

#### TO1 - Observatoire de l'ancien site minier de Carnoulès

Les travaux récents ont exploré la distribution spatiale des communautés eucaryotes du Drainage Minier Acide du Reigous, en lien avec la concentration en arsenic dans le sédiment ; celle-ci constitue un facteur affectant la structure des communautés le long du gradient de pollution (Volant et al., 2016).

Les recherches ont également porté sur la distribution spatiale des bactéries possédant le potentiel génétique pour interagir (résistance, réduction, méthylation) avec l'arsenic (Desoeuvre et al., 2016) ; de façon surprenante, le gène marqueur *arsM* a montré une large distribution suggérant que la biométhylation peut impacter le devenir de l'arsenic dans ce système. Des analyses métagénomiques et métaprotéomiques ont montré que plusieurs souches bactériennes du genre *Thiomonas*, capables d'oxyder l'arsenic, sont présentes à différentes périodes et en différentes stations le long du Reigous et expriment l'arsénite oxydase impliquée dans l'atténuation naturelle de l'arsenic (Hovasse et al., 2016).

En permettant le décryptage des processus d'atténuation naturelle de l'arsenic et l'identification des bactéries impliquées, les observations menées sur le site de Carnoulès ont largement contribué à l'obtention d'un projet

ANR (IngECOST-DMA, ANR-13-ECOT-0009, 2014-2017) visant l'élaboration d'un traitement biologique des eaux minières (Fernandez-Rojo et al., 2017, 2018, 2019 ; Tardy et al., 2018 ; Laroche et al., 2018). Dans ce cadre, un pilote a été implanté pendant 6 mois sur le site de Carnoulès et alimenté par l'eau du site.

#### TO2 Observatoire Saint-Laurent-le-Minier/Saint-Hippolyte-du-Fort :

Les travaux menés dans le TO2 confirment que *N. caerulescens* a un régime de reproduction mixte, alliant allo et auto-fécondation. Le suivi réalisé pendant plusieurs années dans le SO Pollumine a permis de tester la robustesse de la différence observée entre les sites miniers et les sites non-pollués aux métaux : les taux d'autofécondation sont plus forts dans les sites non-pollués que dans les mines. Des travaux plus récents dans les mêmes sites, mais pas encore publiés, cherchent à déterminer si la phénologie des cohortes de pollinisateurs de *N. caerulescens* est responsable de ce patron.

#### TO3 - Effets des polluants sur la faune du sol en aval des anciens sites miniers

Les activités de cette tâche ont démarré en 2019. Elles ont été focalisées uniquement sur la mésofaune. Les efforts ont été portés au printemps 2019 sur le site de Saint-Laurent Le minier, avec un premier échantillonnage effectué le 14 mai 2019, sur un plan d'échantillonnage conjoint à celui mis en œuvre dans le cadre de la TO2, afin de mutualiser les analyses physico-chimiques de sols, nécessaires à l'interprétation des données. Au total 48 échantillons ont été récoltés, 21 dans un des bassins en aval de la mine, 21 dans un ancien jardin contaminé également en aval de la mine, 6 au niveau de la mine. Un stagiaire sera recruté en 2020 pour exploiter ces échantillons. Les premières données sur la faune du sol seront donc disponibles au printemps 2020. Un échantillonnage similaire aura lieu à Carnoulès à l'automne 2019.

#### Prospective (2020-2025)

##### Continuité du projet scientifique :

Concernant la TO1, le site de Carnoulès est entré dans une phase de réhabilitation par l'ADEME. La mise en place de pilotes de traitement du Reigous est prévue à partir de fin 2019, dans le cadre d'un projet Gesipol ADEME COMPAS (2019-2022) coordonné par le BRGM, et qui implique les chercheurs associés à la TO1. Dans ce contexte, les observations systématiques menées dans le cadre de la TO1 se limiteront à la partie amont du Reigous, avant la mise en place des traitements. Par ailleurs, les observations seront complétées afin d'aborder la question du rôle de la matière organique dans le processus d'atténuation naturelle du fer et de l'arsenic et l'implication des réseaux microbiens dans son recyclage ou sa production. En effet, les Drainages miniers Acides étant considérés comme des milieux oligotrophes, le recyclage de la matière organique apparaît comme une fonction cruciale.

La TO2 a recentré ses activités autour de l'étude de *Noccaea caerulescens*, l'espèce métallicole hyper-accumulatrice de métaux. Sachant que le site de Saint Laurent le Minier est en phase de réhabilitation par l'ADEME, et donc ne sera plus accessible à partir de juin 2019, nous avons récolté ce printemps tout le matériel végétal nécessaire à l'étude de l'adaptation aux métaux lourds, pour *N. caerulescens* mais également *Anthyllis vulneraria*, en collaboration avec l'équipe de C. Grison du laboratoire Chimeco (qui réalise aussi les analyses physico-chimiques du sol). Ces travaux engagés en 2019, pour une période de quatre ans, font suite aux résultats récents produits dans le SO : (1) Mousset et al. (non publié) estiment que les flux de gènes efficaces dans une mine est infra-métrique, suggérant une très forte structure génétique à fine échelle spatiale, (2) des analyses réalisées au printemps 2018 dans une autre mine indiquent que la contamination aux métaux lourds est très structurée spatialement, variant d'un facteur 5 en 50 m. Au vu de ces données, nous avons échantillonné en mai 2019 1500 plantes de *N. Caerulescens*, le long d'un gradient de contamination dans le site suivi dans le SO (Saint Laurent de Minier), depuis les bassins de décantation jusqu'à des zones extérieures et ce dans un protocole emboîté spatialement. Ces données vont permettre de tester l'adaptation au sein même d'une mine, en couplant l'identification de loci sous sélection en populations naturelles, des transplantations réciproques de plantes dans un gradient de contamination au séquençage de leurs descendants. Le même protocole a été utilisé pour *Anthyllis vulneraria*.

Le SO a vu la création de la TO3 en 2018. Outre la mise en place des suivis sur les sites du SO, il est envisagé de travailler conjointement avec Lucia Santorufo (Universita Federico 2 di Napoli), qui dispose de sites similaires en Italie.

## SO OCOA

Le Système d'Observation « Observatoire des Communautés Animales » (OCA, coordonné par A. Besnard) a pour objectif de collecter et de pérenniser des données à long-terme dans le but de comprendre les mécanismes à l'origine des patrons d'organisation des communautés animales dans des paysages fragmentés et perturbés. Les travaux s'intéressent notamment aux processus de réponses des milieux et des espèces animales aux perturbations d'origines anthropiques comme les changements d'utilisation des terres (à la fois déprise agricole ou intensification, urbanisation, etc.) mais aussi naturelles (ouragans, incendies, régimes d'assecs, espèces invasives). La compréhension de ces processus est cruciale pour pouvoir prédire l'évolution de la biodiversité en réponse aux changements globaux en cours et développer des scénarios de ces évolutions. Ces travaux répondent à des besoins importants en connaissances fondamentales sur l'organisation de la biodiversité. Ils répondent aussi à des demandes sociétales fortes autour de la mise en place de politiques publiques de conservation de la biodiversité. De ce fait, ces travaux sont valorisés à travers des publications académiques internationales et sont mobilisés dans des partenariats avec des organismes publics ou parapublics telles que les délégations du ministère de l'environnement en région ou les conservatoires d'Espaces Naturels pour l'évaluation des politiques publiques de protection de l'environnement.

Pour répondre à ces questions, les différentes Tâches d'observation s'intéressent aux abondances et occurrence des communautés d'animaux et développent des approches par traits d'histoire de vie. L'ensemble des tâches reposent sur des suivis à long-terme de la biodiversité, souvent sur des séries de collecte de données débutées dans les années 1970-1980. La majorité des tâches est menée dans la région méditerranéenne mais une tâche compare des patrons en région méditerranéenne et en Afrique, une autre repose sur des suivis de rivières en milieu tropical dont le régime de perturbations se rapproche de celui des mares temporaires méditerranéennes.

Le Système d'Observation regroupe cinq Tâches d'Observation :

- TO « Communautés d'oiseaux » – responsable : Aurélien Besnard – Ce TO consiste en des relevés d'avifaune standardisés périodiques (annuels pour certains sites, à intervalle de 10 ans environ sur les autres sites). Ces relevés s'étendent sur un réseau multi-sites de plusieurs centaines de stations permanentes géo-référencées (Hérault, Lozère, Pyrénées-Orientales, Maroc).
- TO « Entomofaune coprophage » – responsable : Pierre Jay-Robert – Ce TO repose sur la collecte de données sur les insectes coprophages (Aphodiidae, Geotrupidae, Scarabaeidae) à travers le suivi de stations à l'échelle de la région et cela depuis une trentaine d'années.
- TO « Reptiles et amphibiens » – responsable : Marc Cheylan – Ce TO repose sur une base regroupant des données opportunistes géo-référencées rassemblées par un réseau d'observateurs sur l'ensemble du Languedoc-Roussillon depuis plus de 40 ans.
- TO « Points d'eau temporaires » – responsables : Aurélien Besnard, Pierre-André Crochet, Simon Chamaillé-James. Cette TO regroupe deux sous-tâches consistant en des suivis des communautés associées aux mares temporaires (i) de la région méditerranéenne, focalisant sur les amphibiens, (ii) de savanes africaines, focalisant sur les mammifères. Il s'agit de données collectées annuellement de manière standardisées depuis une dizaine d'année.
- TO « Communautés des mollusques d'eaux douces des Antilles françaises » - responsables Philippe Jarne et Patrice David – Cette TO est nouvellement intégrée au SO (2018). Elle repose sur des relevés de présence-absence ou d'abondance des mollusques dans des rivières des Antilles, relevés conduits de manière standardisée depuis 1993.

Bien que diverses dans les groupes taxonomiques étudiés et les zones biogéographiques, toutes ces TO reposent sur des suivis de communautés basés sur des relevés de même types (abondances/présences relevées de manière régulière sur des localités précises et sur le long-terme). Toutes s'intéressent aux mêmes questions scientifiques (voir paragraphe du début) et reposent sur le même type d'approches analytiques. En ce sens, leur regroupement au sein d'un même SO permet une mutualisation des outils (notamment bases de données) et un partage d'expérience important (approches de modélisation mobilisées, atouts et limites des suivis en cours, modalité de financements, etc). La structure du SO ne permet pas de publications académiques communes à ce stade mais permet une animation cohérente et forte autour de ces suivis.

Au cours des dernières années, le regroupement de ces différents suivis en TO au sein d'un même SO a permis la constitution de bases de données opérationnelles avec un accès public facilité pour l'ensemble des données (en phase finale pour TO « points d'eaux temporaires » et en cours pour la nouvelle TO sur les mollusques). Ces bases assurent la pérennité des données historiques dont la plupart ont été collectées par des chercheurs qui sont maintenant à la retraite (ou bientôt à la retraite). Cette pérennisation a donc été la priorité du quinquennal passé. Ces dernières années ont aussi permis la remise à jour de l'ensemble des suivis de l'avifaune (un passage sur l'ensemble des zones d'étude, 10 ans après les derniers passages) ainsi que pour une étude spécifique des « points d'eau temporaire ». Ces mises à jour offrent la possibilité de nouvelles publications académiques. Toutes les autres TO ont pu continuer à collecter leurs données annuellement.

En termes de valorisation, les travaux des différentes TO ont conduit à la réalisation d'une dizaine de publications internationales au cours du quinquennal passé. Ces données ont servi de support à plusieurs stages de master (7) et à 2 thèses. Elles ont aussi été mobilisées pour l'évaluation des sites Natura2000 pour le reporting européen sur l'avifaune.

En termes de perspectives, le SO poursuivra sur les mêmes thématiques qui sont porteuses scientifiquement et répondent à une demande sociétale croissante. Ces thématiques sont par ailleurs au cœur des projets de certaines unités associées à l'OSU (notamment le LabEx CEMEB et l'UMR CEFE). L'intégration d'une nouvelle TO en 2018 va conduire à approfondir le travail sur les bases de données. Un des chantiers importants à venir réside dans la mise à disposition publique des données des différentes TO (à ce stade chaque TO dispose d'une page web recensant les stations d'observation et d'un résumé des données disponibles mais pour la plupart des TO ces données ne sont pas directement visualisables en détail). Un des axes forts en cours de développement dans le SO est le lien avec les acteurs non-académiques qui collectent des données en totale cohérence avec celles collectées par les différentes TO. Un travail de recensement de ces initiatives et de mutualisation des efforts pour la constitution de bases de données communes est une des priorités des années à venir. Il s'agit ici de travaux de sciences participatives (données de l'OPIE par exemple sur les insectes) ou de données collectées par des professionnels dans le cadre de suivis des politiques publiques de type Natura2000 (notamment des centaines de points d'écoute du même type que ceux réalisés dans le TO « avifaune »). Ce regroupement des différentes initiatives académiques/hors-académiques est très porteur scientifiquement car elle permet de décupler les données. Elle répond par ailleurs à une aspiration forte du monde de la recherche autour des questions de sciences participatives.

## SO OCOVE

Les différentes tâches du SO OCOVE (Observatoire des Communautés Végétales, coordonné par Laure Paradis et Franck Richard) sont insérées dans divers réseaux de coopération à diverses échelles de territoire, de par leur localisation dans un Parc Naturel Régional (Corse, Narbonnaise en Méditerranée, Grands Causses, Camargue, Pyrénées Catalanes), Parc National (Cévennes), Réserve de biosphère (Corse), Réserve Nationale Naturelle (Plaine des Maures, Massane), site du Conservatoire du Littoral et parcelle expérimentale de la forêt domaniale de Puechabon (site de références du réseau ICOS (*Carboeuroflux network*) depuis 2000). Certaines tâches sont par ailleurs mises en œuvre par un Programme de Recherche Action Participative inscrit dans un large partenariat (mairie/ASF/ADPMA9/ATMO/GM).

Le SO OCOVE comprend 5 tâches d'observation dédiées au suivi sur le temps long (approche diachronique) des communautés végétales méditerranéennes, en intégrant les symbiotes fongiques comme composante de la niche biotique des plantes. Le SO explore les effets 1) du changement climatique 2) des changements d'utilisation des terres et 3) des régimes de perturbation, dont les perturbations anthropiques, sur la composition et la dynamique des populations et des communautés.

Le SO est constitué de 6 Tâches d'Observation (TO) :

- Dynamique de la végétation et climat (*DynVegClimat* ; Resp. Scient. Florence Volaire) : étude des contrôles abiotiques et biotiques sur les propriétés et les services rendus par les écosystèmes dans des parcours ovins. Un focus est réalisé sur les effets du changement climatique (relations entre le déficit hydrique et la persistance/résilience des communautés herbacées méditerranéennes).

- Recrutement forestier et pastoralisme (*Forest* ; Resp. Scient. : C. Hély-Alleaume) : étude interdisciplinaire et appliquée de la dynamique forestière, à moyen et long terme, de la hêtraie de la Réserve Naturelle de la Massane, dans un contexte de changement climatique et de pression pastorale.
- Dynamique des végétaux en milieu urbain (*VegetUrbaine* ; Resp. Scient. : P.-O. Cheptou) : La tâche étudie la dynamique des communautés de plantes annuelles urbains, aux pieds des arbres d'alignement à Montpellier. Ce dispositif fait l'objet d'une collaboration avec la ville de Montpellier afin de coordonner nos actions.
- Observatoire des orchidées (*Orchidées* ; Resp. Scient. : B. Schatz) : étude de la dynamique et la diversité des communautés et des populations d'orchidées, en lien avec la dynamique des paysages méditerranéens.
- Communautés fongiques (*ComFong* ; Resp. Scient. : F. Richard) : étude de la dynamique des communautés fongiques en lien avec la dynamique de l'écosystème forestier, et de la dynamique des populations d'une espèce Méditerranéenne emblématique, l'amanite des Césars.
- Impact des haies arborées sur la qualité de l'air (Resp. Scient. : P. CAMPS) : cartographie des dépôts de poussière d'origine anthropique sur les végétaux par des mesures de magnétisme environnemental, réalisée par un Programme de Recherche Action Participative (PAR) à l'échelle de la commune de Saint-Aunès.

Les interactions entre TO sont structurées autour de sites communs de travail inter-TO (RNN Massane - TO Forest et ComFong), de sites communs inter-SO (Puechabon - SO TGIR ICOS et TO ComFong), de mutualisation d'observations inter-TO (Réserve de biosphère du Fango en Corse, Parc Naturel Régional de Corse - TO Orchidées et ComFong) et de mutualisation d'observations inter-SO (TO Orchidées et TO Reptiles et amphibiens en région méditerranéennes du SO OCOA).

La nature des mesures réalisées diffère selon les TO :

- DivVegClim : suivis de la végétation, des processus écosystémiques et des variables du milieu (température, pluie, teneur en eau du sol, disponibilité en éléments minéraux du sol). Détermination des composantes de la structure taxinomique (richesse et abondance des espèces) et fonctionnelle (traits aériens et souterrains des plantes) des communautés végétales. Les informations recueillies concernent la productivité saisonnière des parcours, la dynamique de composition floristique de la biomasse aérienne, la dynamique mensuelle d'humidité du sol, ainsi que des données micro-climatiques. Résultat : impact de la sécheresse sur l'évolution floristique, la productivité et la réserve hydrique de ces milieux.
- Forest : collecteurs de litière permettant l'évaluation de la production de graines, des variations annuelles, du taux de fertilité et des interactions avec les insectes. Suivi individuel de plantules (Hêtre, Chêne, Pin, Erable...) enregistrant la proportion Semis vs Plantule, la défoliation (galle, insecte, pâturage) et la longévité. S'y ajoutent des observations climatiques (station météo de la Réserve), dendrologiques (âge, morphologie, accroissement radial) et phénologiques (débourrement, floraison, fructification). Résultat : quantifier 1) la variation annuelle de production de graines de plusieurs espèces dominantes, 2) les différentes structures de régénération au sein de la forêt, 3) le rapport entre la production de graines et leur germination.
- VegetUrbaine : suivi diachronique des communautés de plantes annuelles urbaines afin de caractériser la dynamique spatio-temporelle des espèces (métapopulation) et de tester empiriquement le développement de méthode biométrique pour l'estimation de la banque de graines et la dispersion à partir de seules données d'observation. Résultat : évolution de traits liés aux milieux urbains et l'estimation des paramètres de métapopulations.
- Orchidées : suivis diachroniques de sites distribués sur l'arc Méditerranéen français. Elle inclue le suivi pluriannuel de plusieurs espèces emblématiques telles que *Liparis loeselii* et *Ophrys aymoninii*, des bases de données de distribution ancienne et actuelle des communautés, des bases de données du taux de fructification spécifique et des bases de données du réseau d'interactions orchidées-pollinisateurs. Résultat : identifier les espèces en déclin, déterminer les traits écologiques associés et montrer l'impact des changements d'utilisation des terres

- ComFong : suivis diachroniques de fructifications de champignons (espèces cibles, composition et structure des communautés) en Méditerranée, Corrèze et Lot. Les sites sont par ailleurs suivis sous l'angle de paramètres abiotiques (microclimat, température/humidité des sols : pratiques en cours), de données phénologiques des fructifications fongiques, de données moléculaire (génotypage des individus pour l'espèce emblématique *Amanita caesarea*, à l'aide de marqueurs microsatellites). Résultat : hyper-spécialisation écologique d'une espèce rare, déterminisme des poussées fongiques, liens temporels entre épisodes de précipitations et fructifications.
- Impact des haies arborées sur la qualité de l'air : suivi diachronique décennal des dépôts de particules par mesure magnétique sur biocapteurs placés sur le site expérimental de Saint-Aunès (feuilles d'arbres et arbustes), en bordure de voies de circulations (A9). Approche expérimentale réalisée en parallèle (utilisation d'un banc expérimental en laboratoire de type tunnel à vent).

L'acquisition de ces données, dépendante du soutien financier de l'OSU, est prévue pour 5 à 10 ans minimum, avec une politique de diffusion sur le portail Oreme Data et auprès de tous les gestionnaires, scientifiques impliqués et concernés (étudiant l'impact des changements globaux ; l'écologie forestière, l'écologie évolutive, l'écologie des populations et des communautés, la biométrie...). Chaque TO pratique de nombreux transferts de connaissances et de compétences (enseignement UM, collaboration avec DREAL, CBN et Conservatoire du littoral..., colloques).

Des interactions entre TO et SO sont prévues dans les années à venir. En particulier les sites de La Massane, Puechabon et Fango semblent pouvoir fournir des points focaux d'activités scientifiques, et être le siège de mutualisations plus fortes des moyens mobilisés par le SO. Pour la TO *Orchidées* : Projet de création d'un réseau européen (H2020) de suivis d'espèces emblématiques menacées. Collaboration avec les différents gestionnaires d'espaces naturels impliqués dans le cadre du CERCO (Communauté ERC d'Occitanie). Le SO est en cours d'intégration scientifique de la TO *Impact des haies arborées sur la qualité de l'air*, nouvellement associée à OCOVE.

## SO BIOMARLA

Le Service d'Observation BIOMARLA (Biodiversité Marine et Lagunaire), créé en tant que tel en 2019 et coordonné par Julie Deter, vise à mieux connaître la biodiversité marine et lagunaire de Méditerranée Française et mieux comprendre les interactions entre les communautés observées et leur environnement (profondeur, température, conductivité, densité, oxygène, pH, radance, fluorescence) dans un contexte de changement global (forçages anthropiques et climatiques). À moyen terme, ce SO vise aussi à développer des outils permettant d'améliorer nos capacités d'observation des écosystèmes et des habitats sous-marins : ADN, analyses d'images, méthodes d'observation synoptiques...

Ce SO se compose de 3 tâches d'observation :

- Coralligène (TO existant depuis 2013 au sein de l'OSU OREME)
- Communautés microbiennes de Thau (TO existant depuis 2013 au sein de l'OSU OREME)
- Communautés planctoniques marines (TO existant depuis 2018 au sein de l'OSU OREME)

Ce Service d'Observation est basé sur le suivi de communautés pélagiques ou benthiques marines (Littoral méditerranéen Français ou golfe du Lion uniquement) et lagunaires (étang de Thau).

Ces communautés (diversité, abondance) concernent phytoplancton, proto-zooplancton, méso-zooplancton, macro-algues et la faune benthique fixée et/ou peu mobile présente sur le coralligène.

Des données relatives à l'environnement (colonne d'eau, activités humaines) sont récoltées en parallèle. Au total plus de 150 stations sont suivies régulièrement au travers des trois tâches d'observation en lagune et en mer.

Concernant les données produites et les résultats marquants, Informations et détails se trouvent sur la page dédiée à chaque Tâche d'Observation sur le portail des données de l'OREME : <https://oreme.org/observation/biomarla/>. Néanmoins :

- TO coralligène : 30 quadrats photographiques de 50 x 50 cm (le long d'un transect de 20 m de long) ont été produits et analysés (1920 points aléatoires identifiés) sur une centaine de stations entre 2014 et 2018 : 32 stations en 2018 en Occitanie et est de PACA, 18 en Corse en 2017, 35 en 2016 en PACA est, 15 en 2015 en PACA ouest et Occitanie et 38 en Corse en 2014. 47 sont prévus en 2019 en PACA est. Les résultats (tableaux, comparaisons, cartes) sont visualisables sur [www.medtrix.fr](http://www.medtrix.fr) (projet RECOR). Chaque point de suivi RECOR fait également l'objet d'un suivi poissons (projet PISCIS avec Andromède océanologie), de température (projet CALOR avec Andromède océanologie) et d'écoute acoustique (projet CALME avec CHORUS sur [www.medtrix.fr](http://www.medtrix.fr)). Nous avons montré que la biodiversité associée au coralligène variait dans l'espace. Sur un site donné, les diversités fonctionnelle et phylogénétique augmentent à mesure que l'on se rapproche de la surface. Toutefois, plus les sites sont profonds et plus les communautés (assemblages d'espèces) sont différentes entre elles, notamment entre -50 et -70 m où les différences sont les plus fortes. Nous avons aussi montré que la perception esthétique des paysages coralligènes dépendait de leur biodiversité associée et notamment de la présence de certaines espèces particulières.
- TO Communautés microbiennes de Thau : l'abondance des bactéries totale et HNA /LNA par cytométrie en flux (mesozooplancton), l'abondance et diversité du microzooplancton par loupe binoculaire, analyse Chla par spectrofluorimétrie, banque d'ADN total à disposition pour toute étude (filtration et stockage), mesure de la température, salinité, profondeur, turbidité (secchi), oxygène dissous, pH sont échantillonnés tous les 15 jours depuis 2008. Les taxons identifiés possèdent tous un lien avec la base de données WORMS (World Register of Marine Species). Les données sont exprimées en unités couramment utilisées par la communauté scientifique permettant les comparaisons. Les communautés planctoniques étant à la base du réseau trophique pélagique, le suivi de ces communautés est très important pour mesurer l'état trophique du milieu. Par exemple, nous avons récemment participé à une étude sur la caractérisation des communautés planctoniques durant les épisodes de reproduction des huîtres dans la lagune de Thau, pour essayer de déterminer les facteurs favorisant la survie des larves. Les gestionnaires des lagunes sont très intéressés par ces données de suivi et par les interactions communautés planctoniques - variations environnementales. Ceci leur permet d'améliorer leur politique de gestion (apports des affluents, ouvertures de passes, etc.).
- TO Communautés planctoniques marines : La tâche d'observation est centrée sur le suivi des communautés phyto- et zooplanctoniques du golfe du Lion et vise à fournir un état de leur diversité et variabilité spatio-temporelle. 30 stations couvrant l'ensemble du plateau continental du golfe du Lion sont échantillonnées annuellement au mois de juillet lors des campagnes acoustiques PelMed afin d'analyser différents paramètres environnementaux et biologiques : (i) Abondance et diversité des communautés méso-zooplanctoniques par microscopie ; (ii) Concentration en pigments biomarqueurs du phytoplancton par chromatographie liquide haute pression ; (iii) Profils verticaux de de température, conductivité, densité, oxygène, pH, radiance, fluorescence. La tâche d'observation vise à mieux comprendre les interactions entre l'environnement pélagique du golfe du Lion et la dynamique des communautés planctoniques, mais aussi les interactions entre les communautés planctoniques et les échelons trophiques supérieurs notamment les ressources poissons petits pélagiques, le tout dans un contexte de changement global avec un écosystème ciblé (le golfe du Lion) très fortement exposé à la fois aux forçages des changements climatiques et anthropiques. Cette TO a démarré au courant de l'année 2018. En conséquence les mesures délivrées n'ont pas encore été valorisées du fait d'une série temporelle encore trop limitée pour permettre des analyses de données.

Le SO fait face à des difficultés de financement dans la mesure où, notamment, les 2 TO communautés microbiennes et planctoniques ne disposent pas de financements autres que les crédits d'état des deux chercheurs impliqués (D. Bonnet et T. Hattab).

Les perspectives pour la période 2021-2025 sont les suivantes :

- Coralligène : La base de données de quadrats photographiques annotés est utilisée pour développer un algorithme (machine learning) de calcul de score d'esthétique sur la base du travail de AS Tribot (stage master 2018 puis contrat IR de Juliette Langlois, demande de thèse Occitanie-Agence de l'eau 2019-2022 en cours) et pour développer un logiciel d'identification semi-automatique par Deep learning (stage de master 2019 de Cédric Braga de Almeida à Andromède océanologie dans le cadre du [laboratoire commun InToSea](#)). Nous sommes en train d'essayer d'intégrer le suivi par quadrat

photographique à un suivi par photogrammétrie (thèse CIFRE de G. Marre). Le soutien de l'OSU OREME est très marginal dans le coût de ce projet mais permet l'achat régulier de petit matériel (initier le suivi température par l'achat de capteurs, remplacement du quadrat photographique pour l'appareil photo, participation au salaire de A. Doxa pour initier les calculs d'indices de diversité). Le financement de cette TO est assuré par Andromède océanologie et l'Agence de l'eau.

- Communautés microbiennes de Thau : Les séries planctoniques de 10 ans et plus ont permis des avancées majeures sur notre connaissance des liens entre la dynamique et la diversité des communautés planctoniques, leur fonctionnement, et les facteurs climatiques à grande échelle (régionale, bassin) qui les contrôlent. Par ailleurs, une base de données sur la dynamique de la méduse *Aurelia coerulea* sera ajoutée aux séries d'observation dans les mois qui arrivent. Cette série a débuté en 2010 dans la lagune de Thau.
- Communautés planctoniques marines : À moyen terme, cette Tâche d'observation vise à développer des outils permettant d'améliorer nos capacités d'observation des écosystèmes et des habitats pélagiques, en apportant les données nécessaires au développement de méthodes d'observation synoptiques, à haute fréquence et à haute résolution. En effet, les observations collectées sur le compartiment phytoplanctonique permettront in fine de développer des outils de télédétection spatiale de groupes phytoplanctoniques à partir des observations satellitaires. Par ailleurs, les observations, collectées sur le compartiment zooplanctonique et combinées aux observations acoustiques des campagnes PelMed, permettront de mettre en place des algorithmes de détection automatique de groupes de zooplancton.

## SO ECOPOP

Le SO ECOPOP (Ecologie de populations d'organismes modèles, coordonné par Anne Charmantier & Thierry Boulinier) est labélisé au niveau régional, en interne à l'OSU OREME, mais pas au niveau national. En revanche, il contribue de façon volontaire à la dynamique de structuration qui se met en place autour des suivis de populations d'organismes modèles au niveau national.

Les deux responsables font partie des animateurs du groupe sur les Programmes à long terme de la Société Française d'Ecologie et d'Evolution. Comme présenté lors d'un exposé aux Journées de Prospective de l'INEE en Mars 2017, 40 suivis de populations d'organismes modèles menés dans les 10 principales UMR de l'INEE ont été identifiés et ont répondu à un questionnaire sur leur fonctionnement et leurs besoins. Il semble manquer actuellement au niveau Français une structure pour labéliser les programmes d'observation à long terme sur les thématiques INEE déployées d'une façon coordonnée au niveau national, ce qui ne facilite pas la structuration à ce niveau. Il est néanmoins à remarquer que plusieurs des TO du SO ECOPOP sont impliquées dans des structures labélisées par l'INEE : 2 TO font parties de Zones Ateliers (LTESER) et 1 TO est un des Sites d'Études en Écologie Globale (SEEG).

Ce Système d'Observation est basé sur des suivis individuels d'animaux sauvages, spatialisés et intégrant la récolte d'informations et l'étude des processus à différents niveaux :

- Environnement physique, biologique, social;
- Données génétiques, physiologiques, immunologiques, épidémiologiques, comportementales.

Ces programmes de suivi permettent donc d'aborder de manière intégrée les mécanismes de réponses des populations à la variabilité de l'environnement et de décrire les changements écologiques et évolutifs des populations. Chacune des TO aborde d'une façon prédominante certains aspects (mots clefs entre parenthèses indiqués ci-dessous repris dans la liste des TO), mais l'acquisition de données permet aussi d'intégrer d'autres aspects.

Au sein du SO, les thématiques abordées portent sur :

- le rôle des réponses phénotypiques, comportementales et génétiques aux changements d'origine anthropique, en particulier changements climatiques et anthropisation des milieux (GENE, COMP),
- l'écologie de la dispersion et la dynamique des populations subdivisées (DISP, DYN),
- les dynamiques d'exploitation du milieu pour l'approvisionnement alimentaire (FORAG, pour 'foraging')

- et les facteurs affectant la circulation d'agents pathogènes et l'exposition à des parasites dans la faune sauvage et leurs interactions avec les populations d'hôtes (PAR).

Les approches méthodologiques des différentes TO sont très similaires sur le terrain, mais aussi pour ce qui est du type de données et d'échantillons qui sont traités et de leur utilisation. Ces approches nécessitent l'implication d'un personnel spécifiquement formé. Ces aspects représentent clairement des opportunités de mutualisation entre TO au sein du SO (voir notamment la mise en place de carnets de terrain électronique, effectuée en collaboration ces dernières années).

Jusqu'en 2018, le SO comportait 6 TO :

- TO Mésanges (responsables : Anne Charmantier, Claire Doutrelant, CEFE) – GENE, COMP, DYN
- TO Puffin cendré (responsable : David Gremillet, CEFE) – FORAG, DYN
- TO Mouette rieuse (responsable : Aurélie Besnard, CEFE) – DYN, DISP, FORAG
- TO Goéland leucopnée et pathogènes (responsable : Thierry Boulinier, CEFE) – PAR, DISP
- TO Mouette tridactyle et parasites (responsable : Thierry Boulinier, CEFE, et Karen McCoy, MIVEGEC) – DYN, PAR, DISP, FORAG
- TO Vautours fauves (responsables : Olivier Duriez, CEFE, et François Sarrazin, MNHN) – FORAG, DYN, DISP

Suite à l'appel d'offre pour de nouvelles TO et SO de 2019, 11 nouvelles TOs concernant des suivis individuels à long terme ont été intégrées dans le SO ECOPOP :

- TO Ongulés Africains (responsable : Simon Chamaillé, CEFE) – DYN, COMP
- TO Babouin Chacma (responsable : Elise Huchard et Alicia Carter, ISEM) – COMP, FORAG
- TO Ecologie de la santé des mandrills, au Gabon (responsable : Marie Chapentier, ISEM) – PAR, COMP
- TO Vertébrés de Camargue (Aurélie Besnard, Olivier Duriez, CEFE, et Arnaud Bechet, Tour du Valat) – DYN, DISP
- TO Souris striée africaine (Guila Ganem, ISEM) – GENE, DYN
- TO Albatros à bec jaune, labbe subantarctique et choléra aviaire (responsable : Thierry Boulinier, CEFE) – PAR, DYN, FORAG
- TO Fou de Bassan (responsable : David Gremillet, CEFE) – FORAG, DYN
- TO Fou du Cap (responsable : David Gremillet, CEFE) – FORAG
- TO Mergule nain (responsable : David Gremillet, CEFE) – FORAG, DYN
- TO Faucon crécerellette (responsables Aurélien Besnard, CEFE) – DYN, DISP
- TO Républicain social (Claire Doutrelant, CEFE & Ritas Covas, CIBIO, Portugal) – COMP, DYN, DISP

La base des activités de ce Système d'Observation repose sur des suivis d'individus afin de déterminer les mécanismes des réponses des populations sauvages à la variabilité spatiale et temporelle de leur environnement. Même si les organismes suivis diffèrent par leurs biologies, leurs traits d'histoire de vie et les environnements dans lesquels ils vivent, les suivis ont en commun de reposer largement sur un échantillonnage spatialisé incluant la capture-marquage-recapture d'individus ou le suivi d'individus reconnaissable individuellement, mais aussi l'enregistrement de leur mouvements (par l'utilisation d'outils biotélémetriques, tels que des loggers GPS, pour certaines espèces permettant une récupération des données à distance et sans recapturer l'oiseau, ou par des observations focales d'individus) et /ou de leur exposition à des agents infectieux et contaminants. Les approches méthodologiques sont très similaires sur le terrain (captures d'individus, visites répétées des sites d'observation, prélèvements d'échantillons biologiques, missions de terrain de plusieurs semaines pendant la saison de reproduction), mais aussi pour ce qui est du type de données et d'échantillons qui sont traités. Une partie des données d'observation est acquise en parallèle d'approches expérimentales réalisées sur le terrain (notamment, la manipulation de la disponibilité de ressources alimentaire ou du statut

parasitaire ou immunologique par vaccination). Globalement, ces approches nécessitent l'implication d'un personnel spécifiquement formé (une part des programmes nécessite en particulier des autorisations d'expérimenter sur les animaux). Ces aspects représentent clairement des opportunités de mutualisation entre TO au sein du SO (voir notamment la mise en place de carnets de terrain électronique, effectuée en collaboration ces dernières années).

L'activité des TO bénéficie d'un soutien du SO ECOPOP via le financement attribué par l'OSU OREME, mais la plupart des activités à court, moyen et long terme sont soutenues par d'autres sources de financement, telles que des ANR, un projet ERC (TO Mésanges), ou des projets de l'Institut Polaire Français (IPEV, projets ADACLIM, PARASITO-ARCTIQUE et ECOPATH) incluant une dimension d'observation à long terme. Le suivi sur les Ongulés sauvages fait partie de la Zone atelier HWANGE, le suivi sur les albatros et pathogènes fait partie de la Zone Atelier Antarctique et sub-Antarctique (ZATA). Un LIA soutien une partie des activités en Afrique du Sud. Les suivis de populations animales de Camargue sont pris en charge par la Tour du Valat.

Outre l'acquisition de séries temporelles et la mise à disposition de données pour tester des hypothèses biologiques sur ces thématiques [voir par exemple la revue sur les travaux en écologie évolutive sur les mésanges Charmantier et al 2016], les travaux développés dans le cadre du SO ont permis des développements méthodologiques importants, notamment sur les designs d'échantillonnage (suivi longitudinaux multi-sites de populations d'individus marqués et les outils statistiques à utiliser pour l'estimation de paramètres de la dynamique démographique de populations subdivisées, de la dynamique du statut éco-immunitaire des individus [TO Mouette tridactyle : Ponchon et al. 2018, Choquet et al. 2017] et de la génétique quantitative et génomique en population sauvage [TO Mésanges : Perrier et al 2018]).

Les développements méthodologiques ont aussi porté sur les méthodes pratiques d'acquisition de données sur le terrain (notamment, l'utilisation de loggers pour l'étude des comportements de prospection [TO Mouette tridactyle: Ponchon et al. 2015, 2017], la mise en place et l'utilisation de carnets de terrain électroniques [Tornos et al 2014] et l'utilisation du transfert maternel d'anticorps dans les œufs pour les suivis éco-épidémiologique [TO Goélands leucophée et pathogènes : Gamble et al 2019]).

Enfin, une partie des travaux permet de répondre à des questions appliquées importantes, comme la détermination d'Aires Marines Protégées et de stratégies de gestion des déchets d'élevage et de conservation des vautours [TO Vautours fauves : Duriez et al 201].

Suite à l'appel à proposition de l'OSU OREME en juin 2018 pour de nouveaux SO et de nouvelles TOs, notre SO est passé en 2019 de 6 à 17 TOs. Ceci est à considérer dans le contexte de la forte volonté de structuration et labélisation au niveau national des activités sur les suivis à long terme de populations d'individus marqués. Au niveau régional, il nous est apparu très bénéfique d'intégrer ces nouvelles TO correspondant à des suivis de populations menés sur des vertébrés et dans des conditions permettant d'aborder une série de questions fortement comparables en France et à l'étranger.

Une journée de réunion de l'ensemble des TOs du SO ECOPOP, avec des exposés des responsables des TO, s'est tenue le 4 avril 2019 et a permis de consolider l'identification des axes thématiques qui permettront de structurer les interactions entre TOs à l'avenir, en particulier : Dynamique des populations, Interactions durables, Réponse au changement climatique, Sélection sexuelle, Etude des Comportements en particulier évolution des comportements et de la cognition, Socialité, Ecologie du mouvement, Evolution des traits d'histoire de vie, et Gestion et conservation des espèces. Des journées thématiques sont prévues à l'avenir, en particulier autour des thèmes 'Echelles temporelles de réponse des populations' et 'Expérimentation Animale En Milieu Naturel (techniques et éthique)'. Dans le cadre de cette dernière thématique, le SO sera moteur dans l'organisation de formations locales pour l'expérimentation animale en milieu sauvage.

## SO EVOPOP

Le SO EVOPOP (EVolution en POPulations naturelles – Responsable : Eric IMBERT) regroupe 5 TO dont l'objectif commun est l'étude des variations temporelles des caractéristiques phénotypiques et génétiques d'espèces méditerranéennes en populations naturelles. Les données issues des suivis sont ensuite interprétées en lien avec les pressions climatiques et anthropiques sur les écosystèmes.

En début de contractualisation, le SO était structuré en 5 TO concernant 5 organismes modèles différents :

- Evolution spatio-temporelle des gènes de résistance aux insecticides du moustique *Culex pipiens* en région méditerranéenne (resp. Mylène Weill, Pierrick Labbé)
- Effet des pressions anthropiques sur la viabilité et l'évolution d'une espèce méditerranéenne endémique : la Centaurée de la Clape, *Centaurea corymbosa* (resp. Eric Imbert)
- Dynamique in situ des populations et de la diversité d'une espèce endémique et menacée, le Chou corse, *Brassica insularis* (resp. Sandrine Maurice, Christophe Petit)
- Observatoire de la vigne sauvage (lambrusque), *Vitis vinifera* ssp. *sylvestris* en Languedoc-Roussillon (resp. Jean-Frédéric Terral)
- Biodiversité, structuration et perturbation des populations de truites communes, *Salmo trutta*, françaises du sud (resp. Patrick Berrebi)

Tous les responsables de ces TO sont membres de l'ISEM -UMR 5554. Il est à noter que, suite au départ à la retraite de P. Berrebi, la TO Truite a été interrompue pendant deux ans, puis réactivée en 2018 par Bruno Guinand.

Parmi les objectifs des travaux conduits au sein de ce SO, nous cherchons à documenter la réponse des organismes étudiés aux pressions du milieu, et de manière plus immédiate, de contribuer à la gestion des espaces et des espèces concernées. A ce titre, les membres du SO participent à des conseils d'expertise tel que le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel, le Centre National d'Expertise sur les Vecteurs, le Haut Conseil aux Biotechnologies sur la lutte anti-vectorielle, l'Entente Interdépartementale de Démoustication, Conseil auprès de l'ONF... Ce lien entre recherche fondamentale et gestion de la biodiversité a, par exemple, amené à participer à un programme de renforcement des populations naturelles de la Centaurée de la Clape (opérateur Parc Naturel Régional de la Narbonnaise), et à développer le recensement des lambrusques en France dans le cadre d'une convention nationale avec l'INRA et l'ONF.

Le SO est construit autour de suivis dans des populations naturelles d'espèces méditerranéennes. La pertinence de ces suivis et leur valorisation scientifique ne peuvent se faire qu'à partir d'un suivi sur le long terme incluant des données sur plusieurs générations. Par ailleurs, l'un des objectifs étant de détecter les réponses des organismes étudiés aux pressions anthropiques, incluant les changements climatiques, notre capacité à remplir cet objectif dépend aussi de l'intensité et de la nature des réponses.

Une perspective possible serait d'intégrer les approches génomiques pour l'ensemble des organismes étudiés. Si les données sont accessibles pour les organismes modèles comme la vigne, ils sont à mettre au point pour les autres organismes et permettraient de traiter plus efficacement des questions de relations génotype/phénotype dans les populations naturelles. Ces développements méthodologiques nécessiteront d'animer des ateliers thématiques au sein du SO, ateliers qui seront ouverts aux autres SO concernés de l'OREME.

## PERSPECTIVES 2020-2025 POUR LE SO POLLIMED

La création du SO PolliMed (responsables Odile Peyron(ISEM) et Bertrand Schatz(CEFE)) au sein de l'OSU OREME étant très récente (2019), les premiers résultats acquis sont en cours d'étude ; c'est pourquoi nous nous focalisons uniquement sur la partie « Perspectives ».

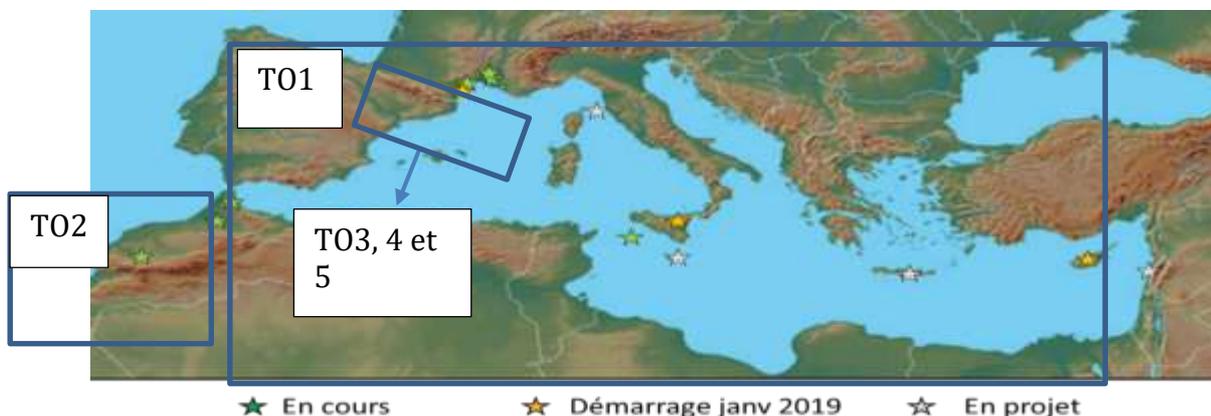
Le SO PolliMed a pour objectifs 2020-2025 l'étude et le suivi de la pollinisation, une composante centrale de la biodiversité, à différentes échelles géographiques à l'échelle de la Méditerranée. Certains facteurs abiotiques comme les changements climatiques (sécheresses...) ou la pollution atmosphérique représentent une réelle menace pour les pollinisateurs et pour la pollinisation. Tout particulièrement en Méditerranée, hot spot de biodiversité, car cette région concentre de fortes activités anthropiques. L'ambition du SO au cours des prochaines années est d'améliorer nos connaissances concernant la pluie pollinique et les pollinisateurs en région méditerranéenne.

Ce SO est structuré autour de 2 axes de recherche complémentaires à différentes échelles géographiques, l'une internationale à l'échelle de la Méditerranée, et l'autre nationale avec un focus commun dans l'Hérault :

- Pollen et relations pollen-végétation-climat en Méditerranée (échelle globale – macrorégionale). Notre but est d'étudier sur du long terme la pluie pollinique de plusieurs écosystèmes méditerranéens dominés par les espèces clés (chêne vert, vigne, olivier...), via la mise en place de systèmes de monitoring mensuels et annuels. Ces monitorings seront effectués à l'aide de pièges à pollen permettant de suivre les changements de la pluie pollinique en lien avec la végétation et le climat dans différents contextes méditerranéens. Ceci afin de comprendre la variabilité interannuelle de la pollinisation de ces taxons en lien avec le changement climatique ou en milieu cultivé (olivier).
- Pollen, pollinisateurs et interactions en milieux naturels et anthropisés (échelle régionale – locale). Nous nous intéresserons aux interactions plantes-pollinisateurs et aux menaces pesant sur la pollinisation entomophile : le déclin des pollinisateurs et l'effet de la pollution atmosphérique sur la rencontre entre plante et pollinisateurs. En effet, la crise de la pollinisation est bien présente et de grande ampleur. Il est donc crucial et urgent d'améliorer nos connaissances sur ces insectes pollinisateurs et sur les facteurs pouvant affecter leur action de pollinisation.

PolliMed s'organise en 5 TO :

- 1) Relations pollen-végétation-climat, forêts méditerranéennes (du Maroc à Chypre),
- 2) Suivi de la pollinisation de l'olivier (Maroc-France),
- 3) Suivi local de la pollinisation de la vigne sauvage et cultivée (Hérault),
- 4) Effet de la pollution atmosphérique sur la communication chimique plantes- pollinisateurs (région PACA et ex-région LR),
- 5) Variations des communautés d'insectes pollinisateurs selon des gradients d'habitats et d'urbanisation (région Occitanie, PACA et Corse).



Sites d'observations des 5 TO du SO PolliMed

Pour la TO1 2 et 3, nous quantifierons à partir de pièges à pollen pour chaque site la quantité de grains de pollen (taxon par taxon) qui se dépose afin d'obtenir un suivi sur plusieurs années de la pollinisation des plantes et des espèces clés (chêne vert, vigne, olivier ...). Les enregistrements sont de trois types : hebdomadaires pour couvrir la période de floraison ; mensuels pour évaluer la fréquence absolue et relative des taxons dans la pluie pollinique totale et annuels pour un suivi sur plusieurs années.

Pour la TO4, des observations seront réalisées pour chacun des deux modèles, lors de leur période de floraison, en mai et en juillet-août.

Pour la TO5, les données sont basées sur la capture de ces insectes par différentes méthodes (capture au filet, pièges passifs sur 24/ 48 h) puis sur l'identification des espèces.

Pour l'ensemble du SO PolliMed, l'actualisation des données sera annuelle, avec toutefois, de 12 à 18 mois de décalage entre la collecte des données et la mise à disposition.

## **PERSPECTIVES POUR LE SO AC2I AGRICULTURE DE CONSERVATION IRRIGUEE ET INTENSIVE (AC2I)**

Le SO AC2I (Agriculture de conservation irriguée et intensive, Responsable : B. Molle), créé en 2019, est hébergé par Irstea à Montpellier, sur le site de Lavalette.

Le passage de l'agriculture standard à l'agriculture de conservation implique une phase de transition dont les éléments sont mal connus, en particulier en système irrigué. L'objectif de AC2I est donc d'observer les mécanismes en jeu dans cette période de transition, il s'agit d'analyser expérimentalement d'abord l'évolution des propriétés du sol et des mécanismes de transfert d'eau et d'azote sous différentes méthodes d'irrigation. Le travail s'appuie sur les parcelles Irstea exploitées à Lavalette, avec différentes modalités techniques d'irrigation et de conduite. Il est aussi possible que les parcelles suivies par Irstea dans le Sud-Ouest, et probablement en Provence en 2020, puissent à terme intégrer l'OSU. En 2019 c'est un état zéro de la situation qui sera réalisé.

Moyens techniques : parcelles expérimentales de Lavalette à Montpellier (1.5ha environ), dont un dispositif de goutte à goutte enterré randomisé, analyses de sol, moyens de mesure de l'eau dans le sol, travaux agricoles pour partie sous-traités au Geves-Inra.

Moyens humains : le personnel technique de la plateforme PReSTI pour une partie de son activité, 2IR dont 1 en recrutement, 1CR, 2IE, 1TR.

## **L'OREME, gestionnaire de moyens mutualisés**

Pour servir ses objectifs et répondre aux besoins de ses UMRs, l'OSU OREME est opérateur et gestionnaire de trois plateformes (PF), AETE-ISO, MEDIMEER, et SI. L'une d'elles (MEDIMEER) est positionnée sur un site extérieur à Montpellier, à savoir la Station Marine de Sète. L'OSU s'appuie aussi sur un Service de gestion. Tous ces moyens mutualisés sont décrits ci-après.

### La Station Marine de l'UM à Sète (<https://oreme.org/station-marine/>)

Fondée en 1879 par Armand Sabatier au même moment que les grandes stations marines de Roscoff, Banyuls, Villefranche ou Monaco, la Station Marine de Sète, rattachée à l'Université de Montpellier, sert depuis l'origine de point d'appui aux recherches, à l'observation et à la formation dans le domaine de la biologie marine. Le développement des sciences de l'environnement, notamment en domaine marin, confère à cette Station un rôle accru ; elle est en effet le service commun d'accès à l'observation et l'expérimentation en eau de mer (*in situ* et à terre) pour les Unités de recherche de l'OSU et de l'UM, et par ailleurs elle est membre du réseau national des stations marines.

Gérée par l'OSU, cette infrastructure de l'UM dispose d'une halle d'expérimentation en eau de mer, d'un bateau et d'un ponton (réhabilité en 2019, avec l'aide du CNRS/INSU et de l'UM), d'un local de plongée, de laboratoires secs et humides et de locaux dédiés aux activités de formation. Elle accueille les infrastructures de la plateforme MEDIMEER de l'OSU (voir ci-dessous). Parfaitement intégrée dans la ville de Sète, la Station marine de l'UM revêt aussi une mission culturelle en servant de lieu d'exposition, de rencontres et de présentation des activités de l'OSU.

### La plate-forme MEDIMEER (<https://oreme.org/plateformes/medimeer/>)

La plateforme MEDIMEER (MEDiterranean platform for Marine Ecosystem Experimental Research) est un dispositif polyvalent, unique en France et sur le pourtour méditerranéen qui met à la disposition de la communauté scientifique, du secteur privé et des acteurs socio-économiques un ensemble de plateaux techniques et une expertise scientifique de pointe dans la réalisation d'expérimentations en conditions contrôlées dans le domaine de la biologie marine (plus particulièrement en écologie et aquaculture marines).

MEDIMEER est composée de deux plateaux expérimentaux :

- Un plateau « microscosmes » (enceintes de petit volume < 1 m<sup>3</sup>), composé de dispositifs amovibles avec des arrivées d'eau et de gaz ainsi que des enceintes thermostatées. Les conditions des croissances des organismes étudiés peuvent ainsi être contrôlées (lumière, température, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, nutriments), ce plateau constitue un soutien logistique, technique et analytique pour le développement de nouvelles filières en aquaculture marine et la valorisation des bioressources marines (microbiennes, végétales ou animales) avec des secteurs d'application très vastes (bioremédiation, chimie bleue, nutrition, cosmétique ou pharmaceutique).
- Un plateau « mésocosmes » (enceintes de grand volume > 1 m<sup>3</sup>), qui permet de réaliser des expérimentations avec la possibilité de manipuler et contrôler les forçages environnementaux (UVB, température, CO<sub>2</sub>, etc.) afin d'étudier, quantifier et qualifier l'impact de forçages naturels (réchauffement climatique) et anthropiques (pollution, tourisme, ...) sur le fonctionnement des écosystèmes marins côtiers (production, diversité, flux de matière, résistance, résilience, etc.).

MEDIMEER est également dotée de 4 plateaux techniques :

- Un plateau instrumentation composé d'un parc instrumental (ensemble de capteurs physico-chimiques et optiques) et de moyens techniques pour le développement de capteur (imprimante 3D, développement circuit imprimé, microcontrôleur).
- Un plateau « Moyens à la mer » composé d'une large gamme de facilités pour l'observation des milieux marins (bateau, plongeur, matériels de mesure et d'échantillonnage)
- Deux plateaux analytiques, (1) « biochimie » (autoanalyseur de sels nutritifs, spectrofluorimètre, spectrophotomètre et titrateur) et (2) microbiologie (cytomètre en flux, loupes binoculaires et microscopes inversés, droit et à épifluorescence).

Située sur la lagune de Thau, au cœur même de la Station marine de l'UM à Sète, la plateforme MEDIMEER propose de réaliser des expérimentations en conditions contrôlées à différentes échelles, du microcosme aux mésocosmes, avec la possibilité de manipuler et de contrôler les forçages environnementaux.

L'ensemble de l'infrastructure MEDIMEER (plateaux expérimentaux associés aux plateaux techniques) est ouvert aux projets de recherche nationaux et internationaux portés par la communauté scientifique, le secteur privé ou les acteurs socio-économiques. Une fois validées par le responsable de la plateforme, les expériences demandées seront réalisées soit sous forme de collaboration au projet, soit sous forme de prestation de service.

Le personnel technique affecté à la PF MEDIMEER (de 50% à 100% de temps plein) représente actuellement 3.5 ETP, réparti sur 5 agents (ITA/BIATSS).

Depuis sa création en 2003, l'infrastructure MEDIMEER a permis la réalisation de 19 expériences en mésocosmes dans le cadre de 12 projets nationaux (dont 3 ANR) et 2 projets européens (comprenant 5 projets « Transnational Access »). La plateforme MEDIMEER est aussi un appui technique et logistique pour le SNO SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral) de l'INSU, pour le SO BIOMARLA (BIODiversité MARine et LAgunaire), et pour des activités de formation (technicien aquacole, stagiaire, doctorant etc.) dans le domaine de l'écologie marine.

**Perspectives :** La plateforme MEDIMEER envisage d'améliorer et développer sa partie expérimentation en microcosme avec l'acquisition de plusieurs photo-bioréacteurs et des armoires de culture pour laboratoire (coût estimé : 90 k€). MEDIMEER s'appuiera également sur les installations existantes de la Station marine de Sète, particulièrement au niveau du hall d'aquaculture, afin de préparer (élevage et acclimatation de certaines espèces marines, telles que poissons, crustacés, mollusques, microalgues) et/ou de réaliser certaines expérimentations en milieu contrôlé (microcosmes et mésocosmes).

Le développement de la partie mésocosmes de MEDIMEER passe par l'installation sur Sète de mésocosmes à terre. La première phase d'installation de ces équipements (actuellement stockés sur le campus Triolet de l'UM) est en cours avec un financement UM-CNRS, la deuxième phase « Equipement et mise en route du plateau mésocosmes à terre » fera l'objet d'une future demande de subvention. Ainsi dotée de trois types de mésocosmes [i) à terre, ii) *in situ* installés sur la lagune de Thau qui sont opérationnels, et iii) mobiles, transportables sur les autres lagunes et les zones côtières qui sont également opérationnels] la plateforme MEDIMEER se positionnera comme le leader européen d'écologie marine expérimentale, pouvant effectuer des études à long terme sur les effets des changements globaux et des pollutions diverses sur les organismes marins, sur les algues toxiques, les espèces pathogènes marines, etc.

La réalisation optimale d'une expérience en milieu contrôlé ainsi que des observations en continu nécessitent l'acquisition de nouveaux instruments analytiques (Cytomètre transportable) ou capteurs *in situ* (capteurs *in situ* pour équiper les nouveaux mésocosmes à terre ; capteurs *in situ* de sels nutritifs) mesurant certains paramètres de base indispensables et de nouveaux équipements de laboratoire (Surgélateur).

Afin de maintenir et développer un service de pointe à travers les facilités proposées par la plateforme MEDIMEER, la priorité RH est mise sur le recrutement de deux personnels ITA, un Technicien en environnements géo-naturels et anthropisés et un Assistant ingénieur en instrumentation et techniques expérimentales.

La plate-forme AETE-ISO <https://numerique.umontpellier.fr/aete/>

La plateforme technologique régionale « Analyse des Eléments en Trace dans l'Environnement et ISOtopes » (AETE-ISO) est la plateforme de géochimie de l'OSU OREME. Elle mutualise et optimise le potentiel analytique de la géochimie des éléments en trace autour de plusieurs axes de recherche, notamment dans les secteurs de l'Eau, de l'Environnement, de la Géologie, des Matériaux, de la Bio-Santé, de l'Ecologie, de l'Agronomie et de l'Archéologie.

La plateforme réalise des analyses pour de nombreux utilisateurs du secteur académique ou du secteur privé et ce, aux niveaux local, régional, national et international. Elle offre un éventail d'analyses extrêmement large depuis les analyses élémentaires (métaux, métalloïdes, Terres Rares...) et de spéciation (As, Se, Sn, Sb, Hg, Tl...) dans les eaux, les sédiments, les sols, les matériaux biologiques, les roches, les minéraux, et les matériaux de nature diverse. Ces analyses sont réalisées après préparation chimique des échantillons (minéralisation et séparation/concentration des éléments) ou « in-situ » par analyse ponctuelle. Des analyses isotopiques diverses, à la fois en isotopes stables (C, H, O, N, S, B, Fe, Cu, Mg, Sb, Hg, Zn ...) et radiogéniques (Pb, Nd, Sr, Hf, U, Th, ...)

sont réalisées sur une très grande variété d'échantillons (eaux, roches, minéraux, sols, matériaux, matière organique...) disponibles sous forme liquide ou solide.

Dans le cadre du CPER 2015-2020 le projet PALMES (« Plateau Analytique Littoral Méditerranée Environnement Santé »), financé à hauteur de 1,5 M€ par l'Etat, le CNRS, la région OCCITANIE et Montpellier Métropole, a permis à la plateforme AETE-ISO d'augmenter considérablement son parc analytique en acquérant, en juin 2017, un spectromètre de masse à multicollecion (MC-ICP-MS) et les couplages associés, système d'ablation laser pour des applications en microanalyse et cartographie d'échantillons, système de chromatographie gazeuse (GC) pour l'analyse isotopique d'éléments volatils présents sous différentes formes chimiques, système de chromatographie ionique (IC) pour l'analyse isotopique d'éléments (peu ou pas volatils) présents sous différentes formes chimiques.

Le deuxième volet de ce projet, réalisé en septembre 2018, a permis l'installation de 2 spectromètres de masse de type IRMS avec couplages associés (système de préparation de micro-carbonates; 2 analyseurs élémentaires : 1 par combustion-réduction, 1 par pyrolyse) offrant ainsi l'analyse des isotopes stables (C, O, H, N, S) au sein d'AETE-ISO sur des matrices organiques et carbonatées. Une ICP-OES et une fusionneuse-perleuse Katanax 600 ont été acquises en 2016 et 2017 respectivement, suite à un appel à projets « Université de Montpellier » afin de permettre le dosage des éléments majeurs sur des échantillons de roches, sédiments, et matrices diverses.

La plateforme est située sur le campus Triolet de l'Université de Montpellier et elle est organisée en deux pôles : le Pôle Terre, Matériaux, Organismes (TMO), situé au bâtiment 22 de l'Université de Montpellier et le Pôle Eaux, Environnement, Santé (EES) situé au bâtiment 39 de l'Université de Montpellier, chaque pôle étant placé sous la responsabilité scientifique d'un chercheur et sous la responsabilité technique d'un ingénieur (IR). La plateforme, ouverte aux utilisateurs de l'OSU et aux utilisateurs extérieurs du secteur public ou privé, fonctionne via un système de ticket modérateur, afin d'assurer le bon fonctionnement et le développement de la plateforme en autonomie financière. Ce ticket modérateur varie en fonction de l'origine des demandeurs : universitaires et chercheurs de l'Université de Montpellier, universitaires et chercheurs extérieurs, entreprises, etc.

Le personnel technique affecté à la PF AETE-ISO (de 20% à 100% de temps plein) représente actuellement 4.5 ETP, réparti sur 5 agents (ITA/BIATSS).

De juin 2014 à juin 2019, la production scientifique en lien avec les analyses réalisées sur la plateforme AETE-ISO de l'OSU OREME correspond à 164 articles dans des journaux scientifiques de rang A, 184 communications dans des congrès nationaux et internationaux et 39 thèses de doctorat.

**Perspectives :** Le renouvellement du spectromètre de masse à Haute Résolution (HR-ICP-MS) est une priorité instrumentale de la plateforme AETE-ISO pour le mandat 2021-2025. Daté de 2007, cet appareil est utilisé de façon intensive en couplage avec un système d'ablation laser pour les analyses ponctuelles in-situ nécessitant la caractérisation chimique et isotopique des matériaux avec une résolution spatiale de quelques dizaines de microns. Son renouvellement s'inscrit dans le maintien des meilleures conditions analytiques proposées aux différents utilisateurs.

La priorité RH de la plateforme AETE-ISO, est mise sur le recrutement d'un ingénieur d'étude, spécialiste de la mesure des isotopes stables légers par IRMS, afin de permettre une prise en charge optimale des demandes d'analyses sur ces équipements ainsi que le développement de nouvelles applications.

Les instruments de la plateforme sont actuellement implantés sur deux sites distincts du campus Triolet de l'Université de Montpellier. Le projet de déménagement des locaux OSU vers un site unique et bien identifié (Projet HydroPolis) permettra, à l'horizon 2022-2023, le regroupement de l'ensemble des équipements de la PF AETE-ISO sur un seul site de 400m<sup>2</sup>, facilitant ainsi son utilisation, et augmentant sa visibilité et donc son attractivité.

### La plate-forme Système d'Information (<https://oreme.org/plateformes/si/>)

La plateforme Système d'Information (SI) apporte le soutien nécessaire au stockage, à la gestion, à la dissémination et au recoupement des données d'observation produites par l'Observatoire dans le cadre de sa mission d'observation. Elle s'adresse aux porteurs et aux acteurs des Services d'Observation (SO) opérés par l'OSU, et notamment ceux dont l'Observatoire est porteur au plan national (ex : SNO Karst).

Basée dans les locaux de l'UMS OREME, et opérée par deux ingénieurs informaticiens (1 IR et 1 IE BAP E), la plateforme SI œuvre à la mise en place de solutions conformes aux normes et standards en vigueur, rendant les données produites interopérables avec les systèmes d'information mis en place au niveau national et international dans le respect des principes FAIR et des directives nationales (Loi numérique) et internationales (INSPIRE). Le rôle de la PF SI est ainsi de créer des outils de valorisation et de diffusion des données confiées, dans le but de maximiser leur utilisation par des publics variés (recherche, collectivités, sciences participatives, grand public) en apportant fiabilité et réelle plus-value aux données des SO de l'OSU (structuration, normalisation, outils de gestion, outils d'acquisition, ...).

Le Système d'Information repose sur une infrastructure matérielle, actuellement correctement dimensionnée, permettant d'assurer le stockage, la sauvegarde et la diffusion des données d'observation, et se composant de deux serveurs de virtualisation (DELL PowerEdge R610 et DELL PowerEdge R730), de deux baies de stockage (baie IBM DS3512 d'une capacité de 36 To bruts et baie DELL MD3800f + extension MD1200, d'une capacité de 146 To bruts), et d'un robot de sauvegarde sur bande (DELL PowerVault ML3 - LTO7). L'ensemble de l'infrastructure est connecté sur un réseau de type fibre optique et est ainsi accessible par les unités partenaires de l'OSU.

La plateforme met à disposition les données et outils associés de l'ensemble des Services d'Observation de l'Observatoire à travers son portail de données (<https://data.oreme.org>). Les données gérées sont de nature variées (ex. séries temporelles, catalogues, images, ...) et elles sont présentées via des graphiques, des cartes ou autres types de représentation. Leur téléchargement direct s'opère depuis le portail de l'OSU, avec éventuellement des restrictions d'accès (ex : authentification). La PF SI assure aussi le contrôle qualité de la diffusion des données (absence de coupure, détection de données non cohérentes, ...) à l'aide de mécanismes de surveillance et d'outils de validation.

La plateforme applique ses services sur une quarantaine de bases de données de l'observatoire dans différents domaines : écologie, hydro et géo-physique, biologie, .... L'étendue des services déployés dépend du niveau de prise en charge par la plateforme. Ainsi, une quinzaine de bases de données (dont la base de données nationale du SNO Karst) sont entièrement prises en charge (acquisition, stockage, visualisation, téléchargement, outils de gestion, etc...) et les autres bases bénéficient seulement de certains services notamment grâce au service d'intégration de bases de données externes.

Les personnels de la PF SI ont également en charge la gestion du site web institutionnel de l'OSU (<https://oreme.org/>). Ils se sont surtout particulièrement investis depuis 2015 (en collaboration avec les OSU Pythéas, OSUG et OMP) à la création et au développement du réseau technologique SIST (Séries Interopérables et Systèmes de Traitements) des informaticiens gestionnaires de données d'observation. Membres du comité de pilotage du réseau, les 2 personnels de la plateforme SI ont organisé trois séminaires (2015, 2016 à Montpellier, 2018) et deux Actions Nationales de Formation (2017 et 2018) prenant en charge une partie des travaux pratiques. La plateforme SI de l'OSU OREME a également œuvré pour la reconnaissance du réseau auprès de l'INSU (labellisation en tant que réseau technologique en 2016), de l'Infrastructure de Recherche "Sciences du Système Terre et Environnement" (Terra Data) et des pôles de données associés, qui sont ses financeurs.

**Perspectives** : Si l'infrastructure matérielle de la PF SI est actuellement correctement dimensionnée, il faudra toutefois envisager une opération de jouvence vers 2023 (pour un coût estimé de 30K€). Aux alentours de cette même échéance interviendra le transfert des PF de l'OSU dans ses nouveaux locaux, et une réflexion doit être menée (avec l'UM et le CNRS) pour assurer le déménagement de la PF SI sur un nouveau site, dans les meilleures conditions de (quasi) continuité de service.

L'augmentation du périmètre de l'OREME, au cours du mandat (2015-2020), avec l'entrée récente de deux nouvelles UMR (TETIS et G-EAU), et la création de nouveaux services et tâches d'observation, à l'issue de l'exercice d'évaluation interne entrepris en 2018 conduit inévitablement à des demandes de prise en charge de nouvelles bases de données (potentiellement 15 à 20 bases supplémentaires).

La prise en charge des nouvelles bases de données de l'OSU OREME doit absolument se poursuivre, et pour cela, la capacité d'action du SI doit impérativement être rapidement renforcée par l'arrivée de personnels supplémentaires. Le recrutement de deux ingénieurs paraît nécessaire pour mener à bien, dans une équipe étoffée, toutes les missions de la PF : un pour le développement, la maintenance et la sécurité des sites web (mission aujourd'hui assurée par les deux ingénieurs BAP E du service au détriment de leur mission première) ; un autre pour soutenir l'effort de gestion des bases de données.

## Le service de gestion et d'administration de l'OREME

Ce Service repose actuellement sur deux personnels permanents et un CDD. Il s'appuie également sur une responsable administrative déléguée à la Station Marine à Sète. Il assure avec beaucoup de compétence et une très forte implication l'ensemble des opérations de gestion des crédits mais il va bien au-delà en assurant aussi les tâches relevant actuellement des aspects Ressources Humaines, administratifs et réglementaires.

L'apport du Service au bon fonctionnement de l'OSU est absolument considérable tant pour ce qui est du quotidien que de la gestion des plates-formes ou de la capacité à dialoguer avec l'ensemble des tutelles et leurs services administratifs et gestionnaires.

La gestion qui lui est aujourd'hui demandée dépasse largement les seules dotations annuelles des tutelles de l'OREME pour intégrer, par exemple, et à la demande des mêmes tutelles, celles du GIS IM2E et de la KIM WATERS MUSE ou pour servir de point d'appui à des Infrastructures nationales (gestion de l'Infrastructure Terre de 2018 à 2019). Les éléments présentés dans la partie « Budget » de ce document mettent bien en évidence cet accroissement de la masse budgétaire à gérer. Parallèlement, la complexité des systèmes de gestion et la multiplication du nombre de SO et de TO rendent ce travail lourd et exigeant. Pour accompagner le développement rapide de l'OREME, il est absolument nécessaire de renforcer les moyens humains de son Service de gestion et d'administration.

Ceci passe par le recrutement dans les meilleurs délais *a minima* d'un personnel de gestion supplémentaire.

## **L'OREME, partenaire des formations**

Le cas de l'OSU OREME est un peu particulier en ce sens que, par construction, suite à une décision prise à l'époque par le CA de l'Université Montpellier 2 (aujourd'hui fusionnée au sein de l'Université de Montpellier), il n'est pas autorisé à porter des formations.

L'OREME, actuellement Composante de l'UM, Ecole Interne par son Statut d'OSU, ne porte toujours pas de formations. Il s'agissait d'une condition *sine qua non* émise par le CA de l'UM2 en 2009 à la création de l'OSU. L'objectif visé par cette interdiction était de préserver la structure de l'UM2 de l'époque qui voyait l'UFR « Faculté des Sciences » (FdS) porter l'ensemble des Licences et Masters de l'université. La fusion de l'UM1 et de l'UM2 pour donner naissance à l'Université de Montpellier en janvier 2015 n'a rien changé à ce sujet pour le moment.

Néanmoins, lors de la révision des Statuts de l'OREME, nous avons pris soin de mentionner que, si l'OREME ne pouvait porter des formations, il pouvait en être un partenaire.

Et, de fait, en 2016, l'OREME a eu l'opportunité d'apporter sa contribution à des Ecoles de terrain basées sur l'observation et portées par les Masters FdS en sciences de l'eau et en sciences de la Terre. D'autres priorités budgétaires ne nous ont pas permis de renouveler l'expérience ensuite mais la porte n'est évidemment pas fermée à ce sujet.

Parallèlement, les fiches complètes préparées par les responsables des SO (voir en Annexes) montrent que les SO et leurs sites instrumentés servent de support pédagogique, notamment à travers des stages au financement desquels l'OREME contribue. Cette contribution est importante en ce sens qu'elle sensibilise les étudiants à l'observation, à la nécessaire collecte des données sur le terrain et à leur interprétation.

En outre, bon nombre de thèses de doctorat préparées dans les UMR membres de l'OREME s'appuient sur les sites d'observation des SO et des TO et utilisent les données collectées et bancarisées au sein du Système d'Information. L'OREME joue alors un rôle essentiel dans le cadre de la formation à la recherche par la recherche.

Par ailleurs, son implication sétoise via la Station Marine a positionné l'OSU comme un partenaire de la formation dans l'écosystème et les projets du domaine portés par la ville de Sète et Thau Agglo. L'OREME est un acteur du prochain Forum Formation organisé en lien avec l'IUT de Sète (rattaché à l'UM) et fait partie du tour de table qui réfléchit et travaille à l'élaboration d'un projet « enseignement supérieur » à fort tropisme marin.

## **L'OREME en interaction avec son environnement**

L'OREME est un acteur ouvert sur son environnement tant académique que non académique.

Sur le plan académique, sa pluridisciplinarité est un atout qui le place à l'interface de nombreuses communautés : biodiversité, géosciences, eau, astronomie, etc. C'est un atout encore insuffisamment exploité et qui devra l'être de manière plus importante dans les années qui viennent. L'objectif devrait être de construire de vraies transversalités porteuses d'interdisciplinarité susceptibles de permettre les approches intégrées indispensables dans le cadre des problématiques environnementales. A ce titre, l'OREME apparaît localement comme un fédérateur pertinent des activités des équipes INSU et INEE.

Les plates-formes que gère l'OSU sont également des outils d'ouverture. Tant AETE-ISO que MEDIMEER, par exemple, concernent des communautés scientifiques variées et nombreuses contribuant ainsi à faire de l'OREME un acteur de référence local et régional.

Les Journées d'animation et les « Apéros techniques » organisés par l'OSU sont ouverts et donnent lieu à des collaborations et à des interactions entre communautés scientifiques et/ou entre spécialistes d'un domaine technique particulier. Ce sont des événements importants pour affirmer l'OSU en tant que partenaire et acteur scientifique et technique.

Sur le plan non académique, l'OSU a développé un réseau de contacts avec les acteurs institutionnels tels que les collectivités. Mais il a aussi pris soin de développer un réseau au sein de la sphère socio-économique à travers des participations à des Salons professionnels (HydroGaïa) et des rencontres avec de nombreuses entreprises, notamment dans le domaine biologique et marin. Dans ce secteur en particulier, la Station Marine et la plate-forme MEDIMEER constituent des éléments de forte attractivité et la liste est longue des entreprises avec lesquelles des contacts ont été établis, des prestations signées ou des collaborations envisagées à l'avenir : Comité Régional Conchylicole de Méditerranée Mèze, Syndicat Autonome Patrons Pêcheurs Sète, NOVAPHARM, Bio UV, BIOSCIENCIA, ASCONIT, BIOSTREA, Ecloserie Conchylicole Frontignan, MUREX – Fondation Tyr – Liban, NASSE-MUREX (Agde), etc.

Plus récemment, l'OREME a choisi de s'inscrire dans une démarche de science citoyenne et de science participative. L'organisation, en collaboration avec le LabEx CEMEB et la KIM WATERS MUSE, de la Journée d'animation scientifique sur les sciences participatives a souligné combien cette approche était déjà une réalité au sein de nombreux des SO et TO de l'OREME. Il conviendra de poursuivre dans cette direction durant les années à venir.

## **L'OREME : Gouvernance et animation**

Conformément à ses Statuts, l'OREME s'appuie sur deux Conseils : (i) le Conseil Scientifique et Technique (CST) qui a pour mission de travailler plus directement sur le fonctionnement et le quotidien des activités de l'OREME et (ii) le Conseil d'Administration (CA) qui a, quant à lui, un regard plus institutionnel et plus stratégique.

Le CST permet une représentation à parts égales de chacune des UMR membres de l'OREME sur la base d'un représentant chercheur ou enseignant-chercheur et d'un représentant ITA par UMR. Siègent également les responsables des plates-formes, les représentants des doctorants, l'équipe de direction et les Directeurs d'Unités. Le CST se réunit 3 à 4 fois par an. Le Bureau du CST, émanation de 6 de ses membres auxquels s'ajoute l'équipe de direction, se réunit plus souvent pour traiter des dossiers nécessitant un arbitrage rapide et préparer les dossiers qui seront examinés en plénière par le CST. Le Bureau s'est également saisi, de fait, de la question de l'animation et de l'organisation des événements particuliers. C'est le cas, par exemple, de l'organisation de la Journée prévue en octobre 2019 afin de célébrer les 10 ans de l'OREME.

Le CA, actuellement présidé par Yves Gaudemer (Professeur à l'IPGP), est composé de représentants élus des personnels des Unités et des doctorants, de personnalités extérieures issues *pro parte* du monde académique et *pro parte* de la sphère socio-économique, et des représentants des tutelles et de la Région Occitanie. Le CA se réunit en session ordinaire 2 fois par an.

L'équipe de direction est composée du directeur, de 3 directeurs adjoints et de la responsable administrative de l'OREME.

Dans le cadre des nouveaux Statuts, plusieurs Commissions ont été mises en place (SO, SI, H&S, Animation). Parallèlement, force est de reconnaître que les premières années du mandat en cours se sont focalisées sur de nombreux et profonds réaménagements de la structure et de son fonctionnement global, sur son repositionnement et son ouverture, sur la restructuration de ses plates-formes et l'adaptation de ses moyens, etc. Il en est résulté une attention insuffisante portée à ces Commissions qui ont eu du mal à trouver parfaitement leur place au sein de l'organigramme fonctionnel de l'OREME. Leur faire jouer pleinement leur rôle sera l'un des enjeux des années à venir.

L'UMS OREME, quant à elle, au vu du nombre relativement limité des personnels qui lui sont rattachés, a choisi de fonctionner sur la base d'une AG de ses agents 2 fois par an plutôt que dans le cadre d'un Conseil d'Unité. Une convention d'UMS signée par toutes les tutelles a été mise en chantier en mai 2017 et devrait être signée par tous les partenaires d'ici à l'automne 2019.

## 2) ANALYSE SWOT

FORCES	<p>OSU Pilote de 3 SNO INSU importants au niveau national.</p> <p>OSU Partenaire de plusieurs SNO INSU importants au niveau national.</p> <p>OSU pluridisciplinaire avec un poids important en géophysique/eau et environnement/biodiversité.</p> <p>OSU déployé de façon significative sur une série de thématiques clefs.</p> <p>OSU en appui et en interaction avec des UMR aux compétences reconnues sur les problématiques de suivi à long terme.</p> <p>Tous les Services d'Observation ont fait l'objet d'une évaluation interne récente. Ils sont en ordre de marche et structurés autour des Tâches d'Observation qu'ils portent. Travail d'évaluation qui leur donne structuration et visibilité.</p> <p>Rayonnement international (observations sur sites et chantiers internationaux) permettant l'instrumentation de sites à l'étranger (partenariats internationaux à travers programmes et structures collaboratives/fédératives...)</p> <p>Plateformes technologiques structurées, équipées et actives (Plateforme de géochimie AETE-ISO, Plateforme MEDIMEER). Equipements de haut niveau (financements CPER).</p> <p>Système d'Information actif et riche de données. Atout stratégique pour l'OSU.</p> <p>OSU pluri-tutelles et rôle stratégique local accru (arrivée en 2016 de 2 UMR et de la tutelle IRSTEA).</p> <p>Equipe de direction scientifiquement et thématiquement complémentaire.</p> <p>Personnel de l'OSU très impliqué.</p> <p>Actions d'animation de l'OSU en interne et vers l'extérieur (tutelles, grand public).</p>	FAIBLESSES
	<p>Faible effectif en propre, ce qui conduit à s'appuyer sur des compétences externes non maîtrisées.</p> <p>Absence de soutien en moyens humains et financiers de la part de l'INEE alors que la dimension écologie/biodiversité est majeure au sein de l'OSU OREME.</p> <p>Faiblesse du nombre de postes CNAP affectés à l'OSU (4 seulement pour OREME et relevant tous du secteur Astronomie/Astrophysique). Et donc aucun poste CNAP en place sur l'un des axes importants de l'OSU : la géophysique.</p> <p>OSU au rôle fortement minoré dans le domaine de la Formation par décision initiale du CA de l'UM2 au moment de sa création. Ce qui ampute l'OREME d'une partie des actions qu'il pourrait mener en tant que « Ecole Interne ».</p> <p>Interactions sans doute encore trop limitées thématiquement avec l'I-SITE MUSE.</p> <p>Succession du directeur actuel à faire émerger pour tuilage en fin de mandat 2021-2025</p>	

**OPPORTUNITES**

Contribuer à la dynamique scientifique à l'interface INSU/INEE sur l'observation du milieu à long terme dans le contexte des changements globaux.

Etre à l'origine de structurations au niveau national dans le domaine de l'écologie et de la biodiversité par un soutien à une dynamique bottom-up, par exemple sur les suivis de populations (actuellement à l'OREME : 17 Tâches d'Observation dans le Service d'Observation Ecologie des Populations)

Projet de bâtiment HydroPolis sur le Campus de l'UM qui permettra d'y regrouper les locaux de l'OSU et la plateforme de géochimie AETE-ISO actuellement répartie sur plusieurs bâtiments, ce qui nuit à sa valorisation optimale.

Rôle et développement de la Station Marine de l'Université selon plusieurs directions : scientifique, formation, culture scientifique.

Perspective d'une Zone Atelier « Petits Fleuves Côtiers Méditerranéens » qui intégrerait plusieurs sites d'observation de l'OREME.

Possibilités de connexions et d'interactions thématiques au sein de la Région Occitanie avec l'OMP à Toulouse.

Déséquilibre patent dans la gestion des ressources INSU – INEE et ne correspondant pas à la réalité thématique de l'OSU OREME.

Des Services d'Observation et des Tâches d'Observation parfois difficiles à conduire sans postes affectés en propre à la structure : faiblesse du nombre de postes CNAP, pas de postes INEE, pas de postes IRD et IRSTEA.

Difficultés à se projeter à l'international compte tenu de la faiblesse des moyens humains affectés.

Difficulté potentielle à faire vivre scientifiquement ce qui ne serait pas directement connecté avec les 3 piliers de MUSE.

**MENACES**

## Projet pour la période 2021-2025

Le projet de l'OSU pour la période 2021-2025 s'inscrit, bien évidemment, en lien avec les missions qui sont les siennes et qui sont rappelées ci-dessous :

- Soutenir l'activité ou le développement d'observations systématiques,
- Élaborer des bases de données environnementales,
- Encourager la mutualisation des moyens analytiques et des savoir-faire,
- Constituer le relais local des réseaux nationaux et internationaux d'observations,
- Jouer pleinement son rôle de partenaire des formations.

Le tout dans un contexte visant à favoriser la transversalité ainsi que la pluri et l'interdisciplinarité de manière à valoriser au mieux la richesse disciplinaire qui est la sienne et qui voit cohabiter les grands domaines scientifiques des sciences de l'univers, de l'écologie et de la biodiversité.

Deux autres lignes directrices définissent le cadre global de notre action durant le prochain contrat quinquennal :

- Le soutien aux Services et aux Tâches d'Observation qui sont l'expression du métier premier de l'OREME, comme de tous les OSU, à savoir l'observation systématique et de long terme selon des procédures établies et validées. Le projet « 2021-2025 » ne dérogera en rien à cette règle absolue qui est de contribuer à faire en sorte que l'observation soit au centre du dispositif à travers des financements (dans la mesure des moyens de l'OREME), des accès à des moyens techniques, des procédures d'évaluation, etc.
- La stabilisation, le renforcement et le développement des plates-formes technologiques et des moyens propres de l'OREME. Les plates-formes qui constituent AETE-ISO, MEDIMEER et, à sa manière, le SI ou encore la Station Marine sont des piliers pour développer l'activité de l'OSU et étayer les actions qu'il mène. Le projet « 2021-2025 » visera donc à renforcer leurs moyens tout en les rendant plus accessibles, y compris à la sphère privée. Parallèlement l'indispensable Service de gestion et d'administration devra également être préservé et renforcé pour conférer une stabilité à l'ensemble du dispositif OREME.

Fort de ses atouts et en lien avec ses lignes directrices, le projet de l'OREME peut se décliner en plusieurs points majeurs décrits ci-dessous.

- **Soutien aux Services d'Observation (nationaux et locaux) existant aujourd'hui** de manière à leur permettre d'accomplir leurs missions et d'atteindre leurs objectifs. Ces Services ont fait l'objet d'une évaluation entre juillet 2017 et février 2018. Ils ont été, pour certains, redéfinis, pour d'autres, fusionnés ou réorganisés. *In fine*, l'OREME présente aujourd'hui une cartographie claire de ses activités en matière d'observation qu'il s'agisse d'implications au niveau national (SNO INSU) ou d'initiatives locales. Ce travail et cette réalité représentent un acquis qu'il convient de préserver et qui constitue, *de facto*, le socle sur lequel viendront prendre appui les autres points du projet et les actions menées par l'OREME. A cette fin, les perspectives énoncées par les SNO et SO dans les pages ci-dessus constituent un ensemble d'orientations et de chantiers auquel l'OSU pourra et devra contribuer dans la mesure de ses moyens.
- S'il existe une culture de l'observation et de sa codification/normalisation au sein de la communauté INSU, tel n'est pas encore le cas au sein de la communauté INEE dans les domaines de l'écologie et de la biodiversité. Et pourtant, l'Appel à propositions de nouveaux SO/TO mené entre juillet 2018 et février 2019 a montré une réelle dynamique et un fort intérêt de cette communauté pour une labellisation et une reconnaissance des Tâches d'observation qu'elle porte. En référence à cette déjà très forte et très significative participation de la communauté « écologie/biodiversité » à l'OREME, celui-ci affichera clairement dans son projet « 2021-2025 » la volonté de **contribuer à la dynamique de la structuration de services d'observation à long terme en écologie et biodiversité** au niveau national, en s'appuyant sur ce qui existe déjà au sein de l'OSU dans les domaines des communautés et des populations animales et végétales.

- **S'appuyer sur la pluridisciplinarité de l'OSU pour renforcer les approches transversales et interdisciplinaires.** La richesse de l'OSU est en particulier de pouvoir afficher un grand nombre de domaines scientifiques. Il faut en tirer bénéfice et, pour cela, travailler à tisser des liens entre les communautés scientifiques (écologie, biodiversité, sciences de l'univers) afin qu'elles travaillent ensemble à construire des approches pluri et interdisciplinaires suffisamment intégratrices pour mettre en évidence des signaux et des corrélations qui ne l'étaient pas au préalable. Il y a eu, notamment avant 2015, des tentatives pour faire émerger au sein de l'OREME des « Chantiers pluridisciplinaires », mais sans succès jusqu'alors. Durant le quinquennal 2021-2025, il faudra faire émerger des « lieux » de pluri et d'interdisciplinarité qui pourront prendre des formes diverses : sites d'observation partagés, commission interdisciplinaire, ateliers méthodologiques, ... L'enjeu est important, a fortiori dans le contexte du changement climatique et des besoins d'observation, d'analyse, de modélisation et de remédiation qu'il génère.
- **Lancer une nouvelle évaluation des SO/TO et un Appel d'offres pour de nouveaux SO/TO en seconde partie du mandat 2021-2025.** Le travail réalisé de juillet 2017 à février 2018 pour évaluer le dispositif d'observation existant puis de juin 2018 à février 2019 pour recevoir des propositions de nouveaux SO/TO s'est révélé extrêmement utile et fructueux. Il a tout d'abord permis de clarifier et d'optimiser le dispositif d'observation de l'OREME avant, ensuite, d'ouvrir la porte à de nouvelles propositions (nombreuses comme on l'a vu plus haut) reflétant une vraie dynamique « observations » au sein de la communauté montpelliéraine et la volonté de s'inscrire dans un collectif dédié et structurant. Le bilan de ce double exercice est donc extrêmement positif, bien que très chronophage. Prévoir de le renouveler désormais de manière systématique une fois par mandat c'est se donner l'assurance, d'une part, de conserver un dispositif adapté, dynamique et productif et, d'autre part, d'ouvrir régulièrement la porte à de nouveaux projets en lien avec des questionnements scientifiques qui évoluent. Un processus équivalent à celui qui a été mené en lien avec le CST sera donc lancé à nouveau au printemps 2022.
- **Poursuivre le travail de positionnement et d'intégration de l'OSU sur le site montpelliérain.** L'ensemble du travail accompli durant le mandat qui s'achève (statuts, séparation des Conseils, renforcement des plates-formes, Journées d'animation ouvertes, etc.) a contribué à renforcer le positionnement de l'OSU OREME sur le campus et le site montpelliérain. Il faut poursuivre ce travail en faisant de l'OREME un acteur scientifique et d'animation scientifique en interaction avec les autres structures, type LabEx par exemple. Et, surtout, dans la perspective souhaitée d'une prolongation du projet d'I-SITE MUSE, il faudra renforcer et développer les interactions avec MUSE en particulier dans la capacité de l'OSU à être un acteur de transversalité scientifique et d'ouverture vers la sphère socio-économique.
- **Ouvrir l'OSU sur la science citoyenne et participative.** L'organisation, en collaboration avec le LabEx CEMEB et la KIM WATERS MUSE, de la Journée d'animation scientifique sur les sciences participatives a souligné combien cette approche était déjà une réalité au sein de nombreux des SO et TO de l'OREME. Récemment, par exemple, la TO « Impact des haies arborées sur la qualité de l'air » au sein du SO « Observatoire des communautés végétales » s'est entièrement construite sous la forme d'une recherche participative avec des associations citoyennes des communes de Mauguio et de Saint-Aunès. A l'évidence, donc, cette dimension de science citoyenne et de science participative est une réalité qu'il faut aujourd'hui accompagner et encadrer dans un souci de bénéfices mutuels entre scientifiques et société civile. L'OREME cherchera à développer ce type d'actions dans le cadre de son projet « 2021-2025 ». L'Observatoire se positionnera alors dans un indispensable rôle d'interface entre la science et les citoyens.
- **Réussir le déménagement de l'OSU du Campus Triolet vers le Campus Pharmacie pour y intégrer le bâtiment HydroPolis.** HydroPolis accueillera les locaux de l'OSU à l'horizon de l'automne 2022. Ce projet immobilier, financé dans le cadre du CPER, prévoit des bureaux et des locaux techniques à destination de l'OREME. C'est une réelle opportunité d'offrir aux personnels de l'OREME des locaux confortables et adaptés sur une superficie plus importante qu'à l'heure actuelle. Ce déménagement devrait également permettre d'accroître la visibilité de l'OSU à travers la mise à disposition de ces locaux. L'autre opportunité offerte par ce transfert vers HydroPolis est celle de pouvoir enfin regrouper en un même lieu les différents équipements de la plate-forme AETE-ISO. Ceci ouvrira des perspectives scientifiques particulièrement intéressantes du fait de couplages possibles entre appareils. En outre,

AETE-ISO regroupée en un même lieu verra sa visibilité et son accessibilité fortement accrues ce qui contribuera à ouvrir plus largement la plate-forme aux autres communautés scientifiques et à la sphère socio-économique. Un point de vigilance : le déménagement des équipements de la plate-forme AETE-ISO sera coûteux et doit donc pouvoir être accompagné et anticipé.

- **Stabiliser la plateforme de géochimie par le recrutement d'un personnel dédié aux équipements de type IRMS.** La plate-forme AETE-ISO constitue aujourd'hui, grâce aux financements CPER, un ensemble d'équipements de très haut niveau au bénéfice de la communauté scientifique et d'acteurs de la société civile. Elle est très diversifiée en matière d'analyses réalisables. Cependant, aucun personnel spécialisé n'est aujourd'hui disponible et affecté aux IRMS qui ont été installés à l'automne 2018. Aucune solution viable et efficace n'a pu être trouvée avec les UMR membres de l'OREME et potentiellement utilisatrices de ces équipements. Il est donc impératif de pouvoir rapidement recruter au minimum un personnel technique qui serait dédié aux IRMS (ingénieur d'étude, spécialiste de la mesure des isotopes stables légers par IRMS). C'est la garantie d'une utilisation optimale de ces appareils de haut niveau et cela constitue un autre point de vigilance pour le projet « 2021-2025 ».
- **Poursuivre la structuration de la plateforme MEDIMEER.** L'objectif est de contribuer à renforcer la reconnaissance nationale et internationale de MEDIMEER. Le transfert des cuves supplémentaires depuis le Campus Triolet vers la Station Marine est en cours, avec l'objectif de disposer alors de mésocosmes à terre permettant une pleine exploitation du potentiel de MEDIMEER. Néanmoins, et comme vu précédemment, il est aujourd'hui absolument indispensable d'obtenir un recrutement d'au moins deux personnels techniques pour venir en appui à la petite équipe travaillant actuellement sur la plate-forme. Exploiter le potentiel que représente MEDIMEER et lui donner toute la visibilité méritée passe par là. C'est là aussi un autre point de vigilance pour le projet « 2021-2025 ».
- **Renforcer le Système d'Information.** C'est aujourd'hui une obligation au vu du développement qu'a connu l'OREME ces dernières années. L'accroissement du nombre de SO et de TO conduit à une très forte sollicitation du Système d'Information et des deux ingénieurs qui en ont la charge. La qualité du travail qu'ils fournissent et leur implication ont généré beaucoup d'interaction avec les porteurs des SO et des TO. La qualité du site web de l'OREME et du portail des données sont des éléments forts de visibilité et d'attractivité pour l'OREME. Renforcer et stabiliser le SI de l'OREME, une nécessité absolue, passe, comme vu précédemment, par le recrutement à terme de deux ingénieurs : l'un pour le développement, la maintenance et la sécurité des sites web et l'autre pour soutenir l'effort de gestion des bases de données. Cela constitue donc un nouveau point de vigilance pour le projet « 2021-2025 ».
- **Renforcer le Service de Gestion et d'Administration de l'OSU.** Ce Service repose actuellement sur deux personnels permanents et un CDD. Il assure les opérations de gestion des crédits mais il va bien au-delà en assurant aussi les tâches relevant actuellement des aspects Ressources Humaines, administratifs et réglementaires. La gestion qui lui est demandée dépasse largement les seules dotations annuelles des tutelles de l'OREME pour intégrer, par exemple, et à la demande des mêmes tutelles, celles du GIS IM2E et de la KIM WATERS MUSE ou pour servir de point d'appui à des Infrastructures nationales (gestion de l'Infrastructure Terre de 2018 à 2019). Il est indispensable de prévoir là aussi dans les meilleurs délais le recrutement d'un personnel de gestion supplémentaire. C'est un autre point de vigilance du projet « 2021-2025 ».
- **Développer le travail en Commission.** Plusieurs Commissions existent aujourd'hui (Animation, Observation, Système d'Information, H&S). Aujourd'hui, le bilan de leur fonctionnement n'est pas optimal. C'est le signe que, dans le cadre de l'organisation actuelle, elles n'ont pas réussi à trouver leur place. Pourtant, elles sont utiles à la vie et à l'animation de l'OREME. Il faut donc reconsidérer ces Commissions afin d'en adapter les périmètres et les fonctionnements pour qu'elles puissent apporter leur contribution au développement de l'OREME. La direction de l'Observatoire devra faire en sorte de mieux les intégrer au sein du dispositif fonctionnel global.
- Deux nouvelles UMR ont rejoint l'OREME au printemps 2016. D'autres Unités pourraient souhaiter faire de même durant le mandat 2021-2025. Il conviendra de mener une réflexion sur l'intérêt commun qu'il y aurait tant pour l'OREME que pour ces UMR à rejoindre l'Observatoire. Il est donc important de **réfléchir**

à l'opportunité de l'arrivée de nouvelles Unités en particulier avec certaines du domaine de la biodiversité avec qui de premières discussions ont eu lieu.

- **Dialoguer avec chacune des tutelles** afin que les moins engagées rejoignent la dynamique de soutien mise en place par les plus engagées et que cela se **traduise par une répartition équilibrée des moyens attribués**, condition *sine qua non* du développement et du succès de l'OREME.

Un point important pour le projet « 2021-2025 » est aussi le **changement de nom de l'OSU OREME**. Présentée lors de sa dernière réunion en mai 2019, cette proposition a reçu l'aval du Conseil d'Administration de l'OREME. En effet, initialement, l'OSU avait une vraie spécificité « Méditerranéenne » d'où le M de OREME. A l'heure actuelle, les choses ne sont plus les mêmes. Les actions que mène l'OREME et les sites d'observation qu'il soutient vont bien au-delà du seul Bassin Méditerranéen pour s'inscrire dans de nombreuses régions de la planète. Il a donc paru nécessaire de faire plutôt apparaître que l'OSU concernait l'ensemble de la communauté montpelliéraine à travers ses activités qu'une localisation géographique en particulier. C'est la raison pour laquelle le M de OREME signifiera désormais « Montpelliérain ». L'OREME sera donc à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2021 **l'Observatoire de Recherche Montpelliérain de l'Environnement (OREME)**.

L'équipe de direction dans son intégralité (directeur, directeurs-adjoints, responsable administrative) souhaite poursuivre son action dans la même configuration et en se basant sur un organigramme inchangé.

N.B. : les équipements à acquérir par les plates-formes ont été mentionnés dans les pages qui leur sont consacrées plus haut.

#### Date et signature du responsable de la structure

25 juin 2019



Eric SERVAT

## ANNEXES

Les fiches qui suivent sont celles directement fournies par les responsables des SNO et SO.

Elles comportent des informations supplémentaires par rapport au texte du document principal. Notamment, les moyens humains et financiers, les éléments mentionnés au regard de la formation ainsi que les publications produites à partir des travaux menés dans le cadre des SNO et SO et des données collectées.

**Les Services Nationaux d'Observation dont l'OREME est « Coordonnateur »**

## BILAN DU SNO RENAG – RESEAU NATIONAL GNSS

### 1- Présentation du SNO RENAG

#### Objectifs scientifiques

Le SNO RENAG était constitué jusqu'à très récemment uniquement de sites équipés de récepteurs GNSS permanents avec pour objectifs scientifiques :

- l'observation et la quantification de la déformation lente sur le territoire métropolitain qu'elle soit d'origine interne (e.g. détachement d'ancien panneau plongeant de subduction) ou externe (e.g. érosion ou déglaciation). Des résultats nouveaux et inattendus ont été obtenus ces dernières années grâce à la stabilité et la pérennité des stations RENAG dans le temps. Ces résultats montrent une surrection crustale dans la partie centrale des Alpes allant jusqu'à 2mm/an

- la séparation des mouvements verticaux tectonique de ceux associés aux variations du niveau marin. RENAG est associé à SONEL pour cette thématique.

- l'étude de la vapeur d'eau dans la troposphère. Les sites RENAG ont été utilisés par exemple pour des études sur les événements pluvieux intenses cévenoles. Ils sont aussi utilisés de manière horaire pour être assimilé au modèle de prévision météorologique de MétéoFrance.

- l'étude des phénomènes transitoires liés aux surcharges océaniques, hydrologiques et atmosphériques.

- l'ensemble de ces études nécessite de développer des méthodes pour caractériser les mouvements très faibles, ce qui est fait aussi dans le cadre du SNO RENAG depuis 2 ans.

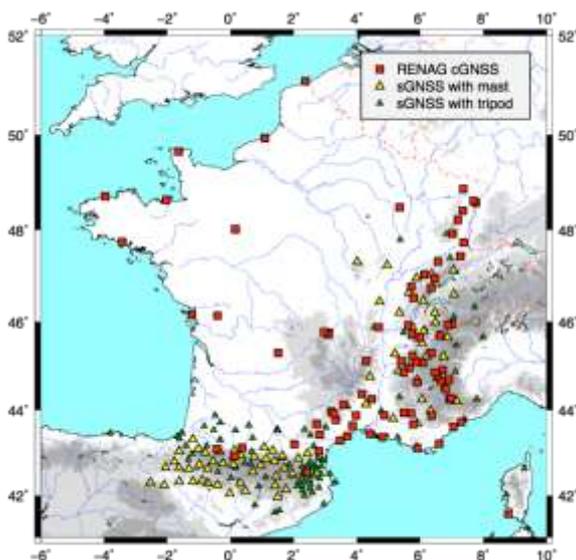


Figure 1 : carte du réseau GNSS du SNO RENAG. Les carrés rouges indiquent les sites permanents qui constituaient le réseau RENAG jusqu'en 2018 et les triangles jaunes indiquent les sites semi-permanents hérités des réseaux de campagne installés dans les années 90 et modifiés pour intégrer le RENAG avec l'aval de la CSNO depuis 2019.

#### Gouvernance

Le fonctionnement quotidien des stations GNSS est assuré par plusieurs centres opérationnels en France (l'OREME, l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble, l'École et Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg, l'Observatoire Midi-Pyrénées, l'Observatoire de la Côte d'Azur, l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand et l'École Nationale des Sciences Géographiques du Mans). D'autre part des partenariats avec des opérateurs privés permettent d'avoir accès aux données des sites GNSS de ces partenaires (Orphéon et SatInfo).

Depuis juillet 2017 la direction du SNO est assurée par P. Vernant (Géosciences Montpellier/OREME) après 2 mandats de 4 ans d'A. Walpersdorf (lSTerre, Grenoble). Le directeur est épaulé par un bureau dont les

membres actuels sont M. Vergnolle (Géosciences Azur), A. Santamaría-Gomez (GET), A. Socquet (ISTerre), T. Person (IGN), L. Rolland (Géosciences Azur), E. Doerflinger (GM), A. Rigo (ENS Paris).

Chaque année une assemblée générale a lieu au printemps. C'est l'occasion de discussions scientifiques, notamment sur la précision des mesures et des méthodes de traitement, ces discussions se font sous la forme de petits challenges scientifiques depuis l'arrivée de la nouvelle direction et vont donner lieu à des publications scientifiques dans les années à venir. C'est aussi lors de cette AG que les évolutions du réseau sont discutées et entérinées. Enfin c'est aussi cette AG qui choisit la personne qui sera proposée à l'INSU comme directeur du SNO avec un renouvellement tous les 4 ans

### Orientations à venir

La priorité principale du RENAG est de continuer à maintenir des sites permanent de référence dans le temps, mais aussi de densifier en partie la couverture dans certaines régions (Ouest de la France, Pyrénées), ainsi que d'intégrer des sites d'anciens réseaux de campagnes pour une remesure régulière. Ces données sont bien entendu à la disposition de toute la communauté, mais l'objectif pour RENAG est aussi de fournir des produits utilisables par tous, comme des séries temporelles disponibles sur le site du RENAG (<http://webrenag.unice.fr>), mais aussi d'ici peu un champ de vitesses et un champ de déformation validé par la communauté RENAG. RENAG est maintenant intégré dans EPOS (European Plate Observatory System) et les données GNSS européennes seront bientôt distribuées par un portail commun en partie développé par certains membres du RENAG à l'OCA. Un des deux centres de traitement de l'ensemble des données GNSS d'EPOS est l'OSUG, centre opérationnel de RENAG. Enfin, la possibilité de passer les stations RENAG en temps réel pour distribuer un flux Ntrip permettant de faire du GPS cinématique (RTK) de manière simple, fiable et peu coûteuse pour le monde de la recherche académique est à l'étude.

### Faits marquants

Ces dernières années, les données du RENAG ont permis de mettre en évidence une surrection des Alpes qui n'est pas associée à la convergence Afrique-Eurasie. Ces données ont permis d'alimenter de nouvelles pistes de compréhension de la sismotectonique en France (Vernant et al., 2013, Nguyen et al., 2016, Nocquet et al., 2016, Chéry et al., 2016, Mey et al., 2016, Masson et al., soumis, visible sur Solid Earth).

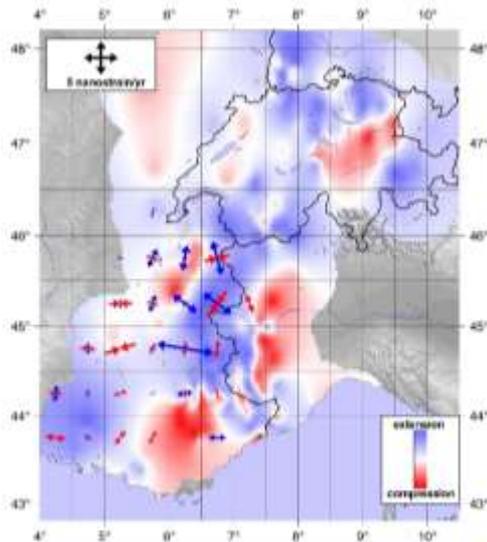


Figure 2 : tenseurs de taux de déformation dérivés des mesures GNSS (extension en bleu et compression en rouge). Les couleurs en arrière-plan indiquent le mode de déformation déduit des mécanismes au foyer de Delacou et al. (2004) (Walpersdorf et al., 2019).

### References :

- Chéry, J., Genti, M., & Vernant, P. (2016). Ice cap melting and low-viscosity crustal root explain the narrow geodetic uplift of the Western Alps. *Geophys. Res. Lett.*, 1–8. <http://doi.org/10.1002/2016GL067821>
- Delacou, B., Sue, C., Champagnac, J. D., & Burkhard, M. (2004). Present-day geodynamics in the bend of the western and central Alps as constrained by earthquake analysis. *Geophys. J. Int.*, 158(2), 753–774. <http://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02320.x>
- Masson, C., Mazzotti, S., Vernant, P., Doerflinger, E. (soumis).

Extracting small deformation beyond individual station precision from dense GNSS networks in France and Western Europe, *Solid Earth Discussions*, <http://doi.org/10.5194/se-2019-89>

Mey, J., Scherler, D., Wickert, A. D., Egholm, D. L., Tesauro, M., Schildgen, T. F., & Strecker, M. R. (2016). Glacial isostatic uplift of the European Alps. *Nature Communications*, 7, 1–9. <http://doi.org/10.1038/ncomms13382>

Nguyen, H. N., Vernant, P., Mazzotti, S., Khazaradze, G., & Asensio, E. (2016). 3-D GPS velocity field and its implications on the present-day post-orogenic deformation of the Western Alps and Pyrenees. *Solid Earth*, 7(5), 1349–1363. <http://doi.org/10.5194/se-7-1349-2016>

Nocquet, J. M., Sue, C., Walpersdorf, A., Tran, T., Lenôtre, N., Vernant, P., et al. (2016). Present-day uplift of the western Alps. *Scientific ....* <http://doi.org/10.1038/srep28404>

Vernant, P., Hivert, F., Chéry, J., Steer, P., Cattin, R., & Rigo, A. (2013). Erosion-induced isostatic rebound triggers extension in low convergent mountain ranges. *Geology*, 41(4), 467–470. <http://doi.org/10.1130/G33942.1>

Walpersdorf, A., Pinget, L., Vernant, P., Sue, C., Deprez, A., the RENAG team, (2019), Does Long-Term GPS in the Western Alps Finally Confirm Earthquake Mechanisms ? <https://doi.org/10.1029/2018TC005054>

## BILAN DU SNO KARST – SERVICE NATIONAL D'OBSERVATION DU KARST

### 2- Présentation du SNO

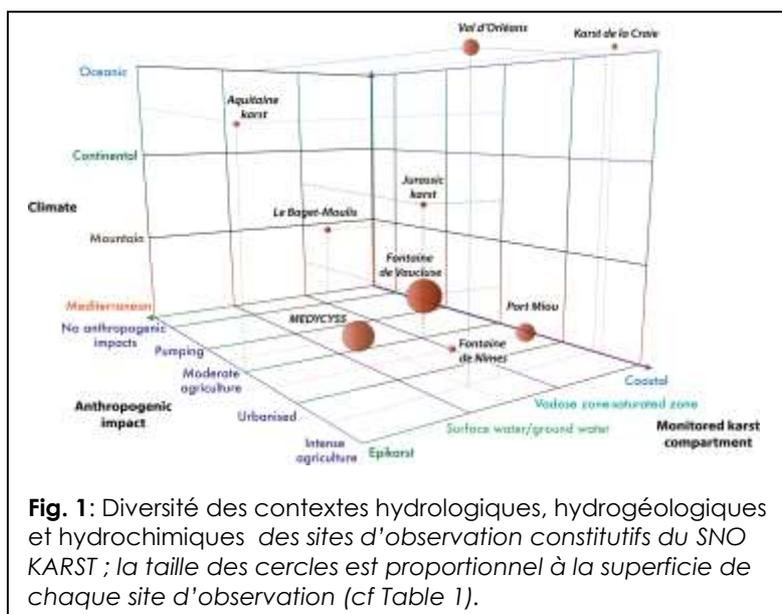
#### Introduction

Le SNO KARST a pour ambition de faire émerger des questions et avancées scientifiques, spécifiquement en termes de modélisation des flux hydrogéochemiques à l'exutoire des hydrosystèmes karstiques, ou encore de liens entre changements globaux et composition physico-chimique des eaux à l'interface entre compartiments hydrologique et hydrogéologique. Une attention particulière est portée sur le lien données-modèles afin, d'une part, de mieux comprendre la physique et la chimie du milieu et, d'autre part, d'enrichir la capacité des modèles à reproduire les variations de flux et de matières.

On peut également noter que les roches carbonatées qui hébergent les systèmes karstiques sont des matériaux éminemment "fragiles" à l'érosion et l'altération, et que ces mécanismes sont eux-mêmes très conditionnés par les modifications attendues du climat, du régime hydrologique et pluviométrique. Ceci rend les karsts encore plus vulnérables sur des échelles de temps assez courtes, caractéristique en général moins prégnante dans les hydrosystèmes classiques plus profonds ou de dynamique hydrique plus lente.

L'aspect transfert de matière et participation aux grands cycles biogéochimiques est également une préoccupation forte de ce SNO, et ce d'autant plus que la vulnérabilité des systèmes karstiques aux modifications des conditions aux limites en surface est forte.

#### Les différents sites d'observation



L'ensemble des sites d'observation du SNO KARST (Fig. 1) constitue un panel représentatif des différentes typologies d'environnements carbonatés karstiques : sites en climat méditerranéen, océanique ou continental, avec ou sans régime nival, en domaine purement continental ou en zone littorale, comportant un épikarst très développé ou des formations de couverture non carbonatées.

De par la diversité des contextes climatiques, lithologiques, structuraux physiographiques et anthropiques, spécifique à ces sites (Fig. 1), leur étude collaborative au sein du SNO est un atout pour dégager de grands traits caractéristiques communs des environnements karstiques, notamment en termes de réponse aux changements globaux (Binet et al., 2018, Jourde et al., 2018, Massei et al., 2018). Le SNO KARST

permet ainsi d'encourager cet effort au-delà des activités des unités de recherche i) par une ouverture à l'ensemble de la communauté scientifique intéressé par ces objets d'étude, et ii) par le regroupement de la communauté scientifique autour de la problématique du suivi à long terme.

#### Politique scientifique

La diversité des sites-ateliers du SNO KARST et des méthodes d'analyse et de modélisation, appliquées dans le cadre d'un suivi spatiotemporel multi-échelles de l'hydrodynamique et de l'hydrochimie, ont pour objectif de permettre une meilleure caractérisation des processus physiques contrôlant les écoulements et le transport dans le but d'une meilleure compréhension et modélisation de la réponse hydrologique de ces hydrosystèmes complexes, notamment aux exutoires. Cette diversité permet de disposer de fenêtres d'observation et de mesure au niveau des différentes zones remarquables (Table 1) qui jouent un rôle essentiel dans la réponse hydrodynamique globale mesurée aux exutoires et les propriétés de transport des hydrosystèmes karstiques: sols, formations superficielles de couverture, épikarst, zone non saturée d'épaisseurs distinctes, forages dans les conduits, les fractures et au sein de blocs fissurés. Pour fournir des éléments de réponse à cette première problématique, les observations sont concentrées sur i) le comportement de la zone d'infiltration, incluant sols et/ou formations superficielles de couverture, épikarst et zone non saturée, ii) le comportement de la zone saturée et iii) La variabilité hydrologique et physico-chimique observée aux exutoires des systèmes.

**Le comportement de la zone d'infiltration, incluant sols et/ou formations superficielles de couverture, épikarst et**

**zone non saturée** : La diversité offerte par les sites d'observation permet de couvrir un large panel d'environnements physiques et climatiques pour la caractérisation de l'infiltration et de la recharge des aquifères karstiques: épikarsts de montagne et méditerranéens avec sols plus ou moins développés, aquifère perché de couverture avec infiltration concentrée ou diffuse (e.g. Karst de la Craie).

Site	Location	Recharge area (km <sup>2</sup> )	Climate	Karst network	Karst specificity	Human impact	Continuous recording
Fontaine de Vaucluse - LSBB	Avignon	1115	Mediterranean, Mountainous	800 m vadose zone + deep karst below the current base-level,	Thick unsaturated zone	Natural + agricultural land cover	Q, H, P, EC, T,
MEDYCYSS	Montpellier	>1000	Mediterranean	Multiscale monitoring network	High karst/river interactions	High pumping rate for water supply (1.1 m <sup>3</sup> /s)	Q, H, P, EC, T, Turb, Fluo
Val d'Orléans	Orléans	284	Continental	braided network	sinking stream in covered karst	Urban + Agricultural	Q, H, P, EC, T, Fluo
Moulis	Saint-Girons	13	Mountainous				Q, H, P, EC, T, Fluo
Chalk karst	Rouen St Martin le Noeud	10	Oceanic		sinking stream		Q, H, P, EC, T, Fluo
Jurassic karst	Besançon	30-40	Continental		1 site with sinking stream, 2 sites with diffuse infiltration	Natural + agricultural land cover	Q, H, P, EC, T, Turb, Fluo
Fontaine de Nimes	Nimes	55	Mediterranean		flash flood	High anthropogenic pressure (urban area)	Q, H, P, EC, T, Fluo
Port-Miou Provence	Marseille	400	Mediterranean	deep karst below the current base-level, up to 800 m vadose zone	coastal	Natural and Industrial land cover	Q, H, P, EC, T, Turb, Fluo
Karst aquitains Lascaux cave Toulon Springs	Bordeaux	< 1 100	Continental, Oceanic		Epikarst, Polyphased karst	Natural + agricultural land cover	Q, H, P, EC, T, Turb, Fluo, pH, NO <sub>3</sub> , DOC, TOC, DO.

Q: discharge, H: water level, P: rainfall, EC: electric conductivity, T: temperature, Turb: turbidity, Fluo: fluorescence; pH: pH; NO<sub>3</sub>: nitrate; DOC: dissolved organic carbon; TOC: total organic carbon; DO: dissolved oxygen

**Le comportement de la zone saturée:** l'existence de forages pour certains sites autorise la caractérisation dynamique des écoulements dans les réseaux de conduits, de fractures, dans les blocs poreux et fissurés ainsi que l'étude de leurs interactions (e.g. Medycyss, Val d'Orléans).

**La variabilité hydrologique et physico-chimique observée aux exutoires des systèmes:** tous les sites font l'objet de mesures hydrologiques de base

### 3- Produits et activités de la recherche du SNO KARST

Bilan scientifique

#### Production scientifique du réseau

82 articles parus (ACL), 17 Chapitres d'ouvrages, 2 Conférences Invitées dans congrès internationaux. 5 HDR et 17 thèses soutenues. Participation à des Comités scientifiques et/ou organisation de sessions dans différents congrès internationaux (RST 2014, 2016 et 2017, AIH 2016, Goldschmidt 2017, Eurokarst 2012, 2014, 2016, 2018, EGU 2017, 2019, AGU 2015, 2016, 2017, 2018 ...)

#### Logiciels et bases de données.

Différents logiciels et outils ont été développés dans le cadre du réseau, parmi lesquels nous devons citer :

- KarstMod, qui correspond à une plate-forme de modélisation globale de la relation pluie-niveau-débit dans les bassins karstiques (Mazzilli et al., Environ Mod & Software, 2018). Le logiciel permet de connecter de façon modulaire plusieurs réservoirs via une interface utilisateur intuitive. Les fonctions de transfert entre réservoirs classiques des modèles réservoirs (fonctions linéaires avec ou sans seuil) peuvent être utilisées. Le logiciel intègre également des fonctions moins classiques présentant de forts effets de non-linéarité et/ou de mémoire, comme le modèle à hystérésis (Tritz et al., 2011) et le modèle à temps caractéristique infini (Guinot et al., 2015). La plateforme intègre également un ensemble d'outils permettant d'apprécier la dynamique des compartiments considérés dans le modèle et d'évaluer la qualité des résultats de modélisation. KarstMod et son guide utilisateur sont en téléchargement libre sur le site du SNO (<http://www.sokarst.org/index.asp?menu=karstmod>).

- Le plugin PaPRIKa pour QGIS qui permet une application pas à pas des étapes de la méthode PaPRIKa (méthode multicritère de cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques pour générer les critères de Protection (P), d'Infiltration (I), de Réservoir (R) et du degré de Karstification (Ka) ainsi que l'index de vulnérabilité obtenu par croisement de ces 4 critères. L'utilisation du plugin :

- soulage l'utilisateur de certains aspects techniques du traitement de données,
- permet une application rapide, aisée et standardisée de la méthode PaPRIKa,
- laisse l'utilisateur se concentrer sur le travail d'expertise hydrogéologique.

Le plugin PaPRIKa et son guide utilisateur sont en téléchargement libre sur le site du SNO (<http://www.sokarst.org/index.asp?menu=paprika>).

Des campagnes expérimentales regroupant différentes équipes du réseau SNO KARST ont eu lieu sur certains sites d'observation depuis 2014, notamment pour expérimenter de nouvelles méthodes de tomographie hydraulique en milieu hétérogène. De nombreux échanges entre équipes impliquées sur différents sites ont également eu lieu, notamment dans le cadre de thèses de doctorat (L. Durand, C. Beaudement, C. Olivier, G.

Lorette, V. Siveyille, L. Hidalgo Sanchez) ce qui a donné lieu à diverse publications pertinentes.

De nouvelles méthodes et techniques instrumentales pour caractériser les flux d'infiltration et les dynamiques de recharge, en particulier durant les «hot moments» que sont les événements climatiques extrêmes ont été développés dans le cadre du réseau. Différentes sondes pour le suivi en continu de la MON (Matière Organique Naturelle) par fluorescence (Quiers et al., 2014, Erostate et al., AIH 2016, Bailly-Comte et al., Hydrogeol. J., 2018) ont ainsi été déployées sur différents sites d'observation (Fontaine de Nîmes, MEDYCYSS, Karst de la Craie, Jurassique Karst, Karst Aquitains).

Le SNO KARST produit également de nombreuses données hydrométéorologiques, hydrologiques, hydrodynamiques et hydrogéochimiques accessibles via le site OSU OREME et THEIA (<https://data.oreme.org/observation/snokarst>). Etant partie intégrante d'OZCAR et d'eLTER les données des différents sites sont également accessible dans la base de données DEIMs, utilisée comme base de connaissance des observations/sites disponibles dans eLTER (<https://deims.org/>) sous le référencement OZCAR-RI\_SNO KARST / nom du Site.

### Faits marquants

Le SNO KARST fait l'objet d'un article dans un numéro spécial de Vadose Zone Journal : SNO KARST: a French network of observatories for the multidisciplinary study of critical zone processes in karst watersheds and aquifers (Jourde et al., 2019 ) <https://dx.doi.org/10.2136/vzj2018.04.0094> ainsi que de quatre articles dans le numéro spécial Observatoires de la revue Géologues (Binet et al., 2018, Jourde et al., 2018, Massei et al., 2018 ; Mazzilli et al., 2018). La plateforme de modélisation KartsMod, développée dans le cadre du réseau, a également fait l'objet d'une publication à Environ Mod & Software (Mazzilli et al., 2018).

Du fait de la quantité et de la qualité des données acquises dans le cadre du réseau, le SNO KARST a été sollicité par des chercheurs des Universités de Freiburg (Allemagne) et de Bristol (Angleterre) pour contribuer à une base de données internationale regroupant des chroniques hydrométéorologiques sur plus de 200 sources karstiques. Ce travail fait l'objet d'une publication intitulée World Karst Spring Hydrograph (WoKaSH) database for research and management of the world's fastest-flowing groundwater qui sera soumise (Juin 2019) à Nature Scientific Data.

Des membres du SNO (N. Mazzilli, B. Arfib et C. Ollivier) ont animé une journée de formation aux outils et logiciels développés par le SNO KARST au cours de la conférence internationale EUROKARST (Juillet 2018, Besançon, France), avec deux ateliers : (1) PaPRIKa, a multi-criteria method for vulnerability mapping of karst aquifers, (2) KarstMod, an adjustable platform for hydrodynamic modeling in karst aquifers. Une conférence invitée (Keynote speaker) a également été donnée pour présenter l'activité du réseau à la communauté internationale travaillant sur le karst.

Dans le cadre du congrès AIH (Malaga, 2019) et du cours international Hidrokarst (<http://cehiuma.uma.es/en/hidrokarst.asp>, le coordinateur du réseau (H. Jourde) animera une session sur la modélisation numérique dédiée à l'hydrologie karstique. Il donnera également une conférence en tant que keynote speaker intitulée Karst functioning: What do we learn from the various modeling methods ?

Chaque année, le SNO KARST réalise un workshop ouvert aux permanents (EC, C, IATS) et étudiants (Master, doc, post docs) impliqués dans les différents sites d'observation. Ce workshop est l'occasion d'aborder différentes thématiques de recherche, de former à l'utilisation de certains outils et logiciels, ainsi que d'échanger sur les objectifs scientifiques de certains projets de façon informelle.

Fort de cette expertise sur la modélisation du karst, différents membres du SNO KARST ont été sollicités pour participer à l'appel à projet PRIMA (Projet Européen). Ce projet Européen PRIMA, intitulé KARMA (Karst Aquifer Resources availability and quality in the Mediterranean Area, 2019-2022) au sein duquel nous portons le WP Modelling tools, a été accepté et débutera en Septembre 2019. Ce projet permettra de renforcer des liens existants à l'international entre les différents membres du SNO KARST et les équipes du KIT (Karlsruhe institute of Technology, Allemagne), l'AUB (American University of Beirut, Liban) et de l'UMA (University of Malaga, Espagne). Il permettra par ailleurs de s'ouvrir à de nouvelles collaborations avec le BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Allemagne), l'URO (University of Rome, Italie) et l'ENIT (Ecole National d'Ingénieurs de Tunis, Tunisie).

La reconnaissance de l'expertise et des savoir-faire du SNO s'est également traduite par la signature de différents accords de collaboration avec des universités étrangères pour favoriser l'accueil et l'échanges d'étudiants et chercheurs/ enseignant chercheurs avec ces universités. Ces collaborations ont permis le développement de projets communs qui se sont traduits par la mise en place d'une thèse de doctorat et l'accueil de chercheurs et étudiants de la China University of Petroleum (UPC/RCOGFR, Chine) ainsi que de l'Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas (UNTRM, Pérou).

### Le SNO KARST et la formation

Pour les différents sites d'observations du réseau, les dispositifs expérimentaux ainsi que l'ensemble des données

produites sont régulièrement utilisées dans le cadre d'enseignement en Licence, Master et école d'ingénieurs. Ces sites d'observations permettent ainsi la mise en œuvre in situ des enseignements théoriques dispensés en salle, ou encore de manipuler différents dispositifs de mesures (hydrométriques, hydrodynamiques, géodésiques, géophysiques, ...). Le réseau participé également largement à la formation par la recherche, au travers des différents stages de Master, thèses de doctorats et post doctorats.

Références du SNO KARST consultables à l'adresse suivante.

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1yaJYHH82WO\\_1NKuoVkJ62kr2cZV6\\_nAINMEp9JwKIY/edit#gid=1297614481](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1yaJYHH82WO_1NKuoVkJ62kr2cZV6_nAINMEp9JwKIY/edit#gid=1297614481)

## BILAN DU SNO POLLUX

POLLUX est un service national labellisé au titre de l'ANO5 de l'INSU-AA. Il s'agit d'une base de données interopérable de spectres stellaires synthétiques à haute résolution. L'objectif scientifique est de faire de POLLUX la référence pour la découverte de spectres stellaires synthétiques haute résolution sur le web et dans l'OV. Il n'y a pas de TO rattachée à ce SNO.

La base a été labellisée en 2006, labellisation reconduite en 2014. Ce service a également reçu une évaluation positive de la CSAA-ANO5 en 2016.

Trois mises à jour / évolutions de la base de données POLLUX ont été publiées entre janvier 2015 et décembre 2018. Nous avons mis à disposition de nouvelles fonctionnalités pour les utilisateurs de la base (outil de convolution, sélection des modèles par collection) et avons fait évoluer la structure de la base de données elle-même (structuration, détail des spécificités et spécifications des différents modèles, précision du domaine de longueur d'onde). Ce dernier point nous a permis de doubler le volume des données en incluant des spectres jusqu'alors écartés (collection AMBRE), de proposer des spectres dans l'IR et l'UV (la BDD était à l'origine limitée aux spectres dans l'optique) et de proposer en exclusivité des spectres synthétiques issus de simulations 3D. Le nombre total de spectres disponibles est ainsi passé de 8123 en 2015 à 16803 spectres en juillet 2018.

La BDD POLLUX sert de plus de banc de test aux développements du Data Model et du Data Access Layer de deux groupes de travail au sein de l'IVOA2 : Simulation (qui décrit des données issues de simulation dans le cadre de l'OV) et Provenance (initié par la communauté des hautes énergies en vue de l'exploitation de la mission CTA, décrivant des données issues de chaînes complexes d'analyse).

La BDD POLLUX est citée dans 71 articles dont 63 articles à comité de lecture. Elle a par ailleurs été présentée dans le cadre du travail sur le ProvDM (provenance DataModel) à divers colloques d'interopérabilité de l'IVOA au cours des 4 dernières années.

L'alimentation de la BDD en nouveaux spectres, en particulier en données couvrant le domaine de l'IR dans le cadre de l'exploitation des instruments comme SpiROU, Spip, ou de la mission Gaia, est envisagée en priorité. Nous devrions pour cela proposer à court terme une nouvelle collection de spectres issus de modèles d'atmosphère PHOENIX produits par F. Allard à Lyon. Par ailleurs l'ouverture récente aux données 3D a ouvert une voie que nous souhaitons poursuivre, en collaboration avec A. Chiavassa (OCA). Nous envisageons également à terme d'intégrer les spectres 3D CO5BOLD (produits au GEPI / ObsPM).

Les besoins pour ce SNO devraient rester dans la continuité des dernières années.

---

## 2 IVOA : International Virtual Observatory Alliance

**Les Services Nationaux d'Observation dont l'OREME est « Partenaire »**

## BILAN DU SO RLBP (RESIF)

L'infrastructure de Recherche RESIF est un équipement national d'excellence pour l'observation et la compréhension de la Terre interne. L'IR RESIF forme la contribution française majeure à l'infrastructure de recherche EPOS (European Plate Observatory System)

Une de ces tâches, labellisée par l'INSU au niveau national, est la mise en œuvre et l'opération d'un Réseau Large Bande Permanent (RLBP). Réparti sur l'ensemble du territoire, ce réseau de stations sismologiques permanentes permet d'enregistrer les mouvements du sol provenant de séismes lointains et régionaux. Leur analyse apporte de précieuses informations sur la structure de la Terre à toute échelle et sa dynamique interne. Le SO RLBP trouve donc naturellement et légitimement sa place au sein de l'OSU OREME pour atteindre ces objectifs et se pérenniser.

Quatre sites ont été prospectés et sont supervisés par l'OREME. Le SO RLBP est structuré en 4 tâches d'observation (TO) qui correspondent chacune aux 4 sites instrumentés :

La Jasse (LAJAS), Trabuc (TRBF), Balsièges (BALS) et Restinclières (REST).

Les données consistent en un flux continu mesurant le déplacement du sol dans les 3 directions de l'espace (verticale, nord-sud et est-ouest). Ce flux est directement transmis (par ADSL ou satellite) au centre de validation des données (EOST, Strasbourg) qui vérifie et valide avant transfert au centre principal (OSUG, Grenoble) pour distribution et mise en forme des données. Une fois validée, les données sont publiques, librement téléchargeables sur le site internet de RESIF et peuvent être utilisées par la communauté scientifique (essentiellement sismologiques pour le moment).

Nous finalisons actuellement le développement du réseau, et sur les 4 sites dont nous avons la charge, deux sont fonctionnels (LAJAS, TRBF), un troisième est en cours d'intégration (BALS), et le dernier (REST) sera instrumenté en forage dans l'année 2019.

La station LAJAS a la particularité d'être installée dans l'un des rares sites multi-instrumenté par RESIF, colocalisée avec une station permanente GNSS (voir SO GNSS) et des mesures gravimétriques absolues (voir SO H+)

Ce SO implique 4 personnels permanents de GM (1 CR, 1 MdC, 1 IR, 1 AI), le soutien technique ayant été renforcé par l'arrivée de S. Baudin (AI) en nov. 2015. Leur implication varie de 10 à 50%. Actuellement les données de ces sites ne sont pas utilisées dans les problématiques scientifiques principales de GM. Cela explique le fait qu'aucune publication provenant de l'OREME n'utilise les données de ce SO à ce jour. Nous espérons développer cet aspect dans les années prochaines (voir perspectives). La liste des publications relatives au SNO RESIF est consultable sur le site de RESIF (<http://www.resif.fr>).

Les perspectives techniques concernent principalement :

- La finalisation de la construction du réseau
- Le développement de la co-localisation instrumentale dans le cadre de RESIF et de projets régionaux
- La mise en œuvre de la visualisation des données et des événements sur site,
- Le développement d'une base de donnée pour la maintenance et le suivi des sites grâce aux compétences des personnels du système d'information de l'OREME.

Les perspectives en matière de formation et d'enseignement :

Nous comptons développer la formation et l'enseignement en nous appuyant sur le site de REST, qui se situe sur le Domaine de Restinclières, en collaborant avec la Maison Départementale de l'Environnement qui regroupe déjà de nombreuses activités pédagogiques (expositions, colloques, débats, sciences participatives) en impliquant nos étudiants dans une démarche de relation avec la société civile et de vulgarisation de leurs travaux.

Nous pourrions nous appuyer également sur les compétences du nouveau service de communication de RESIF, ce qui nous permettra d'envisager des interventions sur site pour les scolaires (primaires, secondaires).

Perspectives scientifiques :

Le site de LAJAS permet d'aborder la dynamique terrestre d'un point de vue pluridisciplinaire en réunissant les 3 aspects de RESIF : sismologie, GPS et gravimétrie (SNO H+, et SNO RESIF-RENAG, SNO Gravimétrie). Cela permet d'aborder des thématiques telles que l'effet spatio-temporel des charges externes (climatiques, nappes d'eau,...).

Nous souhaiterions enfin beaucoup développer la sismologie environnementale, ce qui impliquera la création

d'une nouvelle tâche d'observation. Le signal sismologique enregistré par les stations peut informer sur la charge de fond des rivières, et être un acteur important dans l'alerte des crues soudaines et l'étude des phénomènes d'érosion. Nous sommes plusieurs chercheurs et enseignants-chercheurs à avoir des intérêts communs autour de la sismologie, et cet aspect pourrait fortement intéresser nos collègues de l'université Paul Valéry du GRED (Gestion du Risque). Dans les années qui viennent, nous souhaitons donc développer un réseau régional et dédié à ces problématiques (littoral, suivi des rivières, risques). Ce réseau pourrait se développer autour de RESIF et dépendre entièrement de l'OREME, afin de répondre à notre volonté commune de recherche scientifique et mieux correspondre aux problématiques scientifiques des personnels impliqués ainsi qu'aux enjeux régionaux.

## BILAN DU SO OMIV-MONTPELLIER

### Question scientifique

Pégairolles de l'Escalette est un site de l'OSU OREME depuis 2012. Ce site a intégré l'observatoire national INSU OMIV (Observatoire Multidisciplinaires des Instabilités de Versants) depuis 2017. Il s'agit d'un glissement rotationnel profond (60 m) et relativement lent (quelques cm). Sur ce site, nous étudions l'impact d'événements pluvieux intenses sur la déstabilisation du versant à partir d'observations continues, multi-capteurs, multi-paramètres qui sont mesurées principalement en forage. Ces données originales permettent un accès direct à la zone déformée. Nous cherchons à comprendre les relations entre précipitations, circulations de fluides, processus internes dans la zone de rupture et déformation au sein du versant pour comprendre la dynamique de ce système. A terme, ce suivi devrait permettre la caractérisation de paramètres précurseurs (durée, volume, délais) aux phénomènes de déstabilisation de versant dans cette vallée où les glissements de terrain menacent de nombreuses infrastructures (A75, ponts, habitations).

Les laboratoires Géosciences Montpellier et Hydrosiences Montpellier sont impliqués au sein de ce SO.

### Observations et résultats

Avant l'intégration dans le SNO OMIV, ce site était rattaché à la tâche d'observation Hydrogéophysique en forage au sein de l'OSU OREME. Des équipements ont été déployés de manière permanente dans deux forages : un observatoire géophysique (mesures quotidiennes de la résistivité électrique, mesures ponctuelles de la déformation) et un observatoire hydrodynamique (mesures mensuelles de la pression, température, conductivité) qui permet de plus le prélèvement de fluides in-situ analysés à posteriori au laboratoire (traces, majeurs, TOC). Ces observatoires permettent un suivi géophysique, hydrogéologique et géochimique au sein du glissement.

Des mesures géophysiques ponctuelles (magnétotellurique, polarisation induite, ERT) ou permanentes (GPS, station météo) ont également été menées sur le site. La station GPS semi-permanente et le pluviomètre sont installés depuis 2015. Un système de monitoring de résistivité électrique de surface a été déployé en Novembre 2018 dans le cadre de l'ANR HYDROSLIDE. Deux sismomètres ont également été installés en Février 2019 pour une durée d'un an.

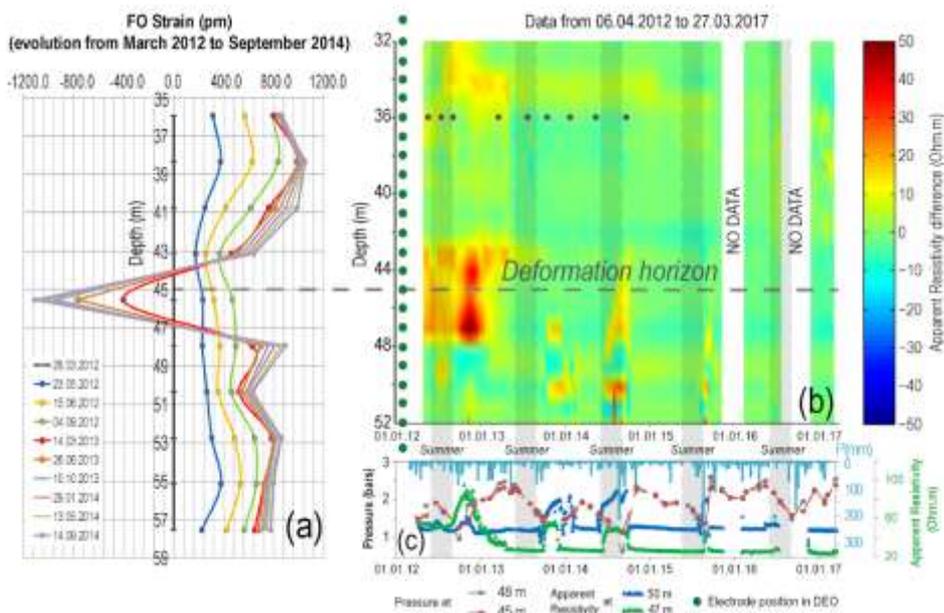


Fig 1: Suivi géophysique (déformation et variations de la résistivité électrique apparente) enregistré sur le site de Pégairolles de l'Escalette. Comparaison avec les précipitations et la dynamique des deux aquifères. (Denchik et al., 2019).

L'ensemble de ces données et le suivi mis en place depuis 2012 apporte des premiers éléments de réponse sur la dynamique du système (Fig. 1). Les carottes prélevées dans le forage ont apporté une description de l'ensemble des lithologies traversées et des zones déformées (roche de failles, zones de drainage). Des données acquises dans le forage ont mis en évidence un écoulement dans le versant qui coïncide avec la zone de

rupture identifiée à environ 47 m de profondeur par les mesures de déformation. Le suivi temporel mis en place a permis aussi de mettre en évidence le cycle saisonnier dans les deux aquifères présents et ont souligné une réponse hydrodynamique en deux temps à un fort événement pluvieux : un transfert de pression arrivant immédiatement après la pluie alors que le transfert de masse intervient avec un délai de 3 mois. Une première analyse des données de résistivité montre que ces dernières semblent plus sensibles au contenu du fluides qu'aux processus internes qui pourraient intervenir au niveau de la zone de rupture.

## Projets

ANR HYDROSLIDE (2016-2020) : Observations hydro-géophysiques haute-fréquence pour la connaissance des mécanismes de glissements de terrain

Projet IM2E (2016)

## Stages et doctorants

Stage M1 - Dupuy M., (2016). Caractérisation hydrogéochimique des écoulements d'eau au sein d'un glissement de terrain, site d'étude de Pégairolles-de-l'Escalette, Hérault: Relation entre précipitations, circulation des fluides et déformations au sein du versant (Mémoire de stage master Hydrogéologie, Sol et Environnement de 1ère année). Laboratoire Hydro-Sciences Montpellier.

Stages M2- Giovannangeli, N., (2014). Structure et dynamique d'un glissement de terrain: exemple du site expérimental de Lodève (Mémoire de stage master Géologie des Réservoirs de 2ème année). Laboratoire Géosciences Montpellier.

Stage Ingénieur - Pillard, H., (2016). Mesures petrophysiques en laboratoire et analyse de profils géophysiques en forage. (Mémoire de stage EOST Ingénierie géologique / géophysique). Laboratoire Géosciences Montpellier.

Thèses en cours sur le site :

- Myriam Lajaunie (EOST 2017) – acquisition CS-AMT exploratoire sur le site.
- Jakob Gallistl (TU Vienna 2017) – Méthode de polarisation induite pour l'imagerie des glissements.

## Productions

Les données sont publiques et accessibles via les bases de données de l'OSU OREME, du SNO OMIV et du SNO RESIF. L'OSU OREME est en charge de la mise en place de la base de données « résistivité » pour l'ensemble des sites SNO OMIV. Ce travail a démarré en 2018 avec le site de Pégairolles de l'Escalette comme site test.

### Articles :

Denchik N., Gautier S., Dupuy M., Batiot-Guilhe C., Lopez M., Léonardi V., Geeraert M., Henry G., Neyens D., Coudray P. and Pezard A.P. (2019) In-situ geophysical and hydro-geochemical monitoring to infer landslide dynamics (Pégairolles-de-l'Escalette landslide, France), *Engineering Geology*, vol. 254, p 102-112, doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.04.009.

Pezard, P. A., Gautier, S., Denchik, N., Geeraert, M., Henry, G., (2018). In-situ geophysical and hydrochemical monitoring of landslide dynamics (Pégairolles, Languedoc, France), EAGE, 1st Asian Conference, paper S004, April 11-12, 2018.

### Conférence invitée :

2015 JAG (Journées Aléas Gravitaires), S. Gautier, « Instrumentation in-situ d'un glissement de terrain du Nord Ouest de l'Hérault : Relations entre précipitations et processus internes ».

### Conférences :

Gautier S., Denchik N., Batiot C., Lopez M., Léonardi V., Pezard P.A. and Geeraert M. (2019). Downhole geophysical and hydrogeochemical observatories to monitor water content variations and water-rock interactions in a rainfall-induced landslide, EGU 2019 (poster).

Denchik, N., Gautier, S., Dupuy, M., Batiot, C., Léonardi, V., Pezard, P. A., Lopez, M., Geeraert, M., Henry, G., Neyens, D., (2018). Lodeve test site (Languedoc, France) for in situ subsurface geophysical and hydrochemical monitoring related to landslide dynamics. EGU General Assembly, Vienna, Austria, 9-13 April 2018 (poster).

Denchik, N., Gautier, S., Dupuy, M., Batiot, C., Léonardi, V., Pezard, P. A., Lopez, M., Geeraert, M., Henry, G., Neyens, D., (2018). In-situ geophysical and hydro-geochemical monitoring for landslide dynamics (Lodève landslide, France), Near Surface Geoscience, EAGE, 9-13 September 2018, Porto, Portugal (poster).

Denchik, N., Dupuy, M., Gautier, S., Batiot, C., Léonardi, V., Geeraert, M., Henry, G., Pezard, P. A., Neyens, D., (2017). In-situ monitoring des paramètres géophysiques et hydrogéochimiques liés au risque gravitaire (glissement de Lodève), JAG, Besançon, 24-25 octobre 2017 (présentation orale).

Gallistl, J., Flores Orozco, A., Ottowitz, D., Gautier, S., Malet, J.P. (2017). Induced polarization (IP) imaging for the improved characterization of clay-rich landslides, European Geosciences Union General Assembly. Lajaunie M., Sailhac P., Malet J.-P., Larnier H., Gance J., Gautier S., Pierret M.-C. (2017). Multi-frequency electrical and electromagnetic measurements for imaging water flows: application to catchment and landslide hydrology. EGU meeting. (EGU2017-12385, PICO presentation).

Malet J.P., Supper R., Flores-Orozco A., Gautier S. and Bogaard Th. (2017). High-frequency HYDRO-geophysical observations for an advanced understanding of clayey landslides : the HYDROSLIDE research project, European Geosciences Union General Assembly 2017 (poster).

## Perspectives

Les perspectives scientifiques sont dans la continuité du projet actuellement mené. Nous souhaitons poursuivre les observations pour mieux contraindre la relation pluie-dynamique du versant en nous intéressant aux processus internes qui se développent au niveau de la zone de rupture. Pour cela, nous proposons de mener une analyse statistique fine de ces données. Nous souhaitons également utiliser les données acquises pour modéliser la dynamique du versant d'un point de vue hydrogéologique mais aussi mécanique.

Les perspectives techniques concernent principalement

- La finalisation de la base de données « résistivité électrique » grâce aux compétences des personnels du système d'information de l'OREME.
- La cartographie fine du glissement par analyse d'images de haute-résolution (LIDAR)
- La télétransmission des données météorologiques
- L'installation d'instruments pour mesurer la déformation d'un ouvrage (pont – mesures laser, extensomètres)
- La finalisation de la base de données va nécessiter le recrutement d'un soutien technique en CDD pour 2019.

## BILAN DU SO H+ LARZAC

Nom du responsable local du SO : C. Champollion

Nom du responsable national du SO et OSU de rattachement : O. Bour (OSU Rennes)

### Objectifs scientifiques

La mission première de l'observatoire H+ est de maintenir et de coordonner un réseau de sites expérimentaux capables de fournir des données pertinentes – y compris des chroniques ou expériences long terme – pour la compréhension du cycle de l'eau et des éléments transportés dans les aquifères. Le couplage mesures / théories / modèles est une autre mission fondamentale de l'observatoire H+.

Le site du Larzac est inséré et animateur de plusieurs réseaux / organismes à l'échelle nationale et internationale : le SNO H+ labélisé par l'INSU ; le SOERE H+ labélisé par ALLENVI ; l'IR OZACR ; l'ITN H2020 ENIGMA (porteur : P. Davy ; 2017-2020). Récemment, le site du Larzac participe au projet « eLter + » qui est démonstrateur de la future infrastructure de recherche européenne eLter (<https://deims.org/83b01fa5-747f-47be-9185-408d73a90fb2>).

A l'échelle locale, les interactions du site H+ Larzac ont eu ou ont lieu :

- avec le SO « mesure de Flux à Puechabon » pour la mise en place de mesure d'évapotranspiration sur le site du Larzac
- avec le SO RESIF-RENAG pour la mesure de la déformation liée aux charges hydrologiques sur le site du Larzac et sur d'autres sites karstiques
- avec le SO Karst pour la réalisation de mesures géophysiques sur le Lez et pour des analyses hydrochimie sur le Durzon (Larzac)
- avec le SO RESIF-RLBP pour l'installation d'un sismomètre large bande permanent (et pour l'aide à des expérimentations sismologiques : projet région « chercheur d'avenir »)
- avec le SO Forage pour des mesures en forage sur le site du Larzac.

### Moyens financiers

Moyens financiers récurrents (essentiellement fonctionnement et maintenance) :

- ~10 k€/an OSU OREME
- ~10 k€/an SNO /SOERE H+

Moyens financiers sur projets (personnel, équipements et expérimentation) :

- Région (2010 et 2016-2018) : ~170 k€
- ANR Hydrokarst G<sup>2</sup> : ~200 k€
- Plusieurs petits projets (INSU / UM / IME2) : entre 5 et 10k€ par projets

Financements de thèse (Ecole Doctorale, ITN) : 3 thèses et une financée 2017

### Personnels (et implications)

- C. Champollion MCF UM, 75 %
- N. Le Moigne IR CNRS, 50 %
- J. Chéry DR CNRS, 10 %
- P. Vernant MCF UM, 10 %
- E. Doerflinger IR CNRS, 10 %
- S. Baudin AI UM, 5 %
- Un doctorant (en général) : 100 %
- Un stage par an en général (M1 ou M2) : 100 % (3 mois)

### Equipements permanents :

- Un bâtiment de 60 m<sup>2</sup> climatisé construit en 2011 (50 k€)
- Un gravimètre supraconducteur acquis en 2011 (250 k€)
- Une tour de flux acquise en 2011-2012 (100k€ avec un prêt du SO Puechabon)

- Deux GPS permanents SNO RESIF-RENAG (20 k€)
- Un sismomètre permanent SNO RESIF-Sismologie-RLBP (10 k€)
- Un système de tomographie électrique (20 k€)
- 3 inclinomètres souterrains
- 3 pluviomètres souterrains
- 3 forages équipés de CTD
- 1 mesure de débit (et température et conductivité) souterraine (aven de la Bise, -110 m sous la surface)
- Plusieurs (~4) pluviomètres
- 1 fluorimètre en forage (~7k€)
- Connexion ADSL pour transmission quasi-temps réelle des données, et monitoring à distance des instruments

### Production(s) du SO

Les données acquises sont de natures très variées (température, débit, gravimétrie, GPS, inclinométrie, vapeur d'eau, CO<sub>2</sub>, ...) à des fréquences d'échantillonnage très variables (du 100 Hz à une mesure par heure). La plupart des données sont acquises en continue sur des durées longues.

La politique de diffusion est de mettre toutes les données en ligne accessible à tous sans délai, voir en temps réel lorsque c'est possible (<https://data.oreme.org/observation/gek>; <http://hplus.ore.fr/en/larzac>). L'interopérabilité est assurée avec les bases de données d'autres SNO INSU pertinents (RESIF, RENAG, H+). Les données sont toutes (dans la mesure du possible) acquises en continue sur des durées minimum d'un an pour avoir le cycle saisonnier. Pour la gravimétrie, le GPS, la sismologie et les flux atmosphériques, l'objectif est de travailler à différentes échelles de temps pour mesurer les cycles saisonniers et les changements climatiques (> 10 ans).

### Résultats principaux et perspectives

Le principal résultat scientifique du SO H+ Larzac est la démonstration de l'utilité des mesures gravimétriques et sismologiques pour l'étude et le suivi des hydro-systèmes complexes comme les karsts. Cette approche quantitative sera poursuivie et complétée par la mise en place de suivi d'humidité des sols (TDR et « cosmic rays »). Par ailleurs, depuis cette année (2019), les suivis chimiques à la source effectués par V. de Montety sur projet sont pérennisés de manière trimestrielle.

Au-delà des aspects thématiques, l'observatoire du Larzac est également un site météorologique de référence permettant 1/ Inter-comparaison de gravimètres absolus 2/ la validation de nouveaux instruments face aux instruments existants 3/ valider l'utilisation de nouveaux instruments pour une problématique scientifique en hydrologie.

Collaboration université du Luxembourg, SHOM, IRD

EquipEx RESIF-CORE / Muquans, validation du gravimètre AQG

Avec l'observatoire de Strasbourg et le LSBB, c'est également le seul site disposant de mesures continues en GPS, sismologie et gravimétrie.

### Enseignement

Les sites ainsi que les données du site H+ Larzac sont utilisées dans la spécialité Dynamique terrestre et risques naturels du master STPE (Sciences de la Terre et des Planètes, Environnement) de l'Université de Montpellier. Chaque année des étudiants de master 1er et 2nd année ainsi que des doctorants effectuent leur stage dans le cadre du site H+.

### Développement

L'objectif scientifique de développement du SO H+ Larzac est double. Maintenant que les approches géophysiques (gravimétrie et sismologie) sont quasi maîtrisées et que les durées des observations approchent 5 ans, un objectif est de regarder les variations interannuelles et climatiques pour commencer à regarder si (et comment) l'impact des changements environnementaux peut être mesuré par les outils géophysiques. L'autre objectif est de regarder comment les outils géophysiques sont applicables à d'autres systèmes hydrologiques complexes du pourtour méditerranéen comme certains sites du SO Karst (comme le site du Lez ou de Fontaine de Vaucluse) ou des sites sédimentaires complexes (projet Demeaux : Bassin du Roussillon ou aquifères de la Crau)

### Publications

3 thèses depuis 2006 : Jacob 2009, Deville 2012, Fores 2016

### 2018

Champollion, C., Deville, S., Chéry, J., Doerflinger, E., Moigne, N. L., Bayer, R., Vernant, P., & Mazzilli, N. (2018). Estimating epikarst water storage by time-lapse surface-to-depth gravity measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(7), 3825-3839.

Fores, B., Champollion, C., Mainsant, G., Albaric, J., & Fort, A. (2018). Monitoring Saturation Changes with Ambient Seismic Noise and Gravimetry in a Karst Environment. *Vadose Zone Journal*, 17(1).

Gerard, M. F., Le Borgne, T., Bour, O., Champollion, C., Porel, G., Bodin, J., ... & Pezard, P. (2018). H+, un réseau National de sites hydrogéologiques pour la caractérisation, la quantification et la modélisation des transferts d'eau, d'éléments et d'énergie dans les aquifères souterrains hétérogènes. *Géologues, Revue officielle de la Société Géologique de France*, 195, 22-27.

Ménoret, V., Vermeulen, P., Le Moigne, N., Bonvalot, S., Bouyer, P., Landragin, A., & Desruelle, B. (2018). Gravity measurements below 10– 9 g with a transportable absolute quantum gravimeter. *Scientific reports*, 8(1), 12300.

### 2017

Fores, B., Champollion, C., Le Moigne, N., & Chery, J. (2017). Impact of ambient temperature on spring-based relative gravimeter measurements. *Journal of Geodesy*, 91(3), 269-277.

C. Fores, B., Champollion, C., Le Moigne, N., Bayer, R., & Chéry, J. (2017). Assessing the precision of the iGrav superconducting gravimeter for hydrological models and karstic hydrological process identification. *Geophysical Journal International*, 208(1), 269-280.

### 2016

Mazzilli, N., Boucher, M., Chalikakis, K., Legchenko, A., Jourde, H., & Champollion, C. (2016). Contribution of magnetic resonance soundings for characterizing water storage in the unsaturated zone of karst aquifers. *Geophysics*, 81(4), WB49-WB61.

Fores, B., Champollion, C., Le Moigne, N., & Chery, J. (2016). Impact of ambient temperature on spring-based relative gravimeter measurements. *Journal of Geodesy*, 1-9.

Valois, R., Galibert, P. Y., Guerin, R., & Plagnes, V. (2016). Application of combined time-lapse seismic refraction and electrical resistivity tomography to the analysis of infiltration and dissolution processes in the epikarst of the Causse du Larzac (France). *Near Surface Geophysics*, 14(1), 13-22.

Galibert, P. Y. (2016). Quantitative estimation of water storage and residence time in the epikarst with time-lapse refraction seismic. *Geophysical Prospecting*, 64(2), 431-444.

## BILAN DU SO AMMA-CATCH – MONTPELLIER

([www.amma-catch.org](http://www.amma-catch.org))

AMMA-CATCH est un SNO porté par l'OSUG (Grenoble), et piloté de manière collégiale par les UMRs IGE (Grenoble), HSM (Montpellier) et GET (Toulouse). Il est constitué de 3 sites expérimentaux de méso-échelle (~ 10 000 km<sup>2</sup>) au Mali-Sénégal, Niger et Bénin. Il est intégré dans l'IR OZCAR (Gaillardet J. et al., 2018)

L'objectif du SNO AMMA-CATCH est de documenter in-situ et sur le long terme les évolutions climatiques, hydrologiques et des couverts végétaux en Afrique de l'Ouest, de manière à diagnostiquer les changements en cours dans la zone critique et anticiper le futur. Les observations réalisées alimentent des recherches dans 3 axes : i) dynamiques à long terme, ii) études de processus et modélisation, iii) applications et réponse à la demande sociétale (Galle et al., 2018). Les données d'observation sont mises à disposition sur une base de données ouverte munie d'une interface cartographique : [bd.amma-catch.org](http://bd.amma-catch.org).

Depuis 2015, 89 articles (WoS) ont été publiés par l'observatoire, et 14 thèse soutenues, dont 8 par des étudiants du Sud.

Deux tâches d'observations (TO) associées sont déclarées à l'OREME : la tâche «Niger» et la tâche « Bénin ». Ce découpage par site plutôt que par tâches thématiques est plus cohérent avec l'organisation du SNO. Ces deux tâches sont transversales, centrées sur l'observation des processus de la zone critique.

Le fonctionnement de l'observatoire est principalement financé par les crédits récurrents des tutelles INSU et IRD, mais chacun des 3 OSUs associés apporte un complément pour des activités d'observation spécifiques menées par les équipes implantées localement à Grenoble, Montpellier et Toulouse. Pour ORME et HSM il s'agit du cycle de l'énergie et du carbone pour la TO Niger (pilotage B. Cappelaere, responsable scientifique du site AMMA-CATCH Niger) et les interactions végétation - cycle de l'eau et un appui à la télétransmission de données pour la TO « Bénin » (pilotage C. Peugeot, responsable scientifique du site AMMA-CATCH Niger).

### Bilan

**TO Niger** - Documentation des cycles couplés eau-énergie-carbone :

- Génération (réanalyse/fusion de données) d'une série météorologique longue de référence à haute résolution pour la modélisation (Leauthaud et al., 2017)
- Estimation de l'évapotranspiration (ETR) par satellite : développement d'un produit validé au Sahel (Allies et al, 2019) ; valorisation de l'expertise acquise (Hssaine & al, 2018)
- Site AMMA-CATCH Niger référencé pour la CalVal de la mission satellitaire ECOSTRESS (NASA), dédiée à l'estimation de l'ETR.

### TO Bénin

- Rôle des arbres dans le cycle hydrologique : prélèvements dans les nappes et contribution à l'évapotranspiration de la surface continentale. Implication pour les systèmes agroforestiers. Thèse de B. Awessou à partir de suivis de flux de sève (Awessou et al., 2015, 2017, 2018 ; Mamadou et al., 2016)
- Développement de la télétransmission de données (optimisation de la gestion du réseau, récupération rapide et traitement accéléré des données). Les données sont gérées par le serveur GeDHyT développé à HSM en 2015 via un projet IRD/SPIRALES (C. Peugeot), mis à disposition de projets partenaires : transmission automatique de rapports quotidiens.
- Analyse et modélisation du cycle de l'eau dans la zone critique (Getirana et al. 2017 ; Hector et al., 2015, 2018 ; Rashid et al., 2019).

### Prospective

La vocation du SNO AMMA-CATCH étant la documentation à long terme, la politique de l'observatoire partagée sur tous les sites (et donc les 2 TOs OREME) est i) la consolidation des tâches associées, avec l'objectif de disposer d'au moins 30 ans de données pour toutes les variables suivies (les séries les plus courtes ont 15 ans) et ii) renforcer les applications en réponse à la demande sociétale

### TO Niger

- Valorisation de l'expertise flux turbulents dans le développement d'un site miroir au Nord sur l'observatoire MEDYCYSS (SNO Karst) : déploiement d'une tour à flux.
- Développement d'outils de modélisation intégrés prenant en compte les transferts d'énergie et de masse dans la zone critique (Méditerranée et Sahel)

### TO Bénin

- En lien avec la politique impulsée dans RBV et renforcée dans OZCAR, développement des suivis de qualité des eaux et de caractérisation géochimiques, qui seront également bénéfiques pour le volet « Qualité » du LMI REZOC démarré fin 2018 (collabs avec la plateforme AETE-Iso à concrétiser) . Actions à construire : suivi des pesticides agricoles dans les eaux de surface et souterraines (LMI REZOC), en partenariat avec l'EMA.
- Télétransmission des données de précipitation : mise en production de prototypes à faible coût développés en partenariat HSM/IGE avec l'appui de l'OREME
- Amélioration de la prévention du risque d'inondation sur l'Ouémé aval et le Lac Nokoué par méthodes neuronales. Travail de thèse d'un étudiant béninois, 2020-2022, encadrement C. Peugeot, collab A. Johannet HSM/EMA , Système d'Alerte Précoce (SAP) et Institut National de l'Eau (INE) du Bénin.

### Références

Allies, A., Demarty, J., Olioso, A., Bouzou Moussa, I., Issoufou, H. B.-A., Velluet, C., Bahir, M., Mainassara, I., Oï, M., Chazarin, J.-P. & Cappelaere, B., In press. Adapting EVASPA/S-SEBI to evapotranspiration mapping in the Sahel with uncertainty characterization: the E3S method. *Remote Sensing of Environment*.

Awessou, B., Peugeot, C., Séguis, L., Galle, S., Rocheteau, A., Do, F., Agbossou, E., Seghieri, J., 2015. Is agroforestry species as efficient as forest species in recycling local rainfall in sudanian belt? Presented at the 14th World Forestry Congress, Durban, South Africa.

Awessou, K.G.B., Peugeot, C., Agbossou, E.K., Seghieri, J., 2018. Consommation en eau d'une espèce agroforestière en zone soudanienne, Chapitre 11 in: « Agroforesterie et Services Écosystémiques En Zone Tropicale. Recherche de Compromis Entre Les Services d'approvisionnement et Les Autres Services Écosystémiques Fournis Par Les Systèmes Agroforestiers Tropicaux », Collection Update Sciences & Technologies. Editions Quae.

Awessou, K.G.B., Peugeot, C., Rocheteau, A., Seguis, L., Do, F.C., Galle, S., Bellanger, M., Agbossou, E., Seghieri, J., 2017. Differences in transpiration between a forest and an agroforestry tree species in the Sudanian belt. *Agroforest Syst* 91, 403–413. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9937-8>

Hssaine, B., Ezzahar, J., Jarlan, L., Merlin, O., Khabba, S., Brut, A., Er-Raki, S., Elfarkh, J., Cappelaere, B & Chehbouni, G., 2018. Combining a Two Source Energy Balance Model Driven by MODIS and MSG-SEVIRI Products with an Aggregation Approach to Estimate Turbulent Fluxes over Sparse and Heterogeneous Vegetation in Sahel Region (Niger). *Remote Sensing*, 10 (6), 974.

Clermont-Dauphin C., Séguis L., Velluet C., Degbé M., Cournac L., Seghieri J. , 2018. Impacts du karité sur les ressources du sol et la production d'une culture de maïs associé dans un parc agroforestier soudanien du nord-est du Bénin. Chapitre 12 in « Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale. Recherche de Compromis Entre Les Services d'approvisionnement et Les Autres Services Écosystémiques Fournis Par Les Systèmes Agroforestiers Tropicaux », Collection Update Sciences & Technologies. Editions Quae.

Gaillardet J., Braud I., Hankard F., Anquetin S., Bour O., Dorfliger N., de Dreuzy J.R., Galle S., Galy C., Gogo S., et al, 2018. OZCAR: The French Network of Critical Zone Observatories. *Vadose Zone Journal* 17, 0. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.04.0067>

Galle, S., Grippa, M., Peugeot, C., Moussa, I.B., Cappelaere, B., Demarty, J., Mougou, E., Panthou, G., Adjomayi, P., Agbossou, et al., , 2018. AMMA-CATCH, a Critical Zone Observatory in West Africa Monitoring a Region in Transition. *Vadose Zone Journal* 17. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.03.0062>

Getirana, A., Boone, A., Peugeot, C., 2017. Streamflows over a West African basin from the ALMIP-2 model ensemble. *Journal of Hydrometeorology*. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0233.1>

Hector B., Seguis L., Hinderer J., Cohard J.-M., Wubda M., Descloitres M., Benarrosh N., Boy J.-P. (2015). Water storage changes as a marker for base flow generation processes in a tropical humid basement catchment (Benin): Insights from hybrid gravimetry. *Water Resources Research*, 51(10): 8331-8361. doi:<http://dx.doi.org/10.1002/2014WR015773>.

Hector, B., Cohard, J.-M., Séguis, L., Galle, S., Peugeot, C., 2018. Hydrological functioning of western African inland valleys explored with a critical zone model. *Hydrology and Earth System Sciences* 22, 5867–5888. <https://doi.org/10.5194/hess-22-5867-2018>

Leauthaud, C., Cappelaere, B., Demarty, J., Guichard, F., Velluet, C., Kergoat, L., Vischel, T., Grippa, M., Mouhaimouni, M., Bouzou Moussa, I., Mainassara, I., Sultan, B., 2017. A 60-year reconstructed high-resolution local meteorological data set in Central Sahel (1950–2009): evaluation, analysis and application to land surface modelling. *International Journal of Climatology* 37, 2699–2718. <https://doi.org/10.1002/joc.4874>

Mamadou, O., Galle, S., Cohard, J.-M., Peugeot, C., Kounouhewa, B., Zannou, A., 2016. Dynamics of water vapor and energy exchanges above two contrasting ecosystems in sudanian climate, Northern Benin (West Africa). *Journal Geoph. Res. - Atmos.* 121, 269–286. <https://doi.org/10.1002/2016JD024749>

Rashid, M., Chien, R.-Y., Ducharme, A., Kim, H., Yeh, P.J.-F., Peugeot, C., Boone, A., He, X., Séguis, L., Yabu, Y., Boukari, M., Lo, M.-H., 2019. Evaluation of Groundwater Simulations in Benin from the ALMIP2 Project. *J. Hydrometeor.* 20, 339–354. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-18-0025.1>

## BILAN DU SO LITTORAL & TRAIT DE COTE (SNO DYNALIT)

Nom du responsable local du SO : Fred Bouchette

Nom du responsable national du SNO DYNALIT et OSU de rattachement : Brunot Castelle (OASU)

Le SO LTC correspond à la composante Occitanie et PACA (totalité de la façade Méditerranée) du SNO DYNALIT ; il en est un des piliers fondateurs. Il est également la composante dédiée à la mesure long terme du réseau GLADYS porté par l'UMR 5243 Géosciences-Montpellier. Il englobe enfin des missions d'observation strictement méditerranéennes en relation avec la biodiversité (coraux et Posidonia).

### Questions scientifiques

Les observations du réseau SO LTC contribuent aux questionnements scientifiques suivants :

- Quantification des évolutions du trait de côte français sur le moyen à long terme.
- Étude de la variabilité des réponses du système littoral au changement climatique.

### Fonctionnement du SO

Le SO LTC a un budget global de 12 000 Euros (6 k€ provenant de l'OSU OREME et 6 k€ provenant du SNO DYNALIT). Ce budget comprend principalement les frais de maintenance (missions, jouvence, petits équipements, ...), l'animation du réseau de chercheurs réalisant la mesure et largement distribué sur la façade Méditerranéenne, et accessoirement la valorisation des travaux du SO.

Les moyens en personnels locaux sont : Fred Bouchette Mcf HDR (ETP 10%). Il bénéficie en plus à la marge du support technique du service Système d'Information de l'OSU OREME. L'effort sur la mesure est assumé entièrement par le réseau GLADYS, composé de personnels de différents laboratoires de la façade Méditerranée. Le SO LTC ne bénéficie d'aucun soutien technique pour réaliser la mesure.

Les équipements du SO sont très limités, mais le SO LTC bénéficie de l'accès au parc GLADYS qui est le parc d'instrument universitaire consacré à la dynamique du littoral le plus étoffé du territoire français (plus de 100 appareils de mesure dédiés à l'hydro-morphodynamisme des plages sableuses). Un système de calcul et d'archivage informatique est dédié au SO.

### Productions du SO

Les données fournies sont stockées sur le soltc.org, et pour certains redistribuées sur le serveur de l'OSU OREME, ainsi que sur les serveurs du réseau national DYNALIT. Les données officielles consistent en des suivis du trait de côte, des MNT (Modèles Numériques de Terrain) des plages sélectionnées et les conditions de vagues qui y sont associées. La résolution actuelle de la mesure est bi-annuelle, alignée sur ce qui a été décidé au sein du réseau DYNALIT depuis 2017.

### Perspectives du SO

Le SO LTC étant une composante du SNO DYNALIT, aucune évolution statutaire n'est envisagée à court terme si ce n'est peut-être la recombinaison des tâches d'observation afin d'en augmenter la lisibilité.

La montée en puissance du réseau GLADYS avec, notamment, la mise en place de l'Institut Universitaire des plages GLADYS sur la façade Méditerranée doit faire l'objet de discussions quant au positionnement de l'OSU OREME dans l'accompagnement de cette structure d'accueil de l'ensemble des moyens de mesure de la façade Méditerranée en hydro-morphodynamisme littoral des plages sableuses.

Il est possible que les sites pilotes du SNO DYNALIT en façade Méditerranée soient ajustés en cours de quinquennal, pour répondre à la mise en place de l'Institut des plages.

### Publications

Années 2014-2016, strictement morpho littorale. Les papiers publiés dans le cadre de GLADYS ou des laboratoires UMR ne sont pas reportés ici. Seuls les papiers en relation stricte avec l'utilisation de la donnée et des moyens du SO LTC sont cités.

Aleman, N., Robin, N., Certain, R., Anthony E. J., Barusseau, J.-P., 2015. Longshore variability of beach states and bar types in a microtidal, storm-influenced, low-energy environment. *Geomorphology*, 241, 175-191.

Billy, J., Robin, N., Hein, C. J., Certain, R., FitzGerald, D. M., 2015. Insight into the late Holocene sea-level changes in the NW Atlantic from a paraglacial beach-ridge plain south of Newfoundland. *Geomorphology*, Vol. 248, 134-146.

- Aleman, N., Certain, R., Barusseau, J.-P., Courp, T., Dia, A., 2014. Post-glacial filling of a semi-enclosed basin: The Arguin Basin (Mauritania). *Marine Geology*, 349, 126-135.
- Billy, J., Robin, N., Hein, C. J., Certain, R., FitzGerald, D. M., 2014. Internal architecture of mixed sand-and-gravel beach ridges: Miquelon-Langlade Barrier, NW Atlantic. *Marine Geology*, 357, 53-71.
- Brunel, C., Certain, R., Sabatier, F., Robin, N., Barusseau, J.P., Aleman, N., Raynal, O., 2014. 20th century sediment budget trends on the Western Gulf of Lions shoreface (France), an application of an integrated method for the study of sediment coastal reservoirs. *Geomorphology*, 204, 625-637.
- Larroudé, P., Oudart, T., Daou, M., Robin, N., Certain, R., 2014. Three simple indicators of vulnerability to climate change on a Mediterranean beach: a modelling approach. *Ocean Engineering*, 76, 172-182.
- Robin, N., Certain, R., Bouchette, F., Anthony, E. J., Meulé, S., Aleman, N., 2014. Net Wave-driven circulation over a double nearshore bar system during storm conditions. *Journal of Coastal Research*, SI 70, 84-89.
- Bouchette F., Manna M., Montalvo P., Nutz A., Schuster M. and Ghienne J-F. (2014) Growth of cusped spits. *Journal of Coastal Research*, 70:47-52, doi:10.2112/SI70-009.1
- Fernández-Fernández, S., Bernabeu, A.M., Rey, D., Mucha, A.P., Almeida, C.M. and Bouchette, F. (2015) The effect of sand composition on the degradation of buried oil. *Marine Pollution Bulletin*, 86:391-401, doi:10.1016/j.marpolbul.2014.06.040
- Isèbe, D., Azérad, P., Bouchette F. and Mohammadi, B. (2014) Design of Passive Defense Structures in Coastal Engineering. *International Review of Civil Engineering*, 5(2), doi:10.15866/irece.v5i2.2029
- Mohammadi, B. and Bouchette, F. (2014) Extreme scenarios for the evolution of a soft bed interacting with a fluid using the Value at Risk of the bed characteristics. *Computers and Fluids*, Elsevier, 89, 78-87. doi:10.1016/j.compfluid.2013.10.021. HAL-Id: hal-01054937.
- Nutz, A., Ghienne, J.-F., Schuster, M., Dietrich, P., Roquin, C., Hay, M.B., Bouchette, F. and Cousineau P.A. (2015) Forced regressive deposits of a deglaciation sequence: example from the Late Quaternary succession in the Lake Saint-Jean basin (Québec, Canada). *Sedimentology*, 62(6):1573-1610, doi:10.1111/sed.12196
- Nutz, A., Schuster, M., Ghienne, J-F., Roquin, C., Hay, M.B., Rétif, F., Certain, R., Robin, N., Raynal, O., Cousineau, P.A., SIROCCO Team and Bouchette, F. (2015) Wind-driven bottom currents and related sedimentary bodies in Lake Saint-Jean (Québec, Canada). *Geological Society of America Bulletin*, 1-15, doi:10.1130/B31145.1
- Nutz, A., Schuster, M., Ghienne, J-F., Roquin and Bouchette, F. (2016) Wind-driven waterbodies: a new category of lake within an alternative sedimentologically-based lake classification. *Journal of Paleolimnology*, X, 1-11, doi:10.1007/s10933-016-9894-2
- Sous, D., Petitjean, L., Bouchette, F., Rey, V., Meulé, S., Sabatier, F. and Martins, K. (2016) Field evidence of swash groundwater circulation in the microtidal Rousty beach, France. *Advances in water resources*, 97:144-155, doi: 10.1016/j.advwatres.2016.09.009

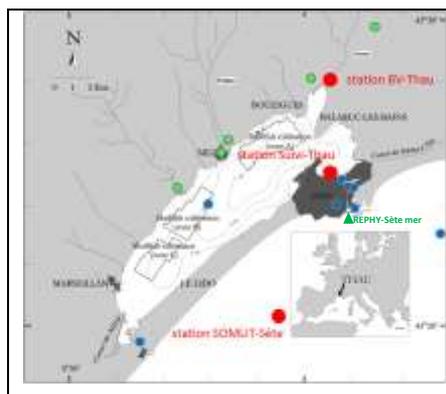
## BILAN DU SO REC-THAU (SNO SOMLIT)

Service Observation « Recherche en Environnement Côtier de Thau » (SO REC-THAU)

**Responsables Scientifiques : Behzad Mostajir (MARBEC) et Yann Leredde (GM)**

**Bilan des activités menées :** Le SO REC-THAU est par nature un SO pluridisciplinaire et original qui a l'ambition de rassembler et renforcer les compétences en océanographie physique et biologique, en hydrologie, en chimie, et en écologie des chercheurs et les cadres techniques des laboratoires HydroSciences, MARBEC, Géosciences et OSU-OREME pour couvrir le « **Continuum Terre-Lagune-Mer** ». Ce continuum a été peu observé simultanément jusque-là, étant situé sur trois milieux distincts avec des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques différentes. **Les objectifs scientifiques du SO REC-THAU** sont d'étudier sur le « Continuum Terre-Lagune-Mer », **i)** la complexité et la variabilité des écosystèmes marins côtiers : variabilité des paramètres physico-chimiques et biologiques influençant le fonctionnement de ces écosystèmes **ii)** les transferts et échanges sur ce continuum, et finalement **iii)** l'évolution à long terme de ces systèmes dans un contexte de changements globaux (anthropiques et climatiques). Nos observations permettent également des focus sur les événements extrêmes (tempêtes, crues, sécheresses, etc.).

Le SO REC-THAU a commencé ses observations dès le début de la création de l'OSU OREME en 2008. Il a évolué sous sa forme actuelle avec trois Taches d'Observations (TO) : **TO Bassin-Versant** de Thau, **TO Suivi-Thau** dans la lagune de Thau et **TO SOMLIT-Sète** en mer en face de la ville de Sète (**Fig. 1**). Il est à noter que la dernière TO est rattachée au SNO SOMLIT.



**Figure 1 :** Carte de positionnement des 3 stations pérennes du SO REC-THAU présentées en rouge. Les stations sur le Bassin Versant Thau, autre que la station pérenne, sont en vert. Les points bleus désignent des stations complémentaires du dispositif (stations météorologiques, courantomètres dans les chenaux, bouée de houle et marégraphe). La station REPHY-Sète mer est indiquée par un triangle vert.

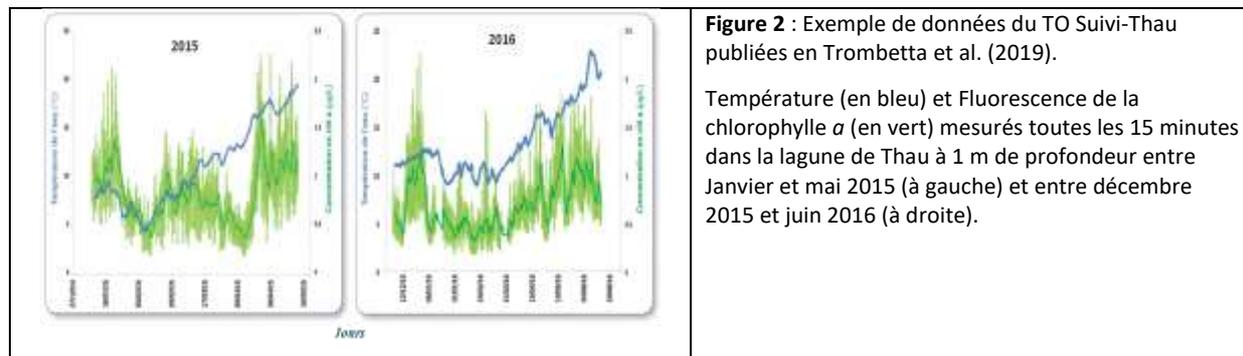
**Moyens humains :** La contribution de personnel pour assurer le fonctionnement du SO était d'un peu plus de 2 ETP: UMR ECOSYM (15%) : B Mostajir et F Vidussi ; UMR Géosciences Montpellier (75%) : Y Leredde et E Berthebaud ; UMR HydroSciences Montpellier (85%) : C Rodier, J-L Perrin, P Marchand, C Salles, M-G Tournoud ; UMS OSU (40%) : S Mas, D Parin, S Soriano, R Valdes.

**Moyens financiers :** Le soutien de l'OSU OREME était de 12 k€ par an de 2015 à 2018 et a été réduit à 8 k€ en 2019. Le soutien du SNO SOMLIT était constant entre 4,5 à 5 k€ par an. A cela s'ajoute d'autres financements provenant des projets de recherches (ex. ANR Photophyto, EC2CO Chifre, etc.).

**Résultats marquants :** Sur le bassin versant les observations collectées sont la pluviométrie et les flux hydriques du cours d'eau principal (la rivière Vène). Ces données comptent parmi les forçages des modélisations hydrodynamiques de la lagune de Thau. Les avancées portent sur le développement météorologique et sur la définition de compromis entre respect des réglementations et pérennisation de l'hydrométrie. La courbe de tarage de la station de mesure de la rivière Vène a été affinée en mettant en place de 2012 à 2018 un sonar à effet Doppler Sontek Argonaut-SW conçu pour la mesure de la vitesse moyenne de l'écoulement en eaux peu profondes (< 4 m) (Marchand et al. 2014). Les obligations réglementaires de continuité écologique des cours d'eau ont conduit à définir un remodelage optimal du seuil qui conserve la sensibilité hydrométrique et qui intègre un dispositif de montage pour le rendre franchissable par l'anguille européenne (Marchand et al. 2017 et Poligot-Pitsch et al. 2018).

Les données provenant de la TO Suivi-Thau (Mostajir et al. 2018, disponibles sur la plateforme SEANOE en Creative Common, (<https://doi.org/10.17882/58280>)) sont utilisées pour les différents projets scientifiques nationaux comme par exemple l'ANR Photophyto (2015-2019, Trombetta et al. 2019, Fig. 2) ou dans le cadre des projets Transnational Access du projet Européen AQUACOSM (2017-2020) réalisés sur la plate-forme MEDIMEER par exemple le projet « Summer in Spring, mai-juin 2019,

(<https://www.aquacosm.eu/mesocosm/medimeer-mediterranean-platform-for-marine-ecosystem-experimental-research/> »).



La Station SOMLIT-Sète au-delà d'alimenter la base de données nationale SOMLIT, supporte également les projets nationaux tels que le projet EC2CO Chifre (2017-2019). Ce projet rassemble la communauté méditerranéenne en océanographie côtière afin d'étudier dans le Golfe du Lion, l'impact des événements extrêmes, crues et tempêtes, sur les écosystèmes côtiers dans un contexte de changements globaux. La réponse rapide (quelques heures à quelques jours) du système marin côtier est étudiée grâce à cinq stations côtières automatiques de mesures, SOLA Banyuls, POEM Perpignan, BESSète (au même emplacement que la Station SOMLIT-Sète), MESURHO à l'embouchure du Rhône et SOLEMIO Marseille. L'objectif principal de ce projet est de rendre compte de la variabilité de la réponse Haute Fréquence (HF) à l'échelle d'une même zone côtière.

**Formation des étudiants bénéficiant du SO REC-THAU** : Quatre doctorants ; Quatre M2 ; Une M1 ; Deux L3 et trois Elèves Ingénieur (voir l'annexe pour les détails).

**Production (données et publications)** : Trois Articles ; Un Metadata ; Douze Affiches et présentations orales (voir l'annexe pour les détails).

**Perspectives pour les observations sur le continuum Terre-Lagune-Mer (2020 - 2025)** : Nous souhaitons continuer notre projet scientifique et nos observations sur le continuum Terre-Lagune-Mer tout en implémentant et intégrant des observations en cours sur la même zone d'étude. Nous proposons de maintenir les 3 TO : **Bassin-Versant, Suivi-Thau et SOMLIT-Sète**, mais également d'intégrer 2 nouveaux TO en mer qui sont toutes les deux des SNO : **SNO COAST-HF (Coastal ocean observing system - High Frequency)**, et **SNO PHYTOBS (Réseau d'observation du phytoplancton)**, toutes les deux positionnées à la Station SOMLIT-Sète même. Par conséquent, le SO REC-THAU possédera 5 TO dont 3 rattachées chacune à un SNO. La TO- Bassin Versant Thau produira les données hydrométéorologiques représentatives des entrées à la lagune mais fournira également les informations relatives à la chronique des écoulements et à leur intermittence pour le **Site Atelier Thau** de la **future Zone Atelier "Petits Fleuves Côtiers Méditerranéens"** en cours de montage dans le cadre de la KIM Waters.

**Moyen humain** : La contribution de personnel de 3 UMR et de l'OSU OREME pour assurer le fonctionnement du SO sera de plus de 2 ETP : B Mostajir (DR CNRS, MARBEC) 30%, Y Leredde (MC UM, GM) 25%, F Vidussi (CR CNRS, MARBEC) 25%, S Mas (IR CNRS OSU) 40%, E Berthebaud (AI CNRS, GM) 20%, D Parin (T, UM, OSU), 10%, S Soriano (T, UM, OSU) 10%, R Valdes (Adj T, UM, OSU) 23%, M Guilliod (T IRD, HSM) 15%, P Marchand (IE IRD, HSM) 10%, C Salles (MC UM, HSM) 5%, M-G Tournoud (PR UM, HSM), 5% pour le début du quinquennal, et J-L Perrin (CR IRD, HSM) 5%.

**Observations en mer, SOMLIT-Sète, COAST-HF Sète et PHYTOBS Sète : Un ensemble cohérent pour l'acquisition et l'intégration des variables physiques, chimiques et biologiques** : Depuis 2015, la station SOMLIT-Sète était intégrée au réseau SOMLIT dans une phase expérimentale. En avril 2019, après 4 années d'acquisition réussies des données selon les normes standards de SOMLIT depuis 2015 et basé sur les excellents résultats analytiques obtenus par le personnel de SOMLIT-Sète dans les exercices annuels d'inter-comparaison entre différentes stations SOMLIT, la station SOMLIT-Sète a été pleinement intégrée au dossier de labellisation déposé par le réseau auprès de la CSOA.

Afin d'initier un observatoire cohérent sur le long terme, nous avons installé la **Station SNO COAST-HF Sète** (Responsables Scientifiques : Y. Leredde et B. Mostajir) exactement sur le même point d'observation que la **Station SOMLIT-Sète** afin d'obtenir un ensemble des données biogéochimiques à la fois en basse fréquence (toutes les 2 semaines, SOMLIT) qu'en haute fréquence avec des capteurs (COAST-HF). A ce dispositif s'ajoute la **Station SNO PHYTOBS Sète** (Responsable Scientifique F. Vidussi) dédiée à l'observation taxonomique du phytoplancton marin, dont les échantillonnages sont effectués à la Station SOMLIT-Sète au même temps que les observations pour SOMLIT. Elle bénéficie ainsi des moyens opérationnels de SOMLIT-Sète. Ainsi la taxonomie

du phytoplancton complète l'ensemble des variables physiques, chimiques et biologiques de cette zone d'étude. Par ailleurs, nous avons suggéré au responsable pressenti de la future potentielle Station **BENTHOBS** (V. Ouisse) (**Réseau d'observation de la macrofaune benthique**) d'installer cette Station pour les observations BENTHOBS au même endroit que les trois Stations SOMLIT-Sète, COAST-HF Sète et PHYTOBS Sète. Ainsi, les données issues de l'ensemble de ces Stations Côtières Méditerranéennes alimenteront non seulement les réseaux élémentaires de l'OSU OREME et de l'IR ILICO, mais également ceux des réseaux Européens dont un des Super-Sites du projet Européen JERICO-3S (2020-2024) de la Méditerranée Nord-Occidentale.

**Besoin en équipement : 1) Capteur de Fluorescence.** Une des originalités de la TO Suivi-Thau est la mesure à HF (toutes les 15 min) de la fluorescence de la chlorophylle qui est un proxy de la biomasse phytoplanctonique (producteur primaire des milieux marins). Le capteur de fluorescence étant HS et au vu de l'importance de cette mesure qui permet d'estimer la biomasse phytoplanctonique (Trombetta et al. 2019) et de modéliser la production primaire, nous sollicitons l'achat de ce capteur (prix 10,5 k€) dans le cadre d'une jouvence programmée sur deux ou trois exercices budgétaires. **2) Sonde CTD.** Nous sollicitons le cofinancement de l'achat de la sonde CTD qui est indispensable pour l'échantillonnage et le monitoring en mer (prix approximatif total 20 k€).

**Besoin en Personnel : Technicien BAP A.** Nous sollicitons ce technicien pour 1) participer aux campagnes de prélèvements sur le bassin versant, en mer et en lagune, 2) assurer la métrologie des capteurs, 3) assurer les analyses biogéochimiques effectuées en laboratoire à partir des échantillons prélevés sur le terrain, et 4) contribuer aux expérimentations en écologie marine sur la plateforme MEDIMEER.

### Annexe : Information détaillée

#### Formation des étudiants bénéficiant du SO REC-THAU

Thomas Trombetta (doctorant). Novembre 2016-présent ; Justine Courboulès (doctorante). Octobre 2017-présent ; Rémi Caillibotte (doctorant), novembre 2017-présent ; Tanguy Soulié (doctorant), Octobre 2018-présent ; Emna Fourati (M2), 2015 et 2016 ; Judith Duhaméeuw (M2) 2016 ; Laura Méhault (M2) 2017 ; Rémi Pagès (M2), 2016 ; Andrea Anthic Gabriel (M1), 2018 ; Ludovic Pancin (L3), 2016 ; Dupont Julien (L3), 2018 ; Claire Louvet (Elève ingénieur Polytech/STE), 2015 ; Alexandre Piroley (Elève ingénieur Polytech/STE), 2016 ; Bastien Le Nezet (Elève ingénieur Polytech/STE), 2017.

#### Production (données et publications)

##### Articles

- 1) Marchand P., Salles C., Rodier C., Hernandez F., Gayraud E. and Tournoud, M. G. (2014). Utilisation et qualification d'un débitmètre à effet doppler (ADC) sur une rivière intermittente. *La Houille Blanche* 5, 36–42. doi:10.1051/lhb/2014048
- 2) Poligot-Pitsch S., Marchand P., Tisserand A., Piroley A., Héry B., Salles C., Arago M.A., Hernandez F., Rodier C. and , Tournoud M.G. (2018). Hydrométrie et continuité écologique : méthodes pour un compromis entre sensibilité et franchissabilité. *La Houille Blanche* (5-6) 58-65. doi : <https://doi.org/10.1051/lhb/2018052>
- 3) Trombetta T, Vidussi F, Mas S, Parin D, Simier M, Mostajir B (2019). Water temperature drives phytoplankton blooms in coastal waters. *PLoS ONE* 14(4):e0214933. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214933>

##### Metadata

Mostajir B, Mas S, Parin D, Vidussi F (Dec 2018). High-Frequency physical, biogeochemical and meteorological data of Coastal Mediterranean Thau Lagoon Observatory. *Seanoë* (<https://doi.org/10.17882/58280>)

##### Affiches et présentations orales

- 4) Bozec Y, Claquin P, Conan P, Feunteun E, L'Helguen S, Leredde Y, Mousseau L, Mostajir B, Raimbault P, Sauriau PG, Sautour B, Savoye N, Seuront L et l'ensemble des collaborateurs SOMLIT (2015a). Service d'Observation en Milieu Littoral. Colloque Annuel du RESOMAR. 16-19 novembre 2015, Montpellier, France
- 5) Bozec Y, Claquin P, Conan P, Feunteun E, L'Helguen S, Leredde Y, Mousseau L, Mostajir B, Raimbault P, Sauriau PG, Sautour B, Savoye N, Seuront L et l'ensemble des collaborateurs SOMLIT (2015b). Evolution vers l'acquisition Microphytoplancton ; Travail coordonné par P. Claquin pour le SOMLIT. Colloque Annuel du RESOMAR. 16-19 novembre 2015, Montpellier, France
- 6) Leredde Y., R. Caillibotte, R. Pagès, A. Gouider, C. Estournel, C. Ulses, P. Marsaleix, F. Vidussi, B. Mostajir, E. Foulland, D. Bonnet, C. Salles, M-G. Tournoud, J-L. Perrin, C. Rodier, S. Mas (2017). Impact of storms and floods episodes on primary production in an exploited coastal zone (Thau lagoon, south of France).

- Coupled hydrodynamic-biogeochemistry modelling approach. COAST Bordeaux 2017, Bordeaux, France 7-10 November 2017
- 7) Leredde L, Mostajir B, Berthebaud E, Mas S, Parin D, Soriano S, Vidussi F (2017). Tach d'Observation SOMLIT-SETE. Journée scientifique et d'information OSU OREME. Montpellier 20 avril 2017, France
  - 8) Leredde Y, Mostajir B, Mas S, Parin D, Soriano S, Valdès R, Berthebaud E, Caillibotte R, Vidussi F, Tournoud M-G, Salles C, Perrin J-L, Rodier C, Marchand P (2017). Le système d'Observation et de Recherche en Environnement côtier de Thau : REC-THAU. Colloque EVOLECO : EVolution à Long terme des Ecosystèmes Côtiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 7-10 décembre, Bordeaux, France.
  - 9) Leredde Y, Pagès R, Gouider A, Caillibotte R, Estournel C, Ulses C, Vidussi F, Mostajir B, Fouilland F, Mas S (2017). Impact of storms and oods episodes on primary production in an exploited coastal zone (Thau lagoon, south of France). Coupled hydrodynamic-biogeochemistry modelling approach. Impact des changements climatiques en Méditerranée. 16-18 octobre 2017, Montpellier, France
  - 10) Leredde Y, Pagès R, Gouider A, estournel C, Ulses C, Marsaleix P, Vidussi F, Mostajir B, Fouilland E, Bonnet D, Salles C, Tournoud M-G, Perrin J-L, Rodier C, Mas S (2017). Impact of storms and floods episodes on primary production in an exploited coastal zone (Thau lagoon, south of France). Coupled hydrodynamic-biogeochemistry modelling approach. COAST - Systemic and Biodiversity Evolution of Marine Coastal Ecosystems under the Pressure of Climate Change, Natural and Anthropogenic Local Factors. 7-10 November, Bordeaux, France.
  - 11) Marchand P., A. Piroolley, C ; Rodier, C. Salles, et M.G. Tournoud (2017). Remodelage d'un seuil de station hydrométrique et continuité hydrologique Compromis entre sensibilité hydrométrique et franchissabilité. Colloque SHF Hydrométrie 2017. Lyon, 14-15 mars 2017
  - 12) Savoye N et l'équipe SOMLIT dont B. Mostajir et Y. Leredde (2017). Long-term monitoring of coastal ecosystems: the SOMLIT Network. COAST - Systemic and Biodiversity Evolution of Marine Coastal Ecosystems under the Pressure of Climate Change, Natural and Anthropogenic Local Factors. 7-10 November, Bordeaux, France.
  - 13) Savoye N et l'équipe SOMLIT dont B. Mostajir et Y. Leredde (2017). Le SOMLIT : Service d'Observation en Milieu Littoral. Colloque EVOLECO : EVolution à Long terme des Ecosystèmes Côtiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 7-10 décembre, Bordeaux, France.
  - 1) Trombetta T, Vidussi F, Sembeil B, Schenkels O, Mas S, Parin D, Roques C, Mostajir B (2017). Dynamique planctonique et forçages physico-chimiques en zone littorale : suivi des déclenchements des blooms printaniers à haute et basse fréquences d'échantillonnage. Colloque EVOLECO : EVolution à Long terme des Ecosystèmes Côtiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés, 7-10 décembre, Bordeaux, France.

## BILAN DU SO SVOM (SNO AA-AN02 SVOM)

**Responsable local : F. Piron**

### 1. Bilan (2014-2019)

SVOM est une mission spatiale sino-française dédiée à l'étude des sursauts gamma et autres sources transitoires à partir de 2022. L'OSU OREME est rattaché au SNO AA-AN02 SVOM depuis 2017 au travers des tâches de services réalisées au LUPM. Ce dernier est co-responsable du développement au French Science Center (FSC, au centre de calcul de l'IN2P3 à Villeurbanne) des pipelines de traitement des données de deux des quatre instruments embarqués, le télescope français ECLAIRs (4-150 keV) et le moniteur gamma chinois GRM (50 keV – 5 MeV), et il contribue à l'évaluation des performances de ECLAIRs. Le personnel impliqué dépend entièrement du CNRS/IN2P3, avec 8 chercheurs.ans et 5 ingénieurs.ans cumulés entre début 2015 et mi-2022.

Le soutien financier du CNES aux activités du LUPM dans le cadre du FSC de SVOM est formalisé dans une convention signée avec le CNRS en 2018, qui précise les échéances de paiements et les livrables associés. Pour chaque sursaut (« Core Program » ou CP), le FSC fabriquera une centaine de produits scientifiques de haut niveau (aux standards IVOA), dont une quarantaine seront issus des observations à haute énergie par ECLAIRs et le GRM (coordonnées célestes, courbes de lumière, spectres, etc). Le LUPM intervient dans l'élaboration d'une trentaine de ces produits, dont une quinzaine sont placés sous sa responsabilité directe. Formellement, le LUPM coordonne trois Work Packages (WP), deux concernant le développement de ces pipelines haute énergie du CP et des logiciels qu'ils exécuteront, et un troisième lié aux besoins de simulation pour leurs tests et validation. Il participe aussi à onze autres WP sans responsabilité directe. Depuis 2015, nous avons fortement contribué à l'écriture des exigences scientifiques et fourni les spécifications techniques de ces pipelines. Nous avons également créé puis animé le groupe qui coordonne leur développement, réparti entre six laboratoires français (Irfu/DAP, IN2P3/APC, INSU/IAP, INSU/IRAP, IN2P3/LUPM) et chinois (IHEP). En 2018, nous avons développé avec l'IAP un premier pipeline qui inclut les principaux composants pour la communication avec les services du FSC ainsi qu'une version préliminaire des logiciels d'analyse des données de ECLAIRs et du GRM. Ce pipeline a été livré au FSC et validé lors du Data Challenge 0 (DC-0) qui s'est tenu en janvier 2019.

En parallèle, le LUPM a contribué aux tests du prototype du plan de détection de ECLAIRs au CNES en 2018, et estimé précisément le seuil de codage en énergie des pixels du télescope. Par ailleurs, nous avons réalisé des simulations Monte-Carlo utilisant divers catalogues de sursauts gamma et démontré l'excellente performance en spectroscopie attendue du système ECLAIRs+GRM, dans le but de générer les produits scientifiques les plus riches possibles. Enfin, nos simulations ont montré que ces instruments auraient enregistré un signal élevé en provenance de GRB170817A, sursaut gamma court apparu le 17 août 2017. La détection associée d'une émission d'ondes gravitationnelles par les interféromètres LIGO-Virgo a montré que cette source était issue de la fusion de deux étoiles à neutrons, et marqué la naissance de l'astronomie multi-messagers pour laquelle SVOM jouera un rôle majeur dans le futur.

### 2. Perspectives (2020-2025)

Les activités du LUPM sont en phase avec le planning général de développement du segment sol scientifique français de SVOM. Le principal objectif du DC-0 était de tester les services de communication et d'échange entre les différents composants du FSC, les traitements de données ayant une priorité moindre. Nous disposons désormais d'une maîtrise technique et méthodologique de l'environnement de développement et d'exécution des traitements des données de ECLAIRs et du GRM. Dans la continuité de ce travail, les années prochaines seront consacrées au développement de versions avancées des logiciels d'analyse des données de ces instruments, avec deux nouveaux Data Challenges prévus fin 2019 et fin 2020. Nous poursuivrons notre collaboration fructueuse avec l'IAP, et renforcerons les échanges avec les partenaires français et chinois impliqués dans le développement des pipelines haute énergie du CP, notamment au travers d'une documentation partagée sur les données, les réponses et calibrations des instruments, les logiciels et les produits scientifiques qu'ils fabriquent. Nous devons en particulier réceptionner certains logiciels développés par les collègues chinois du GRM et veiller à leur bonne intégration au FSC. L'année 2021 sera certainement consacrée à la validation finale de l'ensemble des pipelines. Après le lancement fin 2021, nous prévoyons non seulement d'assurer la maintenance des pipelines sous notre responsabilité, mais aussi de participer aux activités de calibration en orbite des instruments ECLAIRs et GRM.

Pour toutes ces activités, une légère augmentation de l'implication des personnels actuels est prévue jusqu'au lancement. Cependant, le groupe SVOM du LUPM est incontestablement sous-critique, avec deux personnels permanents (un chercheur, un ingénieur – bientôt deux) pour la gestion de projet et la réalisation des tâches techniques. Le recrutement d'un(e) astronome adjoint(e) est indispensable à court terme pour consolider les

activités techniques du groupe et lui offrir par ailleurs la possibilité de s'investir dans la préparation scientifique puis l'exploitation de la mission.

### **3. Références bibliographiques**

#### **3.1 Articles**

- Bernardini, M. G., Xie, F., Sizun, P., Piron, F. et al., "Scientific prospects for spectroscopy of the gamma-ray burst prompt emission with SVOM", *Experimental Astronomy* 44, 113 (2017)
- Wei, J., Cordier, B. et al. (SVOM consortium), « The Deep and Transient Universe : New Challenges and Opportunities – Scientific prospects of the SVOM mission » (2016), arXiv:astro-ph/1610.06892

#### **3.2 Présentations en conférences**

- Piron, F., "The SVOM Gamma-Ray Burst Mission", Eighth Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, October 24-28 2016 (Huntsville, AL, USA)
- Bernardini, M. G., Piron, F., Atteia, J.-L., Sizun, P., Dong, Y., Xie, F., Cordier, B., "Scientific Prospects for Spectroscopy of the GRB Prompt Emission with SVOM" (poster), Eighth Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, 24-28 Octobre 2016 (Huntsville, AL, USA)

#### **3.2 Autres productions**

- Simulation de la réponse de ECLAIRS+GRM au signal de GW-GRB170817A (M.G. Bernardini & F. Piron), incluse dans la note « SVOM à l'ère des ondes gravitationnelles » adressée aux tutelles (CNES, IN2P3, INSU, CEA) et disponible sur le site web de SVOM ([www.svom.fr](http://www.svom.fr))
- Stage de Master 2 de Adrien Laviron (mars-juillet 2018, encadrement F. Piron) : "Caractérisation du seuil de codage en énergie du télescope ECLAIRS de SVOM à l'aide des données de tests du prototype de son plan de détection"

## BILAN DU SO PLATO (SNO DE AA-ANO2 - PLATO)

### La mission PLATO

PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of stars) est une mission de classe moyenne (M3) de l'agence spatiale européenne (ESA) dont le concept a été officiellement accepté fin juin 2017. Le lancement est prévu pour 2026.

L'objectif scientifique de la mission est double. PLATO a d'abord pour objectif de découvrir, par la méthode des transits, des exoplanètes rocheuses de masse similaire à celle de la Terre dans la zone habitable autour d'étoiles similaires au Soleil.

Afin de caractériser les propriétés physiques des systèmes d'exoplanètes, la mission PLATO a pour second objectif de déterminer les propriétés stellaires par le biais de l'astérosismologie. PLATO sera la première mission à systématiquement utiliser l'astérosismologie pour caractériser les étoiles hôtes d'exoplanètes, ce qui devrait permettre de lier évolution stellaire et planétaire.

### L'implication du LUPM et de l'OSU OREME

La mission PLATO fait partie des services nationaux d'observations de l'INSU. Elle est labellisée sous le volet ANO-02 (<http://insu.obsppm.fr/cnrs/detailSo/100>). L'OSU coordinateur de la mission est PYTHEAS. L'OSU OREME est OSU partenaire de ce service depuis décembre 2018.

Les activités sur ce service au sein du LUPM remontent cependant à 2014 et impliquent à des degrés divers 6 personnels du laboratoire (3 MdC, 1 Pr, 2 Ast.).

La structure de la mission PLATO se décompose en trois grands volets: la charge utile, la gestion des données et la préparation scientifique. Les membres du LUPM/OSU OREME interviennent tous au niveau de la préparation scientifique, au sein des workpackages 120000 (Stellar Science) et 140000 (Follow-up coordination). Ces travaux ont pour but d'une part de fournir des modèles d'étoiles et de leurs atmosphères avec une précision encore inégalée et imposée par les spécifications de la mission PLATO (par exemple: une précision de 10% sur les âges des étoiles). D'autre part, un travail complémentaire de caractérisation spectroscopique des sources observées par PLATO est nécessaire (suivi sol en amont et pendant le déroulé de la mission), ce à quoi participent les personnels du LUPM.

**Workpackage "Stellar Science":** Ana Palacios et Bertrand Plez sont responsables chacun d'un workpackage, respectivement celui sur les processus de transport (121200) et sur les modèles d'atmosphères 1D (122100). L'objectif du workpackage 121200 est de fournir des prescriptions et des algorithmes pour prendre en compte les processus physiques transportant à la fois le moment cinétique et les espèces chimiques dans les intérieurs stellaires. Ces processus sont multiples et interdépendants. Leur prise en compte est essentielle pour fournir des grandeurs physiques (rayon, luminosité, masse) réalistes pour les étoiles hôtes d'exoplanètes. Pour le workpackage 122100, l'objectif est de fournir des grilles de modèles d'atmosphères mono-dimensionnelles qui permettront une détermination automatique de la température, de la gravité et de la composition chimique de surface des étoiles hôtes d'exoplanètes.

La responsabilité de ces deux workpackage est confiée à deux membres du LUPM/OSU OREME reconnus internationalement pour leur expertise dans les domaines concernés.

En plus des responsabilités listées ci-dessus, le workpackage 121200 voit aussi intervenir Olivier Richard, lui aussi expert dans le domaine de l'évolution stellaire et en particulier du processus de diffusion atomique dans les étoiles.

Au cours du quinquennal passé, des exercices de hare and hound, des comparaisons de codes et d'algorithmes et des recommandations ont été émises au sein des deux groupes de travail sus-nommés. Ce travail va continuer et s'affiner sur les phases C/D et E1 de la mission, c'est-à-dire jusqu'au lancement prévu en décembre 2026.

**Workpackage "Follow-up coordination":** Julien Morin, Agnès Lèbre et Eric Josselin, tous trois experts sur le magnétisme des étoiles froides, sont impliqués dans le workpackage 146400 ("Spectropolarimetric follow-up") dont l'objectif est d'acquérir des cartes de répartition du champ magnétique à la surface des étoiles cibles de PLATO. En effet, la présence d'un champ magnétique peut grandement affecter la détection d'exoplanètes en produisant des signaux parasites. Il est donc important de s'affranchir de ce problème par des observations spectro-polarimétriques qui permettent de caractériser cette distribution.

Le travail de follow-up a commencé à se mettre en place en 2018, en particulier avec la mise sur le ciel du spectro-polarimètre SPIROu, qui pourra être utilisé pour caractériser des cibles PLATO.

Au cours du prochain quinquennal, l'activité de service autour de PLATO va continuer et monter en puissance au LUPM. Une implication plus forte, en particulier dans le développement de pipeline en relation avec le PDC (Plato Data Center) est envisagée dans la perspective du recrutement CNAP d'un jeune chercheur formé au LUPM et fortement impliqué dans ces aspects au niveau du consortium PLATO.

## BILAN DU SO GRAVIMETRIE (SNO GRAVIMETRIE DE L'IR RESIF)

Nom du SO : Gravimétrie

Nom du responsable local du SO : Stephane Mazzotti

Nom du responsable national du SO et OSU de rattachement : Jean-Paul Boy - EOST

Le SO Gravimétrie de l'OREME correspond à la Tache d'Observation « gravimétrie absolue répétée » du SNO Gravimétrie de l'IR RESIF (SNO INSU). Cette tâche d'observation est nouvelle et vient d'être labélisée lors de la demande du SNO 2019.

### Questions scientifiques :

Les observations du SO Gravimétrie ont pour objectif de fournir des série temporelles long-terme (10 ans et plus) de variations de gravimétrie absolue. Les questions scientifiques adressées sont :

- La dynamique et les processus de déformation actuelle des Alpes ;
- La caractérisation des mouvements verticaux et variations de niveau marin aux marégraphes français ;
- La caractérisation des mouvements du centre de masse des référentiels géodésiques globaux.

### Fonctionnement du SO

Pour 2019, le SO Gravimétrie reçoit 5 k€ de fonctionnement au titre de Tache d'Observation du SNO Gravimétrie RESIF. Ce financement est complété par 1 k€ de l'OREME. Ce budget est utilisé pour les missions de terrain (mesures de gravimétrie absolue) aux 10-15 points de mesure en France, ainsi que pour co-financer la maintenance des outils d'observation (gravimètres absolus du parc GMob RESIF).

Les moyens personnels sont : 1 PR Univ. (ETP 15%), 1 MCF Univ. (15%), 1 IR CNRS (25%).

### Productions du SO

Le SO Gravimétrie ayant été labélisé en 2019, les nouvelles mesures n'ont pas débutées. Toutefois, un travail préparatoire de « preuve de concept » a été réalisé et présenté lors du congrès de l'European Geophysical Union à Vienne en 2018 (Barnoux et al., 2018).

### Perspectives du SO

A développer après 1 ou 2 ans de fonctionnement.

### Publications

Barnoud, A., S. Mazzotti, and N. Le Moigne. "Absolute Gravity Change and Vertical Displacement Measurements in France for Geophysical Applications." EGU General Assembly, Vol. 20, 2018.

## BILAN DU SO GNSS (SNO RENAG)

Nom du SO : GNSS

Nom du responsable local du SO : Erik Doerflinger

Nom du responsable national du SO et OSU de rattachement : Philippe VERNANT - OREME

Le SO GNSS correspond à la composante Languedoc Roussillon / Cévennes / Camargue du SNO RENAG qui est une action spécifique de l'IR RESIF, et contribue activement au projet européen EPOS. Le SO est aussi partenaire du Réseau GNSS Permanent (RGP) de l'IGN (Institut Géographique National).

### Questions scientifiques :

Les observations du réseau Géodésie GNSS (anciennement dites GPS) contribuent aux 3 questionnements scientifiques majeurs suivants :

- Quantification des faibles déformations tectoniques actuelles régionales et nationales.
- Suivi de l'évolution temporelle de la vapeur d'eau atmosphérique pour la météorologie (risque lié aux pluies catastrophiques régionales) et la climatologie.
- Etude des mouvements verticaux induits par des processus environnementaux (chargement hydrologique SNO H+, Subsidence SNO Gravimétrie, Glissements de terrain SNO OMIV, ...).

### Fonctionnement du SO

Le SO GNSS n'est pas structuré en Taches d'Observation (TO)

Le SO Géodésie GNSS a un budget de fonctionnement de 17 200 € (6 400 € provenant de l'OSU OREME et 10 800 € du SNO RENAG). Ce budget comprend principalement les frais de maintenance (missions et de renouvellement des petits équipements), les communications, et le traitement et l'archivage des données.

Les moyens en personnels du SO sont : un professeur (ETP 10%), un maître de conférence (ETP 20%), un ingénieur de recherche (ETP 50%), une assistante ingénieure (ETP 40%). Il bénéficie en plus du support technique du service Système d'Information de l'OSU OREME.

Les équipements du SO sont constitués de 15 stations GNSS permanentes comprenant un système d'acquisition GNSS, un système d'alimentation électrique et un système de communication. Quatre systèmes supplémentaires mobiles et autonomes sont dédiés aux mesures semi-permanentes. Un système de calcul et d'archivage informatique est dédié au SO.

### Productions du SO

Les données fournies sont des fichiers GNSS au format international RINEX. Soit des fichiers de 24h avec enregistrement toutes les 30s (tectonique), soit des fichiers horaires avec enregistrement toutes les secondes (météorologie) en plus des métadonnées. Ces fichiers sont diffusés en temps quasi-réel sur les sites du SNO RENAG, sur celui du RGP de l'IGN et au niveau européen par la plateforme des sciences de la terre EPOS.

Le champ de vitesses des déformations tectoniques est calculé et diffusé périodiquement.

L'estimation de la vapeur d'eau atmosphérique est réalisée par l'IGN en temps réel à partir des données fournies par notre SNO et est assimilée dans les modèles de prévision météorologique de Météo France.

En raison des faibles mouvements tectoniques (< 1mn) en France métropolitaine et de l'utilisation des données en climatologie, la durée des observations GNSS ne devraient pas être inférieures à 30 ans.

### Perspectives du SO

Le SO Géodésie GNSS étant une composante du SNO RENAG de l'IR RESIF, aucune évolution statutaire n'est envisagée à cours terme. Le SO GNSS devrait suivre l'évolution du SNO RENAG.

Deux nouveaux sites seront installés prochainement en Provence (LSBB Laboratoire souterrain à bas bruit de Rustre) pour compléter le réseau d'étude des mouvements verticaux induits par le chargement hydrologique en liaison directe avec le SNO H+. D'autres évolutions concerneront la jouvence de certains récepteurs et des systèmes de communication et surtout le calcul mensuel des champs de vitesses de l'ensemble des sites GNSS permanents de RENAG.

## Publications

Asensio E, Khazaradze G, Echeverria A, King RW and Vilajosana I (2012), "GPS studies of active deformation in the Pyrenees", *Geophysical Journal International.*, may, 2012. Vol. 190(2), pp. 913-921. Oxford University Press (OUP).

Bock O, Bosser P, Pacione R, Nuret M, Fourri  N and Parracho A (2016), "A high-quality reprocessed ground-based GPS dataset for atmospheric process studies, radiosonde and model evaluation, and reanalysis of HyMeX Special Observing Period", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.*, nov, 2016. Vol. 142, pp. 56-71. Wiley-Blackwell.

Boniface K, Champollion C, Chery J, Ducrocq V, Rocken C, Doerflinger E and Collard P (2012), "Potential of shipborne GPS atmospheric delay data for prediction of Mediterranean intense weather events", *Atmospheric Science Letters.*, jun, 2012. Vol. 13(4), pp. 250-256. Wiley-Blackwell.

Boniface K, Champollion C, Masson F and Ducrocq V (2010), "Characterisation of Mediterranean heavy rainfall events from GPS water vapour monitoring", In *EGU General Assembly Conference Abstracts.*, may, 2010. Vol. 12, pp. 11626.

Boniface K, Ducrocq V, Jaubert G, Yan X, Brousseau P, Masson F, Champollion C, Ch ry J and Doerflinger E (2009), "Impact of high-resolution data assimilation of GPS zenith delay on Mediterranean heavy rainfall forecasting", *Annales Geophysicae.*, jul, 2009. Vol. 27(7), pp. 2739-2753. Copernicus GmbH.

Boniface K, Walpersdorf A, Guyomarc'H G, Deliot Y, Karbou F, Vionnet V and Nievinski F (2015), "GNSS reflectometry measurement of snow depth and soil moisture in the French Alps", In *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Vol. 2015-November, pp. 5205-5207. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).

Boudevillain B, Argence S, Claud C, Ducrocq V, Joly B, Joly A, Lambert D, Nuissier O, Plu M, Ricard D, Arbogast P, Berne A, Chaboureau J-P, Chapon B, Crepin F, Delrieu G, Doerflinger E, Funatsu B, Kirstetter P-E, Masson F, Maynard K, Richard E, Sanchez E, Terray L and Walpersdorf A (2009), "Projet Cyprim, partie I: Cyclogen ses et précipitations intenses en région méditerranéenne: origines et caractéristiques", *La M t eorologie*. Vol. 66(66), pp. 18-28. INIST-CNRS.

Bouin MN and Wöppelmann G (2010), "Land motion estimates from GPS at tide gauges: A geophysical evaluation", *Geophysical Journal International.*, jan, 2010. Vol. 180(1), pp. 193-209. Oxford University Press (OUP).

Brenot H, Ducrocq V, Walpersdorf A, Champollion C and Caumont O (2006), "GPS zenith delay sensitivity evaluated from high-resolution numerical weather prediction simulations of the 8-9 September 2002 flash flood over southeastern France", *Journal of Geophysical Research Atmospheres.*, aug, 2006. Vol. 111(15), pp. D15105.

Brenot H, Walpersdorf A, Reverdy M, Van Baelen J, Ducrocq V, Champollion C, Masson F, Doerflinger E, Collard P and Giroux P (2014), "A GPS network for tropospheric tomography in the framework of the Mediterranean hydrometeorological observatory Cévennes-Vivarais (southeastern France)", *Atmospheric Measurement Techniques.*, feb, 2014. Vol. 7(2), pp. 553-578. Copernicus GmbH.

Calais E, Nocquet JM, Jouanne F and Tardy M (2002), "Current strain regime in the Western Alps from continuous Global Positioning System measurements, 1996-2001", *Geology*. Vol. 30(7), pp. 651-654. Geological Society of America.

Champollion C, Masson F, Bouin MN, Walpersdorf A, Doerflinger E, Bock O and Van Baelen J (2005), "GPS water vapour tomography: Preliminary results from the ESCOMPTE field experiment", In *Atmospheric Research.*, mar, 2005. Vol. 74(1-4), pp. 253-274.

Champollion C, Masson F, Doerflinger E, van Baelen J, Anquetin S, Walpersdorf A, Ch ry J and Bock O (2003), "GPS observation of the September 9th 2002 Torrential rainfall in southern France (Gard-Cévennes).", In *EGS - AGU - EUG Joint Assembly.*, apr, 2003. (1), pp. 2002.

- Champollion C, Masson F, Van Baelen J, Walpersdorf A, Chéry J and Doerflinger E (2004), "GPS monitoring of the tropospheric water vapor distribution and variation during the 9 September 2002 torrential precipitation episode in the Cévennes (southern France)", *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres.*, dec, 2004. Vol. 109(24), pp. 1-15.
- Delrieu G, Nicol J, Yates E, Kirstetter P-E, Creutin J-D, Anquetin S, Obled C, Saulnier G-M, Ducrocq V, Gaume E, Payrastre O, Andrieu H, Ayrat P-A, Bouvier C, Neppel L, Livef M, Lang M, Du-Châtelet JP, Walpersdorf A and Wobrock W (2005), "The Catastrophic Flash-Flood Event of 8–9 September 2002 in the Gard Region, France: A First Case Study for the Cévennes–Vivarais Mediterranean Hydrometeorological Observatory", *Journal of Hydrometeorology*. Vol. 6(1), pp. 34-52.
- Devoti R, D'Agostino N, Serpelloni E, Pietrantonio G, Riguzzi F, Avallone A, Cavaliere A, Cheloni D, Cecere G, D'Ambrosio C and Others (2017), "A Combined Velocity Field of the Mediterranean Region", *Annals of Geophysics*. Vol. 60(2), pp. 215.
- Ducrocq V, Belamari S, Boudevillain B, Bousquet O, Cocquerez P, Doerenbecher a, Drobinski P, Flamant C, Labatut L, Lambert D, Nuret M, Richard E, Roussot O, Testor P, Arbogast P, Ayrat P-a, Baelen JV, Basdevant C, Boichard J-L, Bourras D, Bouvier C, Bouin M-N, Bock O, Braud I, Champollion C, Coppola L, Coquillat S, Defer E, Delanoe J, Delrieu G, Didon-Lescot J-F, Durand P, Estournel C, Fourrié N, Garrouste O, Giordani H, Coz JL, Michel Y, Nuissier O, Roberts G, Said F, Schwarzenboeck a, Sellegri K, Taupier-Letage I and Vandervaere J-P (2013), "HyMeX, les campagnes de mesures : focus sur les événements extrêmes en Méditerranée", *La Météorologie*. Vol. 8(80), pp. 37. INIST-CNRS.
- Ferenc M, Nicolas J, van Dam T, Polidori L, Rigo A and Vernant P (2014), "An estimate of the influence of loading effects on tectonic velocities in the Pyrenees", *Studia Geophysica et Geodaetica.*, aug, 2014. Vol. 58(1), pp. 56-75. Springer Science backslashmathplus Business Media.
- Renag Group (2010), "RESIF-RENAG : The French GPS component of a European infrastructure", In EGU General Assembly Conference Abstracts., may, 2010. Vol. 12, pp. 9725.
- Mahfouf JF, Ahmed F, Moll P and Teferle FN (2015), "Assimilation of zenith total delays in the AROME France convective scale model: A recent assessment", *Tellus, Series A: Dynamic Meteorology and Oceanography.*, feb, 2015. Vol. 67(1), pp. 1-20. Co-Action Publishing.
- Nguyen HN, Vernant P, Mazzotti S, Khazaradze G and Asensio E (2016), "3-D GPS velocity field and its implications on the present-day post-orogenic deformation of the Western Alps and Pyrenees", *Solid Earth*. Vol. 7(5), pp. 1349-1363.
- Nocquet JM (2012), "Present-day kinematics of the Mediterranean: A comprehensive overview of GPS results", *Tectonophysics.*, dec, 2012. Vol. 579, pp. 220-242. Elsevier B.V..
- Nocquet JM, Sue C, Walpersdorf A, Tran T, Lenôtre N, Vernant P, Cushing M, Jouanne F, Masson F, Baize S, Chéry J and van der Beek PA (2016), "Present-day uplift of the western Alps", *Nature Publishing Group.*, jun, 2016. Vol. 6(June), pp. 1-6. Nature Publishing Group.
- Santamaría-Gómez A, Gravelle M, Collilieux X, Guichard M, Miguez BM, Tiphaneau P and Wöppelmann G (2012), "Mitigating the effects of vertical land motion in tide gauge records using a state-of-the-art GPS velocity field", *Global and Planetary Change.*, dec, 2012. Vol. 98-99, pp. 6-17. Elsevier BV.
- Santamaría-Gómez A, Marie-Noëlle B, Collilieux X and Wöppelmann G (2013), "Time-Correlated GPS Noise Dependency on Data Time Period", In International Association of Geodesy Symposia., nov, 2013. Vol. 138, pp. 119-124. Springer Science backslashmathplus Business Media.
- Walpersdorf A, Brenot H, Champollion C, Doerflinger E, Masson F, Ducrocq V, Anquetin S and Tabary P (2003), "GPS project for tropospheric water vapour observations related to torrential rain in the French Cevennes: Description and first results of the field experiment.", In EGS - AGU - EUG Joint Assembly., apr, 2003.
- Walpersdorf A, Pinget L, Vernant P, Sue C and Déprez A (2017), "Deformation pattern of the Western Alps from two decades of campaign and permanent GNSS measurements", In EGU General Assembly Conference Abstracts. Vol. 19(1), pp. 3046.
- Yan X, Ducrocq V, Poli P, Hakam M, Jaubert G and Walpersdorf A (2009), "Impact of GPS zenith delay assimilation on convective-scale prediction of Mediterranean heavy rainfall", *Journal of Geophysical Research Atmospheres.*, feb, 2009. Vol. 114(3) Wiley-Blackwell.

Yan X, Ducrocq V, Poli P, Jaubert G, Walpersdorf A, Fourier J and Maison G (2008), "Advances in Geosciences Mesoscale GPS Zenith Delay assimilation during a Mediterranean heavy precipitation event", *Advances In Geosciences.*, jul, 2008. Vol. 17, pp. 71-77.

## BILAN DU SO MEDYCYSS (SNO KARST)

Le SO MEDYCYSS (Observatoire Multi-Echelle de la DYnamique des Crues et de l'hYdrodynamique Souterraine en milieu karStique) est la composante OREME du SNO KARST. Ses responsables sont : C. Batiot-Guilhe et J-L. Seidel.

### 1. Contexte et spécificités du SO

#### Statut actuel du SO en terme de labellisation, réseau régional/national, européen :

Le SO MEDYCYSS correspond au site régional du réseau national des sites karstiques (SNO KARST), rattaché à l'IR OZCAR.

#### Questions scientifiques abordées :

Observation et caractérisation à diverses échelles (locale et régionale) de l'hydrodynamique souterraine des aquifères karstiques sous l'action de forçages climatiques et anthropiques ;

Observation et compréhension des processus hydrologiques rapides lors des crues extrêmes dans des bassins versants méditerranéens à forte composante karstique ;

Observation et détermination du risque de contamination de la ressource en eau souterraine par un suivi couplé hydrodynamique/(bio)géochimique ;

Observation de la dynamique des gaz dissous dans les eaux souterraines en milieu karstique, afin d'estimer les temps séjour des eaux souterraines et ainsi de caractériser les mécanismes de recharge et la dynamique des écoulements dans les systèmes hétérogènes complexes ;

Observation et caractérisation isotopique des précipitations sur une transect mer-Cévennes afin de caractériser le marquage des eaux infiltrées vers les aquifères, et d'améliorer la connaissance des systèmes précipitants méditerranéens.

#### Fonctionnement du SO

Crédits annuels récurrents de l'OSU OREME : 4 000 € (2014 à 2016), puis 5 000 € depuis 2017. Depuis sa création, le SO MEDYCYSS a bénéficié de soutiens ponctuels du CG34, de l'UMR HydroSciences Montpellier (projets internes). Certains suivis hydrodynamiques et/ou hydrochimiques/isotopiques ont parfois été réalisés dans le cadre de projets de recherche (ex : Projet CPER Lez Multi-usages 2009-2013, projets de recherche en partenariat avec Total). L'équipement de suivi multi-niveaux mis en place sur le forage profond du Triadou a été financé par l'ANR Equipex Critex (2013-2018).

### 2. Production(s) du SO

#### Types de suivis :

- météorologiques : 6 pluviographes et une station météorologique (Pluie, Vent, Ray, Humidité)
- hydrologiques : mesures de hauteurs d'eau et débits sur 9 stations de mesures ;
- hydrodynamiques et hydrogéochimiques sur une trentaine de points de mesures en partie équipés pour des suivis en continu de paramètres hydrodynamiques (P) et physico-chimiques (T, CE). Les prélèvements hydrogéochimiques effectués sur les sources et les forages/piézomètres sont réalisés ponctuellement ou régulièrement (bimensuel + suivis de crues). Les paramètres analysés sont : les éléments majeurs et en trace, la matière organique dissoute (Carbone Organique Total et fluorescence naturelle), différents isotopes (isotopes stables de l'eau cf TO Suivi isotopes stables, du carbone, du Bore, du Strontium et du Lithium), les Terres Rares, les gaz nobles et anthropiques (Gaz Dissous), les communautés bactériennes.

#### Périodicité des mesures réalisées

- Suivis hydrodynamiques (P, T°) et hydrochimiques en continu (T°, Conductivité électrique, pH, O<sub>2</sub>, turbidité, fluorescence naturelle, Chlorures). Mesures effectuées à l'échelle de plusieurs cycles hydrologiques
- Suivis hydrochimiques réguliers (bi-mensuels à pluri-journaliers) : échelle du cycle hydrologique + crues
- Campagnes de prélèvements spécifiques couplant ponctuellement des échantillonnages hydrochimiques à des prélèvements microbiologiques (caractérisation de la structure des communautés microbiennes) : périodes hydrologiques contrastées (Hautes Eaux/ Basses Eaux)

#### Bases de données produites

Alimentation et gestion conjointe avec OSU-OREME - SO MEDYCYSS et SNO KARST: (BD OSU OREME, OZCAR-THEIA, DEIMS-SDR eLTER):

<https://data.oreme.org/observation/snokarst>

<https://deims.org/5b5ca767-0993-429c-8e58-a7efa39c936a>

Un certain nombre de jeux de données hydrométéorologiques, hydrodynamiques et hydrogéochimiques devraient prochainement être valorisées sous forme de DOI.

### 3. Moyens humains (ETP et personnes impliquées)

Nom	Prenom	Corps, Organisme	ETP
Batiot-Guilhe	Christelle	MCF UM	0,3
Boyer	Jean François	IE IRD	0,1
Briquet	Jean-Pierre	IR IRD	0,1
Brunet	Pascal	IE CNRS	0,2
De Montéty	Véronique	MCF UM	0,1
Hernandez	Frédéric	AI IRD	0,1
Jourde	Hervé	PR UM	0,25
Léonardi	Véronique	MCF UM	0,25
Marchand	Pierre	IE IRD	0,1
Muller	Rémi	TC IRD	0,5
Patris	Nicolas	IR IRD	0,1
Pistre	Séverin	PR UM	0,1
Remes-Busiau	Aurore	T CNRS	0,2
Rouché	Nathalie	IE IRD	0,1
Seidel	Jean Luc	CR CNRS	0,25
Taupin	Jean-Denis	CR CNRS	0,1
Doctorants			1
<b>Total ETP =</b>			<b>3,85</b>
			<b>Total ETP</b>
IT, BIATSS			1,50
C et EC			1,35
Doctorants			1

### 4. Valorisation scientifique (2014-2019)

#### Production scientifique

Articles scientifiques : 32 articles, 1 chapitre d'ouvrage, 7 Communications avec actes dans un congrès national ou international, 31 communications dans congrès nationaux/internationaux et séminaires de recherche, 2 rapports d'expertise.

#### Formation et encadrement doctoral

5 thèses (4 soutenues et 1 en cours) + 22 stages de Master 1 et 9 stages de Master 2

### 5. Principaux faits marquants

#### Développements méthodologiques de traceurs naturels des écoulements spécifiques au karst

Développement de nouvelles méthodes et techniques instrumentales pour caractériser les flux d'infiltration et les dynamiques de recharge, en particulier durant les «hot moments» que sont les événements climatiques extrêmes. Suivi en continu de la MON (Matière Organique Naturelle) par fluorescence (Quiers et al., 2014, Erostate et al., AIH 2016, Bailly-Comte et al., Hydrogeol. J., 2018), suivi en continu du Rn-222 (Molina Porras et al., Chem. Geol., 2017), mesure des isotopes du radium (Molina Porras et al., Appl. Radiat. & Isot., 2017), des CFC/SF6 et excès d'air (de Montety et al., AIH 2016 ; Perotin et al., EuroKarst 2018).

Impulsion depuis 2017 de la structuration d'une communauté « gaz dissous » inter-unités sur Montpellier (UMR-HSM, UMR G-Eau, BRGM, UMR-GM) via des stages de Master 2 (Dupuy 2017, Perotin 2018 ; financement IM2E) et d'une thèse (Thèse L. Perotin, financement Région Occitanie-BRGM, 2018). Cette dynamique de recherche place Montpellier comme 2ème site d'utilisation des gaz dissous en hydrogéologie en France.

Identification de l'origine des flux (anthropiques, naturels) dans le karst par une approche couplant l'hydrogéochimie et la structure des communautés bactériennes, Collaboration avec les équipes PHySE et PoMES d'HSM (Héry et al., AIH 2016; Licznar et al., AFEM, 2017).

### **Renforcement des collaborations académiques avec des partenaires industriels et/ou décideurs**

- o Partenariat avec TOTAL :

Mise en place d'un laboratoire in situ pour caractériser les flux en zone de faille (Site de Rieu Coulon, 5 forages de 50 m distants de 25 m), et financement d'un contrat de thèse sur ce site (V. Clauzon, 2016-2019).

- o Projet CPER/FEDER DEM'EAUX THAU (2017-2021)

Projet de recherche visant à élaborer un démonstrateur de solutions pour la caractérisation et la gestion concertée des ressources en eau d'un réservoir complexe, le système karstique de THAU, par une approche pluridisciplinaire (géologie, hydrogéologie, géochimie et modélisation) en collaboration avec le BRGM, Géosciences Montpellier et la société SYNAPSE. Les données du SO MEDYCYSS sur le système karstique d'Aumelas ont été intégrées dans le jeu de données régionales sur ce territoire.

### **Monitoring profond du karst pour la caractérisation de la recharge et de la dynamique des flux à différentes échelles de temps.**

Mise en place et instrumentation du forage multi-niveaux du Triadou (330 m, équipement "Multi-level monitoring PMPS" SolExperts @, suivis continus en P et T à 5 profondeurs dans le karst et équipés pour le prélèvement d'eau souterraine (Financement ANR EQUIPEX CRITEX 2013-2018 et co-portage WP7.1: Deep monitoring of groundwater).

### **Un outil pédagogique fort pour le département Terre Eau Environnement de la FDS/UM, du L1 au M2**

Les équipements mis en place sur le SO, ainsi que l'ensemble des données produites, en font un atout majeur pour mettre en pratique en TP ou sur le terrain (stages, sorties), les connaissances théoriques enseignées dans les parcours de 1) Licence Sciences de la Terre et de l'Eau et Licence Professionnalisante Génie Prévention et Traitement des Pollutions, de la Mention de Licence ST, et 2) Master Eau de la FDS/UM ; ainsi que des enseignements dans la filière STE3 à Polytech.

## **6. Prospectives 2021-2025**

### **Ouvertures scientifiques – Le SO MEDYCYSS comme chantier fédérateur inter-équipes de l'UMR HydroSciences Montpellier (HSM)**

Des études exploratoires et innovantes en collaboration avec les 2 équipes de microbiologistes de HSM ont démarré en 2014, afin de préciser les liens entre, d'une part, les propriétés hydrodynamiques et hydrogéochimiques des aquifères et, d'autre part, l'écologie des communautés bactériennes ainsi que l'étude de leur antibiorésistance. Plusieurs campagnes de prélèvements ont été mises en œuvre dans différents compartiments de l'aquifère karstique du Lez (milieux transmissif, milieu capacitif) de façon à identifier les corrélations entre dynamiques d'écoulement et communautés microbiennes spécifiques, et caractériser les interactions entre ces compartiments (notamment en termes de flux bactériens). Cet aquifère étant capté pour l'AEP de la métropole de Montpellier, l'étude de l'antibiorésistance est apparue comme une problématique pertinente à poursuivre.

Cette dynamique inter-équipes a été étendue à travers un projet fédérant 5 équipes de HSM (financement 2018-2019, KIM-Waters/I-site MUSE) portant sur l'étude des flux de contaminants et résistance aux antibiotiques dans l'hydrosystème du Lez (eaux de surface et eau souterraine), depuis sa partie karstique (SO MEDYCYSS), jusqu'au littoral (Observatoire Hommes-Milieu "Littoral méditerranéen"). L'une des ambitions est de coordonner les observations sur le bassin du Lez où existe un fort gradient d'urbanisation depuis le bassin karstique jusqu'au littoral. Ce continuum est par ailleurs un exemple typique d'hydrosystème côtier

méditerranéen. Cette action s'inscrit dans le projet de Zone Atelier « Petits fleuves côtiers méditerranéens » porté par l'initiative clé Waters de MUSE.

Le SO MEDYCYSS sera également un site central d'expérimentations dans le cadre du nouveau groupe thématique de HSM pour le prochain contrat, intitulé : «Caractérisation et Modélisation du fonctionnement éco-hydro(géo)logique de la Zone Critique » ayant pour ambition de mener des études intégratives, sur les processus localisés aux interfaces Surface-Atmosphère et Surface-Souterrain, en s'appuyant notamment sur les personnels des nouvelles équipes, principalement HYTAKE (HYdrogéologie et Transferts dans les Aquifères Karstiques et hétérogènes) et HEC (Hydrologie-Ecohydrologie). A noter que le SO MEDYCYSS, porté par l'équipe HYTAKE, va prochainement être équipé d'un dispositif de mesures des flux d'énergie et de masse (H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub>, Equipement ANR EQUIPEX CRITEX).

### Collaborations extérieures et lien avec les réseaux d'observation et l'IR OZCAR

Les stations de mesures des suivis isotopiques des précipitations sur le transect mer-Cévennes viennent d'être également intégrées au SNO RENOIR (REseau fraNçais d'Observation des Isotopes dans les pRécipitations), nouvellement créé et rattaché à l'IR OZCAR.

Le meeting annuel des Journées OZCAR se déroulera à Montpellier au printemps 2020. Le SO MEDYCYSS sera l'un des observatoires qui fera l'objet d'une visite sur le terrain de l'ensemble de la communauté OZCAR.

Le SO MEDYCYSS et plus particulièrement le bassin du Lez, est un des sites intégrés dans le Projet transversal d'OZCAR « Calcite-bags : des capteurs passifs indirects de la pCO<sub>2</sub> équilibrante des sols? ». Des dispositifs seront mis en place d'ici fin 2019. Ce projet fédère notamment des sites du SNO KARST (OSU OREME), SNO Tourbières et SNO M-TROPICS/MSEC-BVET.

### **Annexe: Production scientifique et indicateurs divers sur la période 2014-2019**

#### Journaux / Revues

#### Articles scientifiques : 32 articles

#### 2018

- ACL1** Bailly-Comte, V., Durepaire, X., Batiot-Guilhe, C., & Schnegg, P. A. (2018). In situ monitoring of tracer tests: how to distinguish tracer recovery from natural background. *Hydrogeology Journal*, 26(6), 2057-2069. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1748-8>
- ACL2** Fischer, P., A. Jardani, H. Jourde, M. Cardiff, X. Wang, S. Chedeville and N. Lecoq. (2018). Harmonic pumping tomography applied to image the hydraulic properties and interpret the connectivity of a karstic and fractured aquifer (Lez aquifer, France). *Advances in Water Res.*, 119, 227-244. 10.1016/j.advwatres.2018.07.002.
- ACL3** Fischer, P., Jardani, A., Cardiff, M., Lecoq, N., Jourde, H. (2018). Hydraulic analysis of harmonic pumping tests in frequency and time domains for identifying the conduits networks in a karstic aquifer. *Journal of Hydrology*, 559, 1039-1053. 10.1016/j.jhydrol.2018.03.010
- ACL4** Gaillardet, J., Braud, I., ..., Batiot C., Brunet P., ..., Jourde H., ..., Seidel J.L., et al. (2018). OZCAR: The French Network of Critical Zone Observatories. *Vadose Zone Journal* 2018 17:1. 10.2136/vzj2018.04.0067.
- ACL5** Jourde, H., Massei, N., Mazzilli, N., Binet, S., Guilhe-Batiot, C., Labat, D., ..., Seidel J.L., et al. (2018). SNO KARST: a French network of observatories for the multidisciplinary study of critical zone. *Vadose Zone Journal*, 2018 17: 1, doi:10.2136/vzj2018.04.0094.
- ACL6** Jourde, H., et al. (2018). SNO KARST: a French network of observatories for the multidisciplinary study of critical zone. *Vadose Zone Journal*, 2018 17: 1, doi:10.2136/vzj2018.04.0094.
- ACL7** Mazzilli N., Labat D., Massei N., Jourde H., Lecoq N., et al. (2018). KarstMod, une plateforme dédiée à la modélisation pluie-niveau-débit des aquifères karstiques. *Géologues : revue de l'Union française des géologues, Société géologique de France*, 2018, 43-45.

- ACL8** Wang, X., Jourde, H., Aliouache, M., Massonnat, G. (2018). Characterization of horizontal transmissivity anisotropy using cross-hole slug tests. *Journal of Hydrology*, 564, 89-98. 10.1016/j.jhydrol.2018.06.068.

## 2017

- ACL9** Bicalho C.C., Batiot-Guilhe C., Taupin J. D., Patris N., Van Exter S., Jourde H. (2017). A conceptual model for groundwater circulation using isotopes and geochemical tracers coupled with hydrodynamics: a case study of the Lez karst system, France. *Chemical Geology*, 10.1016/j.chemgeo.2017.08.014
- ACL10** Binet S., Probst J-L., Batiot-Guilhe C., Seidel J-L., Emblanch C., Peyraube N., Charlier J-B., Bakalowicz M., Probst A. (2017). Hydrochimie des sources karstiques du SNO KARST : impact des pollutions acides sur la ressource en eau. *Géologues*, 195, 52-55. ISSN 0016-7916
- ACL11** Brunet P., Bouvier C. (2017). Retour d'expérience sur la crue du 12 septembre 2015 à Lodève (Hérault, France): Influence du karst sur les débits de pointe de crue. *La Houille Blanche*, 3, 39-46. 10.1051/lhb/2017020
- ACL12** Darras, T., Johannet, A., Vayssades, B., Kong A Siou, L., & Pistre, S. (2017). Ensemble model to enhance robustness of Flash Flood Forecasting Using Artificial Neural Network. Case study on the Lez Basin (Southeastern France). *Boletín Geológico y Minero*, 129(3), 565-578. DOI: 10.21701/bolgeomin.129.3.007
- ACL13** Fischer, P., Jardani, A., Wang, X., Jourde, H., & Lecoq, N. (2017). Identifying flow networks in a karstified aquifer by application of the cellular automata-based deterministic inversion method. *Water Resources Research*, 53. 10.1002/2017WR020921.
- ACL14** Johannet, A., Kong-A-Siou, L., Taver, V., Darras, T., Borrel, V., Vinches, M., Pistre S., et al. (2017). La modélisation par réseaux de neurones : une nouvelle vision de la recharge de l'aquifère du Lez (Hérault, France). *Géologues*, 193, 59-67.
- ACL15** Jourde H., Mazzilli N., Massei N., Batiot C., Labat D., Probst A., Seidel J. L., Arfib B., Emblanch C., Fournier M., Steinmann M., Valdes-Lao D., Lastennet R., Bailly-Comte V., Peyraube N., Boyer J.F. (2017). Le Service National d'Observation du KARST (SNO KARST). *Géologues*, 195, 38-42.
- ACL16** Lafare, A., Jourde, H., Léonardi, V., Pistre, S., & Dörfliger, N. (2017). Mathematical modeling of karstogenesis: an approach based on fracturing and hydrogeological processes. *Carbonates and evaporites*, 32(3), 391-401. 10.1007/s13146-017-0337-6
- ACL17** Molina Porras, A., Condomines, M., Seidel, J.-L. (2017). Radium isotopes, Radon and 210Pb in karstic waters: example of the Lez system (South of France). *Chem. Geol.*, 466, 327-340. 10.1016/j.chemgeo.2017.06.022
- ACL18** Wang X., Jardani A., Jourde H., Lonergan L., Cosgrove J. (2017). A hybrid inverse approach for solving large-scale hydraulic tomography in fractured and karstic media. *Journal of Hydrology*, 551, 29-46. 10.1016/j.jhydrol.2017.05.051
- ACL19** Wang, X., Lei, Q., Lonergan, L., Jourde, H., Gosselin, O., & Cosgrove, J. (2017). Heterogeneous fluid flow in fractured layered carbonates and its implication for generation of incipient karst. *Advances in Water Resources*, 107: 502-516. 10.1016/j.advwatres.2017.05.016.

## 2016

- ACL20** Molina Porras, A., M. Condomines and J. L. Seidel (2016). Determination of low-level Radium isotope activities in fresh waters by gamma spectrometry. *Appl. Radiat. & Isot.* 120: 119-125. 10.1016/j.apradiso.2016.12.010.

## 2015

- ACL21** Batiot-Guilhe, C., Ladouche, B., Seidel, J. L., & Maréchal, J. C. (2015). Caractérisation hydrochimique et qualité des eaux de l'aquifère karstique du Lez. *Karstologia*, 62: 23-32.
- ACL22** Borrell-Estupina, V., Malaterre, P.-O., Ricci, S., Fleury, P., Jay-Allemand, M., Coustau, M., Harader, E., Darras, T., Bouvier, C., Thual, O., Guilhemenc, M., Marchandise, A. and Maréchal, J.-C. (2015). Flood part II : Genesis, propagation and forecasting of flooding at Montpellier city. *Karstologia* 62: 49-56.

- ACL23** Darras, T., Borrell, V., Kong A Siou, L., Vayssade, B., Johannet, A., & Pistre, S. (2015). Identification of spatial and temporal contributions of rainfalls to flash floods using neural network modelling: case study on the Lez basin (southern France). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 4397-4410. 10.5194/hess-19-4397-2015
- ACL24** Dausse A., Jourde H., Léonardi V. (2015). Multi-scale Assessment of Hydrodynamic Properties in a Karst Aquifer (Lez, France). *Environ. Earth Sci.* 1, 331-338, DOI 10.1007/978-3-642-17435-3\_37
- ACL25** Fleury, P., Borrell Estupina, V., Johannet, A., Kong-A-Siou, L., Pistre, S., Guilhemenc, M., Maréchal, J.-C., and Dörfliger, N. (2015). Flood part I: Karst contribution to Lez floods, *Karstologia* 62, 41-48.
- ACL26** Kong A Siou, L., Johannet, A., Borrell, V., & Pistre, S. (2015). Neural networks for karst groundwater management. Case of the Lez spring (Southern France). *Environmental Earth Sciences*, 74(12), 7617-7632. 10.1007/s12665-015-4708-9
- ACL27** Taver, V., Johannet, A., Borrell, V., & Pistre, S. (2015). Feed-forward vs Recurrent Neural Network Models for non-stationary modelling using data assimilation and adaptivity. *Hydrological Sciences Journal*, 60 (7-8), 1242-1265. 10.1080/02626667.2014.967696.
- ACL28** Wang, X., A. Jardani, H. Jourde, L. Lonergan, J. Cosgrove, O. Gosselin and G. Massonnat (2015) Characterisation of the transmissivity field of a fractured and karstic aquifer, Southern France, *Advances in Water Resources*, 87 (2016) 106-121, <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.10.014>.

## 2014

- ACL29** Johannet, A., Taver, V., Kong, A. S. L., Borrell, V., Pistre, S., Mangin, A., et al. (2014). Les réseaux de neurones artificiels pour la modélisation des aquifères karstiques. *Karstologia*, 60, 45-59.
- ACL30** Jourde, H., Lafare, A., Mazzili, N., Belaud, G., Neppel, L., Doerfliger, N., et al. (2014). Flash flood mitigation as a positive consequence of anthropogenic forcings on the groundwater resource in a karst catchement. *Environmental Earth Sciences*, 71, 573-583. 10.1007/s12665-013-2678-3
- ACL31** Kong-A-Siou, L., Fleury, P., Johannet, A., Estupina, V. B., Pistre, S., & Dorfliger, N. (2014). Performance and complementarity of two systemic models (reservoir and neural networks) used to simulate spring discharge and piezometry for a karst aquifer. *Journal of Hydrology*, 519 (D), 3178-3192. 10.1016/j.jhydrol.2014.10.041
- ACL32** Quiers, M., Batiot-Guilhe, C., Bicalho Caetano, C., Seidel, J. L., Perrette, Y., & Van Exter, S. (2014). Characterisation of rapid infiltration flows and vulnerability in karst aquifer using a decomposed fluorescence signal of dissolved organic matter. *Environmental Earth Sciences*, 71(2), 553-561. 10.1007/s12665-013-2731-2.

## Ouvrages

### Chapitres d'ouvrage : 1

1. Kong A Siou, L., Johannet, A., Borrell, V., Pistre, S. (2015). Neural network for karst management. Case of the Lez spring (Southern France). . In E. E. S. B. A. e. a. e. Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems (Ed.), *Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems* (Vol. 1, pp. 361-369.). 10.1007/978-3-642-17435-3\_41

### Production dans des colloques / congrès, séminaires de recherche

### Articles publiés dans des actes de colloques / congrès : 7

### Communications avec actes dans un congrès national ou international

## 2017

- Lecoq, N., Fischer, P., Jardani, A., Jourde, H., Wang, X., Chedeveille, S., Cardiff, M. (2017, 11-15 Dec.). Imaging the flow networks from a harmonic pumping in a karstic field with an inversion algorithm. Paper presented at the AGU 2017, H51C-1279, New Orleans, USA.

**2015**

Darras, T., Raynaud, F., Borrell Estupina, V., Kong A Siou, L., Van Exter, S., Vayssades, B., Johannet, A., Pistre, S. (2015). Confrontation between neural network modelling and geochemical waters analyses to understand and forecast flash karst floods (Lez river example). Paper presented at the Proc. IAHS.

Johannet, A., Taver, V., Vinches, M., Borrell, V., Pistre, S., Bertin, D. (2015, 12-15 June). Comparison between inverse modelling and data assimilation to estimate rainfall from runoff by multilayer perceptron. Paper presented at the Joint Conf. On Neural Networks, Killarney, Ireland.

Raynaud, F., Borrell, V., Pistre, S., Van Exter, S., Bourgeois, N., Dezetter, A., Servat, E. (2015). A new investigation method combining morphological observations and chemical analyses of surface waters to improve knowledge on flash karst floods genesis. Paper presented at the 14th Sinkholes Conf, Rochester, USA.

**2014**

Darras, T., Johannet, A., Vayssade, B., Kong, A. S. L., Pistre, S. (2014, 25-27 June). Influence of the Initialization of Multilayer Perceptron for Flash Floods Forecasting: How designing of a Robust Model. Proc. ITISE. Paper presented at the International Work-Conference on Time Series Analysis, Granada (Spain).

Raynaud, F., Borrell Estupina, V., Dezetter, A., Pistre, S., Mathieu-Soubias, H., Servat, E. (2014, 15-19 Sept.) Modelling flash floods in a karstic watershed using an original semi-distributed radar-gauge merging method. Paper presented at the XII Int. Assoc. Engineering Geology Congress, Torino (Italy). 10.1007/978-3-319-09054-2\_34.

Raynaud, F., Mathieu-Soubias, H., Borrell Estupina, V., Pistre, S., Seidel, J. L., Van-Exter, S., de Montety, V., Hernandez, F. (2014, 15-19 sept.). Influence of a karstic system on surface flooding in a Mediterranean climate. Paper presented at the Int. Assoc. for Engineering Geology Congress, Torino (Italy).

**Autres produits présentés dans des colloques / congrès et des séminaires de recherche : 31****Communications orales sans actes (seules ou avec résumé) dans un congrès national ou international****2018**

Clauzon, V., Léonardi, V., Pistre, S., Jourde, H., Soliva, R. (2018, 2-6 Juillet 2018). Fault and karstification: extrapolation from case study of Saint-Clément fault, Languedoc, France. Paper presented at the EuroKarst Conference, Besançon, France.

**2017**

Binet, S., Probst, J. L., Batiot, C., Seidel, J. L., Emblanch, C., Peyraube, N., Mangin, A., Bakalowicz, M., Probst, A. (2017, 23-28 Avr.). Impact of atmospheric pollution inputs and climate change on dissolved inorganic carbon fluxes in karst aquifers: evidences from a 36 years past monitoring of karstic watersheds. Paper presented at the EGU General Assembly, Vienna (Autriche).

Seidel, J. L., Batiot-Guilhe, C., de Montety, V., Durepaire, X., Hery, M., Leonardi, V., Molina Porras, A., Brunet, P., Hernandez, F., Marchand, P., Muller, R., Jourde, H. (2017, 10-12 Mai 2017). Caractérisation des flux de recharge à différentes échelles de temps et d'observation en milieu karstique. Paper presented at the Journées CRITEX, Autrans (France).

**2016**

Clauzon, V., Lesparre, N., Leonardi, V., Hurmic, A., Brunet, P., Marchand, P., Massonnat, G., Jourde, H. (2016, 25-29th September). Electrical Resistivity Tomography (ERT) as a tool for the assessment of karst features in carbonate aquifers. Paper presented at the 43rd IAH Congress, Montpellier, France.

Darras, T., Bonnet, A., Johannet, A., Pistre, S. (2016, 24 - 28 Octobre). Statistical and spectral analysis: ability to identify global features of a nonlinear and complex hydrosystem. Paper presented at the Colloque RST, Caen, France.

Darras, T., Johannet, A., Vayssade, B., Kong A Siou, L., Pistre, S. (2016, 27-29 June). Ensemble Model to Enhance Robustness of Flash Flood Forecasting Using Artificial Neural Network. Paper presented at the TISE Congress, Granada, Spain.

Darras, T., Kong A Siou, L., Vayssade, B., Johanne, t. A., Pistre, S. (2016, 5-7 sept.). Karst flash flood forecasting using recurrent and non-recurrent artificial neural network model: The case of the Lez Basin (southern France). Paper presented at the EuroKarst Conference, Neuchatel, Suisse.

De Montety, V., Tweed, S., Molina Porras, A., Seidel, J. L., Batiot-Guilhe, C., Durepaire, X., Leblanc, M., Patris, N., Aquilina, L. (2016, 26-29 Sept.). Origin and dynamics of spring flows during flood events inferred from innovative tracers. Paper presented at the 43rd AIH Intern. Congress, Montpellier (France).

Hery, M., de Montety, V., Batiot-Guilhe, C., Masnou, A., Seidel, J. L., Almakki, A., Molina Porras, A., Durepaire, X., Leonardi V., Jumas-Bilak, E., Jourde, H., Licznar-Fajardo, P., 2016: Characterisation of antibioresistance of bacterial communities in a mediterranean karst system: impact of hydrogeological functioning during the hydrological cycle. 43rd IAH CONGRESS Montpellier, 25-29th September, 2016.

Leonardi, V., Massonnat, G., Planteblat, C., Gal, C. (2016, 25-29th Sept.). Karst genesis modelling of a regional Mediterranean aquifer (Lez, France). 43rd IAH Congress, Montpellier, France.

Molina Porras, A., Seidel, J. L., Condomines, M. (2016, 26-29 Sept.). Behavior of Radium isotopes in a karstic spring (Lez) and a Mediterranean stream (Vidourle) in the south of France. Paper presented at the 43rd AIH Intern. Congress, Montpellier (France).

## 2015

Molina Porras, A., Seidel, J. L., Condomines, M. (2015, 16-21 August). Groundwater origin and recharge in a Mediterranean karstic aquifer: A  $^{222}\text{Rn}$  and  $\text{Ra}$  isotopes investigation. Paper presented at the 25th Goldschmidt Conf., Prague (Czech Republic).

## 2014

Bailly-Comte, V., Jourde, H., Borrell Estupina, V., Pistre, S. (2014, 30 may-2 June). Conceptualization and modeling of groundwater-surface water interactions in karst watersheds. Example of a Mediterranean ephemeral river, the Coulazou River. Paper presented at the 40th AIH Congress, Perth, Australia.

Darras, T., Johannet, A., Vayssade, B., Kong A Siou, L., Pistre, S. (2014, 16-19 Juin). Intégration de l'estimation de l'humidité du bassin dans la prévision des crues éclair par apprentissage statistique. Paper presented at the Colloque E3D, Alès (France).

Kong A Siou, L., Borrell, V., Johannet, A., Pistre, S. (2014, 14-16 October). Neural networks for karst spring management. Case of the Lez spring (Southern France). Paper presented at the 5th International Symposium on Karst, Malaga (Spain).

Raynaud, F., Borrell Estupina, V., Pistre, S., Mathieu-Subias, H., Hernandez, F., Van-Exter, S. (2014, 13-16 October). How flow data analysis can characterize interactions between surface and underground draining networks? Paper presented at the 5th International Symposium on Karst, Malaga (Spain).

Raynaud F., Mathieu-Subias H., Borrell-Estupina V., Pistre S., Seidel J-L., Van-Exter S., de Montety V., Hernandez F., 2014. Influence of Karstic System on Surface Flooding in Mediterranean Climate. IAEG, Turin, 2014.

Taver, V., Johannet, A., Pistre, S., Borrell, V., Vinches, M. (2014, 16-19 Juin). Intégration de l'estimation de l'humidité du bassin dans la prévision des crues éclair par apprentissage statistique. Paper presented at the Colloque E3D, Alès, France.

## **Communications par affiches (seules ou avec résumé) dans un congrès national ou international**

### 2018

Darras, T., Johannet, A., Pistre, S. (2018, 9-12 October 2018). Taking profit of statistical modelling by neural networks: how to deal with vigilance levels prediction for flash flooding. Case study on Lez Basin (South eastern France). . Paper presented at the EGU 16th Plinius conference on Mediterranean risks, Montpellier, France.

Pétre, M. A., De Montety V., Guilhe-Batiot, C., Ladouche, B., Seidel, J. L. (2018, 2-6 Juillet 2018). Hydrochemical characterization of a complex Mediterranean karstic system (Thau lagoon area, Montpellier, France) for the regional management of the groundwater resources. Paper presented at the EuroKarst Conference, Besançon, France.

Toubiana M., Masnou A., Seidel J-L., Durand B., Bourdin T., Héry M., de Montety V., Leonardi V., Batiot-Guilhe C., Jourde H., Jumas-Bilak E., Licznar-Fajardo P. (2018). Exploration de l'antibiorésistance dans un réservoir d'eau potable : l'aquifère karstique du Lez. Congrès National de la Société Française de Microbiologie, 1-3 oct., Paris (France)

### 2017

Binet, S., Probst, J. L., Batiot-Guilhe, C., Seidel, J. L., Emblanch, C., Peyraude, N., Mangin, A., Bakalowicz, M., Probst, A. (2017, 23-28 Avr. 2017). Impact of atmospheric pollution inputs and climate change on dissolved

inorganic carbon fluxes in karst aquifers: evidences from a 36 years past monitoring of karstic watersheds. Paper presented at the EGU 2017, Vienne (Autriche)

Licznar-Fajardo P., Héry M., Batiot-Guilhe C., Bourdin T., Masnou A., De Montety V., Jourde H., Leonardi V., Seidel J.-L., and Jumas-Bilak E. (2017). Exploration de l'antibiorésistance dans des communautés bactériennes de l'aquifère karstique du Lez. Congrès AFEM, VIIIe Colloque de l'Association Francophone d'Ecologie Microbienne, 17-20 oct. 2017, Camaret-sur-Mer (France)

## 2016

Batiot-Guilhe, C., J.P. , Briquet, J.P. , Brunet, P., de Montety, V., Durepaire, X., Jourde, H., Léonardi, V., Marchand, P., Molina Porras, A., Seidel, J. L. (2016, 20-21 Janv. 2016). Eléments de caractérisation des flux de recharge à différentes échelles de temps et d'observations en milieu karstique. Paper presented at the Réunion CRITEX, Rennes (France), 20-21 Janv. 2016, Rennes (France).

Batiot-Guilhe, C., de Montety, V., Durepaire, X., Hery, M., Jourde, H., Leonardi, V., Molina Porras, A., Seidel, J. L., Pistre, S., Briquet, J. P., Brunet, P., Hernandez, F., Marchand, P., Muller, R. (2016, 24-28 Oct. 2016.). Caractérisation des flux de recharge à différentes échelles de temps et d'observation en milieu karstique. Paper presented at the RST 2016, Caen (France).

Durepaire, X., Batiot-Guilhe, C., Seidel, J. L. (2016, 25-29th sept.). Recharge processes in karstic system at different time scales. Paper presented at the 43rd AIH Intern., Montpellier (France).

Molina Porras, A., Seidel, J. L., Condomines, M. (2016, 17-22 Juillet 2016). Temporal radon and radium variations in the Lez karstic spring (South of France). Paper presented at the VIth Ra & Rn meeting, Girona (Espagne).

## 2015

Durepaire, X., Jourde, H., Seidel, J. L., Batiot-Guilhe, C. (2015, 3-7 May 2015). Recharge processes in karst at different time scales. Paper presented at the AGU, 2015 Montréal (Canada).

## 2014

Durepaire, X., Batiot-Guilhe, C., Bailly-Comte, V., Brunet, P. (2014, 27 au 31 Octobre 2014). Suivi en continu de la MOD fluorescente à l'aide d'un fluorimètre GGUN (Albillia SARL). Implication pour le suivi d'un traçage artificiel. Poster presented at the 24e Réunion des Sciences de la Terre, 27 au 31 Octobre 2014, Pau (France)

Licznar-Fajardo, P., Héry, M., Masnou, A., de Montety, V., Leonardi, V., Seidel, J.-L., Batiot-Guilhe, C., Hardy, M., Roure, C., Almakki, A., Jourde, H., Jumas-Bilak, E. (2014, 20-21 novembre 2014). Approche pluridisciplinaire originale d'exploration de l'aquifère karstique du Lez : compartimentation hydrodynamique et résistance des communautés bactériennes aux antibiotiques - Poster presented at the EFFERVESCENCE 2014, Environnement et résidus de médicaments : enjeux présents et futurs, quelles réponses?, Montpellier (France).

Raynaud, F., Borrell Estupina, V., Dezetter, A., Pistre, S., Mathieu-Soubias, H. (2014, 7-10 October). Modelling flash floods in a karstic watershed using an original semi-distributed radar-gauge merging method. Hydrology in a Changing World: Environmental and Human Dimensions. Paper presented at the FRIEND-Water 2014, Montpellier (France).

## Rapports d'expertise

Batiot-Guilhe C., J.L. Seidel, J.C. Maréchal, B. Ladouche, V. Prié, F. Cernesson, N. Dorfliger, M. Blanc, V. Léonardi, P.Y. Vion. Avec la collaboration de C. Bancon, H. Fenet, C. Gonzalez, S. Spinelli, S. Van-Exter (2014). Projet de gestion multi-usages de l'hydrosystème karstique du Lez – Caractérisation hydrochimique ; qualité chimique, vulnérabilité de l'hydrosystème et de l'écosystème associé. Rapport RP-61013-FR, 291 pages, 18 annexes.

Maréchal, J.C., Ladouche, B., Batiot-Guilhe, C., Borrell-Estupina, V., Caballero, Y., Cernesson, F., Dörfliker, N., Fleury, P., Jay-Allemand, M., Jourde, H., Leonardi, V., Malaterre, P.O., Seidel, J.L., Vion P.Y. (2014). Projet gestion multi-usages de l'hydrosystème karstique du Lez – synthèse des résultats et recommandations – Rapport BRGM/RP- 61051-FR, 126 pages

## Produits et outils informatiques

- Bases de données :

- o Alimentation et gestion conjointe avec OSU-OREME - SO MEDYCYSS et SNO KARST: (BD OSU OREME, OZCAR-THEIA, DEIMS-SDR eLTER):

<https://data.oreme.org/observation/snokarst>

<https://deims.org/5b5ca767-0993-429c-8e58-a7efa39c936a>

### Thèses soutenues ou en cours

- Clauzon V. (2016 – soutenance prévue fin 2019). Dynamique de transfert de fluide dans une zone de faille. Thèse de doctorat. Univ. Montpellier.
- Darras T. (2012-2015). Prédiction des crues éclair par apprentissage statistique. Thèse de doctorat. Univ. Montpellier.
- Dausse (2011-2015). Amélie Dausse. Facteurs d'échelle dans la hiérarchisation des écoulements au sein d'un aquifère karstique : Analyse multi-échelles des propriétés hydrodynamiques et de transport de l'aquifère du Lez. Thèse de doctorat. Univ. Montpellier.
- Molina Porras A. (2013-2017). Apport du radon et des isotopes du radium à la caractérisation des circulations souterraines en domaine karstique: application à l'aquifère du Lez (Hérault, France). Thèse de doctorat. Univ. Montpellier.
- Taver, V. (2014). Caractérisation et modélisation hydrodynamique des karsts par réseaux de neurones: Application à l'hydrosystème du Lez. Thèse de doctorat. Univ. Montpellier II.

### Stages de Master 1 et 2

#### 2019

Kassime H. (2019). Utilisation de traceurs naturels pour caractériser l'origine des flux souterrains et les mélanges d'eau au sein d'aquifères karstiques méditerranéens. Master 2 Sciences de la Terre et des Planètes, Environnement, Aix-Marseille Université.

#### 2018

SaintFleur B. (2018). Apport de l'approche de modélisation par l'approche des réseaux de neurones sur la compréhension du phénomène d'inversac au niveau de la source sous-marine de la Vise dans l'étang de Thau de l'Hérault. Rapport de M2 Recherche HYDRE, Univ. Montpellier

Villeneuve L. (2018). Caractérisation hydrodynamique d'une zone de faille par flowmeter et essais entre packers. Rapport de Stage de Recherche, Master 1er année, Eau – H2E Environnement, Université Montpellier.

#### 2017

Bekkal N. (2017). Etude de la perméabilité en milieu poreux reconnaissance d'un site expérimental d'étude. Rapport de M2 Recherche H2E-Environnement, Univ. Montpellier

Bouby, J. (2017). Apport de la mesure à haute fréquence du contenu organique des eaux souterraines pour caractériser la dynamique d'infiltration dans le karst. Rapport de Stage de Recherche, Master 1er année, Eau – H2E Environnement, Université Montpellier.

Dortland, C., 2017. Caractérisation hydrodynamique d'une zone de faille par tests hydrauliques et essais entre packers. Rapport de Stage de Recherche, Master 1er année, Eau – H2E Environnement, Université Montpellier

Goyetche T. (2017). Caractérisation des processus de recharge à différentes échelles de temps dans les bassins versants méditerranéens à forte composante karstique. Conséquence sur la variabilité interannuelle de la ressource en eau souterraine et le risque d'inondation. Application au bassin versant du lez, France. Rapport de M2 Recherche H2E-Environnement, Univ. Montpellier

Teinaore H. (2017). Identification des facteurs à l'origine du phénomène d'inversac sur la source de la Vise, étang de Thau. Rapport de Stage de Recherche, Master 1er année, Eau – Eau Littoral, Université Montpellier

Valette C. (2017). Traçages artificiels des karsts nord-montpelliérains : expérimentation, interprétation, modélisation et inter-comparaison. Rapport de Stage de Recherche, Master 1er année, Eau – H2E Environnement, Univ. Montpellier

#### 2016

Bekkal, N. (2016). Caractérisation de la structure de réservoirs matriciels et fracturés en contexte carbonaté par méthodes géophysiques de sub-surface Rapport M1 Master Eau H2E-Environnement, 44 pages.

Clauzon V. (2016) : Etude structurale et hydrodynamique d'une faille majeure affectant un aquifère karstique (Lez, France). Rapport M2 Recherche Master Eau H2E-Environnement, Université de Montpellier, 58 pages et 8 annexes.

Erostate M. (2016). Étude de la fluorescence de la matière organique naturelle et de sa relation avec le carbone organique grâce au couplage d'un suivi continu et ponctuel. Application aux systèmes karstiques de la source du Lez et de la Fontaine de Nîmes, Rapport de M2 Recherche H2E-Environnement, Univ. Montpellier, 59 pages.

## 2015

Hurmic Antoine (2015) : Caractérisation géophysique et hydrodynamique d'une zone de faille en milieu carbonaté karstifié. Rapport M2 Master Eau H2E-Environnement, Université de Montpellier, 75 pages.

Clauzon V. (2015). Facteurs de contrôle de l'anisotropie de perméabilité en contexte matriciel. Rapport M1 Master Eau H2E-Environnement, 21 p. 6 annexes.

## 2014

Darey Jonas (2014) : Modélisation de la karstogenèse de l'aquifère du Lez. Rapport M2 Recherche Master Eau H2E-Environnement, Université de Montpellier, 51 pages, 5 annexes.

Durepaire X. (2014). Optimisation du suivi de la fluorescence naturelle de la MOD dans les aquifères karstiques. Application à la source du Lez et à la Fontaine de Nîmes. Rapport M2 H3E Recherche, Université Montpellier 2.

## **Les Services Nationaux d'Observation dont l'OREME est « Maître d'Œuvre »**

## BILAN DU SO GAIA

- Nom du responsable local du SO : Gérard JASNIEWICZ ; responsable d'un DU (Development Unit) au sein de l'Unité de coordination CU6 Spectroscopy du Gaia DPAC (Data Processing & Analysis Consortium).

- Nom du responsable national du SO et OSU de rattachement (*si approprié*) : MIGNARD François (Observatoire Côte d'Azur)

### 1- Objectifs scientifiques du SO :

- \*Définir la stratégie pour la calibration+étalonnage du spectromètre (RVS) à bord du satellite
- \*Développer les algorithmes de transformation des Vitesses Radiales (VR) spectroscopiques du RVS en VR cinématiques
- \*Délivrer des données auxiliaires nécessaires à la calibration+étalonnage du RVS
- \*Fournir une liste avec données VR d'étoiles standard observées au sol pour l'étalonnage et la validation des mesures du RVS (catalogue UMM = University of Montpellier Masterlist)

Gaia est un projet de l'Agence Spatiale Européenne. C'est un SO labellisé au niveau national (GJ est co-I du projet Gaia-France). Non labellisé au niveau local.

### 2- Fonctionnement du SO

#### 2.1 Structuration du SO :

- Le SO national s'appuie sur de nombreuses TO. Le TO local s'appuie sur des observations spectroscopiques sol dans des observatoires astronomiques d'observation (ESO Chili, Observatoire de Haute Provence, Observatoire Pic du Midi) ; responsables : Caroline Soubiran (Bordeaux), Gérard Jasiewicz (Montpellier) et David Katz (Paris-Meudon).

#### 2.2 Les moyens du SO :

- 2 personnes à Montpellier : Gérard JASNIEWICZ (Astronome, ETP=50%) et Claude ZURBACH (IR CNRS, 50%). Moyens financiers fournis par l'INSU et le CNRS (tickets modérateurs pour les observations en France), et par le CNES (missions d'observations au Chili, missions pour les meetings, achats de matériel informatique) ; ces moyens varient entre 4k€ et 8k€ par an.

### 3- Production(s) du SO

#### 3.1 Les mesures et/ou les produits délivrés :

- Livraison en 2018 du catalogue « University of Montpellier Masterlist » de mesures Vitesse Radiales sol pour l'étalonnage et la validation des données du GAIA-RVS.

#### 3.2 Valorisation du SO :

- Résultats principaux : nos travaux sont régulièrement publiés sous la forme de Notes Techniques (TN) sur le livelink de l'ESA. Le résultat principal est la TN « UMM, a new list of stars for the RVZP of the RVS ».

- Publications :

Entre 2014 et mai 2019, GJ est co-auteur de 21 publications dans le cadre du Consortium Gaia, dont 18 de rang A.

- Développement : préparation des Gaia Data Release au-delà de 2019 au moyen de spectres auxiliaires 3D.

### 4- Perspectives du SO

Gérard JASNIEWICZ et Claude ZURBACH font valoir leur droit à la retraite entre 2020 et 2019 respectivement.

### 5- Liste des publications

1 2019A&A...623A.110G

Gaia Collaboration; Eyer, L.; Rimoldini, L.; Audard, M.; Anderson, R. I.; Nienartowicz, K.; Glass, F.; Marchal, O.; Grenon, M.; Mowlavi, N.; and 446 coauthors

Gaia Data Release 2. Variable stars in the colour-absolute magnitude diagram

2 2019A&A...622A.205K

Katz, D.; Sartoretti, P.; Cropper, M.; Panuzzo, P.; Seabroke, G. M.; Viala, Y.; Benson, K.; Blomme, R.; Jasniewicz, G.; Jean-Antoine, A.; and 45 coauthors

Gaia Data Release 2. Properties and validation of the radial velocities

3 2018A&A...616A..17A

Arenou, F.; Luri, X.; Babusiaux, C.; Fabricius, C.; Helmi, A.; Muraveva, T.; Robin, A. C.; Spoto, F.; Vallenari, A.; Antoja, T.; and 28 coauthors

Gaia Data Release 2. Catalogue validation

4 2018A&A...616A..14G

Gaia Collaboration; Mignard, F.; Klioner, S. A.; Lindegren, L.; Hernández, J.; Bastian, U.; Bombrun, A.; Hobbs, D.; Lammers, U.; Michalik, D.; and 442 coauthors

Gaia Data Release 2. The celestial reference frame (Gaia-CRF2)

5 2018A&A...616A..13G

Gaia Collaboration; Spoto, F.; Tanga, P.; Mignard, F.; Berthier, J.; Carry, B.; Cellino, A.; Dell'Oro, A.; Hestroffer, D.; Muinonen, K.; and 442 coauthors

Gaia Data Release 2. Observations of solar system objects

6 2018A&A...616A..12G

Gaia Collaboration; Helmi, A.; van Leeuwen, F.; McMillan, P. J.; Massari, D.; Antoja, T.; Robin, A. C.; Lindegren, L.; Bastian, U.; Arenou, F.; and 437 coauthors

Gaia Data Release 2. Kinematics of globular clusters and dwarf galaxies around the Milky Way

7 2018A&A...616A..11G

Gaia Collaboration; Katz, D.; Antoja, T.; Romero-Gómez, M.; Drimmel, R.; Reylé, C.; Seabroke, G. M.; Soubiran, C.; Babusiaux, C.; Di Matteo, P.; and 443 coauthors

Gaia Data Release 2. Mapping the Milky Way disc kinematics

8 2018A&A...616A..10G

Gaia Collaboration; Babusiaux, C.; van Leeuwen, F.; Barstow, M. A.; Jordi, C.; Vallenari, A.; Bossini, D.; Bressan, A.; Cantat-Gaudin, T.; van Leeuwen, M.; and 443 coauthors

Gaia Data Release 2. Observational Hertzsprung-Russell diagrams

9 2018A&A...616A...7S

Soubiran, C.; Jasniewicz, G.; Chemin, L.; Zurbach, C.; Brouillet, N.; Panuzzo, P.; Sartoretti, P.; Katz, D.; Le Campion, J.-F.; Marchal, O.; and 32 coauthors

Gaia Data Release 2. The catalogue of radial velocity standard stars

10 2018A&A...616A...6S

Sartoretti, P.; Katz, D.; Cropper, M.; Panuzzo, P.; Seabroke, G. M.; Viala, Y.; Benson, K.; Blomme, R.; Jasniewicz, G.; Jean-Antoine, A.; and 43 coauthors

Gaia Data Release 2. Processing the spectroscopic data

- 11 2018A&A...616A...5C  
Cropper, M.; Katz, D.; Sartoretti, P.; Prusti, T.; de Bruijne, J. H. J.; Chassat, F.; Charvet, P.; Boyadjian, J.; Perryman, M.; Sarri, G.; and 33 coauthors  
Gaia Data Release 2. Gaia Radial Velocity Spectrometer
- 12 2018A&A...616A...1G  
Gaia Collaboration; Brown, A. G. A.; Vallenari, A.; Prusti, T.; de Bruijne, J. H. J.; Babusiaux, C.; Bailer-Jones, C. A. L.; Biermann, M.; Evans, D. W.; Eyer, L.; and 444 coauthors  
Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties
- 13 2018arXiv180409369C  
1.000 04/2018 A X R C U  
Cropper, M.; Katz, D.; Sartoretti, P.; Prusti, T.; de Bruijne, J. H. J.; Chassat, F.; Charvet, P.; Boyadjian, J.; Perryman, M.; Sarri, G.; and 33 coauthors  
Gaia Radial Velocity Spectrometer
- 14 2017A&A...605A..79G  
Gaia Collaboration; Clementini, G.; Eyer, L.; Ripepi, V.; Marconi, M.; Muraveva, T.; Garofalo, A.; Sarro, L. M.; Palmer, M.; Luri, X.; and 576 coauthors  
Gaia Data Release 1. Testing parallaxes with local Cepheids and RR Lyrae stars
- 15 2017A&A...601A..19G  
Gaia Collaboration; van Leeuwen, F.; Vallenari, A.; Jordi, C.; Lindegren, L.; Bastian, U.; Prusti, T.; de Bruijne, J. H. J.; Brown, A. G. A.; Babusiaux, C.; and 582 coauthors  
Gaia Data Release 1. Open cluster astrometry: performance, limitations, and future prospects
- 16 2017A&A...597A..10F  
Frémat, Y.; Altmann, M.; Pancino, E.; Soubiran, C.; Jofré, P.; Damerджи, Y.; Heiter, U.; Royer, F.; Seabroke, G.; Sordo, R.; and 18 coauthors  
A test field for Gaia. Radial velocity catalogue of stars in the South Ecliptic Pole
- 17 2016sf2a.conf..249S  
Soubiran, C.; Jasniewicz, G.; Zurbach, C.; Crifo, F.; Sartoretti, P.; Katz, D.; Marchal, O.; Panuzzo, P.; Udry, S.  
Ground-based follow-up of the Gaia-RVS radial velocity standards
- 18 2016A&A...595A...2G  
Gaia Collaboration; Brown, A. G. A.; Vallenari, A.; Prusti, T.; de Bruijne, J. H. J.; Mignard, F.; Drimmel, R.; Babusiaux, C.; Bailer-Jones, C. A. L.; Bastian, U.; and 582 coauthors  
Gaia Data Release 1. Summary of the astrometric, photometric, and survey properties
- 19 2016A&A...595A...1G  
Gaia Collaboration; Prusti, T.; de Bruijne, J. H. J.; Brown, A. G. A.; Vallenari, A.; Babusiaux, C.; Bailer-Jones, C. A. L.; Bastian, U.; Biermann, M.; Evans, D. W.; and 616 coauthors  
The Gaia mission
- 20 2015sf2a.conf..359C

Crifo, F.; Jasiewicz, G.; Katz, D.; Marchal, O.; Panuzzo, P.; Sartoretti, P.; Soubiran, C.; Zurbach, C.  
Gaia radial velocities: first comparisons with ground values

21 2014sf2a.conf..417C

Crifo, F.; Chemin, L.; Jasiewicz, G.; Katz, D.; Marchal, O.; Sartoretti, P.; Soubiran, C.; Thévenin, F.;  
Zwitter, T.

Additional auxiliary data for the GAIA-RVS

## BILAN DU SO HYDROGÉOPHYSIQUE EN FORAGE

- Nom du responsable local du SO : Philippe Pezard
- Nom du responsable national du SO et OSU de rattachement : Tanguy Le Borgne (H+)
- Statut actuel du SO en terme de labellisation, réseau régional/national, européen, ... :

Ce SO fait partie du réseau H+ depuis sa création, en 2004, avec le site de Majorque aux Baléares. Le travail d'observation va cependant bien au-delà avec de plusieurs sites d'observation en Languedoc-Roussillon, dans les Cévennes et en Catalogne développés ces 10 dernières années.

### Questions scientifiques :

Les observations en forage sont centrées sur la dynamique des réservoirs souterrains. Ces cinq dernières années ont été caractérisées à la fois par une croissance de l'activité de monitoring en forage et surtout par une stabilisation des moyens et méthodes, avec maintenant l'enregistrement de données sur certains sites durant plusieurs années [Denchik et al., 2019]. Cette activité de monitoring in-situ de la dynamique des réservoirs souterrain est demeurée pluri thématique (stockage géologique du CO<sub>2</sub>, aléas gravitaires et inondations, hydrodynamique souterraine et notamment intrusion d'eau de mer dans les aquifères côtiers), même si cette dernière est restée dominante en terme d'activité du SO.

Pour les intrusions salines en zone côtière, les projets "Dem'EAU Thau" et "Dem'EAU Roussillon" ont été mis en place ces dernières années dans le cadre de projets FEDER. Ce dernier fait suite et vient compléter le projet ANR "Grain d'sel" (Petelet et al., 2016), avec notamment l'application d'une nouvelle méthode de suivi de nappes par mesures de résistivité répétées dans le temps en forage (Pezard et al. 2015). Le monitoring s'est poursuivi sur le site de Campos dans le cadre du réseau H+ (Gérard et al.; 2017). Egalement en Espagne, nous avons contribué au développement du site d'Argentona, à 30 km au nord de Barcelone avec l'Université de Barcelone et le CSIC dans le contexte du projet "Medistraes" financé par le gouvernement espagnol. L'objet de ce site est une étude multi-disciplinaire et à haute résolution spatiale et temporelle des processus combinés d'intrusion marine et de décharge en mer d'eau douce à travers les dépôts clastiques côtiers (Folch et al., 2018). Ce chantier offre l'opportunité de tester de nouvelles méthodes en forage par logging répété (Pezard et al., 2018) ou en station, comme dans le cas de la détection du radon par radiométrie gamma spectrale en forage lors d'un épisode intense de pluie (Diego-Feliu et al., 2018; Goyeche et al., 2018).

Pour le stockage géologique du CO<sub>2</sub>, les travaux se sont concentrés sur la comparaison et l'étude de la complémentarité de différentes méthodes de monitoring du stockage (Pezard et al., 2015; Basirat et al., 2016) ou de fuites éventuelles (Denchik et al., 2014). Pour l'étude des aléas gravitaire, Le monitoring du versant instable situé au sud du village de Pégairolles de l'Escalette s'est intensifié de façon multidisciplinaire dans le cadre de l'ANR HydroSlide (Denchik et al., 2019). On notera également l'application des méthodes habituellement déployées en forage au monitoring d'une digue expérimentale construite en Arles dans le cadre du projet FUI "DiguIntelligente". Ce projet avait pour objet la détection de fuites dans les digues à l'aide de la température avec le système KFB-G (Chevrier et al., 2019).

### Fonctionnement du SO

Le SO Hydrogéophysique en Forage n'est pas structuré en Taches d'Observation (TO)

Le SO Hydrogéophysique en Forage a un budget de fonctionnement de l'ordre de 25 000 € (5 000 € provenant de l'OSU OREME et 20 000 € des fonds propres de l'équipe TMP de GM, sur la base des divers projets de recherche auxquels elle participe). Ce budget comprends principalement les frais de maintenance (missions et de renouvellement des petits équipements), les communications, le traitement et l'archivage des données et surtout la location des différents sites de monitoring (Campos, Maguelone) ou de test et de déploiement (Lavalette). Les moyens en personnels du SO sont : un directeur de recherche (ETP 20%), un maître de conférence (ETP 20%), un ingénieur de recherche (ETP 10%), un ingénieur d'étude (ETP 30%), une assistante ingénieure (ETP 100%). Il bénéficie en plus du support technique du service Système d'Information de l'OSU OREME.

Les équipements du SO sont constitués des divers équipements installés en forage sur 5 sites d'observation (Maguelone, Barcarès, Argentona, Campos, Pégairolles), qu'il s'agisse de flûte de mesures électriques (Maguelone, Argentona, Campos, Pégairolles), de fibres optiques de mesure de température (Maguelone, Argentona) et de déformation mécanique (Pégairolles), ou de moyen de prélèvements de fluide poral in-situ (Maguelone, Barcarès, Campos, Pégairolles) de type Westbay. Deux systèmes supplémentaires mobiles et dédiés aux mesures semi-permanentes ont été acquis en 2017 dans le cadre de l'équipex CRITEX.

Ils pourront être déployés successivement sur différents sites dans le futur, chaque fois sur des durées suffisamment longues pour décrire la réponse des réservoirs du sous-sol aux conditions aux limites, qu'elles soient naturelles ou anthropiques. Il s'agit tout d'abord un système SMD conçu par la société imaGeau et permettant l'enregistrement de mesures électriques en forage en mode galvanique. Ce dispositif transmet chaque jour les données automatiquement et est modifiable à distance, pour changer soit le mode (Wenner, dipôle-dipôle, ...) soit le pas temporel d'acquisition. Un système KFB-G a également été acquis auprès de la société Kloe, et permet le monitoring de température en forage par fibre optique équipée de réseaux de Bragg d'une précision de 0.003°C. Ces deux dispositifs ont été installés en 2018 sur le site d'Argentona en Espagne. Ils pourront être mis en place dans le cadre de CRITEX sur le site du Strengbach, en Alsace, dès qu'un forage permettant de les accueillir sera disponible, ou sur celui de Pégairolles en Languedoc.

A ces sites de monitoring vient s'ajouter l'ensemble des moyens d'intervention ponctuelle en forage de l'équipe TMP de GM, pour un coût total de l'ordre d'un M€. Ces moyens sont déployés à partir du site de Lavalette situé à 3 km au nord du campus Triolet de l'université de Montpellier. Ces moyens sont régulièrement déployés sur l'ensemble des sites de monitoring, principalement en France et en Espagne.

## Productions du SO

Les données fournies sont des fichiers intégrés aux bases de données H+ et de l'OSU OREME.

## Perspectives du SO

Le SO Hydrogéophysique en Forage étant une composante de H+, et son principe étant celui de l'observation de la dynamique des réservoirs souterrains sur de longues durées, aucune évolution statutaire n'est envisagée à court terme. Deux nouveaux sites seront installés dans les années qui viennent en Languedoc-Roussillon (Saint-Cyprien et Balaruc) pour compléter le réseau en place des intrusions salées venant de la Méditerranée. D'autres évolutions concerneront la jeunesse de certains récepteurs et des systèmes de communication sont également à prévoir.

## Publications

- Basirat F., Niemi A., Fagerlund F., Denchik N., Pezard P.A. (2014). Numerical Modelling Of CO<sub>2</sub> Injection At Small-Scale Field Experimental Site In Maguelone, France. *Intern. J. Of Greenhouse Gas Control*, 54, 200–210, doi:10.1016/j.ijggc.2016.09.006.
- Basirat F., H. Perroud, J. Lofi, N. Denchik, G. Lods, F. Fagerlund, P. Sharma, P.A. Pezard, A. Niemi (2015). Viability Of Modelling Gas Transport In Shallow Injection-Monitoring Experiment Field At Maguelone, France. *Egu Annual Meeting*, Vienna (Austria).
- Chevrier P., P. Coudray, P.A. Pezard, D. Neyens, J. Cousteau (2019). Projet « DiguIntelligent » : Recherche Et Développement D'une Technologie De Détection Et De Quantification D'écoulements Dans Les Dignes. *Transactions Du Congrès Sur Les Dignes Maritimes Et Fluviales De Protection Contre Les Inondations*, Aix-En-Provence (France).
- Denchik N., Pezard P.A., Neyens D., Lofi J., Gal F., Girard J.F., Levannier A. (2014). Near-Surface CO<sub>2</sub> Leak Detection Monitoring From Downhole Electrical Resistivity At The CO<sub>2</sub> Field Laboratory, Svelvik Ridge (Norway). *International Journal Of Greenhouse Gas Control*, 28, 275-282.
- Denchik N., P.A. Pezard, J. Lofi, H. Perroud, D. Neyens, L. Luquot (2015). H. Perroud, Time-Lapse Downhole Electrical Resistivity Monitoring Of Subsurface CO<sub>2</sub> Storage At The Maguelone Shallow Experimental Site (Languedoc, France). *Egu Annual Meeting*, Vienna (Austria).
- Denchik N., P.A. Pezard, H. Perroud, J. Lofi, H. Abdoulghafour, D. Neyens, G. Henry (2016). Time-Lapse Electrical Resistivity Monitoring Of Subsurface CO<sub>2</sub> Storage At The Maguelone Experimental Site (France). *Near-Surface Geophysics*, Eage, Barcelona (Spain), Session 22, Paper A10.
- Denchik N., P. A. Pezard, J. Lofi, H. Perroud, H. Abdoulghafour, D. Neyens, G. Henry (2016). Time-Lapse Electrical Resistivity Monitoring (Surface And Downhole) Of Subsurface CO<sub>2</sub> Storage At The Maguelone Shallow Experimental Site (Languedoc, France). *Transactions Of The 43rd Annual Congress Of The Iah*, Montpellier (France).
- Denchik N., S. Gautier, M. Dupuy, C. Batiot, V. Leonardi, P.A. Pezard, M. Lopez, M. Geeraert, G. Henry, D. Neyens (2018). In-Situ Geophysical And Hydro-Geochemical Monitoring For Landslide Dynamics (Lodève Landslide, France). *Eage Near Surface Geosciences Meeting*, Porto (Portugal).
- Denchik N., Gautier, Dupuy, M., Batiot C., Leonardi V., Pezard P.A., Geeraert M., Henry G., Neyens D. (Accepted). In-Situ Geophysical And Hydro-Geochemical Monitoring Of Landslide Dynamics (Lodève, France). *Engineering Geology*.
- Diego-Feliu M., J. Garcia-Orellana, V. Rodellas, L. Del Val, L. Luquot, L. Martinez, M. Pool, T. Goyetche, J. Ledo, P.A. Pezard, P. Queralt, A. Folch, M. Saaltink and J. Carrera (2018). End-Member Ra Variability In A Dynamic Subterranean Estuary Of A Microtidal Mediterranean

- Coastal Aquifer. 25th Swim Meeting Transactions, Gdansk (Poland).
- Folch A., Pezard P.A. Et Al. (2016). A New Method Of Combined Techniques For Characterization And Monitoring Of Seawater Interface In An Alluvial Aquifer. Egu Annual Meeting, Vienna (Austria).
- Folch A., Del Val L., Luquot L., Martinez L., Bellmunt F., Le Lay H., Rodellas V., Ferrer N., Fernandez S., Ledo J., Pezard P.A., Bour O., Luquot L., Carrera J. (2017). A New Method Of Combined Techniques For Characterization And Monitoring Of Seawater Interface In An Alluvial Aquifer. Egu Annual Meeting, Vienna (Austria).
- Folch A., Martinez L., Luquot L., Ledo J., Pezard P.A., And Carrera J. (2017). Combining Techniques To Monitor Seawater Intrusion. Transactions Of The 44th Annual Congress Of The Iah, Dubrovnik (Croatia).
- Folch, L. Del Val, L. Luquot, L. Martinez, F. Bellmunt, H. Le Lay, V. Rodellas, N. Ferrer, S. Fernandez, M. A. Marazuela, M. Diego-Feliu, M. Pool, T. Goyetche, J. Ledo, P.A. Pezard, O. Bour, P. Queralt, A. Marcuello, J. Garcia-Orellana, M. Saaltink, E. Vazquez-Suñe And J. Carrera (2018). Combining Different Geophysical Techniques To Monitor Seawater Intrusion Dynamics. 25th Swim Meeting Transactions, Gdansk (Poland).
- Folch A., P.A. Pezard Et Al. (2019). Do Groundwater Data From Piezometers Correlate with Fo-Dts And Chert In Coastal Aquifers ? Egu General Assembly 2019<sup>[1]</sup>, Vienna (Austria).
- Folch A., P.A. Pezard Et Al. (2019). Combining Long Term Monitoring Of Distributed Temperature And Cross-Hole Ert With Hydraulic Tests To Characterize The Seawater Intrusion And Sgd Dynamics In A Coastal Aquifers. Iahs<sup>[1]</sup>, Malaga (Spain).
- Garing C., Luquot L., Pezard P.A., Gouze P. (2014). Electrical And Flow Properties Of Highly Heterogeneous Carbonate Rocks. Aapg Bulletin, 98, 1, 49-66, American Association Of Petroleum Geologists.
- Gautier S., P.A. Pezard Et Al. (2019). Downhole Geophysical And Hydrogeochemical Observatories To Monitor Water Content Variations And Water-Rock Interactions In A Rainfall-Induced Landslide. Egu General Assembly 2019<sup>[1]</sup>, Vienna (Austria).
- Gerard, M.-F., T. L. Borgne, O. Bour, C. Champollion, G. Porel, J. Bodin, L. Longuevergne, K. Chalikakis, J.-C. Marechal, A. Selles, P.A. Pezard, H. Celle- Jeanton, G. Mailhot, L. Bodet, D. Jougnot, A. Battais, And P. Davy (2017). H+, Un Réseau National De Sites Hydrogéologiques Pour La Caractérisation, La Quantification Et La Modélisation Des Transferts D'eau, D'éléments Et D'énergie Dans Les Aquifères Souterrains Hétérogènes, Géologues, 195, 22-27.
- Goyetche T., M. Diego-Feliu, L. Luquot, J. Garcia-Orellana, V. Rodellas, L. Del Val, L. Martinez, A. Palacios, J. Ledo, P.A. Pezard, A. Folch, And J. Carrera (2018)<sup>[1]</sup>. Hydrodynamics And Hydrogeochemical Changes In The Mixing Zone Of A Coastal Aquifer During A Heavy Rain Event. Vol. 20, Egu2018-11983-2, <sup>[1]</sup>Egu General Assembly 2018<sup>[1]</sup>, Vienna (Austria).
- Goyetche T., M. Diego-Feliu, L. Luquot, J. Garcia-Orellana, V. Rodellas, L. Del Val, L. Martinez, A. Palacios, J. Ledo, P.A. Pezard, A. Folch, And J. Carrera (2018). Effects Of A Heavy Rain Event On The Hydrodynamical And Hydrogeochemical Parameters In An Alluvial Coastal Aquifer. 25th Swim Meeting Transactions, Gdansk (Poland).
- Hebert V., Garing C., Luquot L., Pezard P.A., Gouze, P. (2015). Multi-Scale X-Ray Tomography Analysis Of Carbonate Porosity. Geological Society, London, Spec. Pub. 406 (1), 61-79, Doi:10.1144/Sp406.12.
- Hebert V., Garing C., Luquot L., Pezard P.A., Gouze P. (2015). Multi-Scale X-Ray Tomography Analysis Of Carbonate Porosity. Geological Society, London (Uk), Special Publications, 406, 1, 61-79.
- Jaafar O., · P.A. Pezard, · H. Perroud, N. Denchik, J. Lofi, J. Paris, G. Henry (2014). Time-Lapse Downhole Sonic Monitoring Of Shallow Gas Injection In Unconsolidated Sediments At Maguelone (France). Near-Surface Geophysics, Eage, Athens (Greece).
- Ledo J., F. Bellmunt, L. Luquot, D. Bosch, A. Marcuello, P. Queralt, A. Folch, L. Martínez, L. Del Val, J. Carrera, E. Vázquez-Suñe, P.A. Pezard, J. García-Orellana & M. Saaltink (2016). Cross-Hole Electrical Resistivity Tomography Characterization And Monitoring Of Seawater Interface In An Alluvial Aquifer. Near-Surface Geophysics, Eage, Barcelona (Spain), Session 22, Paper P1 26.
- Lofi J., Voelker A.H.L., Ducassou E., Hernández-Molina F. J., Sierro, F.J., A. Bahr A. Galvani, L.J. Lourens, E. Pardo-Igúzquiza, F.J. Rodríguez-Tovar, P.A. Pezard, T. Williams (2016). Quaternary Chronostratigraphic Framework And Sedimentary Processes For The Gulf Of Cadiz And Portuguese Contourite Depositional Systems Derived From Natural Gamma Records. Marine Geology, 377, 40-57, Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Margeo.2015.12.005
- Martinez-Perez L., M.A. Marazuela, L. Luquot, A. Folch, L. Del Val, T. Goyetche, M. Diego-Feliu, N. Ferrer, V. Rodellas, F. Bellmunt, J. Ledo, M. Pool, J. Garcia-Orellana, P.A. Pezard, M. Saaltink, E. Vazquez-Suñe, J. Carrera (2018). Integrated Methodology To Characterize Hydro-Geochemical Properties In An Alluvial Coastal Aquifer Affected By Seawater Intrusion (Swi) And Submarine Groundwater Discharge (Sgd). 25th Swim Meeting Transactions, Gdansk (Poland).
- Martinez L., P.A. Pezard Et Al. (2019). Facing Geological Heterogeneity Impact On Reciprocal Coastal Systems. Egu General Assembly 2019<sup>[1]</sup>, Vienna (Austria).
- Niemi A., Bensabat J., Shtivelman V., Edlmann K., Gouze P., Luquot L., Hingri F., Benson S., Pezard P.A., Rasmusson K., Liang T., Fagerlund F., Tatomin A., Lange T., Sauter M., Freifeld B. (2016). Heletz Experimental Site Overview, Characterization And Data Analysis For Co<sub>2</sub> Injection And Geological Storage. International Journal Of Greenhouse Gas Control 01/2016; Doi:10.1016/J.Ijggc.2015.12.030
- Perroud H., · O. Jaafar, · P.A. Pezard, · J. Lofi (2014). Time-Lapse Vsp Monitoring Of Shallow Gas Injection At The Maguelone Experimental Site (Languedoc, France). Near-Surface Geophysics, Eage, Athens (Greece).
- Perroud H., P.A. Pezard, J. Lofi, N. Denchik, H. Abdoulghafour (2016). Modelling Of Seismic Amplitude Anomalies Observed During Sub-Surface Gas Injection Monitoring. Near-Surface Geophysics, Eage, Barcelona (Spain), 22, Paper A09.
- Perroud H., P.A. Pezard, J. Lofi, N. Denchik, H. Abdoulghafour (2016). Seismic Amplitude Anomalies Revealed By The Monitoring Of Underground Co<sub>2</sub> Injection. Transactions Of The 43rd Annual Congress Of The Iah, Montpellier (France).
- Pezard P.A., P. Gouze, H. Perroud, J. Lofi, N. Denchik, G. Henry, M. Geeraert, D. Neyens, J.-P. Bellot, A. Levannier (2014). Salt Water Intrusion Monitoring In Coastal Aquifers From High Frequency Downhole Hydrogeophysical Observatories. Swim23 Meeting, Husum (Germany).
- Pezard, P.A., Abdoulghafour, H., Denchik N., Perroud H., Lofi J., Brondolo F., Henry G., Neyens D. (2015). On Baseline Determination And Gas Saturation Derivation From Downhole Electrical Monitoring Of Shallow Biogenic Gas Production. Energy Procedia, 76, 555-564, Doi:10.1016/J.Egypro.2015.07.910, Elsevier.
- Pezard P.A., Denchik N., Lofi J., Perroud H., Henry G., Neyens D., Levannier A., Luquot L. (2015). Time-Lapse Downhole Electrical Resistivity Monitoring Of Subsurface Co<sub>2</sub> Storage At The Maguelone Shallow Experimental Site (Languedoc, France). International Journal Of Greenhouse Gas Control, 12/2015; Doi:10.1016/J.Ijggc.2015.12.005
- Pezard P.A., N. Denchik, J. Lofi, H. Perroud, H. Abdoulghafour, G. Henry, D. Neyens (2016). Small Scale Gas Injection Experiments At The Maguelone Shallow Experimental Site (Languedoc, France). Transactions Of The 43rd Annual Congress Of The Iah, Montpellier (France).

- Pezard P.A., N. Denchik, J. Lofi, H. Perroud, G. Henry (2016). Small Scale Gas Injection Experiments At The Maguelone Shallow Experimental Site (Languedoc, France). Colloque Franco-Espagnol Geoco2, Icmcb, Bordeaux (France).
- Pezard Pa, Henry G, Nitsch O, Brun L, Viville C, Cotellet S, Pierret Mc (2017). Monitoring Electrique Très Haute Fréquence Des Ecoulements Electriques Dans Un Aquifère De Socle. Critex Annual Meeting, Grenoble (France).
- Pezard P. A., G. Henry, L. Brun, T. Goyetche, L. Luquot, L. Del Val, L. Martinez, A. Folch, J. Garcia-Orellana, J. Ledo, And J. Carrera. (2018). Innovative Downhole Geophysical Methods For High Frequency Seawater Intrusion Dynamics Monitoring. 25th Swim Meeting Transactions, Gdansk (Poland).
- Pezard P.A., S Gautier, N Denchik, M Geeraert, G Henry (2018). In-Situ Geophysical And Hydrochemical Monitoring Of Landslide Dynamics (Pégairolles, Languedoc, France); Eage Near Surface Geophysics Meeting, Jogjakarta (Indonesia).
- Petelet-Giraud E., Negrel P., Aunay B., Ladouche B., Bailly-Comte V., Guerrot C., Flehoc C., Pezard P.A., Lofi J., Dörfli N. (2016). Coastal Groundwater Salinization: Focus On The Vertical Variability In A Multi-Layered Aquifer Through A Multi-Isotope Fingerprinting (Roussillon Basin, France). *Stoten* 566-567, P. 398-415. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.016>
- Rabineau M., Cloetingh S., Kuroda J., Aslanian D., Droxler A., Gorini C., Garcia-Castellanos D., Nolet G., Moscariello A., Hello Y., Burov E., Sierro F., Lirer F., Roure F., Pezard P.A., Mart Y., Camerlanghi A. (2015). Probing Connections Between Deep Earth And Surface Processes In A Land-Locked Ocean Basin Transformed Into A Giant Saline Basin: The Mediterranean Gold Project. *Marine And Petroleum Geology* 04/2015, Elsevier, Doi:10.1016/j.marpetgeo.2015.03.018.
- Roubinet, D., J. Irving, And P. A. Pezard (2018). Relating Topological And Electrical Properties Of Fractured Porous Media: Insights Into The Characterization Of Rock Fracturing, *Minerals*, 8(1:14), Doi:10.3390/Min8010014.

## BILAN DU SO ECOSYSTÈME FORESTIER MÉDITERRANÉEN

### Bilan :

Les écosystèmes forestiers méditerranéens sont d'importants puits de carbone en dépit d'une forte limitation en eau liée à la sécheresse estivale. Leur vulnérabilité au changement climatique est particulièrement importante, puisque les scénarios climatiques prévoient une augmentation des températures et une diminution des précipitations estivales. Les effets de ces changements climatiques sont visibles : la mortalité des arbres s'accroît dans le sud de l'Europe tandis que le régime d'incendie change. Enfin, la résilience de ces écosystèmes face à ces changements pourrait dépendre de leur forte diversité.

La TO Puéchabon étudie l'écologie et le fonctionnement d'un taillis méditerranéen à chêne vert sur le site expérimental de Puéchabon suivi depuis plus de 30 ans. La TO Système d'Observation Géographique des Incendies constitue une base de données géo-référencée des écosystèmes forestiers méditerranéens affectés chaque année par les incendies. La TO vise à produire une carte annuelle à 2km de résolution des départs de feux et des surfaces brûlées, ainsi que le contour des feux >100ha obtenus par analyse d'images satellitales. Cette base régionale est étendue au niveau global avec les données issues de la télédétection moyenne résolution (base de données globale FRY). La TO Gradient Méditerranéo-Alpin de Placettes forestières (GMAP) intégrée à l'OSU en 2018 étudie les effets du mélange d'espèces forestières et du climat sur divers processus écosystémiques (productivité, décomposition) sur la dynamique et biodiversité des peuplements depuis 2013. Les deux tiers des 40 placettes des placettes sont en milieu méditerranéen.

Le rattachement de la nouvelle TO GMAP est pertinent car la question principale est commune, à savoir d'améliorer notre compréhension du fonctionnement de l'écosystème forestier (via ses différentes facettes : productivité, recyclage des nutriments...), et notamment sa réponse au climat et à des composantes biotiques (densité du peuplement par exemple).

### Résultats marquants :

Le site expérimental de Puéchabon est impliqué dans les grandes infrastructures de recherche nationales et européenne (ICOS et AnaEE). Il est actuellement impliqué dans un projet ANR pour la partie recherche fondamentale et un projet en partenariat avec le Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) financé par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation pour la partie recherche appliquée sur la gestion forestière. Le site expérimental de Puéchabon participe également à la Key Initiative Measure WATERS de MUSE en réseau avec 3 autres sites à flux sur des écosystèmes méditerranéens en région Occitanie.

Une convention CD34 et GIPatgeri (Bordeaux) a été signée avec le CEFE pour des interactions sur la caractérisation des incendies et les impacts, incluant des échanges de données, et des cycles de formation. Une première base de données globale de caractérisation des patchs de feux a été créée à partir des images moyenne résolution et mise à disposition de la communauté scientifique internationale par un dépôt des données avec DOI et data paper (Nature Scientific Data) sur le site OSU.

### Production (données et publications, voir liste ci-dessous) :

Au cours des 5 dernières années la TO Puéchabon a publié 26 articles, elle a continué à alimenter la base mondiale des flux (Fluxnet), a participé à la création de la base mondiale flux de sève (Sapfluxnet).

La tâche feux a produit 2 bases de données globales publiées dans un data paper (Nature Scientific Data) avec dépôt des données sur le site OSU. (<https://data.oreme.org/doi/view/0e999ffc-e220-41ac-ac85-76e92ecd0320#FRY> et [https://data.oreme.org/doi/view/0e999ffc-e220-41ac-ac85-76e92ecd0320#FRY\\_FRP](https://data.oreme.org/doi/view/0e999ffc-e220-41ac-ac85-76e92ecd0320#FRY_FRP)). Une base de données des contours et départs d'incendies sur la Tunisie a aussi été produite :

Malgré son caractère récent (initiée en 2013, et premiers résultats en 2016), la TO GMAP a déjà été au cœur dans 3 projets ANRs, et a concerné 2 thèses.

### Perspectives

Le site expérimental de Puéchabon est appelé à être labellisé dans le cadre de l'infrastructure de recherche européenne ERIC-ICOS prévue pour fonctionner jusqu'en 2030. Les dispositifs d'exclusion de pluie sont portés par l'infrastructure ANAEE France financé dans le cadre des investissements d'avenir et seront maintenus en place de façon pérenne dans le cadre de la future ERIC européenne AnaEE.

La tâche feux continuera d'alimenter la base de données globale des incendies FRY avec les mises à jours annuelles. Dans le cadre du projet ESA FIRE CCI (<https://www.esa-fire-cci.org/>), prolongé sur la période 2019-2021, deux nouvelles bases de données de patch de feux seront produites, à partir des données FIRE\_CCIv51 à 250m de résolution, et des données FIRE\_CCI\_SFD à 20m de résolution (images sentinel) sur l'Afrique et l'Amérique du sud. Une synthèse des contours de feux sur la France métropolitaine sera produite à partir des

images landsat depuis 1985 et chaque patch de feux sera caractérisé par sa morphologie selon la méthodologie globale FRY pour FRY-France.

La TO GMAP est amenée à s'enrichir de nouvelles placettes au cours des prochaines années pour explorer une plus large gamme de conditions et d'espèces, notamment des placettes avec pin d'Alep et pin sylvestre. Dans la continuité de travaux récents, la TO sera ouverte à de nouvelles collaborations avec l'INRA et le WSL (Suisse). Evidemment le partenariat avec le service RDI de l'ONF sera pérennisé.

**Interactions à l'intérieur du SO :** la TO Puéchabon fournit le bilan carbone d'un écosystème forestier largement répandu mais peu perturbé ainsi que des mesures de déficit hydrique et de teneur en eau de la végétation. La TO incendies quantifie et localise les fortes perturbations que représentent les incendies de forêts ainsi que leurs impacts sur le bilan de carbone global. La TO GMAP explore les effets de la diversité des ligneux sur les relations climat-fonctionnement des parcelles forestières.

L'expérience en modélisation du bilan d'eau du sol et croissance des arbres des autres TO participeront à la calibration d'un modèle de dynamique forestière sur les placettes de la TO GMAP. De plus, le partage de compétence dans l'installation et le suivi de capteurs sur le terrain serviront également à améliorer l'instrumentation mise en place sur les placettes de GMAP.

Les indices de sécheresse mesurés sur Puéchabon (potentiels hydriques, teneur en eau des plantes) servent de base pour la calibration des modèles et indices issus de la télédétection pour une représentation régionale de la sécheresse de la végétation pour une estimation de l'aléa incendie.

**Gouvernance :** Le SO, piloté par J.M. Ourcival, se réunit environ une fois par mois pour le pilotage du SO et la répartition des crédits entre TO. A noter qu'à partir du début 2020 le SO sera porté par Florent Mouillot.

## Références bibliographiques :

### TO Feux

Laurent P., Mouillot F., Yue C., Ciais P., Moreno MV, Nogueira JMP 2018. FRY, a global database of fire patch functional traits derived from space borne burned area. *Nature Scientific data* 5 : 180132.

Laurent P., Mouillot F., Moreno MV, Yue C., Ciais P. 2019. Varying relationships between fire radiative power and fire size at a global scale. *Biogeosciences* 16(2) : 275-288.

### TO GMAP

Jourdan M., Kunstler G., Morin X. How neighborhood interactions control the temporal stability and resilience to drought of trees in mountain forests? *J. of Ecology*. Under major revisions.

### TO Puéchabon

Gavinet J, Ourcival JM, Limousin JM (2019) Rainfall exclusion and thinning can alter the relationships between forest functioning and drought. *New Phytologist* doi : 10.1111/nph.15860.

Gavinet J, Ourcival JM, Lempereur M, Cabon A, Limousin JM (2018) Les taillis méditerranéens de chênes verts face aux changements climatiques : éclaircir pour améliorer leur résistance à la sécheresse. *Forêt méditerranéenne* 39(3):179-186.

Grossiord C, Sevanto S, Limousin JM, Meir P, Mencuccini M, Pangle RE, Pockman WT, Salmon Y, Zweifel R, McDowell NG (2018) Manipulative experiments demonstrate how long-term soil moisture changes alter controls of plant water use. *Environmental and Experimental Botany* 152:19-27. )

Bykova O, Limousin JM, Ourcival JM, Chuine I (2018) Water deficit disrupts male gametophyte development in *Quercus ilex*. *Plant Biology*. doi : 10.1111/plb.12692.

Cabon A, Mouillot F, Lempereur M, Ourcival JM, Simioni G, Limousin JM (2018) Thinning increases tree growth by delaying the drought-induced growth cessation in a mediterranean evergreen oak coppice. *Forest Ecology and Management* 409:333-342.

Martínez B, Sanchez-Ruiz S, Gilabert MA, Moreno A, Campos-Taberner M, García-Haro FJ, Trigo IF, Aurela M, Brümmer C, Carrara A, De Ligne A, Gianelle D, Grünwald T, Limousin JM, Lohila A, Mammarella I, Sottocornola M, Steinbrecher R, Tagessono T (2018) Retrieval of daily gross primary production over Europe and Africa from an ensemble of SEVIRI/MSG products. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation* 65 : 124-136.

Gauquelin T, Michon G, Joffre R, Duponnois R, Génin D, Fady B, Bou Dagher-Kharraf M, Derridj A, Slimani S, Badri W, Alifriqui M, Auclair L, Simenel R, Aderghal M, Baudoin E, Galiana A, Prin Y, Sanguin H, Fernandez C, Baldy V (2018) Mediterranean forests, land use and climate change : a social-ecological perspective. *Regional Environmental Change* 18:623-636.)

Knauer J, Zaehle S, Medlyn BE, Reichstein M, Williams CA, Migliavacca M, De Kauwe MG, Werner C, Keitel C, Kolari P, Limousin JM, Linderson ML (2018) Towards physiologically meaningful water use efficiency estimates from eddy covariance data. *Global Change Biology*, doi : 10.1111/gcb.13893.

Salomón RL, Rodríguez-Calcerrada J, Staudt M (2017) Carbon Losses from Respiration and Emission of Volatile Organic Compounds—The Overlooked Side of Tree Carbon Budgets. In : Gil-Pelegrín E., Peguero-Pina J., Sancho-Knapik D. (eds) *Oaks Physiological Ecology. Exploring the Functional Diversity of Genus Quercus L.. Tree Physiology*, vol 7. Springer, Cham.

Fernandez-Martinez M, Vicca S, Janssens IA, Ciais P, Obersteiner M, Bartrons M, Sardans J, Verger A, Canadell JG, Chevallier F, Wang X, Bernhofer C, Curtis PS, Gianelle D, Grünwald T, Heinesch B, Ibrom A, Knohl A, Laurila T, Law BE, Limousin JM, Longdoz B, Loustau D, Mammarella I, Matteucci G, Monson RK, Montagnani L, Moors EJ, Munger JW, Papale D, Piao SL, Peñuelas J (2017) Atmospheric deposition, CO<sub>2</sub>, and change in land carbon sink. *Scientific Reports*, 7 : 9632.

Medlyn BE, De Kauwe MG, Lin YS, Knauer J, Duursma RA, Williams CA, Arneeth A, Clement R, Isaac P, Limousin JM, Linderson ML, Meir P, Martin-StPaul N, Wingate L (2017) How do leaf and ecosystem measures of water-use efficiency compare ? *New Phytologist*, doi : 10.1111/nph.14626.

Fu Z, Stoy PC, Luo Y, Chen J, Sun J, Montagnani L, Wohlfahrt G, Rahman AF, Rambal S, Bernhofer C, Wang J, Shirkey G, Niu S (2017) Climate controls over the net carbon uptake period and amplitude of net ecosystem production in temperate and boreal ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 243:9-18.

Salomón RL, Limousin JM, Ourcival JM, Rodríguez-Calcerrada J, Steppe K (2017) Stem hydraulic capacitance decreases with drought stress : implications for modelling tree hydraulics in the Mediterranean oak *Quercus ilex*. *Plant, Cell and Environment* 40:1379-1391

Musavi T, Migliavacca M, Reichstein M, Kattge J, Wirth C, Black TA, Janssens I, Knohl A, Loustau D, Rouspard O, Varlagin A, Rambal S, Cescatti A, Gianelle D, Kondo H, Tamrakar R, Mahecha MD (2017) Stand age and species richness dampen interannual variation of ecosystem-level photosynthetic capacity. *Nature Ecology & Evolution* 1:Art.Nb. 0048.

Lempereur M, Limousin JM, Guibal F, Ourcival JM, Rambal S, Ruffault J, Mouillot F. (2017) Recent climate hiatus revealed dual control by temperature and drought on the stem growth of Mediterranean *Quercus ilex*. *Global Change Biology* 23:42-55.

Chamorro D, Luna B, Ourcival JM, Kavgaci A, Sirca C, Mouillot F, Arianoutsou M, Moreno J (2017) Germination sensitivity to water stress in four shrubby species across the Mediterranean Basin. *Plant Biology* 19:23-31.

Guillemot J, Francois C, Hmimina G, Dufrene E, Martin-StPaul NK, Soudani K, Marie G, Ourcival JM, Delpierre N (2017) Environmental control of carbon allocation matters for modelling forest growth. *New Phytologist* 214:180-193.

Lempereur M, Ourcival JM, Limousin JM (2016) Éclaircir les taillis de chêne vert : une atténuation des contraintes climatiques sur la croissance. *Forêt Entreprise* n°230:42-46

Vicca S, Balzarolo M, Filella I, Granier A, Herbst M, Knohl A, Longdoz B, Mund M, Nagy Z, Pintér K, Rambal S, Verbesselt J, Verger A, Zeileis A, Zhang C, Peñuelas J. (2016) Remotely-sensed detection of effects of extreme droughts on gross primary production *Scientific Reports* 6:28269.

Estiarte M, Vicca S, Peñuelas J, Bahn M, Beier C, Emmett BA, Fay PA, Hanson PJ, Hasibeder R, Kigel J, Kröel-Dulay G, Larsen KS, Lellei-Kovács E, Limousin JM, Ogaya R, Ourcival JM, Reinsch S, Sala OE, Schmidt IK, Sternberg M, Tielbörger K, Tietema A, Janssens IA (2016) Few multiyear precipitation–reduction experiments find a shift in the productivity–precipitation relationship *Global Change Biology*. 22:2570-2581.

Joet T, Ourcival JM, Capelli M, Dussert S, Morin X (2016) Explanatory ecological factors for the persistence of desiccation-sensitive seeds in transient soil seed banks : *Quercus ilex* as a case study. *Annals of Botany* 111:165-176.

García-Palacios P, Prieto I, Ourcival JM, Hättenschwiler S (2016) Disentangling the litter quality and soil microbial contribution to leaf and fine root litter decomposition responses to reduced rainfall. *Ecosystems* 19:490-503.

Wingate L, Ogée J, Cremonese E, Filippa G, Mizunuma T, Migliavacca M, Moisy C, Wilkinson M, Moureaux C, Wohlfahrt G, Hammerle A, Hörtnag L, Gimeno C, Porcar-Castell A, Galvagno M, Nakaji T, Morison J, Kolle O, Knohl A, Kutsch W, Kolari P, Nikinmaa E, Ibrom A, Gielen B, Eugster W, Balzarolo M, Papale D, Klumpp K, Köstner B, Grünwald T, Joffre R, Ourcival JM, Hellstrom M, Lindroth A, Charles G, Longdoz B, Genty B, Levula J, Heinesch B, Sprintsin M, Yakir D, Manise T, Guyon D, Ahrends H, Plaza-Aguilar A, Guan JH, Grace J (2015) Interpreting canopy development and physiology using the EUROPhen camera network at flux sites. *Biogeosciences* 12:7979–8034.

Gea-Izquierdo G, Guibal F, Huc R, Joffre R, Ourcival JM, Nicault A, Simioni G, Guiot J (2015) Disentangling the climatic drivers determining photosynthesis and carbon allocation in evergreen Mediterranean forests under climate change. *Biogeosciences* 12:3695–3712.

Guillemot J, Martin-StPaul NK, Dufrêne E, François C, Soudani K, Ourcival JM, Delpierre N (2015) The dynamic of the annual carbon allocation to wood in European tree species is consistent with a combined source–sink limitation of growth : implications for modelling. *Biogeosciences* 12:2773–2790.

Liu J, Rambal S, Mouillot F (2015) Soil Drought Anomalies in MODIS GPP of a Mediterranean Broadleaved Evergreen Forest. *Remote Sensing* 7:1154-1180.

Lempereur M, Martin St-Paul NK, Damesin C, Joffre R, Ourcival JM, Rocheteau A, Rambal S (2015) Growth duration is a better predictor of stem increment than carbon supply in a Mediterranean oak forest : implications for assessing forest productivity under climate change. *New Phytologist* 207:579-590.

## BILAN DU SO OBSERVATOIRE DES SAISONS

(Responsable ISABELLE CHUINE, CEFE, CNRS)

### - Présentation :

Le SO ODS collecte sur l'ensemble du territoire national des données sur les cycles annuels de développement des espèces animales et végétales pour étudier l'impact du changement climatique sur celles-ci. L'acquisition des données est donc pensée sur le long terme (> 30 ans). Les observations alimentent la recherche fondamentale et appliquée dans de nombreux domaines comme par exemple l'impact de la phénologie sur le fonctionnement des organismes vivants, la productivité primaire des agro et écosystèmes et le cycle du carbone, la répartition géographique des espèces et des zones de culture. Il n'est composé que d'une seule tâche d'observation.

Depuis janvier 2017, le SO ODS représente deux des dix observatoires élémentaires du SOERE TEMPO (<https://www6.inra.fr/soere-tempo>): l'Observatoire Forêt et l'Observatoire Citoyen. Le SO ODS a la particularité d'associer depuis sa création science académique et science citoyenne. L'animation du programme de sciences citoyennes est animé par l'association Tela Botanica.

Le SO ODS et le SOERE TEMPO ont poursuivi ces trois dernières années les objectifs suivant :

1. **Capitaliser** des données qui permettront de comprendre les impacts du changement climatique sur les agro-écosystèmes.
2. **Disséminer** le plus largement possible, en accord avec les standards et systèmes d'information internationaux des données phénologiques pour l'ensemble du monde vivant.
3. **Innover** sur les outils et méthodologies dédiées à l'observation de la phénologie.
4. **Favoriser** des projets de recherche **pluridisciplinaires** en son sein et avec l'international grâce à la **transversalité** et **généricité** de ses outils.

### - Données collectées :

Les données collectées sont les dates d'occurrence d'événements phénologiques clés dans le cycle annuel de développement des organismes suivis (ex : date de floraison, date de coloration des feuilles, date de retour des animaux migrateurs, etc). Ces données sont bancarisées dans deux bases de données, l'une localisée au CEFE, l'autre à Tela Botanica (<https://www.tela-botanica.org/>). La diffusion des données et métadonnées se fait sur plusieurs plateformes web : le site web de l'OSU OREME, le portail de l'IR ECOSCOPE, et le portail du SOERE TEMPO. Jusqu'ici l'accès aux données se fait par création d'un compte d'accès après validation de la charte d'utilisation des données.

Les utilisateurs de ces données sont les chercheurs travaillant sur l'environnement au sens large, et en particuliers ceux travaillant en écologie, agronomie, foresterie ; mais aussi les collectivités territoriales, les entreprises privées dont les activités dépendent de l'environnement, les structures gestionnaires de milieux protégés.

### - Résultats principaux :

Le SO ODS fournit une base de données en ligne accessible sur demande de création de compte d'accès, via différents portails d'accès.

ODS fournit également des outils de modélisation de la phénologie (PMP).

Les données ont été utilisées pour répondre de nombreuses questions de recherche. Elles ont permis de suivre l'effet du changement climatique sur la phénologie de nombreuses espèces, de tester des hypothèses sur le déterminisme environnemental et génétique de la phénologie, de paramétrer des modèles prédictifs et les utiliser pour établir des projections des changements phénologiques du au changement climatique futur. Ils sont également utilisés dans les modèles de fonctionnement de la végétation.

### - Publications :

Le nombre de publications générées par le SO ODS est relativement important (~10/an) mais étant donné que la base de données est ouverte, que le SO a changé de nom et émerge maintenant sur deux structures différentes (OSU OREME et SOERE TEMPO) il a été difficile ces dernières années de tracer l'utilisation de ses

données et de faire une liste exhaustive des publications qui en sont issues. C'est un problème auquel nous allons essayer de remédier lors du prochain mandat.

ODS génère également de nombreuses communications scientifiques envers le grand public.

ODS a également publié en 2017 un ouvrage, *Les plantes au rythme des saisons*, aux éditions BIOTOPE à destination du monde académique et du grand public, ainsi qu'une exposition qui a tourné pendant deux années en France dans divers lieux publics.

- **Enseignement :**

Le SO ODS organise chaque année des formations à destination des personnels en charge de la prise de données sur le terrain (formation à l'observation et intercalibration entre observateurs), ainsi que des formations aux outils de modélisation (PMP) développés dans le cadre du SO à destination des chercheurs. Le SO ODS, en partenariat avec le SOERE TEMPO et l'INRA, a également réalisé en 2019 une école technique dédiée à l'innovation dans l'observation phénologique.

- **Développement :**

ODS a une part de ses activités dédiées au développement de nouvelles techniques d'observation de la phénologie à l'aide d'instruments de mesures (capteurs de radiation solaire, caméra, etc), ainsi qu'au développement d'outils de modélisation (PMP, Phelib library).

- **Transfert (de compétences, technologie...) :**

Le SO ODS compte parmi ses membres des associations et des structures privées (ex CRPF) auxquelles les formations organisées par le SO sont ouvertes.

- **Perspectives du SO ODS**

- Connexion de la base de donnée hébergée à Tela Botanica au portail TEMPO.
- Connexion aux bases de données Européenne (<http://www.pep725.eu/>) et mondiale (<https://www.plantphenology.org/>)
- Passage en Open Data.
- Refonte du site web du programme de Sciences participatives en mode responsive design pour pouvoir saisir sur tablettes et smartphones les observations.
- Mise en œuvre d'un projet de production d'indicateurs bioclimatiques qui seront diffusés sur internet, en partenariat avec l'INRA et Meteo France.
- Améliorer le traçage des publications issues des données du SO.
- Publication en langues anglaise allemande de l'ouvrage de référence *Les plantes au rythme des saisons*.

## BILAN DU SO POLLUMINE

### Bilan (2014-2019)

#### Questions scientifiques abordées par le SO :

Le SO POLLUMINE (Suivi de la pollution et adaptabilité biologique en aval des anciens sites miniers) étudie sur le long terme la dynamique, l'évolution, la résistance et la résilience de communautés microbiennes, végétales et de la faune du sol, en relation avec la pollution des eaux et des sols par les métaux au voisinage d'anciens sites miniers.

Deux régions ateliers gardoises, caractéristiques de la géologie et du type de minéralisation à plomb-zinc retrouvés sur le bassin Méditerranéen, font l'objet de suivis dans le cadre du SO : l'ancien site minier de Carnoulès, impacté par le phénomène de drainage minier acide (DMA) induisant une pollution du milieu aquatique par les métaux et l'arsenic, et le district minier de Saint Laurent le Minier, dans lequel la contamination métallique concerne essentiellement le compartiment du sol.

#### TO rattachés :

Le SO POLLUMINE est structuré en trois TO :

#### **TO1 - Observatoire de l'ancien site minier de Carnoulès**

Les observations réalisées sur l'hydrosystème en aval du dépôt de résidus miniers à sulfures de Carnoulès ont pour objectif d'élucider les relations qui existent entre les caractéristiques physico-chimiques des eaux minières, la structure des communautés microbiennes (bactéries, archaea, eucaryotes) et l'abondance et l'activité de populations impliquées dans l'atténuation naturelle de l'arsenic et du fer.

Le site étant désormais géré par l'ADEME, la TO dispose d'une convention d'accès et de mise à disposition de terrains. Les suivis de qualité des eaux (paramètres physico-chimiques, concentrations en métaux, sulfate, spéciation de l'arsenic dans la phase dissoute...) concernent 6 stations sur le drainage minier acide du Reigous et la rivière Amous. Les données (physico-chimie, concentrations en Fe, As, Pb, Zn) sont téléchargeables sur le portail de l'OSU OREME (<https://oreme.org/observation/pollumine/>). La structure des communautés de microorganismes (bactéries, archaea et eucaryotes) est déterminée sur ces stations, à partir d'échantillons (eaux ou sédiments) choisis a posteriori, en fonction des variations spatio-temporelles de la physico-chimie des eaux.

#### **TO2 - Effets de la pollution minière sur les traits d'histoire de vie et les interactions biotiques d'une espèce végétale métallophyte**

Dans la région de Saint-Laurent le Minier, l'objectif des observations est de mieux comprendre comment l'hétérogénéité de la contamination des sols en métaux lourds (principalement le zinc et le plomb) influence (1) la composition en espèces végétales ainsi que les espèces de pollinisateurs qui les visitent, (2) la phénologie de floraison, la diversité génétique, les taux d'autofécondation chez l'espèce métallophyte facultative *Noccaea caerulescens*, et (3) l'adaptation de *Noccaea caerulescens* à des gradients de pollution du sol.

Les observations concernent pour moitié des mines abandonnées et des sites témoins (4 au total par année) et sont effectuées principalement sur l'espèce *Noccaea caerulescens*, du fait de son fort potentiel à accumuler les métaux lourds. Les données récoltées concernent :

- les taux d'autofécondations moyens dans 4 populations de *N. Caerulescens* suivies entre 2012 et 2018
- les densités de populations de *N. Caerulescens* entre 2015 et 2018
- la composition et la phénologie du réseau d'interactions plantes-pollinisateurs centré sur *N. Caerulescens* dans 4 populations en 2017 et 2018
- une base de données génétiques, incluant des marqueurs neutres spécifiques de *N. Caerulescens*
- des mesures d'adaptation à la concentration en zinc dans deux populations
- des mesures de concentration de plusieurs métaux lourds dans le sol.

#### **TO3 - Effets des polluants sur la faune du sol en aval des anciens sites miniers**

Dans cette tâche, la question posée porte sur les capacités des communautés à réagir face aux différents filtres environnementaux. En ce sens, les gradients de pollution constituent des filtres facilement identifiables, et donc d'excellents contextes pour (1) tester des questions d'écologie relatives à la résistance ou à la résilience des communautés, (2) tester la faune du sol comme indicateur de qualité et de fonctionnement des sols. L'objectif est également de pouvoir replacer les valeurs observées dans une gamme de valeurs existantes dans d'autres bases de données, pour certaines déjà publiées (Joimel et al., 2016; 2017), afin de mieux situer les sols anciennement contaminés. En effet, les SUTIMA (Soil of Urban Industrial Technogenic and Military Areas) forment actuellement un groupe relativement hétérogène, qu'il convient de caractériser plus précisément, particulièrement concernant ses composantes biologiques.

L'observation, initiée en 2019, porte sur les communautés allant de la mésafaune (collembolles) à la macrofaune (vers de terre, fourmis, carabes...). Les approches utilisées seront taxonomiques, à travers l'inventaire des espèces présentes et l'analyse des paramètres structurant les communautés (Vergnes et al., 2012; 2014; Milano et al., 2017), mais également fonctionnelles à travers l'étude des traits des communautés (Santorufu et al., 2014; 2015; Joimel et al., 2018).

### **Cohérence de l'ensemble :**

Les trois TO forment un ensemble complémentaire permettant de documenter les réponses des écosystèmes aquatiques et terrestres aux pressions qu'exercent les pollutions métalliques. Certaines des approches utilisées (diversité taxonomique et fonctionnelle) sont communes aux trois TO, ce qui pourra faciliter, à terme, la mise en commun des bases de données. La nouvelle tâche « faune du sol » rattachée au SO POLLUMINE en 2018 est développée sur les sites Gardois déjà suivis dans le cadre des deux autres TO ; elle bénéficie donc des données de suivi physico-chimique acquises sur ces sites, ce qui permet d'optimiser l'utilisation des crédits. Par le biais de partage de données et d'approches sur des sites communs, cette nouvelle tâche permet également de tisser des liens plus étroits entre les différents acteurs du SO POLLUMINE, membres de trois UMR, l'ISEM, HSM et le CEFE. Les données générées par les trois TO fournissent un ensemble d'informations utiles aux organismes responsables de la gestion de l'eau ou des sites et sols pollués tels que le SMAGE, l'ADEME, le BRGM, favorisant ainsi le développement de partenariats entre les unités de recherche et ces organismes. Par ailleurs, les données recueillies dans le cadre du SO sont régulièrement utilisées dans les enseignements de M1 et M2 de l'UM ; des sorties sur le terrain (3 à 4/an) sont organisées chaque année sur certains sites.

### **Résultats marquants :**

#### **TO1 - Observatoire de l'ancien site minier de Carnoulès**

Les travaux récents ont exploré la distribution spatiale des communautés eucaryotes du Drainage Minier Acide du Reigous, en lien avec la concentration en arsenic dans le sédiment ; celle-ci constitue un facteur affectant la structure des communautés le long du gradient de pollution (Volant et al., 2016).

Les recherches ont également porté sur la distribution spatiale des bactéries possédant le potentiel génétique pour interagir (résistance, réduction, méthylation) avec l'arsenic (Desoeuvre et al., 2016) ; de façon surprenante, le gène marqueur *arsM* a montré une large distribution suggérant que la biométhylation peut impacter le devenir de l'arsenic dans ce système. Des analyses métagénomiques et métabotéomiques ont montré que plusieurs souches bactériennes du genre *Thiomonas*, capables d'oxyder l'arsenic, sont présentes à différentes périodes et en différentes stations le long du Reigous et expriment l'arsénite oxydase impliquée dans l'atténuation naturelle de l'arsenic (Hovasse et al., 2016).

En permettant le décryptage des processus d'atténuation naturelle de l'arsenic et l'identification des bactéries impliquées, les observations menées sur le site de Carnoulès ont largement contribué à l'obtention d'un projet ANR (IngECOST-DMA, ANR-13-ECOT-0009, 2014-2017) visant l'élaboration d'un traitement biologique des eaux minières (Fernandez-Rojo et al., 2017, 2018, 2019 ; Tardy et al., 2018 ; Laroche et al., 2018). Dans ce cadre, un pilote a été implanté pendant 6 mois sur le site de Carnoulès et alimenté par l'eau du site. Différentes actions de vulgarisation scientifique ont été menées : demi-journée de conférences-débats sur le thème « Impact des anciennes mines Cévenoles sur la qualité des cours d'eau et solutions de remédiation » (Fête de la Science, 10 oct. 2015, Saint Sébastien d'Aigrefeuille), mise en place d'une exposition permanente sur site, avec le concours de la commune de Saint Sébastien d'Aigrefeuille (trois panneaux pédagogiques consacrés au phénomène de drainage minier et aux processus d'atténuation de l'arsenic, St Sébastien d'Aigrefeuille, depuis avril 2016), contribution au projet de vulgarisation scientifique Atom'Hôtel (vidéo sur l'atome arsenic, <http://education.francetv/atome-hotel/>).

### **Valorisation scientifique :**

Base de données :

<https://oreme.org/observation/pollumine/>

Publications :

Desoeuvre, A., Casiot, C., & Héry, M. (2016). Diversity and distribution of arsenic-related genes along a pollution gradient in a river affected by acid mine drainage. *Microbial Ecology*, 71(3), 672-685. 10.1007/s00248-015-0710-8.

Hovasse, A., Bruneel, O., Casiot, C., Desoeuvre, A., Farasin, J., Hery, M., [Van Dorsselaer A](#), [Carapito C](#), [Arsène-Ploetze F](#). (2016). Spatio-Temporal Detection of the *Thiomonas* Population and the *Thiomonas* Arsenite Oxidase Involved in Natural Arsenite Attenuation Processes in the Carnoulès Acid Mine Drainage. *Front. Cell Dev. Biol.*, 4, 3. 10.3389/fcell.2016.00003

Volant, A., Héry, M., Desoeuvre, A., Casiot, C., Morin, G., Bertin, P. N., Bruneel, O. (2016). Spatial Distribution of Eukaryotic Communities Using High-Throughput Sequencing Along a Pollution Gradient in the Arsenic-Rich Creek Sediments of Carnoulès Mine, France. *Microbial Ecology*, 72(3): 608-620. 10.1007/s00248-016-0826-5. IF 3.23

Elbaz-Poulichet, F., Resongles, E., Bancon-Montigny, C., Delpoux, S., Freydier, R., Casiot, C. (2017). The environmental legacy of historic Pb-Zn-Ag-Au mining in river basins of the southern edge of the Massif Central (France). *Environ Sci Pollut Res.* 24, 20725 – 20735. DOI 10.1007/s11356-017-9669-y

Fernandez-Rojo, L., Héry, M., Le Pape, P., Braungardt, C., Desoeuvre, A., Torres, E., Tardy V., Resongles E., Laroche E., Delpoux S., Joulain C., Battaglia-Brunet F., Boisson J., Grapin G., Morin G., Casiot C. (2017). Biological attenuation of arsenic and iron in a continuous flow bioreactor treating acid mine drainage (AMD). *Water Res* 123:594–606.10.1016/j.watres.2017.06.059

Tardy, V., Casiot, C., Fernandez-Rojo, L., Resongles, E., Desoeuvre, A., Joulain, C., [Battaglia-Brunet F](#), [Héry M](#). (2018). Temperature and nutrients as drivers of microbially mediated arsenic oxidation and removal from Acid Mine Drainage. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(5), 2413-2424. Doi: 10.1007/s00253-017-8716-4

Fernandez-Rojo, L., Casiot, C., Tardy, V., Laroche, E., Le Pape, P., Morin, G., Joulain, C., Battaglia-Brunet, F., Braungardt, C., Desoeuvre, A., Delpoux, S., Boisson, J., Héry, M. (2018). Hydraulic retention time affects bacterial community structure in an As-rich acid mine drainage (AMD) biotreatment process. *Applied Microbiology and Biotechnology* 102:9803–9813. Doi: 10.1007/s00253-018-9290-0

Fernandez-Rojo L. ; Casiot C. ; Laroche E. ; Tardy V. ; Bruneel O. ; Delpoux S. ; Desoeuvre A. ; Grapin G. ; Savignac J. ; Boisson J. ; Morin G. ; Battaglia-Brunet F. ; Joulain C. ; Héry M. 2019. A field-pilot for passive bioremediation of As-rich acid mine drainage. *Journal of Environmental Management* 232: 910–918. Doi: 10.1016/j.jenvman.2018.11.116

Laroche E. ; Casiot C. ; Fernandez-Rojo L. ; Desoeuvre A. ; Tardy V. ; Bruneel O. ; Battaglia-Brunet F. ; Joulain C. ; Héry M. 2018. Dynamics of Bacterial communities mediating the treatment of an As-Rich Acid Mine drainage in a field pilot. *Frontiers in Microbiology*, *Front. Microbiol.* 9:3169. doi: 10.3389/fmicb.2018.03169

Bruneel, O., Héry, M., Laroche, E., Dahmani, I., Fernandez-Rojo, L., Casiot, C. (2017). Microbial transformations of arsenic: from metabolism to bioremediation. In metal-microbe interactions and bioremediation: principle and applications for toxic metals. In T. a. F. G. (Ed. Das S. and Dash H.R.), Abingdon, UK (Ed.).

#### Articles publiés dans des actes de colloques / congrès

Fernandez-Rojo, L., Casiot, C., Désoeuvre, A., Braungardt, C., Torres, E., Le Pape, P., Morin, G., Tardy, V., Resongles, E., Delpoux, S., Boisson, J., Grapin, G., Héry, M. (2016, 11-15 juillet 2016.). Iron and arsenic removal rates in a continuous flow reactor treating As-rich acid mine drainage (AMD). Paper presented at the IMWA 2016, Leipzig/Germany.

Tardy, V., Casiot, C., Fernandez-Rojo, L., Resongles, E., Désoeuvre, A., Héry, M. (2016, 11-15 juillet 2016). Environmental parameters as drivers of bacterial communities responsible for arsenic removal from acid mine drainage. Paper presented at the IMWA 2016, Leipzig/Germany

Fernandez-Rojo, L., Héry, M., Laroche, E., Tardy, V., Bruneel, O., Delpoux, S., Desoeuvre, A., Grapin, G., Savignac, J., Boisson, J., Morin, G., Casiot, C. (2017, 13-18 August 2017). Monitoring of biological oxidation and removal of arsenic and iron in a field bioreactor treating As-rich acid mine drainage. Paper presented at the Goldschmidt 2017, Paris, France.

#### Autres produits présentés dans des colloques / congrès et des séminaires de recherche

Bruneel, O., Dahmani, I., Mghazli, N., Volant, A., Sbabou, L., Desoeuvre, A., Héry, M., Casiot, C., Hakkou, R., Filali-Maltouf, A. (2016, 11 – 13 avril 2016). Using of Next Generation Sequencing to understand implication of microorganisms in formation and attenuation of acid mine drainage. . Paper presented at the GESRIM 2016. , Marrakech, Maroc.

Bruneel, O., A. Volant, I. Dahmani, L. Sbabou, E. Navarro, M. Héry, A. Désoeuvre, et al. (2014). Study of diversity using next generation sequencing. 4ème Congrès de l'Association Marocaine de Microbiologie (AMM) et

16ème Congrès de l'Association Africaine pour la Fixation Biologique de l'azote (AABNF), 03-07 Novembre 2014, Rabat, Maroc

Boyer, J.F.; Casiot, C.; Jourde, H.; Servat, E. Architecture of environmental information system applied to a scientific observatory – examples of observatories Carnoulès and Medycys of the OSU OREME. FRIEND 2014, Montpellier, France.

Casiot, C. IngECOST-DMA Ingénierie écologique appliquée à la gestion intégrée de stériles et drainages miniers acides riches en arsenic. 8ème journée des écotechnologies, 2 avril 2014, Paris, France.

Casiot, C., Resongles, E., Héry, M. (2015, 8-9 janvier). Fate of arsenic and antimony in surface waters downstream from the abandoned Pb/Zn Carnoulès mine in southern France: speciation and microbial interactions. - Oral seul. Paper presented at the Workshop Environmental impacts of mining and smelting Orsay.

Tardy, V., Casiot, C., Fernandez-Roj, L., Resongles, E., Désoeuvre, A., Héry, M. (2016, 16-18 Mars 2016). Influence des facteurs environnementaux sur les communautés bactériennes responsables de l'élimination du fer et de l'arsenic dans les Drainages Miniers Acides. Paper presented at the 3ème journées Ecotoxicomic, , Rovaltain, Valence, France.

Bruneel O., Dahmani J., Mghazli N., Volant A., Sbabou L., Désoeuvre A., Héry M., Casiot C., Hakkou R., Filali-Maltouf A. Using Next Generation Sequencing to understand implication of microorganisms in formation and attenuation of acid mine drainage. GESRIM Congrès International sur la gestion des rejets miniers et l'après-mine, 11-13rd April 2016, Marrakech, Maroc

Laroche E., Casiot C., Fernandez-Rojo L., Tardy V., Desoeuvre A., Grapin G., Savignac J., Boisson J., Battaglia-Brunet F., Joulian C., Héry M. Dynamics of bacterial communities in a field-scale pilot treating As-rich acid mine drainage. Ecotoxicomic, November 21st -24th 2017, Lyon, France.

Héry, M., Bruneel, O., Casiot, C. (2018, 27 - 28 juin 2018). Le devenir des contaminants métalliques dans l'environnement aquatique sous le contrôle des micro-organismes? Cas des Drainages miniers acides. Colloque de la Société Française d'Ecotoxicologie Fondamentale et Appliquée, Montpellier.

Héry, M., Bruneel, O., Casiot, C. (2018, 30-31 Mai 2018). Vers la bioremédiation des eaux acides arsénisées? 2èmes Journées Recherche-Industrie Management des Ressources microbienne, Narbonne.

Laroche E., Casiot C., Fernandez-Rojo L., Tardy V., Desoeuvre A., Grapin G., Savignac J., Boisson J., Battaglia-Brunet F., Joulian C., Héry M. Dynamique spatio-temporelle des communautés bactériennes d'un bioréacteur traitant un drainage minier acide riche en arsenic in situ. Management des ressources microbiennes - 2èmes Journées Recherche-Industrie ; 30 au 31 Mai 2018 Narbonne, France.

Fernandez-Rojo L., Torres E., Braungardt C., Desoeuvre A., Resongles E., Delpoux S., Héry M., Casiot C. Oxydation et élimination du Fe et As des eaux de Drainage Minier Acide (DMA) à l'échelle d'un pilote de laboratoire. Journée des Doctorants, Institut Montpellierain de l'Eau et de l'Environnement (IM2E), 20 mars 2015, Montpellier, France.

Casiot C., Torres E., Desoeuvre A., Fernandez-Rojo L., Braungardt C., Héry M. Microbial arsenic and iron oxidation in acid mine drainage: from natural attenuation to biological passive treatment process. Workshop Environmental impacts of mining and smelting, 8-9th January 2015, Orsay, France.

Casiot, C. (2016, 17-18 mars 2016). Pollutions d'origine minière et leur impact sur la qualité de l'eau sur le bassin versant des Gardons. Premier séminaire du Site Atelier "Rivières cévenoles", Alès, France.

Casiot, C., Bruneel, O., Héry, M., Elbaz-Poulichet, F., Petit, C. (2016, 13 mai 2016). SO POLLUMINE de l'OSU OREME Pollution et adaptabilité biologique en aval des anciens sites miniers. Atelier CNRS-INSU « sites fortement pollués par les activités minières et industrielles ». Atelier CNRS-INSU « sites fortement pollués par les activités minières et industrielles » CNRS), Paris, France.

Desoeuvre, A., Casiot, C., Héry, M. (2016, 16-18 mars). Diversité et distribution de gènes liés à l'arsenic le long d'un gradient de pollution, dans une rivière affectée par un drainage minier acide Poster. 3èmes journées d'Écotoxicologie Microbienne, Rovaltain. ). .

Tardy, V., Casiot, C., Fernandez-Rojo, L., Resongles, E., Désoeuvre, A., Héry, M. (2016, July 11-15th 2016). Environmental parameters as drivers of bacterial communities responsible for arsenic removal from acid mine drainage. Paper presented at the IMWA International Mine Water Association, Leipzig, Germany.

Casiot, C. (2017, 17 janvier 2017). IngECOST-DMA Ingénierie écologique appliquée à la gestion intégrée de stériles et drainages miniers acides riches en arsenic. Journées H2020 Inspiration ANR – SOLS, Paris, France.

Fernandez-Rojo, L., Héry, M., Laroche, E., Tardy, V., Bruneel, O., Delpoux, S., Desoeuvre, A., Grapin, G., Savignac, J., Boisson, J., Morin, G., Casiot, C. (2017, 13-18 August 2017). Monitoring of biological oxidation and removal of

arsenic and iron in a field bioreactor treating As-rich acid mine drainage. Paper presented at the Goldschmidt 2017, Paris, France.

Héry, M., Bruneel, O., Casiot, C. (2017, 21 – 24 novembre 2017). Microbiology of Acid Mine Drainage: from natural attenuation to bioremediation. Ecotoxicomic 2017, Lyon, France.

Bruneel O, Dahmani I, Sbabou L, Désoeuvre A, Héry M, Casiot C, Filali-Maltouf A. Implication of microorganisms in rehabilitation of mining sites. Conférence invitée. Colloque de restitution du programme Mines Abandonnées de l'UNESCO (financement SIDA-Suède)/sous-programme de l'IGCP (programme Géologique International de l'UNESCO) « Environmental and Health Impacts of Abandoned Mines in Sub-Saharan African Countries ». Nairobi, Kenya. 10-11 April 2018.

Bruneel O. Étude du rôle des communautés microbiennes dans la réhabilitation des sites miniers, de la remédiation des drainages miniers acides à la revégétalisation des déchets miniers. Conférence à l'UFR BIOSCIENCES. Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody. Cote d'Ivoire. 19 Novembre 2018.

Bruneel O. Étude du rôle des communautés microbiennes dans la réhabilitation des sites miniers, de la remédiation des drainages miniers acides à la revégétalisation des déchets miniers. Conférence à Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny de Yamoussoukro. Cote d'Ivoire. 21 Novembre 2018.

Bruneel O., Héry M., Casiot C. De la connaissance des microorganismes à la bioremédiation du drainage minier acide de Carnoulès. Journées thématiques de l'AFEM « Micro-organismes et métaux: des génomes à la bioremédiation ». Strasbourg, France. 7-8 novembre 2018

## **TO2 Observatoire Saint-Laurent-le-Minier/Saint-Hippolyte-du-Fort :**

Les travaux menés dans le TO2 confirment que *N. caerulea* a un régime de reproduction mixte, alliant allo et auto-fécondation. Le suivi réalisé pendant plusieurs années dans le SO Pollumine a permis de tester la robustesse de la différence observée entre les sites miniers et les sites non-pollués aux métaux : les taux d'autofécondation sont plus forts dans les sites non-pollués que dans les mines. Des travaux plus récents dans les mêmes sites, mais pas encore publiés, cherchent à déterminer si la phénologie des cohortes de pollinisateurs de *N. caerulea* sont responsables de ce patron.

### **Valorisation scientifique**

#### Thèse et stages :

Thèse de doctorat de Sophie Dubois en février 2005 « Etude du réseau de populations métallicoles et non-métallicoles de *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae) »

Thèse de doctorat de Georgina Jimenez-Ambriz en novembre 2008 « Hétérogénéité environnementale de polymorphisme chez *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae) : étude conjointe de la diversité génétique neutre et sélectionnée chez une espèce tolérante aux métaux lourds »

Thèse de doctorat de Mathilde Mousset en mai 2016 « Système de reproduction et adaptation à la toxicité du sol chez la Brassicacée pseudo-métallophyte *Noccaea caerulescens* »

Stage de M2 d'Isabelle Decombeix en juin 2008 « Etude du régime de reproduction chez une espèce tolérante aux métaux lourds, *Noccaea caerulescens* »

Stage de M1 de Peter Niehoff en juin 2015 « Variation in phenotypic traits and fitness components among populations of *Noccaea caerulescens* »

Stage de M1 de Florent Sylvestre en juin 2016 « Effet de la pollution de sol sur le taux d'autofécondation et le succès reproducteur de *Noccaea caerulescens* »

Stage de M1 de James Fredrickson en juin 2017 « An analysis of the selection gradients on phenological traits of *Noccaea caerulescens* and patterns of herkogamy across field population »

#### Publications et conférences :

Mousset M, Flaven E, Justy F, et al. 2015. Characterization and multiplexing of 21 microsatellite markers for the herb *Noccaea caerulescens* (Brassicaceae). *Applied Plant Sciences* 3: 1500052.

Mousset M, David P, Petit C. et al. 2016. Lower selfing rates in metallicolous populations than in non-metallicolous populations of the pseudometallophyte *Noccaea caerulescens* (Brassicaceae) in Southern France. *The New Phytologist* 117: 507-519.

Dubois S, Cheptou P-O, Petit C, et al. 2003. Genetic structure and mating systems of metallicolous and nonmetallicolous populations of *Thlaspi caerulescens*. *The New Phytologist* 157: 633-641.

Devaux. 2017. When and how to flower? Consequences for fitness and selfing. International Botanical Congress, Shenzhen.

Devaux, Godineau, Mignot, Pouzadoux. Flowering synchrony increases reproductive success and opportunity for outcrossing in *Noccaea caerulescens*. Soumis à *Annals of Botany*.

### **TO3 - Effets des polluants sur la faune du sol en aval des anciens sites miniers**

Les activités de cette tâche ont démarré en 2019. Elles ont été focalisées uniquement sur la mésofaune. Les efforts ont été portés au printemps 2019 sur le site de Saint-Laurent Le minier, avec un premier échantillonnage effectué le 14 mai 2019, sur un plan d'échantillonnage conjoint à celui mis en œuvre dans le cadre de la TO2, afin de mutualiser les analyses physico-chimiques de sols, nécessaires à l'interprétation des données. Au total 48 échantillons ont été récoltés, 21 dans un des bassins en aval de la mine, 21 dans un ancien jardin contaminé également en aval de la mine, 6 au niveau de la mine. Un stagiaire sera recruté en 2020 pour exploiter ces échantillons. Les premières données sur la faune du sol seront donc disponibles au printemps 2020. Un échantillonnage similaire aura lieu à Carnoulès à l'automne 2019.

### **Prospective (2020-2025)**

#### Continuité du projet scientifique :

Le SO POLLUMINE a évolué ces deux dernières années:

Concernant la TO1, le site de Carnoulès est entré dans une phase de réhabilitation par l'ADEME. La mise en place de pilotes de traitement du Reigous est prévue à partir de fin 2019, dans le cadre d'un projet Gesipol ADEME COMPAS (2019-2022) coordonné par le BRGM, et qui implique les chercheurs associés à la TO1. Dans ce contexte, les observations systématiques menées dans le cadre de la TO1 se limiteront à la partie amont du Reigous, avant la mise en place des traitements. Par ailleurs, les observations seront complétées afin d'aborder la question du rôle de la matière organique dans le processus d'atténuation naturelle du fer et de l'arsenic et l'implication des réseaux microbiens dans son recyclage ou sa production. En effet, les Drainages miniers Acides étant considérés comme des milieux oligotrophes, le recyclage de la matière organique apparaît comme une fonction cruciale.

La TO2 a recentré ses activités autour de l'étude de *Noccaea caerulescens*, l'espèce métallicole hyper-accumulatrice de métaux. Sachant que le site de Saint Laurent le Minier est en phase de réhabilitation par l'ADEME, et donc ne sera plus accessible à partir de juin 2019, nous avons récolté ce printemps tout le matériel végétal nécessaire à l'étude de l'adaptation aux métaux lourds, pour *N. caerulescens* mais également *Anthyllis vulneraria*, en collaboration avec l'équipe de C. Grison du laboratoire Chimeco (qui réalise aussi les analyses physico-chimiques du sol). Ces travaux engagés en 2019, pour une période de quatre ans, font suite aux résultats récents produits dans le SO : (1) Mousset et al. (non publié) estiment que les flux de gènes efficaces dans une mine est infra-métrique, suggérant une très forte structure génétique à fine échelle spatiale, (2) des analyses réalisées au printemps 2018 dans une autre mine indiquent que la contamination aux métaux lourds est très structurée spatialement, variant d'un facteur 5 en 50 m. Au vu de ces données, nous avons échantillonné en mai 2019 1500 plantes de *N. Caerulescens*, le long d'un gradient de contamination dans le site suivi dans le SO (Saint Laurent de Minier), depuis les bassins de décantation jusqu'à des zones extérieures et ce dans un protocole emboîté spatialement. Ces données vont permettre de tester l'adaptation au sein même d'une mine, en couplant l'identification de loci sous sélection en populations naturelles, des transplantations réciproques de plantes dans un gradient de contamination au séquençage de leurs descendants. Le même protocole a été utilisé pour *Anthyllis vulneraria*.

Le SO a vu la création de la TO3 en 2018. Outre la mise en place des suivis sur les sites du SO, il est envisagé de travailler conjointement avec Lucia Santorufo (Universita Federico 2 di Napoli), qui dispose de sites similaires en Italie.

#### Interactions entre TO du SO considéré :

Avec l'intégration de la nouvelle tâche « faune du sol », qui mène des observations sur les différents sites du SO, le SO POLLUMINE s'engage vers davantage d'interactions entre les différentes tâches du SO. Celles-ci sont dans un premier temps d'ordre opérationnel (partage des données de qualité des sols, mise en commun de stations d'échantillonnage, de matériel). A terme, les interactions entre les différentes TO du SO pourraient susciter le développement de partenariats institutionnels communs dans le domaine des sites et sols pollués (gestionnaires de sites, mairies, Région Occitanie...).

### Eventuels besoins en moyens et gros équipements

Le soutien de base de 8000 euros assuré par l'OSU est essentiel au fonctionnement du SO. Il permet d'assurer une continuité des observations a minima, particulièrement pendant les périodes sans financements type EC2CO ou ANR.

## BILAN DU SO OCOA

Le Système d'Observation « Observatoire des Communautés Animales » a pour objectif de collecter et de pérenniser des données à long-terme dans le but de comprendre les mécanismes à l'origine des patrons d'organisation des communautés animales dans des paysages fragmentés et perturbés. Les travaux s'intéressent notamment aux processus de réponses des milieux et des espèces animales aux perturbations d'origines anthropiques comme les changements d'utilisation des terres (à la fois déprise agricole ou intensification, urbanisation, etc) mais aussi naturelles (ouragans, incendies, régimes d'assecs, espèces invasives). La compréhension de ces processus est cruciale pour pouvoir prédire l'évolution de la biodiversité en réponse aux changements globaux en cours et développer des scénarios de ces évolutions. Ces travaux répondent à des besoins importants en connaissances fondamentales sur l'organisation de la biodiversité. Ils répondent aussi à des demandes sociétales fortes autour de la mise en place de politiques publiques de conservation de la biodiversité. De ce fait, ces travaux sont valorisés à travers des publications académiques internationales et sont mobilisés dans des partenariats avec des organismes publics ou parapublics telles que les délégations du ministère de l'environnement en région ou les conservatoires d'Espaces Naturels pour l'évaluation des politiques publiques de protection de l'environnement.

Pour répondre à ces questions, les différentes tâches d'observation s'intéressent aux abondances et occurrence des communautés d'animaux et développent des approches par traits d'histoire de vie. L'ensemble des tâches reposent sur des suivis à long-terme de la biodiversité, souvent sur des séries de collecte de données débutées dans les années 1970-1980. La majorité des tâches sont menées dans la région méditerranéenne mais une tâche compare des patrons en région méditerranéenne et en Afrique, une autre repose sur des suivis de rivières en milieu tropical dont le régime de perturbations se rapproche de celui des mares temporaires méditerranéennes.

Le Système d'Observation regroupe cinq tâches d'observations :

- TO « Communautés d'oiseaux » – responsable : Aurélien Besnard – Ce TO consiste en des relevés d'avifaune standardisés périodiques (annuels pour certains sites, à intervalle de 10 ans environ sur les autres sites). Ces relevés s'étendent sur un réseau multi-sites de plusieurs centaines de stations permanentes géo-référencées (Hérault, Lozère, Pyrénées-Orientales, Maroc).
- TO « Entomofaune coprophage » – responsable : Pierre Jay-Robert – Ce TO repose sur la collecte de données sur les insectes coprophages (Aphodiidae, Geotrupidae, Scarabaeidae) à travers le suivi de stations à l'échelle de la région et cela depuis une trentaine d'années.
- TO « Reptiles et amphibiens » – responsable : Marc Cheylan – Ce TO repose sur une base regroupant des données opportunistes géo-référencées rassemblées par un réseau d'observateurs sur l'ensemble du Languedoc-Roussillon depuis plus de 40 ans.
- TO « Points d'eau temporaires » – responsables : Aurélien Besnard, Pierre-André Crochet, Simon Chamaillé-James. Cette TO regroupe deux sous-tâches consistant en des suivis des communautés associées aux mares temporaires (i) de la région méditerranéenne, focalisant sur les amphibiens, (ii) de savanes africaines, focalisant sur les mammifères. Il s'agit de données collectées annuellement de manière standardisées depuis une dizaine d'année.
- TO « Communautés des mollusques d'eaux douces des Antilles françaises » – responsables Philippe Jarne et Patrice David – Cette TO est nouvellement intégrée au SO (2018). Elle repose sur des relevés de présence-absence ou d'abondance des mollusques dans des rivières des Antilles, relevés conduits de manière standardisée depuis 1993.

Bien que diverses dans les groupes taxonomiques étudiés et les zones biogéographiques, toutes ces TO reposent sur des suivis de communautés basés sur des relevés de même types (abondances/présences relevées de manière régulière sur des localités précises et sur le long-terme). Toutes s'intéressent aux mêmes questions scientifiques (voir paragraphe du début) et reposent sur le même type d'approches analytiques. En ce sens, leur regroupement au sein d'un même SO permet une mutualisation des outils (notamment bases de données) et un partage d'expérience important (approches de modélisation mobilisées, atouts et limites des suivis en cours, modalités de financements, etc). La structure du SO ne permet pas de publications académiques communes à ce stade mais permet une animation cohérente et forte autour de ces suivis.

Au cours des dernières années, le regroupement de ces différents suivis en TO au sein d'un même SO a permis la constitution de bases de données opérationnelles avec un accès public facilité pour l'ensemble des données

(en phase finale pour TO « points d'eaux temporaires ») et en cours pour la nouvelle TO sur les mollusques). Ces bases assurent la pérennité des données historiques dont la plupart ont été collectées par des chercheurs qui sont maintenant à la retraite (ou bientôt à la retraite). Cette pérennisation a donc été la priorité du quinquennal passé. Ces dernières années ont aussi permis la remise à jour de l'ensemble des suivis de l'avifaune (un passage sur l'ensemble des zones d'étude, 10 ans après les derniers passages) ainsi que pour une étude spécifique des « points d'eau temporaire ». Ces mises à jour offrent la possibilité de nouvelles publications académiques. Toutes les autres TO ont pu continuer à collecter leurs données annuellement.

En termes de valorisation, les travaux des différentes TO ont conduit à la réalisation d'une dizaine de publications internationales au cours du quinquennal passé. Ces données ont servi de support à plusieurs stages de master (7) et à 2 thèses. Elles ont aussi été mobilisées pour l'évaluation des sites Natura2000 pour le reporting européen sur l'avifaune.

En termes de perspectives, le SO poursuivra sur les mêmes thématiques qui sont porteuses scientifiquement et répondent à une demande sociétale croissante. Ces thématiques sont par ailleurs au cœur des projets de certaines unités associées à l'OSU (notamment le labex CEMEB et l'UMR CEFE). L'intégration d'une nouvelle TO en 2018 va conduire à approfondir le travail sur les bases de données. Un des chantiers importants à venir réside dans la mise à disposition publique des données des différentes TO (à ce stade chaque TO dispose d'une page web recensant les stations d'observation et d'un résumé des données disponibles mais pour la plupart des TO ces données ne sont pas directement visualisables en détail). Un des axes forts en cours de développement dans le SO est le lien avec les acteurs non-académiques qui collectent des données en totale cohérence avec celles collectées par les différentes TO. Un travail de recensement de ces initiatives et de mutualisation des efforts pour la constitution de bases de données communes est une des priorités des années à venir. Il s'agit ici de travaux de sciences participatives (données de l'OPIE par exemple sur les insectes) ou de données collectées par des professionnels dans le cadre de suivis des politiques publiques de type Natura2000 (notamment des centaines de points d'écoute du même type que ceux réalisés dans le TO « avifaune »). Ce regroupement des différentes initiatives académiques/hors-académiques est très porteur scientifiquement car elle permet de découpler les données. Elle répond par ailleurs à une aspiration forte du monde de la recherche autour des questions de sciences participatives.

Exemples de publications tirées des observations et travaux menés au sein du SO OCOA :

Prodon R., Geniez P., Cheylan M., Devers F., Chuine I. & Besnard A. - 2017 – A reversal of the shift towards earlier spring phenology in several Mediterranean reptiles and amphibians during the 1998-2013 warming slowdown. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY* 23:5481-5491.

Hertzog L., Besnard A. & Jay-Robert P. - 2014- Field validation shows bias corrected pseudo-absence selection is the best method for predictive species distribution modelling. *DIVERSITY AND DISTRIBUTION*, 20(12):673-680.

De Solan T., Renner I., Cheylan M., Geneiz P. & Barnagaud J.Y.- 2019 – Opportunistic records reveal Mediterranean reptiles' scale-dependent responses to anthropogenic land use. *ECOGRAPHY* 42(3):608-620.

Leandro A., Jay-Robert P. & Vergnes A. – 2017 – Biases and perspectives in insect conservation: A European scale analysis. *BIOLOGICAL CONSERVATION* 2015 :213-224.

Calcagno V., Jarne P., Loreau M., Mouquet N., David P. 2017. Diversity spurs diversification in ecological communities. *Nature Communications* 8:15810.

Chapuis E., Lamy T., Pointier J.-P., Segard A., Jarne P., David P. 2017. Bioinvasion triggers rapid evolution of life histories in freshwater snails. *American Naturalist* 190: 694-706.

## BILAN DU SO OCOVE

Nom du SO : OCOVE - Observatoire des Communautés Végétales

Nom du responsable local du SO : Laure Paradis / Franck Richard

Les différentes tâches du SO sont insérées dans divers réseaux de coopération à diverses échelles de territoire, de par leur localisation dans en Parc Naturel Régional (Corse, Narbonnaise en Méditerranée, Grands Causses, Camargue, Pyrénées Catalanes), Parc National (Cévennes), Réserve de biosphère (Corse), Réserve Nationale Naturelle (Plaine des Maures, Massane), site du Conservatoire du Littoral et parcelle expérimentale de la forêt domaniale de Puechabon (site de références du réseau ICOS (*Carboeuroflux network*) depuis 2000). Certaines tâches sont par ailleurs mises en œuvre par un Programme de Recherche Action Participative inscrit dans un large partenariat (mairie/ASF/ADPMA9/ATMO/GM).

### Questions scientifiques

Le SO OCOVE comprend 5 tâches d'observation dédiées au suivi sur le temps long (approche diachronique) des communautés végétales méditerranéennes, en intégrant les symbiotes fongiques comme composante de la niche biotique des plantes. Le SO explore les effets **1)** du changement climatique **2)** des changements d'utilisation des terres et **3)** des régimes de perturbation, dont les perturbations anthropiques, sur la composition et la dynamique des populations et des communautés.

### Fonctionnement du SO

Le SO est constitué de 6 Tâches d'observation (TO) :

- 1) **Dynamique de la végétation et climat** (*DynVegClimat* ; Resp. Scient. Florence Volaire) : étude des contrôles abiotiques et biotiques sur les propriétés et les services rendus par les écosystèmes dans des parcours ovins. Un focus est réalisé sur les effets du changement climatique (relations entre le déficit hydrique et la persistance/résilience des communautés herbacées méditerranéennes).
- 2) **Recrutement forestier et pastoralisme** (*Forest* ; Resp. Scient. : C. Hély-Alleaume) : étude interdisciplinaire et appliquée de la dynamique forestière, à moyen et long terme, de la hêtraie de la Réserve Naturelle de la Massane, dans un contexte de changement climatique et de pression pastorale.
- 3) **Dynamique des végétaux en milieu urbain** (*VegetUrbaine* ; Resp. Scient. : P.-O. Cheptou) : La tâche étudie la dynamique des communautés de plantes annuelles urbains, aux pieds des arbres d'alignement à Montpellier. Ce dispositif fait l'objet d'une collaboration avec la ville de Montpellier afin de coordonner nos actions.
- 4) **Observatoire des orchidées** (*Orchidées* ; Resp. Scient. : B. Schatz) : étude de la dynamique et la diversité des communautés et des populations d'orchidées, en lien avec la dynamique des paysages méditerranéens.
- 5) **Communautés fongiques** (*ComFong* ; Resp. Scient. : F. Richard) : étude de la dynamique des communautés fongiques en lien avec la dynamique de l'écosystème forestier, et de la dynamique des populations d'une espèce Méditerranéenne emblématique, l'amanite des Césars.
- 6) **Impact des haies arborées sur la qualité de l'air** (Resp. Scient. : P. CAMPS) : cartographie des dépôts de poussière d'origine anthropique sur les végétaux par des mesures de magnétisme environnemental, réalisée par un Programme de Recherche Action Participative (PAR) à l'échelle de la commune de Saint-Aunès.

Les interactions entre TO sont structurées autour de sites communs de travail inter-TO (RNN Massane - TO Forest et ComFong), de sites communs inter-SO (Puechabon - SO TGIR ICOS et TO ComFong), de mutualisation d'observations inter-TO (Réserve de biosphère du Fango en Corse, Parc Naturel Régional de Corse - TO Orchidées et ComFong) et de mutualisation d'observations inter-SO (TO Orchidées et TO Reptiles et amphibiens en région méditerranéennes du SO OCOA).

Le SO a un budget de fonctionnement, provenant de l'OSU, de 11200€, réparti également entre les TO. Ce budget comprend principalement les frais de maintenance (missions et renouvellement des petits équipements), le traitement et l'archivage des données. Les moyens en personnels du SO correspondent à ½ ETP par TO : **DivVegClim** (1 CR INRA + 1 DR CNRS + 1 TR INRA + 1 Doct), **Forest** (1 DR EPHE + 1 MCF UM + 2 IE CNRS + 1 Tech UM), **VegetUrbaine** (½ Tech CNRS + 1 DR CNRS + 1 master), **Orchidées** (1 DR CNRS + 1 MCF UM + 1 MCF UPV + 1 IR EPHE + 2 thésards), **ComFong** (1 DR EPHE + 1 MCF UM + 1 IR CNRS + 1 diplôme EPHE (en cours)). OSU vs cofinancements ??

## Productions du SO

La nature des mesures diffère selon les TO :

- **DivVegClim** : suivis de la végétation, des processus écosystémiques et des variables du milieu (température, pluie, teneur en eau du sol, disponibilité en éléments minéraux du sol). Détermination des composantes de la structure taxinomique (richesse et abondance des espèces) et fonctionnelle (traits aériens et souterrains des plantes) des communautés végétales. Les informations recueillies concernent la productivité saisonnière des parcours, la dynamique de composition floristique de la biomasse aérienne, la dynamique mensuelle d'humidité du sol, ainsi que des données micro-climatiques. Résultat : impact de la sécheresse sur l'évolution floristique, la productivité et la réserve hydrique de ces milieux.

- **Forest** : collecteurs de litière permettant l'évaluation de la production de graines, des variations annuelles, du taux de fertilité et des interactions avec les insectes. Suivi individuel de plantules (Hêtre, Chêne, Pin, Erable...) enregistrant la proportion Semis vs Plantule, la défoliation (galle, insecte, pâturage) et la longévité. S'y ajoute des observations climatiques (station météo de la Réserve), dendrologiques (âge, morphologie, accroissement radial) et phénologiques (débourrement, floraison, fructification). Résultat : quantifier 1) la variation annuelle de production de graines de plusieurs espèces dominantes, 2) les différentes structures de régénération au sein de la forêt, 3) le rapport entre la production de graines et leur germination.

- **VegetUrbaine** : suivi diachronique des communautés de plantes annuelles urbaines afin de caractériser la dynamique spatio-temporelle des espèces (métapopulation) et de tester empiriquement le développement de méthode biométrique pour l'estimation de la banque de graines et la dispersion à partir de seules données d'observation. Résultat : évolution de traits liés aux milieux urbains et l'estimation des paramètres de métapopulations.

- **Orchidées** : suivis diachroniques de sites distribués sur l'arc Méditerranéen français. Elle inclue le suivi pluriannuel de plusieurs espèces emblématiques telles que *Liparis loeselii* et *Ophrys aymoninii*, des bases de données de distribution ancienne et actuelle des communautés, des bases de données du taux de fructification spécifique et des bases de données du réseau d'interactions orchidées-pollinisateurs. Résultat : identifier les espèces en déclin, déterminer les traits écologiques associés et montrer l'impact des changements d'utilisation des terres

- **ComFong** : suivis diachroniques de fructifications de champignons (espèces cibles, composition et structure des communautés) en Méditerranée, Corrèze et Lot. Les sites sont par ailleurs suivis sous l'angle de paramètres abiotiques (microclimat, température/humidité des sols : pratiques en cours), de données phénologiques des fructifications fongiques, de données moléculaire (génotypage des individus pour l'espèce emblématique *Amanita caesarea*, à l'aide de marqueurs microsatellites). Résultat : hyper-spécialisation écologique d'une espèce rare, déterminisme des poussées fongiques, liens temporels entre épisodes de précipitations et fructifications.

- **Impact des haies arborées sur la qualité de l'air** : suivi diachronique décennal des dépôts de particules par mesure magnétique sur biocapteurs placés sur le site expérimental de Saint-Aunès (feuilles d'arbres et arbustes), en bordure de voies de circulations (A9). Approche expérimentale réalisée en parallèle (utilisation d'un banc expérimental en laboratoire de type tunnel à vent).

L'acquisition de ces données, dépendante du soutien financier de l'OSU, est prévue pour 5 à 10 ans minimum, avec une politique de diffusion sur le portail Oreme Data et auprès de tous les gestionnaires, scientifiques impliqués et concernés (étudiant l'impact des changements globaux ; l'écologie forestière, l'écologie évolutive, l'écologie des populations et des communautés, la biométrie...). Chaque TO pratique de nombreux transferts de connaissances et de compétences (enseignement UM, collaboration avec DREAL, CBN et Conservatoire du littoral..., colloques).

## Perspective

Des interactions entre TO et SO sont prévues dans les années à venir. En particulier les sites de La Massane, Puechabon et Fango semblent pouvoir fournir des points focaux d'activités scientifiques, et être le siège de mutualisations plus fortes des moyens mobilisés par le SO. Pour la TO *Orchidées* : Projet de création d'un réseau européen (H2020) de suivis d'espèces emblématiques menacées. Collaboration avec les différents gestionnaires d'espaces naturels impliqués dans le cadre du CERCO (Communauté ERC d'Occitanie). Le SO est en cours d'intégration scientifique de la TO *Impact des haies arborées sur la qualité de l'air*, nouvellement associée à OCOVE.

## Publications

### - DivVegClim

Barkaoui, K., Navas, M.-L., Roumet C., Cruz P., Volaire F. (2016) Does water shortage generate water stress? An ecohydrological approach across Mediterranean plant communities. *Functional Ecology* (In press)

Barkaoui, K., Bernard-Verdier, M. & Navas, M.-L. (2013) Questioning the reliability of the point-intercept method for assessing community functional structure in low productive and highly diverse Mediterranean grasslands. *Folia Geobotanica* **48**: 393-414

Bernard-Verdier, M., Flores, O., Navas, M.-L., & Garnier, E. (2013) Partitioning phylogenetic and functional diversity into alpha and beta components along an environmental gradient in a Mediterranean rangeland. *Journal of Vegetation Science* **24** : 877-889

Bernard-Verdier M, Navas M-L, Vellend M, Violle C, Fayolle A & Garnier E. (2012) Community assembly along a soil depth gradient: contrasting patterns of plant trait convergence and divergence in a Mediterranean rangeland. *Journal of Ecology* **100**: 1422-1433.

Bumb, I., Garnier, E., Bastianelli, D., Richarte, J., Bonnal, L. & Kazakou, E. (2016) Influence of management regime and harvest date on the forage quality of rangelands plants: the importance of dry matter content. *AoB PLANTS* **8** plw045

Chollet, S., Rambal, S., Fayolle, A., Hubert, D., Foulquié, D., & Garnier, E. Combined effects of climate, resource availability and plant traits on bioma production in a Mediterranean rangeland. *Ecology* **95**: 737-748

Gardarin, A., Garnier, E., Carrère, P., Cruz, P., Andueza, D., Bonis, A., Colace, M.-P., Dumont, B., Duru, M., Farruggia, M., Gaucherand, S.; Grigulis, K., Kernéis, E., Lavorel, S., Louault, F., Loucougaray, G., Mesléard, F., Yaverkovski, N. & Kazakou, E. Plant trait-digestibility relationships across management and climate gradients in permanent grasslands. *Journal of Applied Ecology***51** : 1207-1217.

Garnier, E. & Navas, M.-L. (2013) *Diversité fonctionnelle des plantes. Traits des organismes, structure des communautés, propriétés des écosystèmes*. De Boeck, Bruxelles. ISBN : 978-2-8041-7562-7.

Garnier, E. & Navas, M.-L. (2013) Traits et écologie comparative des plantes. In : Meerts, P. (ed.), *Vers une nouvelle Synthèse Ecologique - de l'écologie scientifique au développement durable*, pp. 38-50. CIVA, Bruxelles.

Loranger, J., Violle, C., Shipley, B., Lavorel, S., Bonis, A., Cruz, P., Louault, F., Loucougaray, G., Mesléard, F., Yaverkovski, N. & Garnier, E. (2016) Recasting the dynamic equilibrium model through a functional lens: the interplay of trait-based community assembly and climate. *Journal of Ecology* **104**: 781-791.

Pérez-Ramos, I.M., Roumet, C., Cruz, P., Blanchard, A., Autran, P. & Garnier, E. (2012) Evidence for a 'plant community economics spectrum' driven by nutrient and water limitations in a Mediterranean rangeland of southern France. *Journal of Ecology* **100**: 1315-1327.

Pérez-Ramos, I.M., Volaire F., Fattet, M., Blanchard, A. & Roumet, C. (2013) Tradeoffs between functional strategies for resource-use and drought-survival in Mediterranean rangeland species. *Environmental and Experimental Botany* **87**: 126-136.

Sonnier, G., Shipley, B. & Navas, M.-L. (2010) Plant traits, species pools and the prediction of relative abundance in plant communities: a maximum entropy approach. *Journal of Vegetation Science* **21**: 318-331.

Bumb, I. (2016) Impact des pratiques de gestion sur la qualité du fourrage dans des parcours méditerranéens du sud de la France : liens avec la décomposition de la litière. *Thèse de Doctorat (Montpellier SupAgro)*

Loranger, J. (2015) L'assemblage des communautés d'herbacées : une approche fonctionnelle. *Thèse de Doctorat (Université de Montpellier – Université de Sherbrooke)*.

Birouste, M. (2014) Impact des traits racinaires sur les composantes du stockage de carbone : du fonctionnement de l'espèce à celui de la communauté. *Thèse de Doctorat (Montpellier SupAgro)*

Barkaoui, K. (2013) Functional structure and ecohydrology of Mediterranean rangelands along a soil water availability gradient, *Thèse de Doctorat (Montpellier SupAgro)*

Bernard-Verdier, M. (2012) Structure et assemblage des communautés végétales de parcours des Grands Causses - Approche fonctionnelle, phénologique et phylogénétique. *Thèse de Doctorat (Université Montpellier 2)*

Sonnier, G. (2009) Des traits des espèces à la structure des communautés végétales herbacées : vers une approche fonctionnelle et prédictive de l'écologie des communautés. *Thèse de Doctorat (co-tutelle Montpellier SupAgro – Université de Sherbrooke, Québec)*

Fayolle, A. (2008) Structure des communautés de plantes herbacées sur les Grands Causses : stratégies fonctionnelles des espèces et interactions interspécifiques. *Thèse de Doctorat (Montpellier SupAgro)*

#### - Forest

Fortuny X. (2013) Héritage des pratiques sylvo-pastorales dans le déterminisme des communautés végétales de forêts montagnardes méditerranéennes. *Thèse*. Université de Montpellier.

Fortuny, X., Garrigue, J., Magdalou, J.-A., Chauchard, S., Carcaillet, C. 2012. Usage et biodiversité dans les forêts méditerranéennes : l'exemple du massif des Albères. *Forêt méditerranéenne* 33: 165-172.

#### - **VegetUrbaine**

Lambrecht SC, Mahieu S, Cheptou PO. 2016. Natural selection on plant physiological traits in an urban environment. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology* 77: 67-74.

Dubois J, Cheptou PO. 2017. Effects of fragmentation on plant adaptation to urban environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 372.

Manna F, Pradel, R, Choquet, R, Freville H, Cheptou P.-O. 2017. Disentangling the role of seed bank and dispersal in plant metapopulation dynamics using patch occupancy surveys. *Ecology*, 98(10): 2662-2672.

#### - **Orchidées**

Vogt-Schilb H., Pradel R., Geniez P., Hugot L., Delage A., Richard F., Schatz B. 2016. Effects of habitat change, population size and distribution patterns on orchid dynamics: a study based on a 27-year interval in Corsica. *Annals of Botany* 118 (1): 115-123.

Schatz B., Vogt-Schilb H., Munoz F., Geniez P., Hugot L., Pradel R., Richard F. 2016. Using the past to predict the future: the case of French Mediterranean orchids. In: *Climate change in the Mediterranean (COP22)*, IRD Editions, pp. 377-386.

Vogt-Schilb H., Geniez P., Pradel R., Richard F. & Schatz B. 2013. Inter-annual variability in flowering of orchids: lessons learned from 8 years of monitoring in a Mediterranean region of France. *European Journal of Environmental Sciences* 3: 129-137.

Piazza C., Hugot L., Richard F. and Schatz B. 2011. In situ conservation operations in Corsica, 1987-2004: assessing the balance and drawing. *Ecologia Mediterranea* 37: 7-16.

#### - **ComFong**

Taudiere A., Bellanger J. M., Moreau P. A., Carcaillet C., Christophe A., Læssøe T., Paniotis C. & Richard F. 2017. *Xylobolus subpileatus*, a specialized basidiomycete functionally linked to old canopy gaps. *Canadian Journal of Forest Research*: 965-973.

Vogt-Schilb H., Moreau P. A., Malaval J. C., Schatz B., & Richard F. 2018. Effects of long-term landscape dynamics and city growth on biodiversity in the Mediterranean: the case study of Montpellier, France. *Urban ecosystems* : 21(5), 921-932.

## BILAN DU SO BIOMARLA

### Questions scientifiques

Le Service d'Observation BIOMARLA (Biodiversité Marine et Lagunaire), coordonné par Julie Deter vise à mieux connaître la biodiversité marine et lagunaire de Méditerranée Française et mieux comprendre les interactions entre les communautés observées et leur environnement (profondeur, température, conductivité, densité, oxygène, pH, radiançe, fluorescence) dans un contexte de changement global (forçages anthropiques et climatiques). À moyen terme, ce SO vise aussi à développer des outils permettant d'améliorer nos capacités d'observation des écosystèmes et des habitats sous-marins : ADN, analyses d'images, méthodes d'observation synoptiques...

Ce SO se compose de 3 tâches d'observation :

- Coralligène (TO existant depuis 2013 au sein de l'OSU OREME)
- Communautés microbiennes de Thau (TO existant depuis 2013 au sein de l'OSU OREME)
- Communautés planctoniques marines (TO existant depuis 2018 au sein de l'OSU OREME)

### Observations

Ce Service d'Observation est basé sur le suivi de communautés pélagiques ou benthiques marines (Littoral méditerranéen Français ou golfe du Lion uniquement) et lagunaires (étang de Thau).

Ces communautés (diversité, abondance) concernent phytoplancton, proto-zooplancton, méso-zooplancton, macro-algues et la faune benthique fixée et/ou peu mobile présente sur le coralligène.

Des données relatives à l'environnement (colonne d'eau, activités humaines) sont récoltées en parallèle. Au total plus de 150 stations sont suivies régulièrement au travers des trois tâches d'observation en lagune et en mer.

### Données produites et Résultats marquants (2014-2019)

Informations et détails sur la page dédiée à chaque Tâche d'Observation sur le portail des données de l'OREME : <https://oreme.org/observation/biomarla/>. **Biomarla est un SO créé en tant que tel en janvier 2019, les interactions entre TO sont donc à construire.**

TO coralligène : 30 quadrats photographiques de 50 x 50 cm (le long d'un transect de 20 m de long) ont été produits et analysés (1920 points aléatoires identifiés) sur une centaine de stations entre 2014 et 2018 : 32 stations en 2018 en Occitanie et est de PACA, 18 en Corse en 2017, 35 en 2016 en PACA est, 15 en 2015 en PACA ouest et occitanie et 38 en Corse en 2014. 47 sont prévus en 2019 en PACA est. Les résultats (tableaux, comparaisons, cartes) sont visualisables sur [www.medtrix.fr](http://www.medtrix.fr) (projet RECOR). Chaque point de suivi RECOR fait également l'objet d'un suivi poissons (projet PISCIS avec Andromède océanologie), de température (projet CALOR avec Andromède océanologie) et d'écoute acoustique (projet CALME avec CHORUS sur [www.medtrix.fr](http://www.medtrix.fr)). Nous avons montré que la biodiversité associée au coralligène variait dans l'espace. Sur un site donné, les diversités fonctionnelle et phylogénétique augmentent à mesure que l'on se rapproche de la surface. Toutefois, plus les sites sont profonds et plus les communautés (assemblages d'espèces) sont différentes entre elles, notamment entre -50 et -70 m où les différences sont les plus fortes. Nous avons aussi montré que la perception esthétique des paysages coralligènes dépendait de leur biodiversité associée et notamment de la présence de certaines espèces particulières.

TO Communautés microbiennes de Thau : l'abondance des bactéries totale et HNA /LNA par cytométrie en flux (mesozooplancton), l'abondance et diversité du microzooplancton par loupe binoculaire, analyse Chla par spectrofluorimétrie, banque d'ADN total à disposition pour toute étude (filtration et stockage), mesure de la température, salinité, profondeur, turbidité (secchi), oxygène dissous, pH sont échantillonnés tous les 15 jours depuis 2008. Les taxons identifiés possèdent tous un lien avec la base de données WORMS (World Register of Marine Species). Les données sont exprimées en unités couramment utilisées par la communauté scientifique permettant les comparaisons.

Les communautés planctoniques étant à la base du réseau trophique pélagique, le suivi de ces communautés est très important pour mesurer **l'état trophique** du milieu. Par exemple, nous avons récemment participé à une étude sur la caractérisation des communautés planctoniques durant les épisodes de reproduction des huîtres dans la lagune de Thau, pour essayer de déterminer les facteurs favorisant la survie des larves. Les questionnaires des lagunes sont très intéressés par ces données de suivi et par les interactions communautés planctoniques - variations environnementales. Ceci leur permet d'améliorer leur politique de gestion (apports des affluents, ouvertures de passes, etc.).

Finalement, des suivis similaires ont lieu en région PACA (Villefranche sur mer et étang de Berre/ Marseille) et sur la façade Atlantique (Boulogne, Roscoff, Arcachon) et permettent de mieux comprendre les influences locales et régionales sur ces communautés.

#### TO Communautés planctoniques marines :

La tâche d'observation est centrée sur le suivi des communautés phyto- et zooplanctoniques du golfe du Lion et vise à fournir un état de leur diversité et variabilité spatio-temporelle.

30 stations couvrant l'ensemble du plateau continental du golfe du Lion sont échantillonnées annuellement au mois de juillet lors des campagnes acoustiques PelMed afin d'analyser différents paramètres environnementaux et biologiques :

- Abondance et diversité des communautés méso-zooplanctoniques par microscopie
- Concentration en pigments biomarqueurs du phytoplancton par chromatographie liquide haute pression
- Profils verticaux de de température, conductivité, densité, oxygène, pH, radiance, fluorescence

La tâche d'observation vise à mieux comprendre les interactions entre l'environnement pélagique du golfe du Lion et la dynamique des communautés planctoniques, mais aussi les interactions entre les communautés planctoniques et les échelons trophiques supérieurs notamment les ressources poissons petits pélagiques, le tout dans un contexte de changement global avec un écosystème ciblé (le golfe du Lion) très fortement exposé à la fois aux forçages des changements climatiques et anthropiques. L'échantillonnage annuel de 30 stations a lieu au mois de juillet lors des campagnes acoustiques PelMed qui couvrent l'ensemble du plateau continental du Golfe du Lion. Un tel suivi est décisif pour la compréhension de la structure et le fonctionnement de l'écosystème pélagique en Méditerranée Nord-Ouest et pour la mise en place d'une gestion efficace des ressources poissons petits pélagiques, qui représentent un enjeu socio-économique très important pour les pêcheries en Méditerranée.

Cette TO a démarré au courant de l'année 2018. En conséquence les mesures délivrées par cette TO n'ont pas encore été valorisées car la série temporelle est encore très limitée pour permettre des analyses de données.

#### **Perspectives (2020-2025)**

**Le budget du SO est très insuffisant compte tenu des coûts des 3 TO notamment communautés microbiennes et planctoniques qui ne disposent pas d'autres lignes de dépense hormis les crédits d'état des deux chercheurs impliqués (D. Bonnet et T. Hattab).**

Coralligène : La base de données de quadrats photographiques annotés est utilisée pour développer un algorithme (machine learning) de **calcul de score d'esthétique** sur la base du travail de AS Tribot (stage master 2018 puis contrat IR de Juliette Langlois, demande de thèse Occitanie-Agence de l'eau 2019-2022 en cours) et pour développer un **logiciel d'identification semi-automatique** par Deep learning (stage de master 2019 de Cedric Braga de Almeida à Andromède océanologie dans le cadre du [laboratoire commun InToSea](#)). Nous sommes en train d'essayer d'intégrer le suivi par quadrat photographique à un suivi par photogrammétrie (thèse CIFRE de G. Marre). **Le soutien de l'OSU OREME est très marginal** dans le coût de ce projet mais permet l'achat régulier de petit matériel (initier le suivi température par l'achat de capteurs, remplacement du quadrat photographique pour l'appareil photo, participation au salaire de A. Doxa pour initier les calculs d'indices de diversité). Le financement de cette TO est assuré par Andromède océanologie et l'Agence de l'eau.

Communautés microbiennes de Thau : Les séries planctoniques de 10 ans et plus ont permis des avancées majeures sur notre connaissance des liens entre la dynamique et la diversité des communautés planctoniques, leur fonctionnement, et les facteurs climatiques à grande échelle (régionale, bassin) qui les contrôlent. Par ailleurs, une base de données sur la dynamique de la méduse *Aurelia coerulea* sera ajoutée aux séries d'observation dans les mois qui arrivent. Cette série a débuté en 2010 dans la lagune de Thau.

#### Communautés planctoniques marines :

À moyen terme, cette tâche d'observation vise à développer des outils permettant d'améliorer nos capacités d'observation des écosystèmes et des habitats pélagiques, en apportant les données nécessaires au développement de méthodes d'observation synoptiques, à haute fréquence et à haute résolution. En effet, les observations collectées sur le compartiment phytoplanctonique permettront in fine de développer des outils de télédétection spatiale de groupes phytoplanctoniques à partir des observations satellitaires. Par ailleurs, les observations, collectées sur le compartiment zooplanctonique et combinées aux observations acoustiques des

campagnes PelMed, permettront de mettre en place des algorithmes de détection automatique de groupes de zooplancton.

#### \*TO supports de thèses

-Emna Djebbi (2017-2020) : Réponse du zooplancton à la toxicité des contaminants urbains et émergents (nanoparticules et hormones stéroïdiennes) dans les lagunes de Bizerte et de Thau. Etudes expérimentales et « in situ ». Université des Sciences de Bizerte- Tunisie.

-Guilhem Marre (2017-2020) sous la direction de Julie Deter et S. Luque, accueil TETIS-ISEM-Andromède Université de Montpellier (Financement CIFRE andromède océanologie/ANRT) : Développement de la photogrammétrie et d'analyses d'images associées pour le suivi d'habitats et de structures sous-marines.

-Raquel Marques (2016-2019) : Assessing the impacts of *Aurelia* sp. blooms in the Thau lagoon (North Western Mediterranean). Université de Montpellier.

-Anne-Sophie Tribot (2014-2017) sous la direction de N. Mouquet et J. Deter, Université de Montpellier (Financement Fondation de France) : perception esthétique et biodiversité des paysages sous-marins.

-Florian Holon (2013-2015) sous la direction de N. Mouquet et J. Deter, accueil Andromède Océanologie et Université de Montpellier, financement Andromède océanologie/LabEX Cemeb : Interactions entre écosystèmes marins et pressions anthropiques. Application au suivi et à la gestion des eaux côtières de la mer Méditerranée (PDF).

#### \*Publications (du plus ancien au plus récent et par ordre alphabétique):

ARZUL, I., CHOLLET, B., BOYER, S., BONNET, D., GAILLARD, J., HERBOURG, J.P., BALDI, Y., LEROND, S., ROBERT, M., COURALEAU, Y., JOLY, J.P., GARCIA, C., BOUCHOUCHA, M. 2014. New insights into the understanding of the cycle of the protozoan parasite *Marteilia refringens*. *Parasitology*, 14 (02): 227-240.

MARQUES, R., CANTOU, M., SORIANO, S., MOLINERO, J.C., BONNET, D. 2015. Mapping distribution and habitats of *Aurelia* sp. polyps in Thau lagoon, Northwestern Mediterranean Sea (France). *Marine Biology*: 162, 1441-1449.

MARQUES, R., ALBOUY-BOYER, S., DELPY, F., CARRE, C., LE FLOC'H, E., ROQUES, C., MOLINERO, J.C., BONNET, D. 2015. Pelagic population dynamics of *Aurelia* sp. in French Mediterranean lagoons. *Journal of Plankton Research*, 37: 1019-1035.

DELPY, F., ALBOUY-BOYER, S., PAGANO, M., THIBAUT, D., BLANCHOT, J., GUILHAUMON, F., MOLINERO, J.C., BONNET, D. 2016. Identifying the drivers of abundance and size of the invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in Northwestern Mediterranean lagoons. *Marine Environmental Research*, 119 : 114-125.

Doxa A., Holon F., Deter J., Villegier S., Boissery P., Mouquet N. 2016. [Mapping biodiversity in three-dimensions challenges marine conservation strategies: the example of coralligenous assemblages in North-Western Mediterranean Sea](#). *Ecological indicators*. 61 (2): 1042-1054.

Holon F., J. Deter, 2016. Les récifs coralligènes, un habitat sous-marin riche en biodiversité mais vulnérable . [Regard sur la Biodiversité de la Société Française d'écologie](#). R66

MARQUES, R., BOUVIER, C., DARNAUDE, A.M., MOLINERO, J.C., PRZYBYLA, C., SORIANO, S., TOMASINI, J.A., BONNET, D. 2016. Jellyfish as an alternative source of food for opportunistic fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 485 : 1-7.

Tribot A.S., Mouquet N., Villéger S., Raymond M., Hoff F., Boissery P., Holon F., Deter J. 2016. [Taxonomic and functional diversity increase the aesthetic value of coralligenous reefs](#). *Scientific Reports* 6, 2016 Article number: 34229. doi:10.1038/srep34229

E. Fouilland, A. Trottet, C. Alves-de-Souza, D. Bonnet, T. Bouvier, M. Bouvy, S. Boyer, L. Guillou, E. Hatey, H. Jing, C. Le Boulanger, E. Le Floc'h, H. Liu, S. Mas, B. Mostajir, J. Nougier, D. Pecqueur, E. Rochelle-Newall, C. Roques, C. Salles, M.-G. Tournoud, C. Vasseur, F. Vidussi. 2017. Significant change in marine plankton structure and carbon production after the addition of river water in a mesocosm experiment. *Microbial Ecology*. 1–13.

Franck Lagarde, Emmanuelle Roque D'orbcastel, Serge Mortreux, Ismael Bernard, Annie Fiandrino, Martin Ubertini, Claude Chiantella, Béatrice Bec, Cécile Roques, Delphine Bonnet, Gilles Miron, Marion Richard, Stéphane Pouvreau, Christophe Lett. 2017. Recruitment of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in a shellfish farming Mediterranean lagoon: discovery, driving factors and favorable environmental window. *Marine Ecology Progress Series*, 578 : 1-17.

Cornelia Jaspers, Bastian Huwer, Elvire Antajan, Aino Hosa, Hans-Harald Hinrichsen, Arne Biastoch, Dror Angel, Christina Augustin, Siamak Bagheri, Thorsten J. S. Balsby, Ragnihild Asmus, Maarten Boersma, Delphine Bonnet, Jens T. Christensen, Andreas Daenhardt, Floriane Delpy, Tone Falkenhaug, Galina Finenko, Nicholas Fleming, Veronica Fuentes, Bella Galil, Holger Haslob, Jamileh Javidpour, Lyudmila Kamburska, Sandra Kube, Victor Langenberg, Maiju Lehtiniemi, Fabien Lombard, Arne Malzahn, Macarena Marambio, Veselina Mihneva, Lene Friis Møller, Ulrich Niermann, Melek I. Okyar, Sophie Pitois, Thorsten H.B. Reusch, Johan Robbens, Kremena Stefanova, Delphine Thibault, Henk van der Veer, Lies Vansteenbrugge, Lodewijk van Walraven, Adam Woźniczka. Ocean current connectivity propelling the secondary spread of a marine invasive comb jelly across western Eurasia. 2018. *Global Ecology and Biogeography*, 00:1-14.

Carmen Lopez-Joven, Jean-Luc Rolland, Philippe Haffner, Audrey Caro, Cécile Roques, Claire Carré, Eric Abadie, Mohammed Laabir, Delphine Bonnet and Delphine Destoumieux-Garzon. 2018. *Vibrio dynamics in a culture lagoon: A focus on vibrios pathogenic for oysters*. *Frontiers in Microbiology*, 9: 2530. doi: 10.3389/fmicb.2018.02530.

Holon F., J. Deter, A.-S. Tribot. 2018. Mieux connaître la biodiversité européenne pour mieux la protéger : l'exemple des récifs coralligènes de Méditerranée. [Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité, Janvier 2018.](#)

Tribot A.-S., Deter J., Mouquet N. 2018 Integrating the aesthetic value of landscapes and biological diversity. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences* 285: 20180971. <https://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.0971>

MARQUES, R, DARNAUDE, A.M., SCHIARITI, A., TREMBLAY, Y., MOLINERO, J.C, SORIANO, S., HATEY, E., BONNET, D. 2019. Dynamics and asexual reproduction of the jellyfish *Aurelia coerulea* benthic life stage in the Thau lagoon (Northwestern Mediterranean). *Marine Biology*, 176 : 74.

#### Communications orales avec actes publiés

-« Environmental factors explaining taxonomic heterogeneity of coralligenous outcrops across France (northwestern Mediterranean) ». Holon F., Boissery P., Deter J., *Marine Symposia on the conservation of the Mediterranean Marine Key Habitats*, Octobre 2014 à Portorož (Slovénie)

-« What possible consequences on pathogen transmission to oysters? » C. Lopez-Joven, J.L. Rolland, E. Abadie, M. Laabir, E. Masseret, A. Vanhove, A. Caro, D. Bonnet, and D. Destoumieux-Garzon. *Vibrios pathogenic for oysters are found associated to plankton species*. International Congress on Invertebrate Pathology and Microbial Control. 47th Annual Meeting of the Society for Invertebrate Pathology, Mainz, Germany, August 3-7, 2014. Book of Abstracts, p. 42, contributed paper #16.

-« Dynamics of production and mortality of *Aurelia aurita*'s ephyrae in Thau Lagoon, Northwestern Mediterranean ». Marques R., Bouvier C., Cantou, M., Darnaude A., Molinero J.C., Przybyla C., Soriano S., Tomasini J.A., Bonnet D. ICES Annual Science Conference, 15-19 September 2014, La Coruña, Spain.

-« New knowledges about determinism of Pacific oysters *Crassostrea gigas* larval recruitment in Mediterranean lagoon » F. Lagarde, M. Ubertini, S. Mortreux, A. Perignon, A. Leurion, P. Le Gall, C. Chiantella, B. Bec, C. Roques, D. Bonnet, H. Cochet, I. Bernard, E. Gervasoni, G. Miron, A. Fiandrino, S. Pouvreau, E. Roque D'orbcastel. EAS 2014 San Sebastian/Donostia (Spain) 14-17 October 2014.

-« Are jellyfish on the menu? » R. Marques, C. Bouvier, A. Darnaude, J.C. Molinero, C. Przybyla, S. Soriano, J.A. Tomasini, D. Bonnet, PERSEUS International Workshop "Coming to grips with the jellyfish phenomenon in the Southern European and other Seas: research to the rescue of coastal managers.", 2-3 March 2015, Cadiz, Spain. (Book of Abstracts, p. 24)

-« Heterogeneity of Japanese oyster (*Crassostrea gigas*) spat collection in a shellfish farmed Mediterranean lagoon. Franck Lagarde, Martin Ubertini, Serge Mortreux, Claude Chiantella, Béatrice Bec, Cécile Roques, Delphine Bonnet, Ismael Bernard, Hélène Cochet, Patrik Le Gall, Marion Richard, Annie Fiandrino, Stéphane Pouvreau, Emmanuelle Roque d'orbcastel, 16th Japanese-French Oceanography Symposium, "The Sea under human and natural impacts: challenge of oceanography to the future earth", November 17-21, 2015- Tokyo, Japan.

-« How do oyster (*Crassostrea gigas*) benthic larval supply and metamorphosis stage condition recruitment in a Mediterranean shellfish farmed ecosystem? » Franck Lagarde, Serge Mortreux, Martin Ubertini, Claude Chiantella, Béatrice Bec, Cécile Roques, Delphine Bonnet, Ismael Bernard, Hélène Cochet, Patrik Le Gall, Marion Richard, Annie Fiandrino, Stéphane Pouvreau, Emmanuelle Roque d'orbcastel, AQUACULTURE EUROPE 16 – IUCN session, "Food for Thought", September 20 - 23, 2016- Edinburgh, Scotland.

« Inferring the different facets of coralligenous biodiversity from imagery processing ». Holon F., Tribot A.-S., Mellin C., Cornette C., Deter J., Mouquet N. SFE Ecology 2016, International conference for Ecological sciences, Octobre 2016 à Marseille (France)

-'Temporal recruitment windows of *Crassostrea gigas* in Mediterranean lagoon under oligotrophication'. Franck Lagarde, Emmanuelle Roque d'orbcastel, Martin Ubertini, Serge Mortreux, Ismaël Bernard, Annie Fiandrino, Claude Chiantella, Béatrice Bec, Cécile Roques, Delphine Bonnet, Gilles Miron, Marion Richard, Stéphane Pouvreau, Christophe Lett. Coast 2017- Systemic and Biodiversity Evolution of Marine Coastal Ecosystems under the Pressure of Climate Change, Natural and Anthropogenic Local Factors- Session 2: Impacts on socio-ecosystems and biological resources, November 7-10, Bordeaux, France.

#### Affiches

-*Aurelia* spp. Ecology in the Mediterranean Sea. Delphine Bonnet, Juan-Carlos Molinero, Mirna Batistic, Ferdinando Boero, Nejib Daly, Alan Deidun, Veronica Fuentes, Raül Golo, Sonia K.M. Gueroun, Alain Hervé, Melek Isinibilir, Karen Kienberger, Tjaša Kogovšek, Davor Lučić, Alenka Malej, Raquel Marques, Marijana Miloslavić, Maria Pascual, Stefano Piraino, Laura Prieto, Izzet Noyan Yilmaz, Serena Zampardi, Sultana Zervoudaki, 5<sup>th</sup> International jellyfish Blooms Symposium, 29 May- 3 June 2016, Barcelona Spain.

-« Inferring the different facets of coralligenous biodiversity from imagery processing ». Holon F., Tribot A.-S., Mellin C., Cornette C., Deter J., Mouquet N. SFE Ecology 2016, International conference for Ecological sciences, Octobre 2016 à Marseille (France)

-Determining *Obelia* spp. diversity and population dynamics in Thau lagoon (Northwestern Mediterranean Sea, France). Bonnet Delphine, Raquel Marques, Juan Carlos Molinero, Solenn Soriano, Aude Ligier, Julien Constensoux, Sébastien Colantoni, Chérif Ensibi, Vanessa Macaluso, Valentina Torboli, Alberto Pallavicini, Massimo Avian. The 8th European Coastal Lagoons Symposium, Athens, Greece, 20-23 March 2018.

-Évaluation de la toxicité aiguë du 17 $\beta$ -estradiol (E2) et du 17 $\alpha$ -éthynylestradiol (EE2) sur le copépode calanoïde *Acartia clausi*: influence du stade de vie et de la voie d'absorption. Emna Djebbi, Delphine Bonnet, Emilie Farcy, Mohamed Nejib Daly Yahia· ECOBIM, 15<sup>ème</sup> colloque international en écologie aquatique, Sousse, Tunisie, 2-4 Mai 2019.

## BILAN DU SO ECOPOP

- Nom du SO : Ecologie de populations d'organismes modèles (ECOPOP)

- Nom des responsables du SO : Anne Charmantier & Thierry Boulinier

Le SO ECOPOP est labélisé au niveau régional, en interne à l'OSU OREME, mais pas au niveau national. En revanche, il contribue de façon volontaire à la dynamique de structuration qui se met en place autour des suivis de populations d'organismes modèles au niveau national.

Les deux responsables font partie des animateurs du groupe sur les Programmes à long terme de la Société Française d'Ecologie et d'Evolution. Comme présenté lors d'un exposé aux Journées de Prospective de l'INEE en Mars 2017, 40 suivis de populations d'organismes modèles menés dans les 10 principales UMR de l'INEE ont été identifiés et ont répondu à un questionnaire sur leur fonctionnement et leurs besoins. Il semble manquer actuellement au niveau Français une structure pour labéliser les programmes d'observation à long terme sur les thématiques INEE déployées d'une façon coordonnée au niveau national, ce qui ne facilite pas la structuration à ce niveau. Il est néanmoins à remarquer que plusieurs des TO du SO ECOPOP sont impliquées dans des structures labélisées par l'INEE: 2 TO font parties de Zones Ateliers (LTESER) et 1 TO est un des Sites d'Études en Écologie Globale (SEEG).

### 1. Fonctionnement et bilan

#### Questions scientifiques

Ce Système d'Observation est basé sur des suivis individuels d'animaux sauvages, spatialisés et intégrant la récolte d'informations et l'étude des processus à différents niveaux :

- environnement physique, biologique, social;
- données génétiques, physiologiques, immunologiques, épidémiologiques, comportementales.

Ces programmes de suivi permettent donc d'aborder de manière intégrée les mécanismes de réponses des populations à la variabilité de l'environnement et de décrire les changements écologiques et évolutifs des populations. Chacune des TO aborde d'une façon prédominante certains aspects (mots clefs entre parenthèses indiqués ci-dessous repris dans la liste des TO), mais l'acquisition de données permet aussi d'intégrer d'autres aspects.

Au sein du SO, les thématiques abordées portent sur :

- le rôle des réponses phénotypiques, comportementales et génétiques aux changements d'origine anthropique, en particulier changements climatiques et anthropisation des milieux (GENE, COMP),
- l'écologie de la dispersion et la dynamique des populations subdivisées (DISP, DYN),
- les dynamiques d'exploitation du milieu pour l'approvisionnement alimentaire (FORAG, pour 'foraging')
- et les facteurs affectant la circulation d'agents pathogènes et l'exposition à des parasites dans la faune sauvage et leurs interactions avec les populations d'hôtes (PAR).

Les approches méthodologiques des différentes TO sont très similaires sur le terrain, mais aussi pour ce qui est du type de données et d'échantillons qui sont traités et de leur utilisation. Ces approches nécessitent l'implication d'un personnel spécifiquement formé. Ces aspects représentent clairement des opportunités de mutualisation entre TO au sein du SO (voir notamment la mise en place de carnets de terrain électronique, effectuée en collaboration ces dernières années).

#### TOs rattachées

Jusqu'en 2018, le SO comportait 6 TOs (voir dans la partie 'perspectives' pour l'évolution très récente du SO) :

- TO Mésanges (responsables : Anne Charmantier, Claire Doutrelant, CEFE) – GENE, COMP, DYN
- TO Puffin cendré (responsable : David Gremillet, CEFE) – FORAG, DYN
- TO Mouette rieuse (responsable : Aurélie Besnard, CEFE) – DYN, DISP, FORAG
- TO Goéland leucopnée et pathogènes (responsable : Thierry Boulinier, CEFE) – PAR, DISP

- TO Mouette tridactyle et parasites (responsable : Thierry Boulinier, CEFE, et Karen McCoy, MIVEGEC) – DYN, PAR, DISP, FORAG
- TO Vautours fauves (responsables : Olivier Duriez, CEFE, et François Sarrazin, MNHN) – FORAG, DYN, DISP

Suite à l'appel d'offre pour de nouvelles TO et SO de 2019, 11 nouvelles TOs concernant des suivis individuels à long terme ont été intégrées dans le SO ECOPOP :

- TO Ongulés Africains (responsable : Simon Chamaillé, CEFE) – DYN, COMP
- TO Babouin Chacma (responsable : Elise Huchard et Alicia Carter, ISEM) – COMP, FORAG
- TO Ecologie de la santé des mandrills, au Gabon (responsable : Marie Chapentier, ISEM) – PAR, COMP
- TO Vertébrés de Carmargue (Aurélien Besnard, Olivier Duriez, CEFE, et Arnaud Bechet, Tour du Valat) – DYN, DISP
- TO Souris striée africaine (Guila Ganem, ISEM) – GENE, DYN
- TO Albatros à bec jaune, labbe subantarctique et choléra aviaire (responsable : Thierry Boulinier, CEFE) – PAR, DYN, FORAG
- TO Fou de Bassan (responsable : David Gremillet, CEFE) – FORAG, DYN
- TO Fou du Cap (responsable : David Gremillet, CEFE) - FORAG
- TO Mergule nain (responsable : David Gremillet, CEFE) – FORAG, DYN
- TO Faucon crécerellette (responsables Aurélien Besnard, CEFE) – DYN, DISP
- TO Républicain social (Claire Doutreland, CEFE & Ritass Covas, CIBIO, Portugal) – COMP, DYN, DISP

### Implémentation des TOs

La base des activités de ce Système d'Observation repose sur des suivis d'individus afin de déterminer les mécanismes des réponses des populations sauvages à la variabilité spatiale et temporelle de leur environnement. Même si les organismes suivis diffèrent par leurs biologies, leurs traits d'histoire de vie et les environnements dans lesquels ils vivent, les suivis ont en commun de reposer largement sur un échantillonnage spatialisé incluant la capture-marquage-recapture d'individus ou le suivi d'individus reconnaissable individuellement, mais aussi l'enregistrement de leur mouvements (par l'utilisation d'outils biotéléométriques, tels que des loggers GPS, pour certaines espèces permettant une récupération des données à distance et sans recapturer l'oiseau, ou par des observations focales d'individus) et /ou de leur exposition à des agents infectieux et contaminants. Les approches méthodologiques sont très similaires sur le terrain (captures d'individus, visites répétées des sites d'observation, prélèvements d'échantillons biologiques, missions de terrain de plusieurs semaines pendant la saison de reproduction), mais aussi pour ce qui est du type de données et d'échantillons qui sont traités. Une partie des données d'observation est acquise en parallèle d'approches expérimentales réalisées sur le terrain (notamment, la manipulation de la disponibilité de ressources alimentaire ou du statut parasitaire ou immunologique par vaccination). Globalement, ces approches nécessitent l'implication d'un personnel spécifiquement formé (une part des programmes nécessite en particulier des autorisations d'expérimenter sur les animaux). Ces aspects représentent clairement des opportunités de mutualisation entre TO au sein du SO (voir notamment la mise en place de carnets de terrain électronique, effectuée en collaboration ces dernières années).

L'activité des TOs bénéficie d'un soutien du SO ECOPOP via le financement attribué par l'OSU OREME, mais la plupart des activités à court, moyen et long terme sont soutenues par d'autres sources de financement, telles que des ANR, un projet ERC (TO Mésanges), ou des projets de l'Institut Polaire Français (IPEV, projets ADA CLIM, PARASITO-ARCTIQUE et ECOPATH) incluant une dimension d'observation à long terme. Le suivi sur les Ongulés sauvages fait partie de la Zone atelier HWANGE, le suivi sur les albatros et pathogènes fait partie de la Zone Atelier Antarctique et sub-Antarctique (ZATA). Un LIA soutien une partie des activités en Afrique du Sud. Les suivis de populations animales de Camargues sont pris en charge par la Tour du Valat.

### Résultats marquants

Outre l'acquisition de séries temporelles et la mise à disposition de données pour tester des hypothèses biologiques sur ces thématiques [voir par exemple la revue sur les travaux en écologie évolutive sur les

mésanges Charmantier et al 2016], les travaux développés dans le cadre du SO ont permis des développements méthodologiques importants, notamment sur les designs d'échantillonnage (suivi longitudinaux multi-sites de populations d'individus marqués et les outils statistiques à utiliser pour l'estimation de paramètres de la dynamique démographique de populations subdivisées, de la dynamique du statut éco-immunitaire des individus [TO Mouette tridactyle : Ponchon et al. 2018, Choquet et al. 2017] et de la génétique quantitative et génomique en population sauvage [TO Mésanges : Perrier et al 2018]).

Les développements méthodologiques ont aussi porté sur les méthodes pratiques d'acquisition de données sur le terrain (notamment, l'utilisation de loggers pour l'étude des comportements de prospection [TO Mouette tridactyle: Ponchon et al. 2015, 2017], la mise en place et l'utilisation de carnets de terrain électroniques [Tornos et al 2014] et l'utilisation du transfert maternel d'anticorps dans les œufs pour les suivis éco-épidémiologique [TO Goélands leucophée et pathogènes : Gamble et al 2019]).

Enfin, une partie des travaux permet de répondre à des questions appliquées importantes, comme la détermination d'Aires Marines Protégées et de stratégies de gestion des déchets d'élevage et de conservation des vautours [TO Vautours fauves : Duriez et al 201].

## 2. Perspectives du SO

Suite à l'appel à proposition de l'OSU OREME en juin 2018 pour de nouveaux SO et de nouvelles TOs, notre SO est passé en 2019 de 6 à 17 TOs. Ceci est à considérer dans le contexte de la forte volonté de structuration et labélisation au niveau national des activités sur les suivis à long terme de populations d'individus marqués. Au niveau régional, il nous est apparu très bénéfique d'intégrer ces nouvelles TO correspondant à des suivis de populations menés sur des vertébrés et dans des conditions permettant d'aborder une série de questions fortement comparables en France et à l'étranger.

Une journée de réunion de l'ensemble des TOs du SO ECOPOP, avec des exposés des responsables des TO, s'est tenue le 4 avril 2019 et a permis de consolider l'identification des axes thématiques qui permettront de structurer les interactions entre TOs à l'avenir, en particulier : Dynamique des populations, Interactions durables, Réponse au changement climatique, Sélection sexuelle, Etude des Comportements en particulier évolution des comportements et de la cognition, Socialité, Ecologie du mouvement, Evolution des traits d'histoire de vie, et Gestion et conservation des espèces. Des journées thématiques sont prévues à l'avenir, en particulier autour des thèmes 'Echelles temporelles de réponse des populations' et 'Expérimentation Animale En Milieu Naturel (techniques et éthique)'. Dans le cadre de cette dernière thématique, le SO sera moteur dans l'organisation de formations locales pour l'expérimentation animale en milieu sauvage.

## 3. Production

*Les données synthétiques produites sont, annuellement, pour la plupart des SO: le succès de reproduction moyen de l'espèce sur les sites suivis, la date moyenne de ponte, la survie annuelle des individus reproducteurs. Pour certaines des TO, il s'agit de la proportion de jeunes parasités, les trajets effectués par une partie des oiseaux de la population pendant une certaine période, ou la proportion d'individus séropositifs vis-à-vis de différents agents infectieux.*

*Une liste de publications est disponible sur chaque page internet de chaque TO (par exemple pour le vautour fauve : <https://oreme.org/observation/ecopop/vautours-fauves/> ). Ci-dessous une sélection de publications, notamment celles citées plus haut, impliquant les contributeurs des TO et basées sur les données acquises à long terme, :*

Acker P., Francesiaz C., Béchet A., Sadoul N., Lessells C.M., Pijl A.S., Besnard A. (2018). Insights on dispersal and recruitment paradigms: sex- and age-dependent variations in a nomadic breeder. *Oecologia* 186: 85-97.

Acker, P., Grégoire, A., Rat, M., Spottiswoode C. N., van Dijk, R. E., Paquet, M., Kaden, J.C., Pradel R. , Hatchwell, B. J. , Covas, R., Doutrelant, C. (2015). Disruptive viability selection on a black plumage trait associated with dominance *Journal of Evolutionary Biology* 28: 2027-2041.

Baniel A, Cowlshaw G, Huchard E (2016) Stability and strength of male-female associations in a promiscuous primate society. *Behav. Ecol. Sociobiol.*70: 761-775.

Boulinier, T., Kada, S., Ponchon, A., Dupraz, M., Dietrich, M., Gamble, A., Bourret, V., Duriez, O., Bazire, R., Tornos, J., Tveraa, T., Chambert, T., Garnier, R. & McCoy, K.D. (2016). Migration, prospecting, dispersal? What host movement matters for infectious agent circulation? *Integrative and Comparative Biology* 56: 330-42.

Brockmeyer T, Kappeler PM, Willaume E, Benoit L, Mboumba S, Charpentier MJE. (2015). Social organization and space use of a wild mandrill (*Mandrillus sphinx*) group. *American Journal of Primatology* 77:1036-1048.

Carter AJ, Ticó MT, Cowlshaw G (2016) Sequential phenotypic constraints on social information use. *eLife* 5: e13125

Charmantier A., Doutrelant C., Dubuc-Messier G., Fargevieille A., Szulkin M. (2016). Mediterranean blue tits as a case study of local adaptation. *Evolutionary Applications* 9: 135-152.

Charpentier MJE, Givalois L, Faurie C, Sognessa O, Simon F, Kappeler PM. (2018). Seasonal glucocorticoid production correlates with a suite of small-magnitude environmental, demographic and physiological effects in mandrills. *American Journal of Physical Anthropology* 165: 20-33.

Choquet, R., A. Garnier, E. Awuve, and A. Besnard. (2017). Transient state estimation using continuous-time processes applied to opportunistic capture-recapture data. *Ecological Modelling* 361:157-163.

Dufour C, Pillay N, Avenant N, Watson J, Loire E, Ganem G, 2019. Habitat characteristics and species interference influence space use and nest-site occupancy: Implications for social variation in two sister species. *OIKOS* 128:503-516

Courbin, N., Besnard, A., Péron, C., Saraux, C., Fort, J., Perret, S., ... & Grémillet, D. (2018). Short-term prey field lability constrains individual specialisation in resource selection and foraging site fidelity in a marine predator. *Ecology letters*. <https://doi.org/10.1111/ele.12970>

Courbin N., Loveridge A., Fritz H., Macdonald D., Patin R., Valeix M., Chamaillé-Jammes S. (2019). Zebra diel migration reduces encounter risk with lions at night. *Journal of Animal Ecology* 88:92-101.

Deville A.-S., Labaude S., Robin J.-P., Béchet A., Gauthier-Clerc M., Porter W., Fitzpatrick M., Mathewson P., Grémillet D. (2014). Impacts of extreme climatic events on the energetics of long-lived vertebrates: the case of the greater flamingo facing cold spells in the Camargue. *The Journal of Experimental Biology* 217:3700–3707.

Courbin N., Loveridge A.J., McDonald D.W., Valeix M, Fritz H, Makuwe E., Fritz H., Chamaillé-Jammes S. (2016). Reactive responses of zebras to lion encounters shape their predator-prey space game at large scale. *Oikos* 125:829-838.

Dubuc-Messier G, Réale D, Perret P & Charmantier A. (2017). Environmental heterogeneity and population divergence in blue tits personality traits. *Behavioural Ecology* 28: 448-459.

Duriez, O., Sandrine Descaves, Régis Gallais, Raphaël Néouze, Julie Fluhr, et Frédéric Decante. (2018). « Vultures attacking livestock: a problem of vulture behavioural change or human perception? » *Bird Conservation International* in press

Duriez O, Jacob L, Néouze R, Ziletti N (2016) Fréquentation des Grands Causses (Aveyron, Lozère, Gard et Hérault) par les vautours et évaluation des risques de collision avec les parcs éoliens. Parc Naturel Régional des Grands Causses & LPO, Millau

Fluhr, J., Benhamou, S., Riotte-Lambert, L. and Duriez, O. (2017). Assessing the risk for an obligate scavenger to be dependent on predictable feeding sources. *Biological Conservation*: 215: 92-98.

Francesiaz C., Guilbault E., Lebreton J.-D. & Besnard A. (2017). Colony persistence in waterbirds is constrained by pond quality and land use. *Freshwater Biology* 62: 119-132.

Francesiaz C., Farine D., Laforge C., Béchet A., Sadoul N., Besnard A. (2017). Familiarity drives social philopatry in an obligate colonial breeder with weak interannual breeding-site fidelity. *Animal Behaviour* 124:125–133.

Gamble A., Garnier R., Jaeger A., Thibault E., Gantelet H., Tortosa P., Bourret V., Thiebot J.-B., Delord K., Weimerskirch H., Tornos J., Barbraud C. & Boulinier T. (2019). Exposure of albatrosses to the avian cholera agent leads to a short-lived immune response: implications for disease surveillance and management. *Oecologia* 189: 939-949.

Gamble A., Ramos R., Parra-Torres Y., Mercier A., Galal L., Pearce-Duvel J., Villena I., Montalvo T., González-Solís J., Hammouda A., Oro D., Selmi S., Boulinier T. (2019). Exposure of yellow-legged gulls to *Toxoplasma gondii* along the Western Mediterranean coasts: tales from a sentinel. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 8: 221-228.

Mares, R, Doutrelant, C., Paquet, M., Spottiswoode, S. and Covas, R. (2017). Breeding decisions and output are correlated with both temperature and rainfall in an arid-region passerine, the sociable weaver. *Royal Society Open Science* 4: 170835

Marrot P, Charmantier A, Blondel J & Garant D. (2018). Current spring warming as a driver of selection on reproductive timing in a wild passerine. *Journal of Animal Ecology* 87: 754-764.

Marrot P, Garant D & Charmantier A. (2017). Multiple extreme climatic events strengthen selection for earlier breeding in a wild passerine. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 372: 20160372.

- Péron G, Gaillard JM, Barbraud C, Bonenfant C, Charmantier A, Choquet R, Coulson T, Grosbois V, Loison A, Marzolin G, Owen-Smith N, Pardo D, Plard F, Pradel R, Toïgo C & Gimenez O. (2016). Evidence of reduced individual heterogeneity in adult survival of long-lived species. *Evolution* 70: 2909–2914.
- Perrier C., Lozano del Campo A., Szulkin M., Demeyrier V., Grégoire A., Charmantier A. (2018). Great tits and the city: distribution of genomic diversity and gene–environment associations along an urbanization gradient. *Evolutionary Applications* 11: 593-613.
- Poirotte C, Benhamou S, Mandjembe A, Willaume E, Kappeler PM, Charpentier MJE. (2017). Gastro-intestinal parasitism and recursive movements in free-ranging mandrills. *Animal Behaviour* 134: 87-98.
- Poirotte 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: e1601721.
- Ponchon, A., Choquet, R., Tornos, J., McCoy, K.D., Tveraa, T. & Boulinier, T. (2018) Survival estimates strongly depend on capture-recapture designs in a disturbed environment inducing dispersal. *Ecography* 41: 2055-2066.
- Ponchon, A., Iliszko, L., Grémillet, D., Tveraa, T. & Boulinier, T. (2017). Intense prospecting movements of failed breeders nesting in an unsuccessful breeding subcolony. *Animal Behaviour* 124:183-191.
- Ponchon, A., Chambert, T., Lobato, E., Tveraa, T., Grémillet, D. & Boulinier, T. (2015). Breeding failure induces large scale prospecting movements in the black-legged kittiwake. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 473: 138-145.
- Ponchon, A., Grémillet, D., Christensen-Dalsgaard, S., Erikstad, K.E., Barrett, R.T., Reiertsein, T.K., McCoy, K.D., Tveraa, T. & Boulinier, T. 2014. When things go wrong: intra-season dynamics of breeding failure in a seabird. *Ecosphere* 5: art4.
- Szulkin M, Gagnaire PA, Bierne N & Charmantier A. (2016). Population genomic footprints of fine scale isolation-by-environment in Mediterranean blue tits. *Molecular Ecology* 25: 542-558.
- Tavecchia G., Oro D., Sanz-Aguilar A., Béchet A. (2017). The multidimensional value of long-term individual-based studies: more than lots of data. *Avocetta* 41: 19-21.
- Tornos, J., Prud'homme, O., Boulinier, T. Ponchon, A. & Quidoz, M.-C. 2014. Utilisation de QGIS comme outil nomade de saisie. *Géomatique Expert* 101 : 32-42.

## BILAN DU SO EVOPOP

### Bilan du SO EVOPOP

Le SO EVOPOP (EVolution en POPulations naturelles – Responsable : Eric IMBERT) regroupe 5 TO dont l'objectif commun est l'étude des variations temporelles des caractéristiques phénotypiques et génétiques d'espèces méditerranéennes en populations naturelles. Les données issues des suivis sont en suite interprétées en lien avec les pressions climatiques et anthropiques sur les écosystèmes.

En début de contractualisation, le SO était structuré en 5 TO concernant 5 organismes modèles différents :

- Evolution spatio-temporelle des gènes de résistance aux insecticides du moustique *Culex pipiens* en région méditerranéenne (resp. Mylène Weill, Pierrick Labbé)
- Effet des pressions anthropiques sur la viabilité et l'évolution d'une espèce méditerranéenne endémique: la Centaurée de la Clape, *Centaurea corymbosa* (resp. Eric Imbert)
- Dynamique in situ des populations et de la diversité d'une espèce endémique et menacée, le Chou corse, *Brassica insularis* (resp. Sandrine Maurice, Christophe Petit)
- Observatoire de la vigne sauvage (lambrusque), *Vitis vinifera* ssp. *silvestris* en Languedoc-Roussillon (resp. Jean-Frédéric Terral)
- Biodiversité, structuration et perturbation des populations de truites communes, *Salmo trutta*, françaises du sud (resp. Patrick Berrebi)

Tous les responsables de ces TO sont membres de l'ISEM -UMR 5554. Il est à noter que suite au départ à la retraite de P. Berrebi, la TO Truite a été interrompue pendant deux ans, puis ré-activée en 2018 par Bruno Guinand.

Parmi les objectifs des travaux conduits au sein de ce SO, nous cherchons à documenter la réponse des organismes étudiés aux pressions du milieu, et de manière plus immédiate, de contribuer à la gestion des espaces et des espèces concernées. A ce titre, les membres du SO participent à des conseils d'expertise tel que le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel, le Centre National d'Expertise sur les Vecteurs, le Haut Conseil aux Biotechnologies sur la lutte anti-vectorielle, l'Entente Interdépartementale de Démoustication, Conseil auprès de l'ONF... Ce lien entre recherche fondamentale et gestion de la biodiversité a par exemple amené à participer à un programme de renforcement des populations naturelles de la Centaurée de la Clape (opérateur Parc Naturel Régional de la Narbonnaise), et de développer le recensement des lambrusques en France dans le cadre d'une convention nationale avec l'INRA et l'ONF.

### Perspectives du SO

Le SO est construit autour de suivis dans des populations naturelles d'espèces méditerranéennes. La pertinence de ces suivis et leur valorisation scientifique ne peuvent se faire qu'à partir d'un suivi sur le long terme incluant des données sur plusieurs générations. Par ailleurs, l'un des objectifs étant de détecter les réponses des organismes étudiés aux pressions anthropiques, incluant les changements climatiques, notre capacité à remplir cet objectif dépend aussi de l'intensité et de la nature des réponses.

Une perspective possible serait d'intégrer les approches génomiques pour l'ensemble des organismes étudiés. Si les données sont accessibles pour les organismes modèles comme la vigne, ils sont à mettre au point pour les autres organismes et permettraient de traiter plus efficacement des questions de relations génotype/phénotype dans les populations naturelles. Ces développements méthodologiques nécessiteront d'animer des ateliers thématiques au sein du SO, ateliers qui seront ouverts aux autres SO concernés de l'OREME.

### Production scientifique

La production scientifique (période 2015-2018) représente la publication de huit articles (voir liste ci-dessous) et des dizaines de communication dans des colloques nationaux et internationaux, ainsi que des séminaires invités (liste non fournie). Enfin, les TO ont été le support pour la formation deux étudiants en thèse (dont une étudiante commune au TO Centaurée et Chou corse), et d'une dizaine d'étudiants en Master 1 et 2.

### Liste des articles sur la période 2015-2018

Bacillieri R., Bouby L., Figueiral I., Schaal C., Terral J.-F., Breton C., Picq S., Weber A., Schlumbaum A. (2017). Potential of combining morphometry and ancient DNA information to investigate grapevine domestication. *Vegetation History and Archaeobotany*, 26, 3, 345-356.

Bouby L., Bonhomme V., Ivorra S., Pastor T., Rovira N., Tillier M., Pagnoux C., Terral J.-F. (2018). Back from burn out: are experimentally charred grapevine pips too distorted to be characterized using morphometrics? *Archaeological and Anthropological Sciences*, 10, 4, 943-954.

Figueiral I., Pomarède H., Mona Court-Picon M., Bouby L., Tardy C., Terral J.-F. (2015). New insights into Mediterranean Gallo-Roman farming: a closer look at archaeological wells in Southern France. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 7, 201-233.

Hadjou Belaid A., Maurice S., Fréville H., Carbonell D., **Imbert E.**, 2018. Predicting population viability of the narrow endemic Mediterranean plant *Centaurea corymbosa* under climate change. *Biological Conservation* 223 : 19-33.

Limier B., Ivorra S., Bouby L., Figueiral I., Chabal L., Cabanis M., Ater M., Lacombe T., Ros J., Brémond L., Terral J.-F. (2018). Documenting the history of the grapevine and viticulture: A quantitative eco-anatomical perspective applied to modern and archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science*, 100, 45-61.

Milesi et al. 2016. Relating fitness to long-term environmental variations *in natura*. *Molecular Ecology*.

Olivieri et al. 2015. Why evolution matters for species conservation : perspectives from three cases studies of plant metapopulations. *Evolutionary Applications*.

Pagnoux C., Bouby L., Ivorra S., Petit C., Valamoti SM., Pastor T., Picq S., Terral J.-F. (2015). Inferring the agrobiodiversity of *Vitis vinifera* L. (grapevine) in ancient Greece by comparative shape analysis of archaeological and modern seeds. *Vegetation History and Archaeobotany* 24 (1), 75-84

## PERSPECTIVES 2020-2025 POUR LE SO POLLIMED

La création du SO PolliMed au sein de l'OSU OREME étant très récente (2019), les premiers résultats acquis sont en cours d'étude ; c'est pourquoi nous nous focalisons uniquement sur la partie « Perspectives ».

Le SO PolliMed a pour objectifs 2020-2025 l'étude et le suivi de la pollinisation, une composante centrale de la biodiversité, à différentes échelles géographiques à l'échelle de la Méditerranée. Certains facteurs abiotiques comme les changements climatiques (sècheresses...) ou la pollution atmosphérique représentent une réelle menace pour les pollinisateurs et pour la pollinisation. Tout particulièrement en Méditerranée, hot spot de biodiversité, car cette région concentre de fortes activités anthropiques. L'ambition du SO au cours des prochaines années est d'améliorer nos connaissances concernant la pluie pollinique et les pollinisateurs en région méditerranéenne.

Ce SO est structuré autour de 2 axes de recherche complémentaires à différentes échelles géographiques, l'une internationale à l'échelle de la Méditerranée, et l'autre nationale avec un focus commun dans l'Hérault :

- Pollen et relations pollen-végétation-climat en Méditerranée (échelle globale – macrorégionale). Notre but est d'étudier sur du long terme la pluie pollinique de plusieurs écosystèmes méditerranéens dominés par les espèces clés (chêne vert, vigne, olivier...), via la mise en place de systèmes de monitoring mensuels et annuels. Ces monitorings seront effectués à l'aide de pièges à pollen permettant de suivre les changements de la pluie pollinique en lien avec la végétation et le climat dans différents contextes méditerranéens. Ceci afin de comprendre la variabilité interannuelle de la pollinisation de ces taxons en lien avec le changement climatique ou en milieu cultivé (olivier).
- Pollen, pollinisateurs et interactions en milieux naturels et anthropisés (échelle régionale – locale). Nous nous intéresserons aux interactions plantes-pollinisateurs et aux menaces pesant sur la pollinisation entomophile : le déclin des pollinisateurs et l'effet de la pollution atmosphérique sur la rencontre entre plante et pollinisateurs. En effet, la crise de la pollinisation est bien présente et de grande ampleur. Il est donc crucial et urgent d'améliorer nos connaissances sur ces insectes pollinisateurs et sur les facteurs pouvant affecter leur action de pollinisation.

Pollimed a pour responsables Odile Peyron(ISEM) et Bertrand Schatz(CEFE).

Il s'organise en 5 TO :

- 6) Relations pollen-végétation-climat, forêts méditerranéennes (du Maroc à Chypre),
- 7) Suivi de la pollinisation de l'olivier (Maroc-France),
- 8) Suivi local de la pollinisation de la vigne sauvage et cultivée (Hérault),
- 9) Effet de la pollution atmosphérique sur la communication chimique plantes- pollinisateurs (région PACA et ex-région LR),
- 10) Variations des communautés d'insectes pollinisateurs selon des gradients d'habitats et d'urbanisation (région Occitanie, PACA et Corse).

Responsables des TO et équipes :

- TO1: O. Peyron et S. Canal (ISEM);

Membres: O. Peyron, S. Canal, JM Ourcival, Y. Thomas, B. Limier, N. Nebout, J.P. Orst, V. Baldy, T. La Mantia, R. Termine, B. Brossier, L. Paradis, J. Garrigue

-TO2: J.F. Terral et S. Ivorra (ISEM)

Membres: J.F. Terral, S. Ivorra, B. Limier, S. Canal, Y. Thomas, N. Nebout, B. Khadari, M. Ater, H. Bouziane, A. Boullayali, H. Zaher, Y. Hmimsa, N. Feddi, M. Abdelmajid

-TO3 : S. Ivorra et L. Bouby (ISEM)

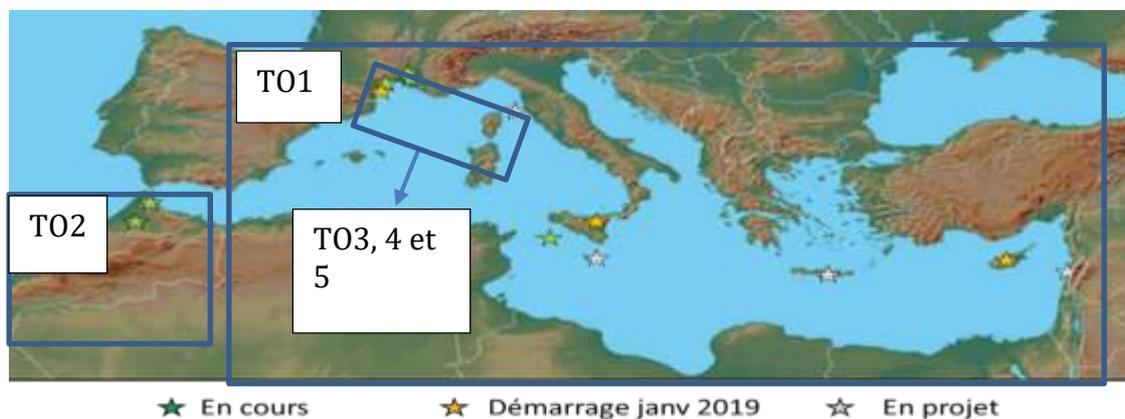
Membres: S. Ivorra, L. Bouby, O. Peyron, B. Limier, S. Canal, J.-F. Terral, S. Muller, A. Mignot

-TO4: M. Proffit (CEFE)

Membres: M. Proffit, M. Hossaert-McKey, F. Kjellberg, B. Buatois, M. Staudt, E. Ormeño, C. Fernandez, C. Lecareux, F. Nicolè

-TO5: Bertrand Schatz et Laurent Dormont (CEFE)

Membres: B. Schatz, L. Dormont, M. Dufaÿ, P. Geniez, C. Devaux, A Mignot, E Imbert, E. Véla, B. Vaissière, G. Rodet, M. Henry, B. Geslin, G. Neve, C. Fontaine, N. Machon, A. Pérrard, N. Escaravage, A. Pornon, C. Andalo, J.-P. Sarthou, M. Gibernau, F. Massol, N. Hautekeete, Y. Piquot, P Geniez



Sites d'observations des 5 TO du SO PolliMed ; Ex. T01: Puéchabon, O3HP, Font-Blanche...

### Résultats attendus :

Pour la TO1 2 et 3, nous quantifierons à partir de pièges à pollen pour chaque site la quantité de grains de pollen (taxon par taxon) qui se dépose afin d'obtenir un suivi sur plusieurs années de la pollinisation des plantes et des espèces clés (chêne vert, vigne, olivier ...). Les enregistrements sont de trois types : hebdomadaires pour couvrir la période de floraison ; mensuels pour évaluer la fréquence absolue et relative des taxons dans la pluie pollinique totale et annuels pour un suivi sur plusieurs années.

Pour la TO4, des observations seront réalisées pour chacun des deux modèles, lors de leur période de floraison, en mai et en juillet-août.

Pour la TO5, les données sont basées sur la capture de ces insectes par différentes méthodes (capture au filet, pièges passifs sur 24/ 48 h) puis sur l'identification des espèces.

Pour l'ensemble du SO PolliMed, l'actualisation des données sera annuelle, avec toutefois, de 12 à 18 mois de décalage entre la collecte des données et la mise à disposition.

## PERSPECTIVES POUR LE SO AGRICULTURE DE CONSERVATION IRRIGUEE ET INTENSIVE (AC2I)

Hébergé par Irstea à Montpellier, sur le site de Lavalette

Le passage de l'agriculture standard à l'agriculture de conservation implique une phase de transition dont les éléments sont mal connus, en particulier en système irrigué. L'objectif de AC2i est donc d'observer les mécanismes en jeu dans cette période de transition, il s'agit d'analyser expérimentalement d'abord l'évolution des propriétés du sol et des mécanismes de transfert d'eau et d'azote sous différentes méthodes d'irrigation. Le travail s'appuie sur les parcelles Irstea exploitées à Lavalette, avec différentes modalités techniques d'irrigation et de conduite. Il est aussi possible que les parcelles suivies par Irstea dans le Sud-Ouest, et probablement en Provence en 2020 puisse à terme intégrer l'OSU. En 2019 c'est un état zéro de la situation qui sera réalisé.

Moyens techniques : parcelles expérimentales de Lavalette à Montpellier (1.5ha environ), dont un dispositif de goutte à goutte enterré randomisé, analyses de sol, moyens de mesure de l'eau dans le sol, travaux agricoles pour partie sous-traités au Geves-Inra.

Moyens humains : le personnel technique de la plateforme PReSTI pour une partie de son activité, 2IR dont 1 en recrutement, 1CR, 2IE, 1TR.