

Observatoire des Sciences de l'Univers



Terre Homme Environnement Temps Astronomie

-

Franche-Comté / Bourgogne

OSU THETA de Franche-Comté / Bourgogne



Direction : François Vernotte

Adresse Postale :

Observatoire de Besançon
41 bis avenue de l'Observatoire
B.P. 1615
25010 Besançon Cedex
France

<http://www.obs-besancon.fr>

E-mail : direction@obs-besancon.fr

Téléphone : 33-3 81 66 69 00

Fax : 33-3 81 66 69 44

Table des matières

I	Introduction : motivation du projet	9
I-1	Une volonté commune	10
I-2	Pertinence régionale	13
I-2.1	Le Temps : héritage et spécialité régionale	13
I-2.2	Potentialités territoriales	14
I-2.3	Interactions avec les autres structures fédératives des Universités	14
I-2.4	Relations avec les agences et organisations nationales et internationales	17
I-2.5	Partenariats industriels	18
I-2.6	Liens avec les collectivités et services de l'état	18
I-2.7	La diffusion des connaissances	20
I-3	Intégration dans le PRES Bourgogne/Franche-Comté	21
II	Services d'observation	23
II-1	Les services d'observations existants	23
II-1.1	Section Astronomie et Astrophysique	23
II-1.2	Sections Surfaces Continentales, Océan, Atmosphère et Sciences de la Terre	29
II-2	Services d'Observation émergents	34
II-2.1	Projet S.E.R.ES : Simulations d'Etoiles et REStitutions d'orbites	34
II-2.2	Projets de SOERE	39

II-2.3	Surveillance sismique en Franche-Comté	49
II-3	Possibilités de mutualisation	52
II-3.1	Service de métrologie	52
II-3.2	Archivage et mise en commun de données	52
II-3.3	Isotopes et rayonnements ionisants	53
III	Missions de recherche	55
III-1	Recherches AA	55
III-1.1	SPACE	55
III-1.2	PhAs	58
III-1.3	Le département Temps-Fréquence de Femto-ST	63
III-1.4	L'équipe Spectroscopie Moléculaire, Processus Collisionnels et Applications de l'ICB	65
III-2	Recherches ST	70
III-2.1	L'équipe BIOdiversité-Macroécologie-Évolution de BioGéoSciences	70
III-2.2	L'équipe Systèmes, Environnements et Dynamique Sédimentaire de BioGéoSciences	72
III-2.3	Dégazage et évolution des climats planétaires : serpentisation et clathrates	76
III-3	Recherches OA	83
III-3.1	Équipe Centre de Recherche de Climatologie de BioGéoSciences	83
III-4	Recherches SIC	87
III-4.1	Géosciences et paléoclimatologie à Chrono-Environnement	87
III-4.2	Mesure et Effets de la Contamination Environnementale (Air-Eau-Sol)	91
III-5	BQR OSU	102
IV	Adossement enseignement/recherche	103
IV-1	Masters en physique et chimie	103
IV-1.1	Master mention Sciences de la Matière (Université de Franche-Comté)	103

IV-1.2	Master Sciences de la matière (UB)	104
IV-2	Masters en sciences de l'environnement	106
IV-2.1	Le master Mention Sciences environnementales de l'UFC	106
IV-2.2	Master Mention ETEC de l'uB : Environnement, Terre, Evolution, Climat	107
V	Contractualisation et structuration	109
V-1	L'OSU : une Fédération de Recherche contractualisée avec ses tutelles	109
V-2	Une Unité Mixte de Service	110
V-2.1	L'UMS THETA	111
V-2.2	L'UMS Initiale	113
V-3	Un "article 33"	114
V-4	Gouvernance	115
V-4.1	Le Conseil de l'OSU	115
V-4.2	Direction	117
V-4.3	Le Comité Scientifique	118
VI	Perspectives	121
VI-1	Demandes GE portées par l'OSU	121
VI-1.1	Projet d'Équipement d'Excellence : "Oscillator IMP"	121
VI-1.2	Autres projets portés par l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne	124
VI-2	Partenariats de l'OSU dans des projets GE	124
VII	Calendrier et besoins	127
VII-1	Calendrier	127
VII-1.1	Extension de l'OSU	127
VII-1.2	Création de l'UMS	127
VII-1.3	Renouvellement des instances	128

VII-2 Besoins	128
VII-2.1 Moyens financiers	128
VII-2.2 Besoins en personnels	130
ANNEXE : Proposition de convention constitutive de l'UMS THETA	133

Chapitre I

Introduction : motivation du projet

L'observatoire de Besançon est né en 1878 d'une double pression : locale, d'abord, puisque les horlogers bisontins, relayés par la ville de Besançon, réclamaient depuis plusieurs décennies une institution "gardienne du temps" à l'instar de leurs concurrents suisses ; nationale, ensuite, puisque la volonté de décentraliser l'astronomie en créant 3 nouveaux observatoires en province constituait un des axes de la politique scientifique de la toute jeune III^{ème} république (voir figure I.1).

Aujourd'hui, la notion d'observatoire a profondément changé. Alors qu'un glissement sémantique faisait apparaître des observatoires dans des domaines extrêmement variés, s'est défini le concept d'Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU) allant de l'astronomie à l'étude de la planète Terre, y compris dans ses interactions avec le vivant.



FIG. I.1 – Vue générale de l'observatoire de Besançon au début du XX^{ème} siècle.

Néanmoins, on retrouve la même convergence d'intérêt qu'il y a près de 130 ans : d'une part, localement, les services d'observation dont la continuité et surtout la pérennité sont indispensables, constituent le support direct des recherches qui sont menées dans les laboratoires des universités, actuellement en phase de constitution du PRES Bourgogne/Franche-Comté, ainsi qu'une réponse pertinente aux demandes des collectivités locales et territoriales (observation du milieu naturel), du tissu économique régional, national et international (météorologie du temps et des fréquences, transfert de temps) ainsi que de la communauté astronomique (satellite GAIA, références temps-espace, observatoire virtuel) ; d'autre part, nationalement, l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU) a entamé une politique de pavage régional en Observatoires des Sciences de l'Univers, émanation dans chaque région des différentes thématiques de l'INSU.

C'est donc pour répondre à ces besoins locaux et nationaux de structuration des Sciences de la Terre et de l'Univers que nous proposons ce projet d'OSU Terre-Homme-Environnement-Temps-Astronomie.

I-1 Une volonté commune

La particularité des Observatoires des Sciences de l'Univers (OSU) est, en plus des activités de recherche dans le domaine allant de l'astronomie à l'environnement en passant par la géophysique, d'avoir à effectuer des services d'observation labellisés par l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU/CNRS) et d'en garantir la pérennité. Outre l'OSU de Besançon "historique", qui regroupe la partie astronomie d'UTINAM et qui a la charge d'assurer des services d'observations reconnus par l'INSU (météorologie du temps et des fréquences, grands relevés et archivage des données), le laboratoire **Chrono-Environnement** et le **Laboratoire de Chimie-Physique et Rayonnements Alain Chabaudet** (LCPR-AC) émargent également à des tâches qui peuvent pleinement être considérées comme des services d'observation (surveillance de populations animales, d'indicateurs environnementaux, des rayonnements ionisants) et développent certaines thématiques qui relèvent de l'INSU. C'est donc tout naturellement autour de ces 3 laboratoires que s'est construit, dans un premier temps, ce projet d'OSU étendu aux thématiques environnementales, l'**OSU Terre-Homme-Environnement-Temps-Astronomie de Franche-Comté** (OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne).

Dans un second temps, participant de la dynamique de constitution du PRES Bourgogne/Franche-Comté, d'une part, et fort du succès du projet de "Dispositif de Partenariat en Écologie et Environnement" (DIPEE) Bourgogne/Franche-Comté, d'autres laboratoires ont tenu à se joindre au projet, ainsi que des équipes concernées par les thématiques INSU mais appartenant à des laboratoires relevant d'autres instituts. La logique qui a prévalu pour la constitution de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne est de fédérer soit des laboratoires entiers, soit des équipes de laboratoires lorsqu'elles concentrent toute l'activité INSU de leur laboratoire.

L'ensemble des partenaires de ce projet est (voir les effectifs dans le tableau [V.1](#) page 110) :

- l'institut UTINAM, UMR CNRS/UFC 6213
- le LCPR-AC, UMR CEA/UFC E4, qui intégrera Chrono-Environnement
- le laboratoire Chrono-Environnement, UMR CNRS/UFC 6249

- le laboratoire BioGéoSciences, UMR CNRS/uB 5561
- le Centre de Recherche de Climatologie, UMR CNRS/uB 5210, qui fusionnera avec BioGéoSciences
- l'équipe Spectroscopie Moléculaire et Applications, du laboratoire ICB, UMR CNRS/uB 5209
- le département Temps-Fréquence, de l'institut FEMTO-ST, UMR CNRS/UFC/ENS2M/UTBM 6174.

Un OSU ne pouvant émarger qu'à une seule université, il a été décidé de ne fédérer que les trois laboratoires purement UFC dans la présente demande, et d'intégrer par convention avec l'UFC les laboratoires ou équipes dépendant d'autres universités ou établissements d'enseignement supérieur dans une seconde étape (prochain quadriennal).

Certains des laboratoires impliqués dans ce projet d'élargissement de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne le sont donc aussi dans le projet de DIPEE Bourgogne-Franche-Comté. Compte tenu de l'intrication des thématiques au sein des unités, il était scientifiquement illusoire de tracer une ligne de démarcation claire entre DIPEE et OSU. Nous avons donc fait le choix stratégique d'afficher d'emblée leur lien étroit qui traduit la réalité quotidienne des équipes. Les deux projets se sont ainsi construits de concert. Ils sont partis du même cadre scientifique général faisant apparaître explicitement leur recouvrement comme leurs champs d'action spécifiques. Ils ont adopté un mode de présentation similaire permettant d'afficher leurs interfaces, mais aussi d'y décliner leurs propres attendus de manière homogène.

Nous avons opté pour un cadre scientifique général commun aux projets de DIPEE et d'OSU. Pourquoi ? Parce que les unités Chrono-Environnement et Biogéosciences sont concernées par les deux et que, même si de nombreuses thématiques se rattachent sans ambiguïté et exclusivement à l'un ou l'autre de ces projets, il est parfois délicat de tracer une frontière nette pour d'autres. L'interface a une "épaisseur" qui correspond à la réalité locale des recherches conduites à Besançon et à Dijon. Nous n'avons pas voulu masquer cette réalité en érigeant une frontière artificielle entre les contenus scientifiques du DIPEE et de l'OSU. Les deux projets ont donc pour partie été co-construits sur la base de discussions élargies.

Ainsi, le schéma commun, retenu pour l'ensemble des deux projets, s'organise-t-il selon un gradient qui va de problématiques purement OSU à des problématiques purement DIPEE (voir tableau I.2). Les axes de ce schéma correspondent à des objets et ils sont au nombre de quatre : Univers, Terre, Environnement, Biodiversité. Un cinquième thème, le Temps, sert de fil conducteur. Les thèmes de recherche développés dans les différentes unités concernées s'inscrivent en regard des cinq axes-objets.

D'autre part, tous les laboratoires partenaires revendiquent un fort besoin de reconnaissance et de pérennisation des observations qu'ils mènent tout en étant soucieux de préserver le temps consacré à la recherche pour leurs enseignants-chercheurs et chercheurs. À ce titre, la structure OSU est la réponse la mieux adaptée à ce problème puisque, d'une part, un OSU se voit attribuer des missions d'observation, que, d'autre part, un OSU permet, via une UMS, de gérer les infra-structures liées aux observations, et que, enfin, un OSU peut accueillir des personnels CNAP dont le service prévoit une quotité de l'ordre du tiers de leur temps de travail consacrée aux services d'observations.

OSU		DIPEE	
UNIVERS	TERRE	ENVIRONNEMENT	BIODIVERSITE
- échelles temporelles	-stratigraphie (chrono-, cyclo-)	- paysages	- évolution
- planètes	- bassins sédimentaires	- anthropisation	- comportement
- étoiles et Galaxie	- paléoclimats, climats		- populations, communautés
- milieu interstellaire et atmosphères		- écologie et santé	
	- érosion	-stress -environnementaux	- interactions durables
	- interactions eau-roches	- macroécologie	
	- biominéralisation		
	- eaux continentales		
	- transferts		
- clathrates et méthane		- conservation et remédiation	

FIG. I.2 – La continuité thématique entre l’OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne et le DIPEE Bourgogne/Franche-Comté.

I-2 Pertinence régionale

I-2.1 Le Temps : héritage et spécialité régionale

L'histoire de Besançon est liée à la mesure du temps depuis 1793, date où Laurent Mégevand est venu de Suisse pour fonder la manufacture nationale française d'horlogerie. En quelques décennies, Besançon s'est imposée comme la capitale française du temps. De nombreuses retombées de l'activité horlogère de Besançon sont venues essaimer dans d'autres secteurs. La recherche n'y a pas fait exception puisque, outre l'observatoire de Besançon qui a été créé en 1878 explicitement pour répondre à un besoin de référence de temps, de nombreuses problématiques scientifiques, qu'elles émanent aux sciences de l'homme ou aux sciences naturelles, présentent une déclinaison liée au temps.

L'observatoire de Besançon avait à sa création une triple vocation : il s'agissait d'un "observatoire astronomique, chronométrique et météorologique" pour reprendre les termes du décret fondateur de 1878. Le choix de Besançon est d'ailleurs dû à cette vocation chronométrique puisqu'un des buts avoués de l'établissement était d'aider les horlogers bisontins à faire face à la concurrence des horlogers suisses qui disposaient déjà de l'appui de l'observatoire de Genève (1772) puis de celui de Neuchâtel (1846). Bien que la définition de la seconde ne soit plus basée sur des phénomènes astronomiques depuis 1967 mais sur le temps atomique, l'observatoire de Besançon a conservé son rôle de "gardien du temps" en se dotant d'horloges atomiques dès 1969. Les activités de recherche et prestation de service en temps-fréquence actuelles sont directement héritées de cette intrication avec le tissu local.

Depuis le début des années soixante, de nombreuses recherches effectuées en Franche-Comté se sont focalisées sur l'approche temporalisée des processus géologiques et biologiques en inscrivant dans des échelles de temps et d'espace extrêmement variées. Très tôt également, ces projets de recherche partagent une expérience commune de tradition locale de pluridisciplinarité liant sciences humaines et sciences de la nature. Ainsi, le premier colloque intitulé "Histoire de la forêt", se réunit à Besançon en 1965 (publication ISTA, 1966) à l'initiative des historiens de l'Antiquité. Cette réunion entre historiens et biologistes impliquait déjà une utilisation complexe de l'écoulement du temps : temps longs d'évolution des massifs forestiers imbriqués dans les chronologies plus limitées des générations et des sociétés humaines. Plus tard, ces approches croisées se concrétisent dans la mise en place d'enseignements communs entre sciences de la nature, approches mathématiques, géographiques et historiques, la création d'unités de recherche et de structures fédératives travaillant en environnement qui s'ouvriront dans les années quatre-vingt aux médecins et biologistes de la santé travaillant dans le domaine de l'environnement.

Ainsi, l'étude des processus et des vitesses de diffusion des populations humaines animales, végétales, microbiennes est devenue, pour les chercheurs locaux, un élément essentiel de compréhension des systèmes naturels et anthropiques. Aujourd'hui, l'analyse du rapport entre sociétés humaines et changements climatiques concerne des échelles pluri-millénaires. L'évolution de la production des sociétés humaines s'inscrit dans des échelles millénaire et séculaires. Pour les périodes plus récentes, les transferts de contaminants sont quantifiés

de manière temporalisée sur divers bioindicateurs en échelles annuelles et pluriannuelles. Dans le même ordre d'idée, d'autres études portent sur la recherche d'indicateurs pertinents reflétant l'exposition cumulée des populations humaines à des pollutions environnementales (échelle pluriannuelle).

I-2.2 Potentialités territoriales

La situation géographique des universités de Franche-Comté et de Bourgogne leur permet des relations transfrontalières privilégiées avec leurs homologues suisses au travers du Jura. Cette proximité géographique de la Suisse a permis de développer une tradition de collaboration entre les différentes unités de recherche participant à la création de l'OSU et les partenaires et laboratoires suisses, notamment dans les domaines de recherche de l'écologie, de la paléontologie, de la sédimentologie, de la planétologie et des observatoires du temps.

Ces échanges et relations avec les laboratoires des universités de Genève, BENEFR, Lausanne, les écoles polytechniques ETHZ et EPFL portent sur des sujets intégrés dans le périmètre de ce projet d'OSU. On peut citer des recherches communes ciblées sur l'environnement tant du point de vue de l'observation que de la modélisation, sur la métrologie du temps, la planétologie, le suivi des réseaux sismiques et la recherche pétrolière. De plus la proximité des laboratoires suisses et leur fort potentiel de moyens analytiques permettent des collaborations et une utilisation fréquente en terme de ressources analytiques de pointe dans les projets nécessitant des données géochimiques et isotopiques (Lausanne et Berne) par exemple. Ces collaborations sont concrétisées par des projets du réseau Cluse et des projets Interreg qui permettent à nos unités de recherche des développements de projets communs, on peut citer pour exemple : AOC bois résineux du Jura, Gestion intégrée des prés-bois, Horloge composite (HOROM) et système de génération et de diffusion d'une échelle de temps (SIDGET).

Par ailleurs, il existe plus localement une convention de collaboration inter-universitaire actuelle entre Besançon et Neuchâtel. Cet accord cadre de coopération culturelle et scientifique permet de préserver une tradition d'échange de chercheurs, enseignants-chercheurs et d'étudiants et le développement de projets de recherche et de formation. A ce titre, l'UMR Chrono-environnement est impliquée depuis plusieurs années dans le Master ACTE (Archéologie-Culture-Territoire-Environnement) co-habilité avec les universités de Dijon et de Besançon avec modules d'enseignement communs es universités de Neuchâtel et de Fribourg.

I-2.3 Interactions avec les autres structures fédératives des Universités

I-2.3.1 La Maison des Sciences de l'Homme et de l'Environnement Claude-Nicolas Ledoux

La Maison des Sciences de l'Homme et de l'Environnement Claude-Nicolas Ledoux est une Unité de Service et de Recherche (USR 3124 CNRS & UFC/UTBM) qui structure les recherches de l'Université de Franche-Comté et de l'Université Technologique de Belfort-Montbéliard autour des Sciences Humaines et Sociales ainsi

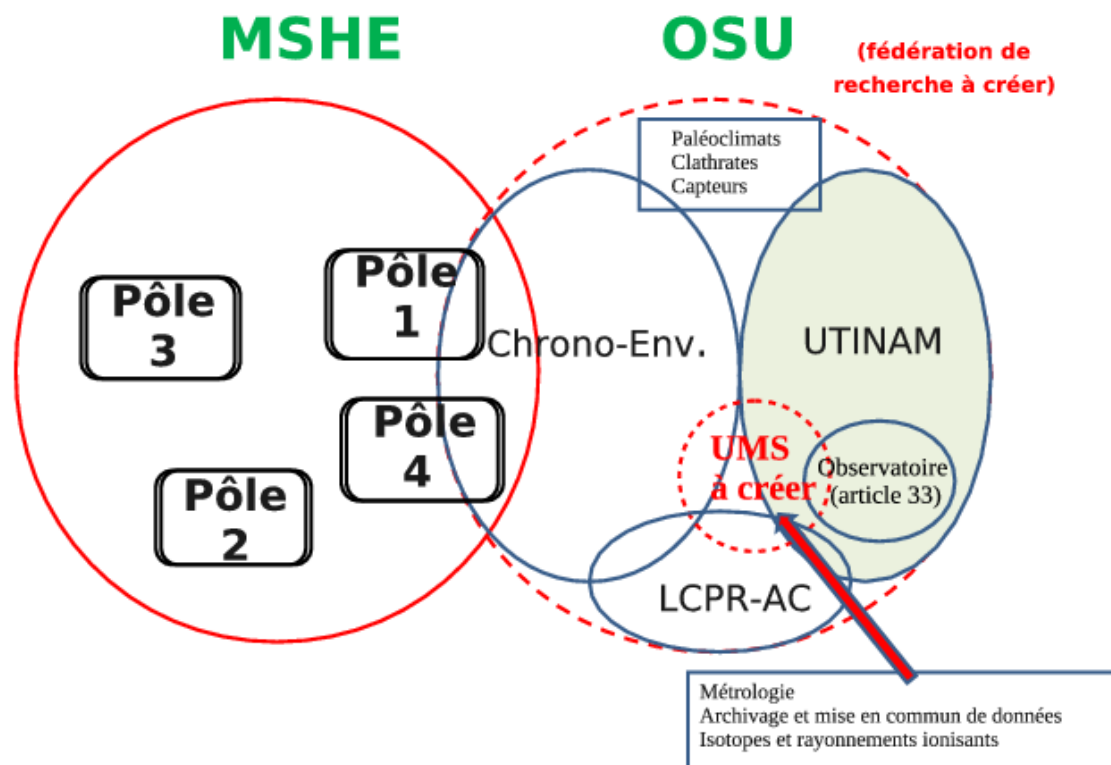


FIG. I.3 – Interactions entre la MSHE Ledoux et l’OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne. Les contours en pointillés représentent les structures à créer.

que des effets de l’anthropisation sur les milieux naturels. Ainsi, le pôle 4 de la MSHE Ledoux est intitulé “Homme et Environnement” et concerne des thèmes de recherche du Laboratoire Chrono-Environnement dans le domaine des SHS ou en interactions fortes avec ces disciplines (archéologie, paléoclimatologie des derniers millénaires, anthropisation des milieux naturels). Comme le montre la figure I.3, Chrono-Environnement réunit donc des activités de recherche tournées vers les SHS qui rentrent de plein droit dans la MSHE Ledoux et des recherches en sciences de la vie et de la Terre qui émergent directement dans l’OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne. Cependant, si on peut clairement assigner certaines recherches comme étant du ressort de la MSHE ou de l’OSU, la ligne de partage entre ces deux structures complémentaires est laissée volontairement poreuse afin de favoriser les échanges. En particulier, les moyens mutualisés au sein de l’UMS de l’OSU pourraient intéresser des équipes de Chrono-Environnement, même celles qui semblent plus naturellement tournées vers la MSHE Ledoux.

I-2.3.2 L’Institut Buffon

La Fédération de Recherche 'Institut Buffon' du campus dijonnais fédère, autour d'une version moderne et réactualisée de l'Histoire naturelle, un ensemble d'unités de recherche adossées aux grands organismes qui pilotent la recherche bourguignonne :

- 7 UMR impliquant l'université de Bourgogne, l'INRA, l'ENESAD et le CNRS,
- 2 unités ENESAD,
- 2 unités expérimentales INRA,

pour un total de 182 chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs.

À l'instar du célèbre naturaliste, à la fois géologue, agronome et biologiste, cette fédération rassemble des compétences complémentaires dans le domaine de la recherche et de l'ingénierie des systèmes naturels, à l'interface entre biogéosciences, agronomie et sciences de l'évolution.

La notion de système, qui privilégie la recherche interdisciplinaire, réunit les approches développées à plusieurs niveaux d'étude de la biosphère et de la géosphère :

- agrosystèmes,
- écosystèmes,
- géosystèmes,
- systèmes symbiotiques,
- systèmes de reproduction,
- systématique et évolution.

I-2.3.3 Le Dispositif de Partenariat en Écologie et Environnement Bourgogne/Franche-Comté

Le DIPEE Bourgogne Franche-Comté (DIPEE B.F-C) couvre l'ensemble des mots-clefs proposés par l'Institut INEE du CNRS : biodiversité, écologie, environnement, relations homme-milieux. La mise en place du DIPEE signifie que les deux laboratoires principaux (Chrono-Environnement et Biogéosciences) doivent s'accorder pour construire ensemble un projet qui identifie des plates-formes, les moyens (matériels et humains) les accompagnant et les thématiques s'y rapportant. Institutionnellement, le DIPEE B.F-C est amené à s'ancrer sur le PRES. Dans ce cadre il est souhaitable que les futures plates-formes du DIPEE puissent être aussi labellisées PRES et soient, le cas échéant, gérées dans le cadre du PRES. Elles auraient également vocation à intégrer l'UMS de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne. Le DIPEE B.F-C est adossé à l'Institut Buffon (Bourgogne) et à la MSHE C.N. Ledoux (Franche-Comté). Il partage aussi une interface avec le projet d'extension vers la Bourgogne de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne. Enfin, il a vocation à afficher une interface avec le centre INRA de Dijon et la future "Très Grande Unité" du Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation (TGU CSGA) INRA-uB en agro-environnement. Par ailleurs, il bénéficiera d'un double partenariat avec les régions de Bourgogne et de Franche-Comté.

I-2.4 Relations avec les agences et organisations nationales et internationales

- CNES (Centre National d'Études Spatiales) : Compte-tenu de l'implication directe de l'observatoire de Besançon dans plusieurs expériences spatiales et de l'appui indirect qu'il fournit via le Temps-Fréquence, les relations avec le CNES sont multiples. Elles se traduisent principalement par le financement de projets de recherche, d'allocations de thèse, de bourses post-doctorales et de CDD ingénieur.
- ESA (European Space Agency) : Les liens à l'ESA concernent la participation de l'observatoire de Besançon à GAIA, mais également à d'autres grandes missions de l'ESA (ACES/Pharao, ...). En outre, L'ESA, comme le CNES, d'une part sont des utilisateurs d'INPOP pour la préparation et la navigation des futures missions spatiales et, d'autre part, nous fournissent des données de suivis des 2 sondes européennes Mars Express et Venus Express. L'observatoire de Besançon a également été chargé de réaliser des simulations de la mission spatiale Bepi-Colombo en vue de tests de physique fondamentale.
- ESO (European Southern Observatory) : L'Observatoire est utilisateur régulier des télescopes et instruments de l'ESO. Il fournit également des experts pour des groupes de travail (ESO-ESA Working Group on Galactic Populations, Chemistry and Dynamics, report n° 4, 2008) et pour l'OPC (Observing Programmes Committee) pour la distribution du temps d'observation.
- ESF (European Science Foundation) : L'observatoire participe à plusieurs réseaux européens, notamment le réseau RNP (Research Networking Program) GREAT (Gaia Research for European Astronomy Training, <http://www.esf.org/index.php?id=6811>) dont l'objectif est la structuration des chercheurs intéressés en Europe et la formation de jeunes chercheurs à l'exploitation des données du satellite Gaia et aux thématiques qui vont bénéficier de cette mission (astrométrie, structure et évolution galactique, physique stellaire, physique du système solaire, physique fondamentale). Une demande de réseau ITN (Initial Training Network) a été déposée fin 2009 sur le même sujet.
- LNE (Laboratoire National de métrologie et d'Essai) : Les activités de service en Temps-Fréquence de l'observatoire de Besançon sont maintenant intégrées dans le "Laboratoire Temps-Fréquence de Besançon" (LNE-LTFB), dont le responsable est un ingénieur de l'Observatoire de Besançon. Ce service qui regroupe en une seule entité les activités d'étalonnages réalisées par l'observatoire de Besançon (stabilité à long terme, exactitude de fréquence) et par Femto-ST (stabilité à court terme, pureté spectrale), est une Unité Technique associée au Laboratoire National de Métrologie et d'Essai (LNE) qui chapeaute toute la métrologie française.
- BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) : La participation au Temps Atomique International est une des missions de l'observatoire de Besançon (Service d'Observation 1). Le Bureau International des Poids et Mesures ayant la charge de la réalisation de cette échelle de temps, l'observatoire de Besançon est en interaction régulière avec cet organisme pour, d'une part, lui transférer le temps de nos horloges atomiques afin qu'il les prenne en compte dans le calcul du TAI, et d'autre part, recevoir du BIPM l'écart de chacune de ses horloges avec le TAI.

I-2.5 Partenariats industriels

Un des axes de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne concerne les applications industrielles et sociétales, portées en particulier par BioGéoSciences. Il est bien évidemment mené en partenariat avec des organismes extérieurs parmi lesquels figurent des compagnies pétrolières et des sociétés de service (TOTAL, GDF, EXXON, BEICIP, Cambridge Carbonates, NIOC, etc), des compagnies minières (AREVA), des organismes publics (ANDRA, IFP, BRGM) et d'autres universités françaises et étrangères (Marseille, Bordeaux, Liège, Genève, Marrakech, etc.). Ces partenariats permettent :

1. un accès à des cas d'études nombreux et diversifiés ;
2. de financer une forte proportion des thèses encadrées par les membres de l'équipe SEDS de BioGéoSciences ;
3. de financer ou de co-financer des projets de recherche et d'équipement ;
4. d'assurer de bons débouchés professionnels aux étudiants de master et docteurs.

Ces applications s'appuient sur des problématiques de recherche qui concernent les processus sédimentaires, diagénétiques et tectoniques qui aboutissent à la création ou à la destruction d'un réservoir carbonaté en profondeur. Devant l'ampleur d'un tel sujet, seuls trois chantiers de recherche ont été définis, sur la base des recherches actuelles, des thèses en cours et à venir, et des futures collaborations avec l'industrie.

I-2.6 Liens avec les collectivités et services de l'état

La collecte et la maintenance de données d'observations sur le long terme sont conduites à l'occasion de contrats de recherche dont la continuité pluriannuelle est assurée au gré de programmes de recherche à court et moyen terme. Ces contrats intègrent des démarches de recherche-action associant à la recherche un nombre important de partenaires non conventionnels de la recherche ayant mission d'observation (ex. suivi de pestes agricoles, émergence de maladies ou de sources d'exposition, gestion des espaces naturels, etc...). Ils se traduisent par :

- un partenariat continu depuis le début des années 80 avec les services de l'état tels que la DRAF et les organismes professionnels agricoles concernés, ainsi que la Région de Franche-Comté. Compte tenu de l'expérience spécifique acquise par chacun des partenaires au cours des programmes de recherche-action et de lutte contre le campagnol terrestre depuis 1992, les trois organismes ont contractualisé une coopération afin de constituer un pôle de compétence à vocation nationale sur les thèmes : rongeurs - environnement - santé publique
- Le laboratoire Chrono-environnement réalise dans le cadre du programme Life Forêt de Chaux "Ruisseaux de têtes de bassins et faune patrimoniale associée" (LIFE04NAT/FR/000082, en partenariat avec l'ONF et les Parcs naturels régionaux) un suivi à long terme du régime hydrique des sols du massif de la forêt de Chaux (www.liferuisseaux.org). Le programme de travaux (réméandrement, implantation de bouchons) permet la reconstitution des réserves hydriques des sols et la restauration des écoulements de surface. Les données collectées (hauteur de nappe, potentiel hydrique du sol, humidité volumique,

paramètres météorologiques) de manière régulière depuis une dizaine d'années constituent un référentiel quasi unique pour aborder le fonctionnement hydrique d'un écosystème forestier de basse altitude et de détecter d'éventuelles modifications liées aux changements climatiques globaux.

- Le LCE est engagé dans un programme de caractérisation de la variabilité spatiale des propriétés édaphiques des sols dans le cadre d'un projet d'appellation d'origine contrôlée (AOC) "Bois résineux du Jura". Le laboratoire est tête de réseau des travaux de recherche relatifs aux suivis des terroirs forestiers qui impliquent également l'Université de Neuchâtel, les organisations forestières suisses et françaises et le Conseil Régional de Franche-Comté
- Afin de créer une base de référence sur la salubrité du logement, des investigations microbiologiques de domiciles sont soutenues par la Direction générale de la santé, et effectuées en partenariat avec le Service Hygiène et Santé de la ville de Besançon, la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales du Doubs et du Territoire de Belfort.
- Un professeur récemment affecté à l'UFC et au labo CE a collaboré au projet Interreg IIIA franco-suisse Gestion intégrée des paysages sylvo-pastoraux de l'Arc Jurassien, associant du côté suisse le Conseil régional de Franche-Comté et la Délégation interministérielle à l'aménagement et à la compétitivité des territoires (DIACT - Commissariat du Massif du Jura), et fournissant des outils d'inventaire et de diagnostic de la végétation pour la gestion durable des écosystèmes sylvo-pastoraux.
- Le CHU du Besançon est chargé par l'Institut national de veille sanitaire, au sein du Centre collaborateur OMS pour la prévention et le traitement des échinococcoses humaines dont l'unité de recherche chrono-environnement est membre, de la collection et du maintien d'une base des données des patients diagnostiqués pour l'échinococcosse alvéolaire. Le registre a été initialement constitué en 1982 et sert de base à des études d'épidémiologie environnementales depuis cette époque.

Les acteurs de l'environnement en Franche-Comté ont pris conscience de l'importance de la consolidation et la diffusion de la connaissance environnementale pour améliorer la préservation des milieux et de la biodiversité. Les décideurs publics ont besoin de cette disponibilité de l'information pour améliorer la pertinence et l'efficacité des politiques environnementales, et permettre leur évaluation. La DIREN de Franche-Comté, en concertation avec le conseil régional, a lancé à l'automne 2008 une consultation pour la mise en place d'une plate-forme partenariale régionale des données environnementales. A terme, cette plate forme sera structurée à partir de trois domaines :

- le patrimoine naturel (nature et paysage) en constituant un observatoire régional,
- la qualité de l'air, l'énergie et le changement climatique,
- les relations entre santé et environnement.

Les compétences spécifiques d'un OSU conjointement en matière d'ingénierie informatique scientifique (architecture distribuée, développement de services scientifiques en ligne, etc.) et en matière des sciences de l'écologie (biologie des populations et des communautés, modélisation mathématique, écotoxicologie, écophysiologie, etc.) justifient que le projet d'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne soit actuellement pressenti pour être un organisme support à ce projet qui, à moyen terme, pourrait évoluer vers un "observatoire régional du patrimoine naturel".



FIG. I.4 – La vipère, poinçon de l’observatoire de Besançon.

Enfin, la vocation historique de l’observatoire de Besançon d’assurer une mission chronométrique a été réactualisée par une demande très forte de la haute horlogerie qui désire faire certifier sa production très haut de gamme par un organisme indépendant. L’observatoire de Besançon, dont le poinçon à tête de vipère (voir figure I.4) est resté dans la mémoire des amateurs d’horlogerie ancienne comme un gage de très haute qualité, semble pour les fabricants de montre de prestige la seule alternative. Il est en effet un des trois organismes dans le monde habilités à décerner le titre de chronomètre, avec le Contrôle Officiel Suisse de Chronomètres (COSC) à Genève et l’observatoire de Glasshütte, en Allemagne. Alors que le COSC est en situation de quasi-monopole et impose aux déposants de ne contrôler que les mouvements dans des boîtiers de travail, alors que l’observatoire de Glasshütte est devenu une marque et a donc cessé de prétendre à l’indépendance, l’observatoire de Besançon reste le seul établissement indépendant contrôlant les produits finis. Plusieurs grandes marques ont commencé à déposer des montres à l’observatoire de Besançon, et certaines envisagent même de venir s’installer à Besançon. Ce dossier est évidemment suivi avec la plus grande attention par la municipalité, qui voit là l’occasion rêvée de redonner à la ville de Besançon son rang de capitale de l’horlogerie française, voire même de lui faire jouer un rôle de premier plan dans l’industrie du luxe.

I-2.7 La diffusion des connaissances

La diffusion de la culture scientifique est une des missions identifiées des OSU. Elle fait déjà partie intégrante des pratiques de l’actuel observatoire de Besançon et des laboratoires concernés par ce projet. Les laboratoires possèdent un service de communication et de culture scientifique et s’appuient sur les services communs des Universités. À ce titre, les membres des laboratoires participent aux actions de diffusion de la CST gérés par les Missions CST des Universités et les CCSTI (fête de la science, nuit des chercheurs, nuit des étoiles, etc.).

I-2.7.1 L’expérimentarium

L’Experimentarium (<http://www.u-bourgogne.fr/experimentarium/>) est un programme de rencontres entre des jeunes chercheurs et le grand public. Cette rencontre est l’occasion de mieux connaître le monde de la recherche et de se rendre compte que la science est avant tout une activité humaine, faite d’imagination, d’observations, d’hypothèses, de remises en question et de découvertes... Autour d’expériences ou

d'objets de leur quotidien, des chercheurs de disciplines diverses (géologie, paléontologie, physique, biologie, littérature, psychologie, histoire, etc.) dialoguent avec des petits groupes de visiteurs.

I-2.7.2 Le projet de “Jardin de la Découverte”

Les collectivités locales et l'UFC sont actuellement investies dans une étude pour finaliser le projet d'établir un lieu de diffusion de la CST de l'UFC au sein du parc de l'observatoire en valorisant son patrimoine scientifique et en y implantant le jardin botanique. Ce serait le lieu où toutes les recherches effectuées à l'Université de Franche-Comté pourraient être présentées au grand public. Il est également envisagé d'y implanter un planétarium et la maison de l'environnement. La vocation de ce projet est de dynamiser le dialogue “Science et Société” en particulier concernant les domaines de l'observation des sciences de l'univers et de l'environnement.

I-3 Intégration dans le PRES Bourgogne/Franche-Comté

Les laboratoires francs-comtois constitutifs de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne ont déjà tous des liens étroits avec des laboratoires bourguignons :

- le laboratoire Chrono-Environnement avec BioGéoSciences, qui constituent le noyau dur du DIPEE Bourgogne/Franche-Comté
- le LCPR-AC avec le CEA de Valduc, puisque le LCPR-AC est une UMR UFC/CEA
- l'Institut UTINAM avec l'ICB, au travers notamment du pôle planétologie et du programme blanc ANR CoMoC.

C'est donc tout naturellement que, dans un second temps, l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne s'ouvre aux laboratoires de l'Université de Bourgogne (uB) qui désirent y rentrer : BioGéoSciences (UMR uB/CNRS 5561), le Centre de Recherches de Climatologie (UMR 5210 uB/CNRS 5210) et l'équipe “ Spectroscopie Moléculaire et Applications” du laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (UMR uB/CNRS 5209). Ils seront rattachés à l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne, qui deviendra ainsi l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne, par convention entre les Universités de Bourgogne et de Franche-Comté¹. De même, le département Temps-Fréquence de l'Institut Femto-ST sera accueilli au sein de l'OSU, par convention entre l'Université de Franche-Comté, l'Université Technologique de Belfort-Montbéliard et l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques de Besançon.

Ce projet participe donc de la logique synergique qui a amené ces universités à constituer le PRES Bourgogne/Franche-Comté. Il devrait en constituer un des fleurons.

¹Rappelons qu'un OSU ne peut dépendre que d'une seule université de tutelle, en l'occurrence l'Université de Franche-Comté.

Chapitre II

Services d'observation

II-1 Les services d'observations existants

II-1.1 Section Astronomie et Astrophysique

Comme tous les OSU, l'observatoire de Besançon est lié directement et indirectement à des Services d'Observation à des degrés divers : il est officiellement labellisé pour réaliser certains SO, il participe à d'autres et enfin, certains de ses astronomes effectuent leurs tâches de service dans le cadre de SO placés sous la responsabilité d'autres établissements. En particulier, l'observatoire de Besançon a officiellement en charge des SO concernant la métrologie du temps et des fréquences, les grands relevés et participe à l'Observatoire Virtuel.

Cependant, nous sommes en train de réorganiser nos services d'observation autour d'un projet qui fédère les compétences présentes à l'observatoire de Besançon et qui correspond à un besoin crucial pour la préparation des missions spatiales : le projet SERES (pour Simulation d'étoiles et REStitution d'orbite).

II-1.1.1 Métrologie du Temps et des Fréquences

Le service temps-fréquence de l'observatoire de Besançon est l'héritier de la vocation régionale historique dans le domaine de la métrologie du temps et des fréquences.

Aujourd'hui il représente une infrastructure technique cohérente et performante. Le cœur de cette infrastructure est constitué par les trois étalons atomiques à jet de césium maintenus dans un environnement contrôlé satisfaisant aux exigences internationales dans ce domaine. Cet environnement et sa pérennité sont les bases de la contribution de l'observatoire d'une part à l'élaboration des références de temps et de fréquences nationales et internationales et d'autre part à la diffusion de ces références dans le tissu académique et industriel.

Plusieurs récepteurs GPS dédiés temps-fréquence sont exploités et permettent à la fois :

- la contribution des étalons à TA(F) (le temps atomique français est constitué par la participation d'une vingtaine d'étalons atomiques nationaux et est coordonné par le LNE-SYRTE à l'observatoire de Paris) et au TAI (le Temps Atomique International implique entre 250 et 300 étalons dans le monde entier, et est établi par le Bureau International des Poids et Mesures BIPM).
- le raccordement à ces références : vital pour le laboratoire temps- fréquences, ce raccordement assure la traçabilité de l'ensemble des étalonnages et mesures effectués au sein du laboratoire.

La présence historique sur le campus de la Bouloie de trois laboratoires temps-fréquence (LCEP, LPMO, observatoire) est à l'origine d'un brouillage de l'image du temps-fréquence bisontin auprès des instances nationales (le LNE, laboratoire national de métrologie et d'essais qui est l'organisme national en charge de l'ensemble de la métrologie française) et internationales (BIPM).

En conséquence, il a été créé en 2008 le LTFB (Laboratoire Temps-Fréquence de Besançon) qui a pour but de présenter un guichet unique à la fois vers le LNE et BIPM et vers les utilisateurs des services proposés. Le LTFB regroupe les activités accréditées des trois laboratoires historiques (LCEP et LPMO regroupés dans FEMTO-ST et UTINAM).

La dernière étape de cette rationalisation fut la signature du contrat d'association entre l'université de France-Comté et le Laboratoire National de métrologie et d'Essais (LNE) en février 2009.

Le LNE-LTFB est, depuis, l'entité qui assure la visibilité nationale et internationale des activités temps-fréquence à Besançon dans un cadre purement métrologique.

Cette création, l'association au LNE et l'augmentation de la lisibilité internationale qui en est résultée ont sans aucun doute grandement contribué à la reconnaissance début 2009 par le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) des CMCs (Calibration and Measurement Capabilities) nationales en temps- fréquence. Ces CMCs constituent la vitrine internationale en métrologie pour chaque pays. Le LNE-LTFB y figure en bonne place aux côtés du laboratoire primaire, le LNE-SYRTE. (http://kcdb.bipm.org/appendixC/TF/FR/TF_FR.pdf)

La mutualisation des équipements lourds (et donc coûteux) des trois laboratoires est un autre effet grandement positif de cette création. Le développement du lien optique entre les trois laboratoires permet de partager les signaux des étalons respectifs de chacun : ainsi les trois laboratoires bénéficient maintenant à la fois des trois étalons au césium de l'observatoire et du maser à hydrogène de FEMTO-ST.

Les activités d'étalonnage qui regroupent les actions de diffusion des références nationales dans le tissu académique et industriel ont débuté à l'observatoire dès 1971. Elles sont l'évolution naturelle des activités de contrôles chronométriques qui ont été la principale motivation de la création de l'observatoire de Besançon.

Aujourd'hui ces activités couvrent un champ allant du chronographe à quartz à l'horloge atomique. Les grandeurs caractérisées sont, pour résumer : intervalle de temps, fréquence, stabilité de fréquence à court, moyen et long terme, et mesure de bruit de phase. La portée détaillée est consultable notamment sur le site du BIPM (http://kcdb.bipm.org/appendixC/TF/FR/TF_FR.pdf).

Au-delà de ces prestations d'étalonnage, le service assure également des tâches de développement d'instrumentation spécifique dans le cadre de ses missions de diffusion des références de temps et de fréquences.

Le développement du récepteur GPS SYREF initié en 2002 à l'observatoire est un excellent exemple de l'imbrication des problématiques de service, de développement et de recherche.

Reprenant comme base des solutions techniques développées pour les besoins de la recherche dans le cadre de l'observatoire AUGER, ce récepteur SYREF a été spécifiquement développé pour assurer le raccordement en fréquence à distance des références de fréquence ; les utilisateurs bénéficient ainsi d'un service continu et entièrement automatisé de raccordement sous accréditation.

En 2009, une vingtaine de laboratoires en France et au Luxembourg exploitent un récepteur SYREF, fermant ainsi la boucle recherche/développement/service.

Ce service de raccordement par GPS représente environ 50% (environ 250 certificats d'étalonnage par an) de l'activité d'étalonnage du LNE-LTFB ; les autres prestations (250 certificats) concernent d'une part des instruments dédiés temps-fréquences (sources de fréquences, instruments de mesure, ...) et d'autre part des instruments type chronographe.

Enfin, le service Temps-Fréquence développe à la demande des instrumentations temps-fréquence spécifiques pour les OSU.

II-1.1.2 Préparation de la mission spatiale Gaia

Le but premier du projet spatial Gaia est l'étude de la Galaxie à partir de mesures d'astrométrie globale, de photométrie et de spectroscopie. Il s'agit d'une mission de relevé visant à observer toutes les sources du ciel jusqu'à la magnitude limite $V = 20$, soit environ 10^9 étoiles, quasars et objets du système solaire. La précision astrométrique nominale est de $25 \mu\text{as}$ (sur les parallaxes) pour une étoile de type solaire de magnitude $V = 15$. Les données ainsi obtenues couvriront une fraction significative du volume de notre Galaxie : la précision et la sensibilité de Gaia permettront de détecter et de mesurer la position et la vitesse des étoiles depuis le voisinage du Soleil, au travers du disque jusqu'au bulbe au centre de la Galaxie. De plus, les amas globulaires du halo qui entourent le disque et le bulbe de la Galaxie seront observés. Par la combinaison des données astrométriques, photométriques et spectroscopiques Gaia va clarifier la composition, la formation et l'évolution de notre Galaxie.

Au cours des 5 ans de la mission, Gaia va accumuler des données photométriques et spectroscopiques de grande précision sur tous les types d'étoiles. Il sera alors possible d'estimer précisément les températures de surface, les abondances chimiques, les masses et de déterminer l'extinction par le milieu interstellaire pour l'ensemble des domaines couverts par le diagramme Hertzsprung-Russel. Ceci va fortement étendre notre compréhension de la structure et évolution stellaire, et permettre de nouveaux développements théoriques dans les modèles des intérieurs stellaires.

Pour les plus de 300 000 étoiles de magnitude supérieure à 13 et à moins de 200 parsecs du Soleil et de type spectral solaire susceptibles d'héberger un système planétaire, ces données physiques s'ajouteront à des informations astrométriques d'une précision sans précédent. On estime donc que Gaia devrait découvrir plusieurs milliers de systèmes planétaires extra-solaire, apportant ainsi une contribution majeure à cette science.

Bien évidemment, l'ensemble des objets du système solaire plus brillants que la magnitude 20 seront détectés par Gaia, offrant ainsi un ensemble de données homogènes sans précédent (500 000 à 1 000 000 d'objets observés 50 à 100 fois au cours de la mission) pour l'étude de notre système. De plus, de par sa position au point L2 de Lagrange, Gaia sera en mesure d'observer jusqu'à une distance angulaire de 45° du Soleil des régions inaccessibles depuis la Terre, comme les orbites intérieures à celle de notre planète.

La mission a été adoptée par l'ESA comme Pierre Angulaire en octobre 2000, avec une date de lancement au plus tard en 2012. La communauté scientifique a la charge et la responsabilité du traitement des données. Jusqu'à la fin de 2005 le travail des équipes scientifiques s'est effectué dans le cadre des groupes de travail. Ceux-ci ont été dissous en fin d'année après la mise en place du Consortium de Réduction et d'Analyse des Données et de ses huit Unités de Coordination (CU) thématiques. L'observatoire de Besançon participe à la préparation de la mission spatiale Gaia dans plusieurs CU du consortium DPAC.

Dans la CU2 (simulations) Annie Robin et Céline Reylé ont la responsabilité du développement du modèle de l'Univers pour le simulateur de Gaia (voir figure II.1). Initialement basé sur le modèle de la Galaxie développé à Besançon, il a évolué avec l'ajout de nombreuses sources astrophysiques : objets du système solaire, exoplanètes, étoiles multiples, naines brunes, étoiles variables, nébuleuses, quasars, galaxies. Couplé à un modèle de satellite et de ses instruments, ce simulateur permet de tester la télémétrie, tester les algorithmes de détection, de réduction et d'analyse. Le rôle de l'observatoire de Besançon est un rôle de développement d'une part et de coordination d'autre part.

Dans la CU1, Agnès Fienga participe au développement des éphémérides planétaires dédiées à la mission Gaia. Il s'agit de produire d'une part des éphémérides planétaires suivant un cahier des charges en termes de précision dans le positionnement et l'estimation des vitesses barycentriques des planètes du système solaire. En particulier, l'estimation de la vitesse barycentrique de la Terre est un point important pour toutes les déterminations de vitesses radiales prévues dans Gaia. D'autre part, les mesures des multipôles de Jupiter prévues dans Gaia nécessitent un positionnement de grande précision. Enfin, l'astrométrie de Gaia demande une datation de haute précision nécessitant le développement d'échelles de temps relativistes cohérentes.

Dans la CU4 (Object Processing), l'équipe ARTE de l'Observatoire de Besançon est impliquée dans la thématique Solar System Objects. Jean-Marc Petit a la responsabilité du Development Unit (DU) "Object Threading" qui a pour but de repérer et lier les différentes observations d'un seul et même objet au cours des 5 ans de la mission qui donneront lieu à environ 50 à 100 observations indépendantes de chaque objet. Ce passage est indispensable à la reconnaissance d'objets du système solaire, à la détermination de leurs orbites et de leurs propriétés physiques, et donc à la contribution de GAIA sur l'étude du système solaire. Par ailleurs, les membres du groupe "Système Solaire" de l'équipe ARTE participent : (1) à la détection des observations

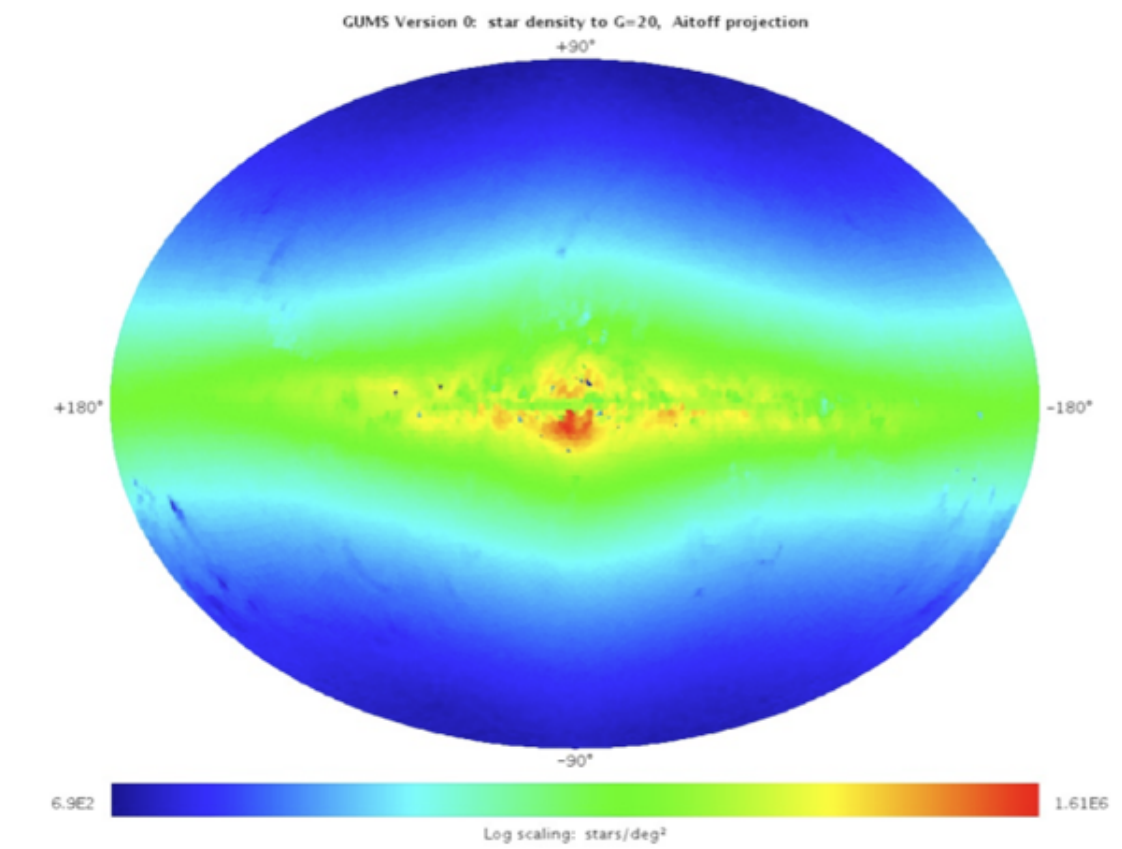


FIG. II.1 – Densité d'étoiles par degré carré sur le ciel simulée par le Gaia Universe Model.

d'objets mobiles (objets du système solaire), c.a.d. les objets ayant un mouvement notable durant la traversée d'un seul champ de vue de GAIA ; la plupart du temps, les objets du système solaire auront un mouvement lent, et il faudra les identifier sans être contaminé par trop de faux positifs ; et (2) à la détection et la caractérisation d'activité cométaire autour de certains petits corps dans le cadre du DU "Physical Parameters".

Dans la CU7, Mathias Schultheis participe au développement d'outils pour la détection et la mesure des étoiles variables à longue période, en particulier les étoiles AGB. La détermination précise des paramètres de ces étoiles (période, amplitude et luminosité), couplée avec la distance, est importante pour placer ces étoiles dans le diagramme Hertsprung-Russell.

II-1.1.3 Bases de données et Observatoire Virtuel

L'observatoire virtuel astronomique, projet international démarré au tournant de l'an 2000, est un ensemble d'outils reposant sur des standards définis au niveau international et constituant une couche d'accès à des données astronomiques et à des services accessibles sur le réseau internet, afin de favoriser la recherche en astronomie sur les énormes quantités de données maintenant à disposition. Le Laboratoire d'Astrophysique de l'Observatoire de Besançon, intégré dans l'institut UTINAM en janvier 2007, s'est intéressé dès 2002 à ce projet du fait des outils de simulation et des bases de données astronomiques qu'il avait rendus accessibles en ligne dès le milieu des années 1990. Au modèle de la Galaxie et à la base de données des étoiles doubles et multiples BDB, sont venus s'ajouter les développements initiaux de la base des données des excitations moléculaires collisionnelles BASECOL (maintenant à l'Observatoire de Paris) ainsi que les bases de données des petits corps du système solaire externe concernant d'une part la photométrie des objets de Kuiper et des Centaures et, d'autre part, les éléments orbitaux des objets transneptuniens.

Des membres du laboratoire ont participé, en lien avec les développements du modèle de la Galaxie et des besoins en terme de comparaison des simulations avec les résultats des grands relevés galactiques à des réunions au niveau national et international, notamment en ce qui concerne la définition des standards nécessités par l'intégration dans l'observatoire virtuel de données théoriques issues de simulations, ainsi qu'à des ateliers et des écoles, organisés au niveau national ou européen.

Suite au transfert de la base de données des étoiles doubles et multiples à l'Institut d'Astronomie de l'Académie des Sciences de Russie (INASAN), l'implication de l'observatoire et de l'équipe ARTE de l'Institut UTINAM s'oriente maintenant suivant 2 axes :

- L'accès aux résultats de simulation du modèle de la Galaxie de Besançon sous forme de catalogues d'étoiles simulées. Ces catalogues pourront être directement comparés aux données de grands relevés (CFHTLS, SDSS, 2MASS) et faciliter leur analyse. Un accès au simulateur du modèle de la Galaxie sous forme d'un service web complet permettra, à terme, de nouvelles applications, par exemple la classification bayésienne des étoiles.
- L'intégration des bases de données des petits corps du système solaire dans l'observatoire virtuel en partenariat avec l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides de l'Observatoire de Paris

(IMCCE), afin par exemple d'offrir les données disponibles via les services d'information de l'IMCCE sur l'ensemble des corps du système solaire. Un service WEB offrira l'accès à un simulateur s'appuyant sur ces bases de données et permettra de tester des modèles de formation et d'évolution du système solaire externe.

II-1.2 Sections Surfaces Continentales, Océan, Atmosphère et Sciences de la Terre

Comme la plupart des unités de recherche en environnement, le laboratoire de chrono-environnement ne dispose pas de personnel technique dédié pour réaliser les observations nécessaires à la collectivité des chercheurs. La collecte et la maintenance de données d'observations sur le long terme est donc le résultat de la volonté individuelle des chercheurs impliqués dans l'étude des processus à long terme. Elle est aussi le témoin de leur capacité à assurer la continuité de ces recherches à travers la succession de réponses à appel d'offre de durées de 2-5 ans tout au plus. Ces recherches sont conduites pour un certain nombre en collaboration avec des organismes partenaires (organismes agricoles, cynégétiques, gestionnaires de réserve, associations naturalistes, collectivités, etc) intéressés aux résultats et disposant de réseaux techniques complémentaires.

Depuis le début des années 80 plusieurs dizaines de programmes ont permis la constitution de bases de données de variables d'état, des lieux, des protocoles de leur obtention, et donc des séries chronologiques d'observation longues, parfois sur deux à trois générations de chercheurs, notamment dans le domaine de l'hydrogéologie, de l'écologie des petits vertébrés et des transferts de contaminants environnementaux (figures II.3 et II.4).

Des recherches incluant des protocoles mesure de variables environnementales clé dans le domaine de l'observation à long terme sont aussi conduites à propos des retombées de radionucléides (mesures et banque de sol pré-Tchernobyl), des sols forestiers (hydromorphie de la forêt de Chaux), des tourbières (programme PeatWarm), etc.

Enfin, plus récemment, Chrono-Environnement est porteur de projet ou partenaire de plusieurs demandes de SOERE (voir II-2.2).

II-1.2.1 Surveillance des écosystèmes et santé

Les chercheurs en écologie et les gestionnaires de ressources naturelles reconnaissent de longue date l'importance de l'observation à long terme pour comprendre le fonctionnement et fonder la gestion des systèmes environnementaux complexes. La collecte de données sur le long terme est essentielle dans de nombreux cas comme l'étude des modalités et des réponses aux perturbations (impact de l'anthropisation, des changements climatiques, etc.), la détection et l'évaluation précoce des effets de ces réponses (par exemple l'émergence de pathogènes, l'extinction ou l'invasion d'espèces, le changement d'efficacité des processus liés aux services rendus par les écosystèmes (dénitrification, régulation de l'eau, etc.). La boucle de rétroaction mise en œuvre dans ce type de programme d'observation à long terme est résumée dans la figure II.2. Les études qui ont fourni à la

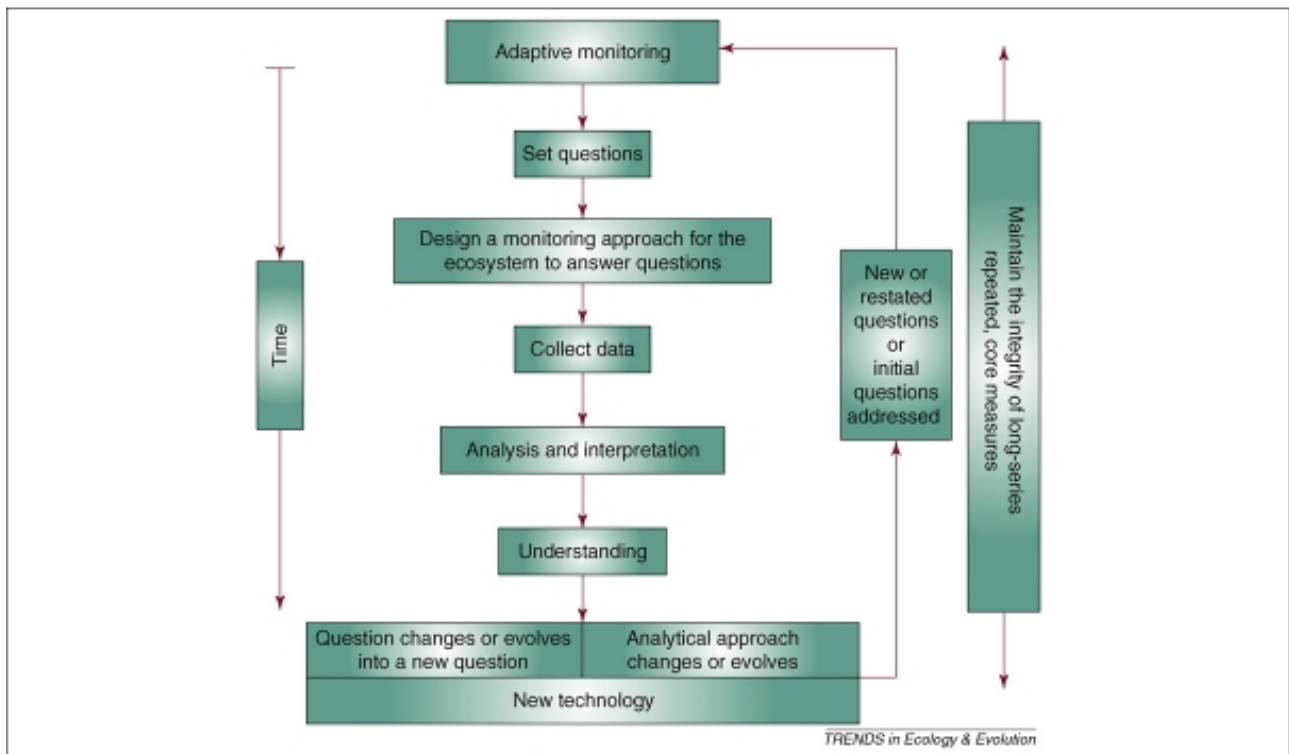


FIG. II.2 – Schéma d'un processus de monitoring adaptatif pour l'observation et la recherche à long terme, poitant le nécessaire maintien de l'intégrité d'un noyau de mesure autour duquel évolue le système de questionnement (d'après [Lindemayer, 2009]).

communauté des chercheurs et des gestionnaires les meilleurs résultats réunissent les caractéristiques suivantes [Lindemayer, 2009] : (1) l'existence de questions fondamentales et finalisées explicites et bien identifiées au démarrage du programme (2) la capacité à renouveler ces questions au fur et à mesure du traitement des questions initiales, (3) un experimental design robuste (4) une haute qualité dans la collection de données et une attention particulière portée au stockage des données et échantillons de terrain (5) un partenariat collaboratif bien développé entre chercheurs, gestionnaires et membres d'autres groupes clés intéressés aux résultats du monitoring et à la gestion du système étudié, (6) un accès à des ressources financières régulières et (7) une forte et durable gouvernance du projet.

Le défi du maintien de collection de données sur le court, moyen et long terme (dépassant probablement l'échelle du millénaire [Cheke, 2003]) fait partie des enjeux scientifiques critiques actuels des sciences de l'environnement, notamment en écologie. Comme nous le verrons plus loin, l'unité de recherche Chrono-environnement conduit des recherches à long terme dans un certain nombre de domaines de l'écologie animale et végétale : dynamique des populations et communautés de petits vertébrés terrestres, des communautés végétales et des hydrosystèmes (tourbières, eaux de surface, etc.), la transmission de pathogènes et les transferts de polluants chimiques dans de tels systèmes, l'exposition des populations végétales, animales et humaines à ces contaminants de l'environnement. Les chercheurs impliqués ont capitalisé et capitalisent encore une expéri-

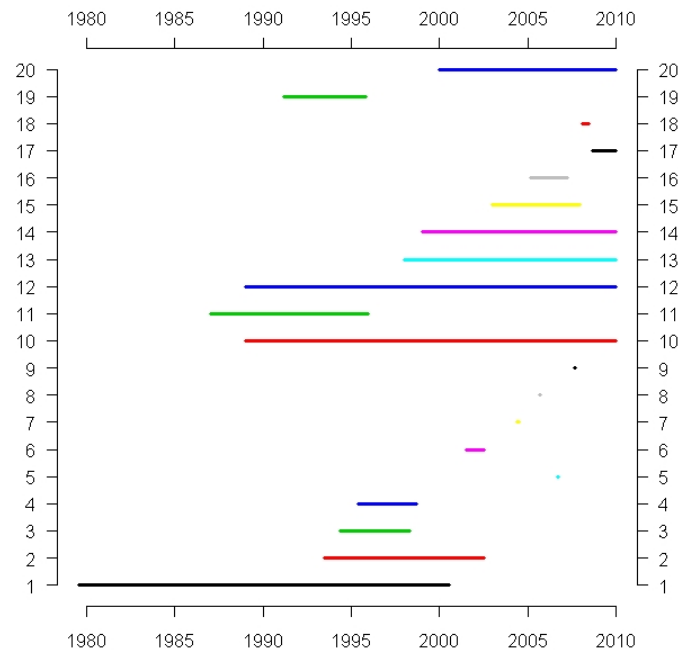


FIG. II.3 – Durée des suivis portant sur l'écologie des communautés de petits mammifères. Chaque étude est archivée de telle manière qu'elle puisse être répétée ou complétée dans le futur (géoréférencement des unités d'échantillonnage, etc.), ainsi que les publications scientifiques qui en sont issues.

ence unique et des données concernant un grand nombre d'écosystèmes mondiaux. Ils éprouvent maintenant le besoin de formaliser cette expérience, d'assurer la sécurisation des données acquises dans les programmes qui ont été conduits et de développer cette approche dans de nouveaux programmes bénéficiant de l'expérience acquise.

Les recherches incluant des protocoles de mesure de variables environnementales clé dans le domaine de l'observation à long terme sont conduites à propos des dynamiques de la végétation, des populations animales (vertébrés pestes agricoles, réservoirs de zoonoses, conservation) et de l'exposition aux substances chimiques, radio-éléments et aux organismes pathogènes (champignons microscopiques, échinocoques, bactéries, virus,...). Les figures II.3 et II.4 illustrent la chronologie et l'étendue géographique de programmes d'observation conduits sur l'écologie des communautés de micromammifères et de certains de leurs pathogènes. Dans le domaine de l'écologie de la santé, par exemple, des échantillons de fourrages géographiquement localisés et datés sont collectés depuis 1987 dans les régions de Franche-Comté et de l'Aveyron en France, et de Kuopio en Finlande. La flore fongique est caractérisée grâce à un protocole quasi-constant et validé par des publications internationales. Ce travail est poursuivi dans le cadre d'un partenariat avec la Mutualité Sociale Agricole de Franche-Comté. D'autres programmes dans le domaine de l'observation à long terme sont aussi conduites à propos des retombées de radionucléides (mesures et banque de sol pré-Tchernobyl), des sols forestiers (hydromorphie de la forêt de Chaux), des tourbières (programme PeatWarm), etc.

L'ensemble de ces programmes qui ont indirectement permis le maintien de ces systèmes d'observation a été soutenu par des réponses à appel d'offre internationaux (Communauté européenne, Instituts de Santé Publique des Etats-Unis) et nationaux. Un certain nombre de plate-formes analytiques existent ou sont en cours de constitution. Par exemple, depuis le 1er janvier 2008 l'UT MARIO du SERAC est accréditée COFRAC selon le programme 135 : Analyses en laboratoire des radionucléides présents dans tous types d'échantillons de l'environnement. Enfin, la plupart de ces études s'appuient sur un partenariat avec les milieux institutionnels, professionnels et associatifs (MSA, DRAF, DRASS, DiREN, FREDON, CIGC, FC25, INVS, AFSSA, etc.).

L'originalité des travaux tient aux approches multi-disciplinaires qui sont intégrées aux approches observationnelles dans le domaine "environnement-santé-métrologie". L'effort actuel porte dans ce cadre sur la mise en place de dispositifs intégrés de gestion de l'information environnementale, le développement de bases de données inter-opérables (notion d'observatoire virtuel en environnement) et modélisation multi-sources.

II-1.2.2 Analyse microbiologique de fourrages en Franche-Comté

Du fait de la relation étroite entre les conditions environnementales (disponibilité en eau, température, pH par exemple) et la croissance des micro-organismes, ceux-ci peuvent être utilisés comme des indicateurs de changements climatiques et d'évolution dans la composition et la structure des sols. Les temps d'observation nécessaires sont alors de plusieurs décennies. Ainsi il existe un réel intérêt de conservation et de gestion des données sur les populations microbiennes de l'environnement. Les chercheurs en mycologie ont collecté depuis 1987 des échantillons de fourrages récoltés dans les régions de Franche-Comté et de l'Aveyron en France, et de Kuopio en Finlande. Ces échantillons, issus de près de 180 points d'échantillonnage, sont géographiquement localisés et datés. La flore fongique est parfaitement caractérisée grâce à un protocole quasi-constant et décrit dans les publications scientifiques associées. Ces échantillonnages sont destinés à être poursuivis dans le cadre d'un partenariat entre le laboratoire Chrono-Environnement et la Mutualité Sociale Agricole de Franche-Comté et dans le cadre de programmes de recherche.

II-1.2.3 Mesure de la radioactivité environnementale α/β et anthropique (tritium)

L'UT MARIO, créée en 2005, est une émanation du Laboratoire de Chimie-Physique et Rayonnement Alain Chambaudet (LCPR-AC) qui possède une expérience en matière de métrologie des rayonnements ionisants α , β et γ de plus de vingt ans.

La vocation de l'UT MARIO est d'apporter son soutien aux activités d'enseignement et de recherche dans le domaine des rayonnements ionisants au sein de l'UFR ST de l'Université de Franche-Comté. Dans le cadre de prestations de service, l'UT MARIO contribue également à la surveillance de l'environnement en mesurant notamment l'activité en tritium ainsi que l'indice de radioactivité α/β global dans des échantillons d'eau.

L'effectif de l'UT MARIO en février 2008 se limite à trois personnes :

- un maître de conférences universitaire,

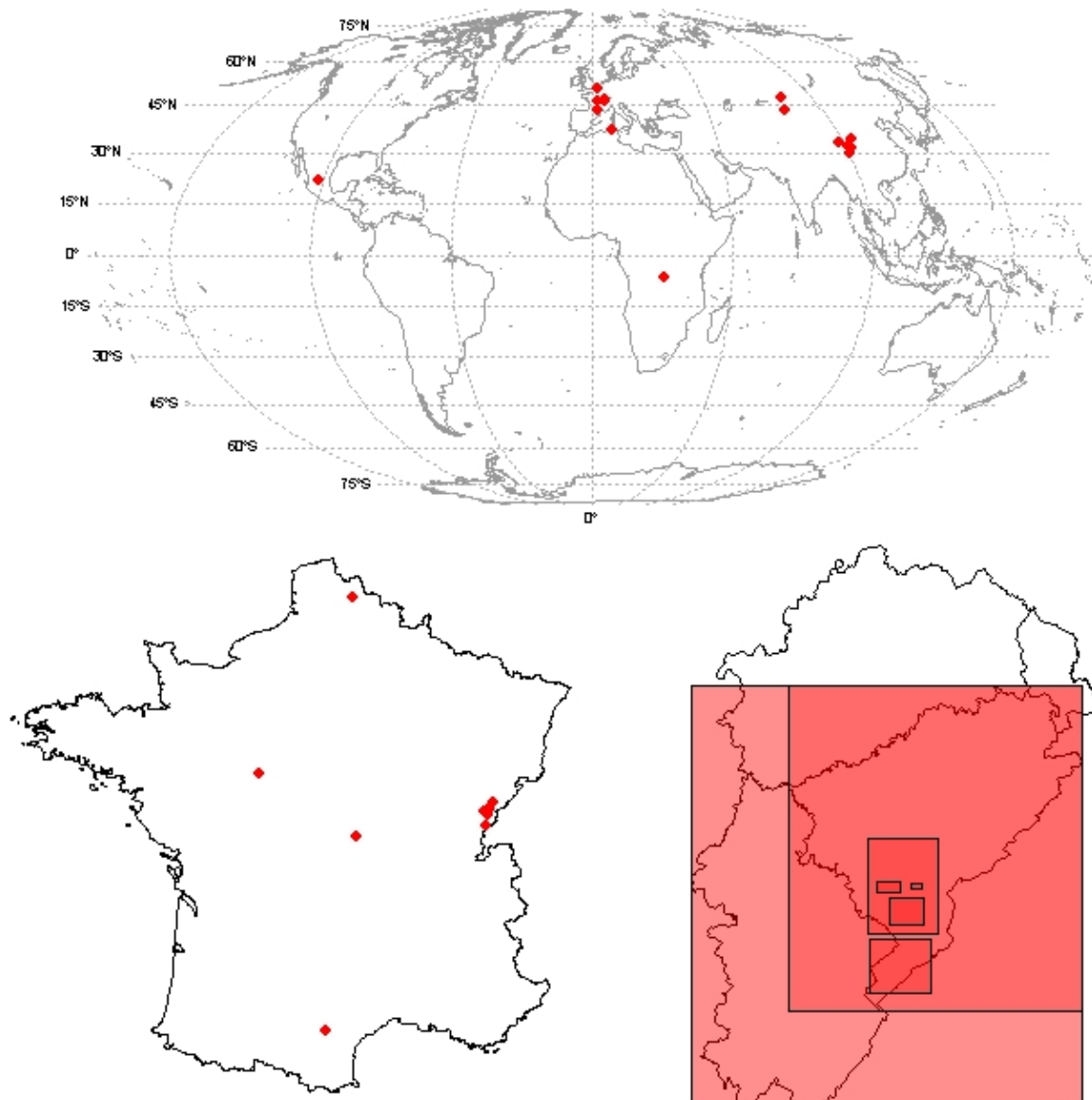


FIG. II.4 – Localisation (et étendue spatiale pour la Franche-Comté) des études portant sur l'écologie des communautés de petits mammifères incluant l'observation de variables d'état bancarisées. Certaines d'entre elles ont donné lieu à la constitution de collections de références (ex. crânes et tissus des spécimens collectés lors des études conduites en Chine).

- un ingénieur de recherche titulaire,
- un ingénieur d'études sur fonds propres ;

le directeur et la secrétaire du LCPR-AC participent également au bon fonctionnement de l'UT MARIO (ex : réception du courrier) mais ne font pas partie des membres permanents.

Historique de l'UT MARIO :

- 2005 Création de l'Unité Technique MARIO et mise en place du système de management de la qualité selon le référentiel NF EN ISO/CEI 17025 appliqué à la mesure de l'activité en tritium dans les échantillons d'eau.
- 2006 - Finalisation de la mise en place du système de management de la qualité de l'UT. - Acquisition d'un compteur proportionnel à circulation de gaz pour la mesure d'indice de radioactivité α/β global dans des échantillons d'eau et mise en place du système qualité correspondant.
- 2007 - Extension de l'accréditation du SERAC avec intégration du programme 135 suite à l'audit COFRAC de l'UT MARIO en octobre.
- 2008 - Demande de l'accréditation santé D "analyses de radioactivité".

II-2 Services d'Observation émergents

II-2.1 Projet S.E.R.ES : Simulations d'Etoiles et REStitutions d'orbites

II-2.1.1 Activités et besoins actuels

Nous proposons un nouveau service pour la préparation des missions spatiales qui regroupe des outils développés par l'Observatoire de Besançon pour la simulation des orbites des sondes spatiales et la simulation des champs d'étoiles observables.

Le projet SERES est né de la prise de conscience de l'accentuation des besoins de simulations des Science Teams (par exemple VEX and MEX science team, DPAC pour GAIA) pour la préparation ou d'éventuelles extensions de missions spatiales. Ces besoins couvrent des domaines très variés. Ainsi, il n'est pas seulement questions de simulations de champs d'étoiles observables par une mission spatiale stationnée au point L2 ou L1 de Lagrange mais aussi de simulations de déterminations de paramètres physiques liés à la dynamique d'une sonde interplanétaire en orbite autour d'une planète.

L'observatoire de Besançon regroupe l'ensemble des compétences pour construire un outil global permettant de répondre à l'ensemble de ces besoins de la communauté spatiale au niveau européen.

A- Les outils actuels

- 1) *INPOP* — Le lancement des premières missions interplanétaires par la NASA a en-

gendré un effort continu considérable pour le développement et l'amélioration d'éphémérides planétaires. Le Jet Propulsion Laboratory a été chargé de cette tâche et a produit plusieurs solutions combinant les meilleures théories et les techniques d'observations, les plus récentes comme les mesures de ranging et le suivi VLBI des sondes spatiales. Les améliorations importantes de la précision des observations (Lunar Laser ranging, range et VLBI de suivi de sondes spatiales), rendues possibles par les technologies modernes, en réponse aux exigences plus grandes, ont conduit à des améliorations importantes dans la précision des éphémérides planétaires et lunaires. Ces améliorations ont aussi apporté une meilleure connaissance de la physique du système solaire ainsi que de nouvelles contraintes dans les scénarios de formation du système solaire et cela au travers de détermination de masses d'astéroïdes effectuées lors de la construction des éphémérides planétaires (voir descriptif du projet scientifique). De plus, du fait de la précision atteinte par les éphémérides planétaires actuelles dans l'estimation des positions et vitesses des objets du système solaire, celles-ci sont devenues des outils importants pour de nombreux tests de physique fondamentale.

C'est dans ce cadre que depuis 2003, l'Observatoire de Paris (IMCCE) et l'Observatoire de Besançon ont lancé le développement des premières éphémérides planétaires de haute précision en Europe. La première release officielle de l'éphéméride INPOP06 a eu lieu en 2007, avec une première publication associée en janvier 2008. Malgré la jeunesse du projet, cet effort a reçu le soutien important de la part du CNES et de l'ESA dont le "Peer Review" vient de recommander l'usage de INPOP pour la "Flying dynamics" de la future mission spatiale européenne GAIA. INPOP est donc en passe de devenir la référence Européenne pour le développement et l'analyse des données des missions spatiales.

Notre collaboration est fortement soutenue par le CNES qui depuis 2003 a financé le projet INPOP par l'intermédiaire de 2 contrats de Recherche et Développement. Nous avons de fortes interactions avec le département de navigation interplanétaire de l'ESA qui d'une part sont des utilisateurs d'INPOP pour la préparation des futures missions spatiales de l'ESA et d'autre part nous fournissent des données de suivis des 2 sondes européennes Mars Express et Venus Express.

Nous avons d'autre part de nombreuses collaborations avec les équipes préparant la mission GAIA (INPOP étant l'éphéméride planétaire officielle de la mission), et la mission BepiColombo (université de Pise/université de la Sapienza de Rome).

2) *Le modèle de synthèse de population stellaire de Besançon* — Nous développons depuis une vingtaine d'années un modèle de la Galaxie basé sur une approche synthétique (synthèse des populations stellaires). Ce modèle est conçu comme un outil de simulation. Il a deux applications majeures : 1) tester les scénarios de formation de la Galaxie, les modèles stellaires et les modèles d'atmosphères, ainsi que la dynamique galactique ; 2) produire des simulations réalistes du contenu en étoiles d'une ligne de visée quelconque (catalogues d'étoiles simulées contenant les valeurs observées ainsi que les caractéristiques intrinsèques de ces étoiles) pour : soit aider à l'interprétation des données observées, soit prévoir une statistique dans le but de préparer des observations et tester si elles sont à même de répondre à l'objectif fixé.

Le modèle de Galaxie dans sa version préliminaire est en ligne depuis 1994. Une nouvelle version révisée

est accessible depuis fin 2003. Elle inclut des simulations de comptages d'étoiles et de catalogues dans les bandes photométriques sur une large gamme de filtres de U à K (soit 0.3 à 2.2 microns environ) ainsi que la cinématique des étoiles. Notre expérience de la mise en ligne nous a montré l'intérêt de la communauté internationale pour ces outils de simulations (plusieurs centaines de requêtes par mois ces dernières années).

B- Exemple des besoins et de réponses apportées

1) *Venus EXpress* — Grâce à INPOP et aux ajustements de paramètres beta et J2 aux données actuelles de tracking de la sonde Venus Express (VEX) en orbite autour de venus, il a été possible de montrer l'impact de ces données sur les déterminations de ces paramètres physiques. Ainsi, l'ajout des données VEX obtenues sur 1 an de mission a permis une amélioration de 30 % sur la détermination de l'aplatissement solaire J2 et de 20 % sur la détermination du paramètre PPN beta (Fienga et al. 2008).

Une prolongation de la mission sur 1 voir 2 ans permettra sans doute une avancée importante dans le domaine des tests de relativité générale puisque l'on devrait gagner un ordre de grandeur dans l'estimation de beta. Cet argument a pu être utilisé par le science team des missions MEX et VEX pour demander à l'ESA une prolongation de la mission VEX d'au moins 1 an.

Dans un tel cas, l'outil SERES permet une analyse immédiate du temps de vie de la mission dans le cadre d'une optimisation des déterminations des paramètres PPN.

D'autre part, nous avons été sollicités par le science team de MORE (Mercury Orbiter Radio Experiment) afin de simuler l'impact des facteurs d'erreurs actuelles des éphémérides planétaires (astéroïdes) sur l'orbitographie et les déterminations des paramètres PPN et J2 solaires effectuées lors de la mission BepiColombo en orbite autour de Mercure.

Une telle étude, menée en 2009, pourrait s'effectuer dans le cadre du projet SERES.

2) *Préparation des missions spatiales* — Le modèle de la Galaxie a déjà prouvé l'intérêt de son utilisation dans le cadre de la préparation de missions spatiales. En particulier, il a été utilisé pour simuler les champs du satellite COROT, et pour préparer des observations avec le satellite indien ASTROSAT.

Nous avons également participé à la définition des filtres photométriques de Gaia grâce à des simulations du modèle. De plus, il a été choisi comme modèle de référence pour la préparation de Gaia, au sein de l'Universe Model. Ce simulateur est utilisé pour tester la télémétrie, mais aussi les logiciels de traitement et d'analyse des données.

De même, cet outil de simulation pourra être utilisé pour la préparation de futures missions spatiales dans le contexte de Cosmic Vision de l'ESA, telles que DUNE (CNES), ou encore des missions de la NASA (SNAP, JWST...)

II-2.1.2 Simulations d'Etoiles et REStitutions d'orbites

A- Concept général

Il s'agit d'offrir à l'utilisateur une interface qu'il lui permette i) soit de simuler directement des observations de tracking de sondes pour une mission donnée ou de simuler des déterminations de paramètres physiques dynamiques réalisables à partir de ces données de tracking ii) soit de simuler des observations de corps stellaires ou galactiques suivant l'orbite, la loi d'attitude et l'instrumentation de la mission. L'ensemble de ces services étant fournis par le même outil SERES.

B- Modélisation de l'orbite et simulation dynamique

L'ajustement d'INPOP aux observations de suivis de sondes a montré qu'il était possible à partir de ce type de données de déterminer des paramètres importants de physique fondamentale tels que les paramètres PPN beta et gamma.

De plus, INPOP, par sa nature modulaire peut intégrer non seulement des orbites planétaires mais aussi toutes autres type d'orbites y compris les orbites de mise à poste aux points de Lagrange. Connaissant le type d'orbite de la mission à étudier il est donc possible d'intégrer celle-ci tout au long de la mission.

D'autre part, à partir de la modélisation actuelle des données utilisées pour l'ajustement d'INPOP, il est possible de simuler ce même type de données pour n'importe quelle mission dont l'orbite a été intégrée par INPOP. Des ajustements de paramètres intervenant soit au niveau de la dynamique de l'orbite (masse des corps perturbateurs, PPN paramètres, J_2 solaire) soit au niveau de la modélisation des données (paramètres de plasma solaire) peuvent être effectués sur les données simulées.

L'ensemble des outils nécessaires à la mise en place de SERES est donc déjà existant.

L'utilisateur devra fournir une description de l'orbite de la sonde soit via les conditions initiales de l'orbite soit en indiquant quelle type d'orbite suit la sonde (L2, L1, orbite autour d'une planète) ainsi que la durée de vie de la mission et sa date de lancement ou de mise à poste.

A partir des niveaux et des types de bruits introduits par l'utilisateur, des observations de type doppler ou de temps aller-retour du signal radar seront simulées ainsi que des déterminations de paramètres tels que les paramètres orbitaux de la sonde à un instant t , des masses de corps perturbateurs (planètes, astéroïdes) ou des paramètres autres (J_2 solaire, paramètres PPN beta et gamma, paramètres liés au plasma solaire...).

Les paramètres fournis par SERES seront soit des fichiers d'observations de tracking de sonde (retard doppler dans la fréquence du signal ou date d'émission d'un signal calculé à partir d'une date de réception supposée) incluant les bruits et postes d'erreurs introduits par l'utilisateur, soit les solutions de l'ajustement sur ces données simulées et par moindres carrés des paramètres désignés par l'utilisateur.

Ces données permettront d'optimiser les géométries d'orbites et les temps de vie des missions en fonction des paramètres physiques que l'utilisateur voudra étudier.

Elles permettront une meilleure optimisation des missions en fonction de leurs buts scientifiques à partir d'expériences de radiométrie ou par l'utilisation des données de suivis des sondes.

C- Simulations d'observations pour toutes missions

Grâce à la modélisation des orbites, SERES peut calculer la position d'un satellite à un instant t et ainsi, en intégrant la loi d'attitude du satellite, estimer la direction d'observation de n'importe quel instrument astrophysique embarqué.

Cette capacité de localisation couplée au modèle de synthèse de populations stellaires de Besançon permet d'effectuer des simulations réalistes de catalogues d'objets observables au cours d'une mission.

Pour une direction et une instrumentation données, ce modèle fournit un catalogue contenant d'une part les paramètres astrophysiques des étoiles tels que luminosité, gravité, métallicité, température effective, etc, et d'autre part les observables photométriques et cinématiques correspondantes. A l'heure actuelle, plusieurs systèmes photométriques sont implémentés (optique, IR, Johnson-Cousins, SDSS, HST, ISO...), cependant il est possible d'adapter le simulateur à une mission spatiale donnée connaissant les caractéristiques des instruments à bord.

En plus des caractéristiques de l'instrument, l'utilisateur devra fournir une description de l'orbite de la sonde soit via les conditions initiales de l'orbite soit en indiquant quelle type d'orbite suit la sonde (L2,L1, orbite autour d'une planète). Une loi d'attitude du satellite devra être aussi fournie par l'utilisateur.

Ce type de simulations pourra valider les objectifs scientifiques des missions, et permettra l'optimisation de l'instrumentation (filtres, sensibilité...). Ces simulations permettront d'envisager plusieurs stratégies d'observations en fonction des caractéristiques instrumentales et de la durée de vie de la mission.

II-2.1.3 Calendrier et besoins

Le développement de SERES nécessite une activité à temps plein pendant une période limitée (entre 1 et 2 ans). Une demande de CDD profil ingénieur en mathématiques numériques et programmation devra être faite au plus tôt afin de pouvoir respecter le calendrier de développement (voir demande en section [VII-2.2](#), page [130](#)).

2010 : la partie dynamique de SERES pourra être achevée dans sa version simple c'est-à-dire dans les cas d'orbites autour de planètes et aux points de Lagrange. Des simulations de détermination de masses d'astéroïdes (et de planètes), de paramètres J_2 , beta, gamma (et de plasma solaire) seront possibles. Les sondes sont supposées ponctuelles.

- 2011 :**
1. mise en place du simulateur d'observations par instruments à bord par prise en compte des lois d'attitude et des caractéristiques de l'instrument.
 2. Orbitographie plus fine de la sonde avec ajout de modules de formes pour la sonde. Possibilité

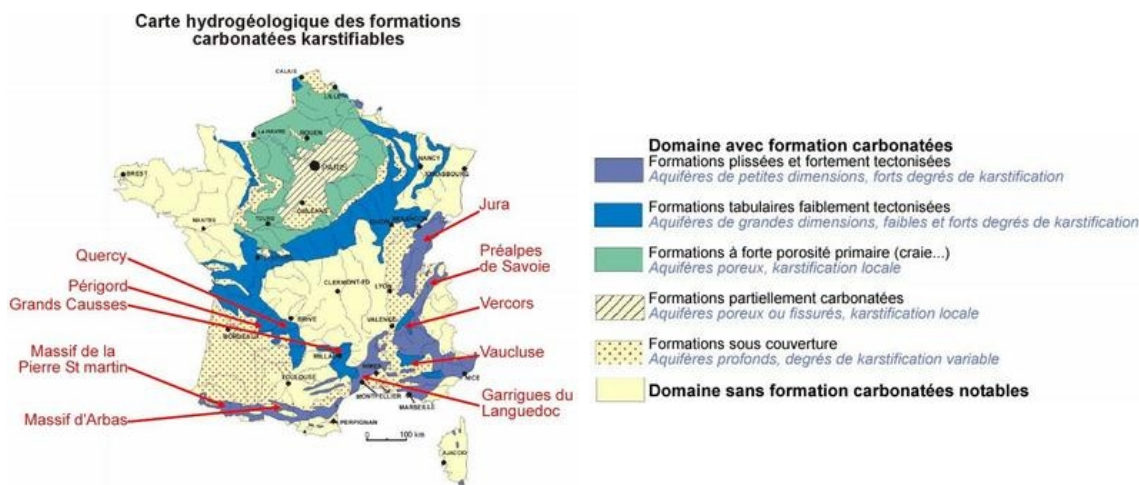


FIG. II.5 – Carte hydrogéologique des formations carbonatées karstifiables (d’après Marsaud, 1996, modifié par Bakalowicz, 1999).

d’ajout de simulation de détermination de potentiels gravitationnels

II-2.2 Projets de SOERE

II-2.2.1 Le SOERE “Jurassic KARST”

Projet déposé en 2010, en demande de labellisation

Le SOERE “Jurassic KARST”¹ est dédié au suivi au long terme des hydrosystèmes karstiques (HK) du Jura. Structuré en 5 compartiments verticaux - atmosphère, végétation, sol, zone non saturée, zone saturée - l’étude des HK (carbonatés) exige des approches multi-échelles emboîtées, en interaction, du local au régional, avec alors de fortes contraintes agricoles. Les mesures sont effectuées sur 5 sites instrumentés de tailles variées (du m² à 10² km²) et sont focalisées sur la compréhension des processus hydrologiques, l’étude des relations entre les compartiments du système karstique et la modélisation et la prévision des écoulements, en lien avec l’alimentation en eau de la zone urbaine de Vesoul.

Les changements liés aux pressions anthropiques de types agricole ou urbaine, ainsi qu’au climat affectent considérablement le régime hydrologique et la qualité des eaux. La communauté scientifique est fortement mobilisée sur ce sujet, notamment i) pour quantifier la ressource en eau et caractériser l’évolution de la qualité de l’eau, ii) pour prévoir les extrêmes avec l’intensification des années sèches et des crues, et iii) pour caractériser et quantifier l’évolution du flux de dénudation chimique lié au changement climatique.

En France, les hydrosystèmes carbonatés couvrent 35 % de la surface du territoire (Figure II.5) et représentent ainsi une ressource en eau majeure. Le massif du Jura est, comme de nombreux massifs carbonatés, forte-

¹Jurassic Karst (M. Steinmann, UMR 6249 Chrono-environnement / OSU de Besançon ; marc.steinmann@univ-fcomte.fr

ment karstifié et dans la région de Franche-Comté près de 80 % des captages d'eau souterraine prélèvent l'eau d'aquifères karstiques. Le projet SOERE² 'Jurassic KARST' a été soumis à l'INSU en janvier 2010 pour labellisation. Il a pour objectif de suivre les hydrosystèmes karstiques à l'échelle du massif Jura sur le long-terme, notamment pour étudier l'influence des pressions anthropiques et du changement climatique.

Les hydrosystèmes karstiques ne sont que faiblement représentés au sein des observatoires gérés par l'INSU, surtout en dehors du secteur péri-méditerranéen. Le massif du Jura est caractérisé par un substratum géologique dominé par des formations carbonatées et par une morphologie spécifique avec, du nord-ouest au sud-est, des plateaux à altitude croissante, suivi tout au sud-est par la Haute-Chaîne (Figure II.6, à gauche). Les altitudes sont en dessous de 300 m dans les zones externes au nord-ouest (Vesoul 230 m, Besançon 300 m) et supérieures à 1300 m dans la Haute-Chaîne au sud-est. La température annuelle moyenne diminue avec l'altitude avec un gradient d'environ 0,5 ° C/100 m en même temps que les précipitations annuelles augmentent (11 ° C et 1000 mm/an pour les zones externes, 5 ° C et 2000 mm/an pour la Haute-Chaîne). La couverture végétale reflète directement ce gradient climatique et on retrouve des forêts dominées par des feuillus pour les zones externes et des forêts de résineux dans la Haute-Chaîne (Figure II.6, à droite). Ce contraste de végétation, bien que naturel au départ, a encore été renforcé par l'exploitation forestière. Les sols reflètent cette évolution de la couverture végétale : les sols sous résineux (épicéas en particulier) sont par rapport aux sols sous feuillus plus acides et moins bien structurés, avec une activité biologique et une biodiversité réduite. Cette différence pédologique se transmet aussi à la composition chimique des eaux karstiques, car les sols se situent à l'entrée des hydrosystèmes (zones d'infiltration). Dans une étude réalisée sur l'altération chimique des calcaires du massif du Jura, Calmels (2007)³ met ainsi en évidence une corrélation inverse entre les teneurs en Ca dans l'eau des rivières et l'altitude. Cet auteur interprète cette relation par la pression partielle du CO₂ dans les sols, qui seraient plus faible dans les sols des forêts de résineux de la Haute-Chaîne par rapport aux sols sous feuillus à plus basses altitudes. Le massif du Jura représente ainsi un laboratoire naturel idéal pour une étude comparative de nombreux processus hydrologiques et bio-géochimiques sous des conditions climatiques et d'occupation du sol variables, mais sur un socle géologique très homogène.

L'originalité du dispositif SOERE 'Jurassic KARST' est d'intégrer un suivi multi-sites aux échelles spatiales 'emboîtées' depuis l'échelle métrique à l'échelle pluri-kilométrique, notamment en comparant des sites de haute et basse altitude. La localisation des sites prévus est montrée dans la Figure II.6. Cette approche a un double intérêt :

- i) elle permet d'étudier la variabilité spatiale des processus à l'échelle locale, et
- ii) après une évaluation de leur représentativité sur le massif jurassien, d'étudier les processus à l'échelle régionale, en prenant en compte les différentes zones de climat, de couverture végétale et de sols.

L'objectif du projet SOERE 'Jurassic KARST' est d'acquérir des données sur le long terme (> 10 ans) relatives aux hydrosystèmes karstiques pour une meilleure compréhension de leur fonctionnement. Ceci passe par deux axes principaux :

²Systèmes d'Observation et d'Expérimentation, sur le long terme, pour la recherche en environnement

³Calmels, D., 2007. Altération chimique des carbonates : Influence des sources d'acidité sur les bilans globaux. Thèse Université Paris 7, 248 pp

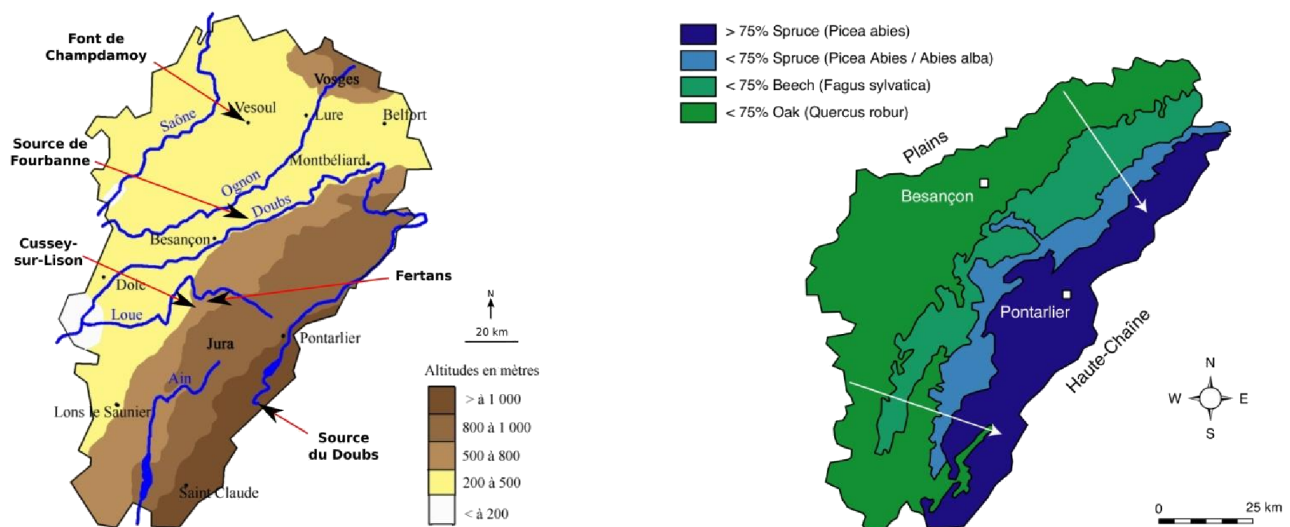


FIG. II.6 – À gauche : Relief du massif du Jura et zones voisines avec localisation des sites d'étude du dispositif SOERE 'Jurassic KARST' (carte modifiée d'après DIREN). À droite : Carte simplifiée de la répartition de la végétation au sein du massif du Jura (carte extraite de Calmels, 2007 d'après www.ifn.fr).

AXE I) Variabilité spatiale et temporelle des transferts d'eau : comprendre le fonctionnement des hydrosystèmes karstiques.

- Caractériser l'évolution hydrologique des écoulements à l'échelle de la crue et à l'échelle annuelle. Identifier les relations entre les compartiments transmissifs (réseau de drains et fractures) et capacitifs (matrice) lors des crues.
- Caractériser les propriétés hydrodynamiques (perméabilité, porosité, etc.) des compartiments sol, zone non-saturée (ZNS) et zone saturée (ZS) en relation avec la structure du milieu (pédologie, lithologie, réseau de fractures et de drains, etc.).
- Coupler une modélisation à base physique des transferts de surface à l'interface atmosphère/sol avec une modélisation conceptuelle des flux souterrains dans la ZNS et la ZS pour développer des outils d'aide à la décision.

AXE II) Variabilité de la composition de la charge dissoute et de la matière en suspension (MES) : comprendre les échanges et transferts au sein des hydrosystèmes karstiques s.l., en intégrant les différents compartiments depuis la zone d'infiltration jusqu'à la source karstique.

- Caractériser le transport dissous et particulaire (MO, minéraux, pesticides, etc.) pour retracer les transferts et pour établir des bilans d'érosion et de dénudation chimique au sein des hydrosystèmes à l'échelle locale et régionale et leur contribution au cycles biogéochimiques globaux (notamment cycle du carbone).
- Intégrer des paramètres hydrogéochimiques aux modèles hydrogéologiques pour mieux simuler les processus souterrains.

II-2.2.2 Le SOERE RÉVEL : Réponse et Vulnérabilité des Ecosystèmes Lacustres de mon-

tagne aux changements globaux

Projet ayant fait l'objet d'une lettre d'intention en décembre 2009

Coordination :

- L. MILLET (CR), V. VERNEAUX (MCF) Laboratoire Chrono-Environnement UMR 6249 CNRS
- F. ARNAUD (CR) Laboratoire EDYTEM UMR 5204 CNRS

Le SOERE RéVEL⁴ (Réponse et Vulnérabilité des Ecosystèmes Lacustres de montagne aux changements globaux) vise par exemple à développer des approches écosystémiques, à partir de l'étude de la chronologie des sédiments (par mesure stratigraphique des radio éléments) et de leur degré d'oxygénation, par leur caractérisation physico-chimiques (matière organique, métaux lourds) et des assemblages sub-fossiles. Les sites sont choisis de telle manière à offrir la plus large diversité fonctionnelle possible. Pour des raisons pratiques 10 lacs seront initialement choisis au sein des massifs jurassiens et alpins, en attendant d'autres choix dans les Vosges, les Pyrénées et le Massif Central. Les paramètres mesurés conjuguent conditions hydrométéorologiques, physico chimie des colonnes d'eau et des sédiments, étude des communautés benthiques et zoo - et phytoplanktoniques. Le SOERE LPA⁵ ("Lacs péri-Alpins") a également pour objectif le suivi écologique des lacs profonds péri-alpins et de leurs bassins versants. Il s'appuie sur 3 séries de mesures (limnologiques, biologiques et physico-chimiques) acquises sur le long terme (> 10 ans) relatives aux Lacs Léman, d'Annecy et du Bourget. Il s'inscrit dans la zone atelier "Bassin du Rhône" et participe au dispositif Envirhonalp. Est aujourd'hui privilégiée une approche comparative avec d'autres lacs de montagnes, ayant des fonctionnements différents (Aiguebelette, Lac Pavin) en se focalisant sur l'eutrophisation, les évolutions des berges et les nouveaux polluants.

A- Objectifs scientifiques et stratégie

En raison de leur importance patrimoniale, socio-économique et touristique, la vulnérabilité et la restauration des écosystèmes lacustres sont devenues des enjeux majeurs des politiques environnementales actuelles. Cette prise de conscience s'est matérialisée par l'adoption en 2000 par l'Europe de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) qui fixe comme objectif général d'atteindre d'ici à 2015 le bon état écologique des différents milieux aquatiques sur tout le territoire européen.

Les perturbations anthropiques locales (eutrophisation, modifications des habitats, rejets de micropolluants organiques et métalliques lourds, gestion piscicole) ont été pendant longtemps les principales causes des modifications du fonctionnement et de la qualité des systèmes lacustres. Depuis quelques décennies, l'échelle d'action des perturbations est passée à un niveau global avec le changement climatique couplé aux retombées atmosphériques en nutriments, en pluies acides et micropolluants. Les acteurs en charge de la restauration des lacs sont donc confrontés à des situations complexes où les perturbations locales et globales se combinent en interactions complexes et encore largement méconnues pour impacter les systèmes.

⁴ReVEL (H. Richard ; UMR 6249 Chrono-environnements - Obs et Univ de Besançon ; Herve.Richard@univ-fcomte.fr)

⁵LPA (J.M. DORIOZ ; UMR/INRA Carrtel (Thonon les bains) ; du@thonon.inra.fr)

L'objectif général du SOERE "RÉVEL" est d'évaluer la réponse des écosystèmes lacustres dans leur diversité fonctionnelle aux effets combinés des perturbations locales et globales pour développer des stratégies de gestion efficace afin d'atténuer les impacts des perturbations en cours ou à venir.

Alors que les trois grands lacs périalpins français de basse altitude bénéficient déjà d'un suivi dans le cadre de l' "observatoire lacs subalpins" de l'INRA, il existe une grande lacune pour la multitude de lacs qui contribuent pour une large part à la richesse patrimoniale, écologique (biodiversité), socio-économique et touristique des territoires de moyenne et de haute montagne. Par ailleurs, l'observation simultanée de lacs de haute et moyenne montagne intégrant un gradient d'influences humaines locales, suivant (en première approximation) le gradient altitudinal, permettra l'étude différentielle des réponses lacustres aux perturbations locales et aux changements globaux et la définition de vulnérabilités particulières face aux changements climatiques ou aux apports de contaminants globaux voyageant sur de longues distances via les aérosols urbains (nitrates, micropolluants organiques et métalliques).

Ce SOERE vient donc compléter et enrichir le dispositif existant en proposant dans une démarche originale la mise en place d'un observatoire couplé à un retro-observatoire de ces écosystèmes de moyenne et haute montagne.

La stratégie ambitieuse proposée par ce programme repose sur la double approche observatoire/retro-observatoire, l'approche écosystémique, le choix des sites d'observation et la mise à disposition des résultats pour la communauté des chercheurs et des acteurs socio-économiques de la gestion des milieux.

B- L'approche complémentaire observatoire/retro-observatoire

La mise en place de l'observatoire ambitionne de suivre sur le long terme (>10 ans) la réponse des écosystèmes aux changements locaux et globaux actuels et à venir. Le dispositif déployé permettra simultanément de suivre, évaluer et quantifier la ou les contraintes d'origines anthropiques et climatique et la/les réponse(s) des systèmes lacustres.

Les écosystèmes lacustres présentent l'avantage rare de conserver en leur sein la mémoire de leur dynamique écologique passée dans les accumulations sédimentaires, véritables archives écologiques.

L'étude de ces archives lacustres offre la possibilité de prolonger rétrospectivement les données d'observation. Ainsi, le retro-observatoire proposé dans ce SOERE vise (1) à définir un état de référence des systèmes, antérieur aux modifications majeures des 20^{ème} et 21^{ème} siècles, mais aussi (2) à retracer la trajectoire écologique des systèmes face aux perturbations anthropiques et climatiques à partir de cet état initial. Dans cette démarche de rétro-observation, l'étude de l'archive lacustre sera complétée et comparée à celle des archives écrites et instrumentales (relevés, registres communaux, gestion forestière et agricole) de la pression anthropique sur le système lac (incluant son bassin-versant) et les changements climatiques.

C- L'approche écosystémique

L'approche écosystémique permet d'appréhender la complexité des réponses écologiques aux changements climatiques et aux perturbations anthropiques : perte de biodiversité, stabilité et ruptures des équilibres, effets de seuil et de cascades, et réorganisations écologiques. Cette démarche implique le suivi de descripteurs qualitatifs et quantitatifs des conditions mésologiques et des communautés dans les différents compartiments de l'écosystème. Le SOERE "RéVEL" inclut donc un suivi de paramètres biotiques et abiotiques des compartiments pélagiques et benthiques.

D- Le choix des objets d'étude

Les travaux scientifiques antérieurs ont montré l'importance du type fonctionnel initial des systèmes sur la nature et l'amplitude de leur réponse aux contraintes anthropiques et climatiques. Un des objectifs du SOERE "RéVEL" consiste à appréhender les vulnérabilités particulières des systèmes selon leur type initial. Ainsi le dispositif d'observation et de retro-observation sera étendu à un ensemble de lacs couvrant un gradient fonctionnel le plus large possible. Chaque lac sélectionné sera le représentant d'un type fonctionnel particulier : des lacs dimictiques eutrophes à péritrophie dominante de moyenne montagne aux lacs polymictiques oligotrophes des plus hautes altitudes. Le choix des sites repose donc sur la solide expertise acquise par le laboratoire Chrono-Environnement (composé pour partie de l'ex Laboratoire de Biologie Environnementale) sur la typologie fonctionnelle lacustre. Il bénéficiera également de l'expertise du laboratoire EDYEM dans la compréhension du fonctionnement sédimentaire des lacs de montagne.

Dans un premier temps le système d'observation concernera des lacs sélectionnés au sein des massifs jurassiens et alpins, terrains d'étude où les deux équipes partenaires ont acquis une grande expérience de terrain et d'instrumentation. Le SOERE se donne comme objectif initial le suivi de 10 lacs (5 jurassiens et 5 alpins). Le gradient pourra ensuite être complété et étendu par le suivi de lacs dans d'autres massifs, en particulier dans les Vosges, les Pyrénées et le Massif Central.

E- Intégration des données et mise à disposition

La mise à disposition des données pour la communauté scientifique et les différents acteurs de la gestion et de la restauration des systèmes est une des priorités affichées par le SOERE "RéVEL". Les données acquises dans le cadre du système d'observation pourront être intégrées et mises à disposition grâce à SI_DEAP (Système d'Information des Données Environnementales Actuelles et Passées), système d'information développé au laboratoire Chrono-Environnement selon les principes d'interopérabilité. Ce système d'information permet la centralisation des données brutes, leur normalisation et leur accessibilité. Il est conçu comme un site web à page dynamique dont les données sont consultables mais sécurisées.

F- Paramètres mesurés

L'expertise des Laboratoires Chrono-Environnement et EDYTEM dans l'étude des systèmes limniques et des archives lacustres permet d'effectuer une sélection raisonnée des paramètres les plus appropriés aux objectifs fixés.

1) *Volet observatoire* — Le système d'observation prévoit sur chacun des lacs :

1. Le suivi du compartiment pélagique

- Physico-chimie le long des colonnes d'eau : les paramètres retenus sont la température, l'oxygène (concentration, pourcentage de saturation), le pH, la conductivité, les concentrations en azote, phosphore total, orthophosphate, chlorophylle a. Ces mesures seront acquises sur chacun des lacs selon un pas de temps régulier. Le recours à des sondes automatisées sera privilégié pour les lacs d'accès difficiles (Alpes).
- Communautés zoo- et phytoplanctoniques : les diatomées (phytoplancton) et les cladocères (zooplankton) seront échantillonnés et identifiés avec une rythmicité mensuelle.

2. Le suivi du compartiment benthique

- Physico-chimie des sédiments : matière organique (carbone organique totale, C/N, pyrolyse Rock-Eval, examen visuel des morphotypes, signature isotopique en carbone ? ^{13}C), conditions d'oxygène à l'interface eau-sédiments, carbonates, micropolluants (les formes analysées seront variables selon les sites et les pollutions suspectées).
- Communautés benthiques : macro-faune invertébrée benthique (Chironomidae, Chaoboridae, Epheméropteres, Trichopteres ?) échantillonnée selon le protocole LBI (lake Biotic Index), dont la structuration bathymétrique constitue un outil d'évaluation de l'efficacité des transferts de matière au sein des réseaux trophiques lacustres. Ces analyses pourront être complétées par l'étude de nouveaux descripteurs benthiques comme les amibes à thèques et l'étude des producteurs primaires benthiques au travers de l'analyse des communautés de Diatomées benthiques.

Il faut ajouter à ce dispositif le suivi en continu (1/4h) des conditions météorologiques sur chacun des bassins versants : températures, précipitations, période de gel du lac.

2) *Volet retro-observatoire* — Ce volet exploite les développements et progrès récents dans le domaine de la paléolimnologie, où les laboratoires Chrono-Environnement et EDYTEM sont des moteurs reconnus dans la communauté scientifique française et internationale. Sur chacun des lacs du système d'observation, une série de carottes de sédiments sera prélevée le long d'un transect bathymétrique de la zone sub-littorale à la zone profonde.

La première étape consiste en l'établissement d'une chronologie fiable et avec une précision quasi annuelle de l'archive par la mesure stratigraphique des radioéléments (^{137}Cs et ^{210}Pb) et le décompte de varves sur certains systèmes.

Notre projet prévoit l'analyse en continu et à haute résolution temporelle d'une série de descripteurs paléocologiques. Le choix de ces descripteurs est orienté par la nécessité de disposer d'informations analogues et comparables à celles acquises dans le volet "observatoire" :

- La caractérisation physico-chimique des sédiments : l'étude quantitative et qualitative de la matière organique sédimentée (Pyrolyse rock-Eval, C/N, signature isotopique en carbone) et des carbonates, concentrations en éléments majeurs comme le Manganèse et le Fer dont la valeur du ratio dépend des conditions benthiques d'oxygénation ; les micropolluants persistants organiques (HAP, PCB etc.) et mé-

talliques, (Pb, platinoïdes, antimoine etc.) dont l'évolution du flux a été enregistrée par les sédiments lacustres.

- Les assemblages subfossiles de Chironomidae qui, outre la dynamique propre des peuplements, permettent de proposer des reconstitutions quantifiées des conditions d'oxygénation hypolimnétiques ; Les assemblages subfossiles de diatomées, qui permettent de reconstituer la dynamique des communautés mais aussi de proposer des reconstitutions quantifiées des concentrations en phosphore total ; les assemblages subfossiles de Cladocères dont l'évolution temporelle est particulièrement sensible aux perturbations trophiques modifiant les facteurs de contrôle ascendant (nutriments, phytoplancton) et descendant (gestion piscicole).

G- Dispositifs instrumentaux

Le SOERE s'appuie pour son volet "observatoire" sur une instrumentation et des mesures in situ.

Pour les lacs du Jura, dont l'accès est relativement aisé tout au long de l'année, le suivi et les prélèvements seront organisés par des déplacements réguliers sur les différents sites mais aussi par l'installation de sondes spécifiques. Pour les lacs d'altitude, dont l'approche est souvent difficile en période hivernale, la prise de mesure sera assurée par une instrumentation pérenne des sites et notamment la mise en place de sondes multiparamètres réparties le long de la colonne d'eau. Les dispositifs existants sont largement éprouvés mais restent onéreux, le SOERE "RéVEL" sera aussi l'occasion de développements méthodologiques pour l'acquisition automatique des données en milieux difficiles. L'acquisition des données dans le volet "retro-observatoire" nécessite des moyens spécifiques : carottage (carottier gravitaire d'interface), chronologie (spectromètre gamma), analyses haute résolution non destructives (banc de mesure Geotek, scanner de carottes à fluorescence X).

Une série d'analyses chimiques des deux volets sera acquise grâce à une chaîne de mesures (pyrolyse rock-eval, analyseur CNS, calcimètre, analyses des micropolluants).

H- Dispositif scientifique

Le SOERE "RéVEL" est par essence multi et interdisciplinaire. Même s'il est principalement porté par deux laboratoires partenaires : laboratoire Chrono-Environnement (UMR 6249 CNRS) et EDYTEM (UMR 5204 CNRS), il bénéficiera d'un riche réseau de collaborations scientifiques au sein duquel évoluent d'ores et déjà les responsables scientifiques de la présente proposition et qui pourra être élargi. Le présent projet d'observatoire entre naturellement dans le cadre d'initiatives de fédération des recherches en environnement et en particulier dans celui de la Fédération de Recherche Lac Montagne Environnement (FLAME) récemment soumise par l'Université de Savoie pour labellisation par le MENRT. L'engagement actif des requérants dans plusieurs programmes nationaux (ANR, GDR, Interreg ?) démontre enfin leur capacité à provoquer de l'émulation scientifique autour d'un projet aussi ambitieux. Enfin, ce SOERE pourra bénéficier d'un soutien particulier du CNRS et des universités dans le cadre de la montée en puissance de deux DIPEE "Bourgogne-Franche-Comté" et "Montagne"), en cours de négociation entre l'INEE et les universités de Franche-Comté, de Bourgogne, de Savoie et de Grenoble, et les Régions Franche-Comté et Bourgogne. Une partie pourrait égale-

ment s'intégrer au projet d'OSU de Besançon qui devrait s'ouvrir prochainement l'environnement et intégrer des collègues dijonnais. L'observatoire est également pensé comme un média entre recherche fondamentale et acteurs de la gestion des écosystèmes lacustres. Loin d'être une posture de circonstance, cette volonté se concrétise dans les faits par un programme de recherche récemment financé par l'Agence de l'eau RMC. Nous souhaitons ici souligner également la synergie de la présente proposition avec une initiative en cours d'élaboration avec l'ensemble des Parc nationaux alpins (Mercantour, Ecrins, Vanoise), les gestionnaires de réserves naturelles et l'ONEMA visant à fédérer et homogénéiser les recherches menées sur les écosystèmes lacustres dans les espaces naturels protégés des Alpes. Ce réseau (élargi au Jura, dans un premier temps) pourrait être intégré au sein du SOERE, assurant l'investissement logistique des acteurs de terrain, condition sine qua non à la réussite du projet.

I- Financement nécessaire

Les laboratoires Chrono-Environnement et EDYTEM disposent déjà de nombreux moyens (chaines analytiques, véhicules, bateaux, carottiers. . .). Cependant, l'instrumentation in situ des lacs demande l'acquisition de nouveaux matériels spécifiques : sondes multiparamètres automatiques, stations météo, dispositifs de déplacements automatiques des sondes le long de la colonne d'eau etc., soit environ 30 k€ par lac instrumenté ($30 \text{ k€} \times 10 = 300 \text{ k€}$). Les opérations de suivi demandent l'achat de deux véhicules de terrain dédiés à chacun des massifs étudiés (Jura et Alpes $2 \times 20 = 40 \text{ k€}$).

L'équipement optique doit aussi être complété pour assurer les comptages biologiques réguliers (loupes + microscopes : 20 k€). Des missions terrains y compris des héliportages sur les sites alpins doivent être financées (10 k€ par année). La chronologie des archives sédimentaires représente un coût d'analyse de 2k€ par lac ($2 \text{ k€} \times 10 = 20 \text{ k€}$). L'analyse de certains paramètres comme la pyrolyse rock-eval, la spectrométrie fluorescence X. . .représente un cout total estimé à 30 k€. Soit un total estimé de 450 k€ dont 360 k€ en investissement et 90 k€ en fonctionnement.

Ces besoins en investissement et fonctionnement sont adossés à un besoin évident en ressources humaines qui ne pourra être pris en charge dans sa totalité par les unités de recherche. En sus des ressources humaines actuellement présentes dans les unités, nous estimons les besoins à 2 techniciens (un pour chaque massif) chargés du suivi in situ, de l'acquisition des données et du traitement de base de certains échantillons biologiques et sédimentologiques (tamisage, tri) et 1 Ingénieur en instrumentation scientifique responsable de la maintenance, de la calibration et du développement de systèmes d'instrumentation sur le terrain et au laboratoire.

II-2.2.3 SOERE en demande de labellisation auxquels des équipes membres de l'OSU participent en tant que partenaires

A- ReNaTo

*Réseau National des Tourbières*⁶

Dans la mesure des échanges de carbone entre atmosphère et surfaces continentales, les tourbières à sphaignes de l'hémisphère Nord contribuent de manière importante au stockage continental du carbone : 30 % du stock, sur seulement 3 % des surfaces continentales. Leur rôle de régulateur naturel du climat pourrait cependant évoluer, du fait même du réchauffement climatique, couplé à une évolution des conditions hydriques et trophiques, entraînant une intensification de l'activité microbienne et un déstockage massif du CO₂ et du CH₄. Le SOERE ReNaTo (Réseau National des Tourbières) Quatre sites instrumentés situés sur le territoire métropolitain (Jura, Massif Central, Sologne et marais du Cotentin) permettront le suivi automatique quotidien des principaux paramètres (T, Physico-chimie des eaux, niveau de la nappe, mesure des GES) du fonctionnement de l'écosystème, ainsi que des prélèvements d'échantillons pour effectuer des études biogéochimiques, microbiologiques, et paléo environnementales, visant à construire des proxies du fonctionnement de ces écosystèmes, et des évolutions subies durant l'holocène.

B- SECAO

*Suivi Environnemental et Climatique en Afrique de l'Ouest*⁷

Le projet a pour but de pallier, dans cette région à forte sensibilité climatique, les lacunes du dispositif AMMA de suivi à long terme. Il s'agit à la fois de maintenir l'existant, de le développer, de mieux le coordonner - en développant par exemple une stratégie commune de validation de données satellitales - et de le renforcer, là où il est en défaut. La participation du CRC concerne le suivi des concentrations en aérosols désertiques (suspectés de jouer un rôle dans le déclenchement d'épidémies de méningites) le long d'un transect sahélien.

C- RHGM

*Rungwe Hydroclimatic Gradient Monitoring*⁸

Ce dispositif est destiné à appréhender et à quantifier la variabilité hydroclimatique d'une climoséquence caractéristique des gradients altimétriques et spatiotemporels de massifs volcaniques d'Afrique orientale. Il est structuré depuis 2007 au sein du réseau international RESON, focalisé sur le suivi environnemental d'une région tanzanienne, siège depuis 20 ans d'une diminution des précipitations associée à des dégradations des environnements terrestres et aquatiques, et à une évolution rapide de l'usage des terres. Les observations concerneront les suivis spatio-temporels : 1) des paramètres météorologiques, 2) des paramètres hydrologiques des réservoirs de surface et de sub-surface et 3) des processus d'érosion sur des parcelles expérimentales.

D- Mont Blanc

⁶ReNaTo (F. Laggoun-Defarge ; ISTO / OSUC ; Fatima.Laggoun-Defarge@univ-orléans.fr)

⁷S. Janicot - LOCEAN/IPSL. Equipe participante : Centre de Recherches de Climatologie (CRC) - UMR Biogéosciences (responsable : Nadège Martiny).

⁸David Williamson, IRD/LOCEAN. Equipe participante : Centre de Recherches de Climatologie (CRC) - UMR Biogéosciences (responsable : Pierre Camberlin).

Le SOERE “Mont-Blanc”⁹ constitue un cadre institutionnel pour les sites d'étude opérés dans le massif du Mont Blanc et la vallée de Chamonix. L'objectif est de documenter, sur le long terme, les processus morphologiques, physiques et radiatifs qui caractérisent le fonctionnement de la surface continentale en contexte montagneux glaciaire. Le système conjugue observations spatiales du domaine (GPS, imagerie radar et optique), acquisition de surface (LIDARS, radiomètre, photogrammétrie) et mesure *in situ* de transports de matière (particule et solutions) et de grandeurs physiques (température, pression, humidité). Les données seront archivées et mises à la disposition de la communauté scientifique.

E- PermaFRANCE

Intégré à des réseaux alpin (Permanet), européen (PACE21) et mondial (GTN-P, . . .), le SOERE PermaFRANCE¹⁰ est focalisé sur le suivi du permafrost de montagne alpin, des phénomènes liés au gel (formations superficielles, parois rocheuses et éboulis froids) et sur leur sensibilité au changement climatique. Il vise i) au suivi thermique des effets du gel à toute altitude, ii) au suivi morpho dynamique des étages soumis aux divers cycles de gel/dégel, et iii) à la mise en évidence des effets du changement climatique sur l'état du gel, la dynamique des processus et des aléas associés. Un relevé périodique de l'extension du permafrost par interférométrie radar satellitaire et par photogrammétrie est envisagé.

F- HYPERARTIC

*Hydrologie et PERgelisol en milieu ARCTIC*¹¹

Le SOERE HyPERARTIC doit étudier l'impact des modifications climatiques sur la cryosphère et l'hydrosphère continentales en milieu arctique et sub-arctique. Les sites choisis sont situés en Sibérie Centrale (Yakoutie) et au Spitzberg (Ny Alesund). Il s'agit de pérenniser les instruments déjà mis en place, de développer de nouveaux sites de mesures et d'accroître le partenariat scientifique autour de ces sites, au national et à l'international. Les thématiques du SOERE concernent i) la dynamique du pergélisol et de la couche active, ii) la dynamique de la débâcle de la Léna, iii) la dynamique glaciaire et hydrologique d'un Bassin Versant glaciaire. Les paramètres mesurés concernent la température du pergélisol et de la couche active, l'humidité des sols, le recul des berges des fleuves et diverses mesures météorologiques. Ce système d'observation associe 5 UMR (IDES, LGP (RP), THEMA, FEMTO (Besançon), GEODE (Toulouse) au “Permafrost Institut” de Yakoutsk.

II-2.3 Surveillance sismique en Franche-Comté

Le territoire métropolitain connaît une activité sismique généralement modérée mais persistente et répartie autour de l'ensemble de ses reliefs. Cette activité engendra plusieurs événements destructeurs au cours du

⁹Mont Blanc (J.L. Mugnier, LGCA/OSUG/ UJF-UDS ; Jean-Louis.Mugnier@univ-savoie.fr).

¹⁰PermaFRANCE (Philippe SCHOENEICH, UMR 8194 / PACTE / CNRS-UJF, Philippe.Schoeneich@ujf-grenoble.fr)

¹¹HYPERARCTIC (F. Costard, UMR 8148 IDES/CNS-Paris 11)

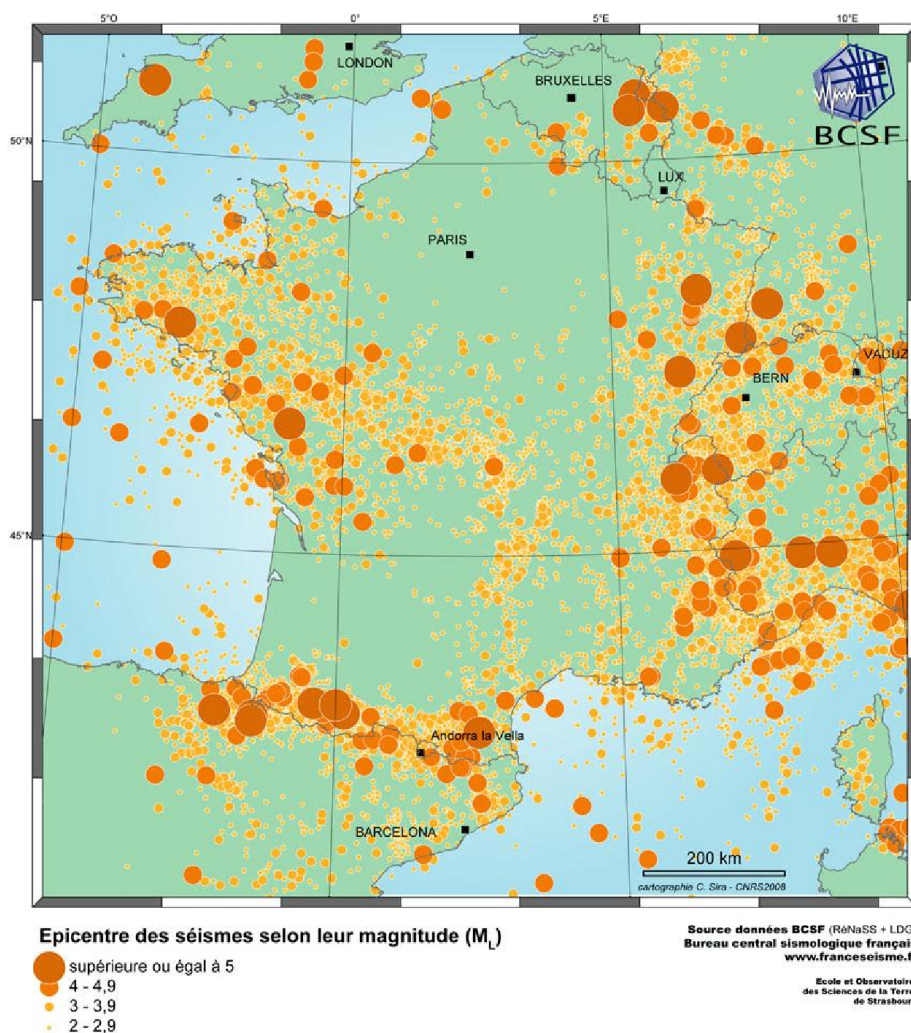


FIG. II.7 – Carte des séismes en France du 15/12/1964 au 31/08/2008

XXème siècle, causant la perte de vies humaines et d'importantes destructions. Parmi ceux-ci le séisme de Lambesc, en Provence, fait date¹². Plus récemment, les séismes d'Annecy¹³ et de Saint-Dié¹⁴ (Vosges) nous rappellent notre devoir de vigilance face à un phénomène encore hautement imprévisible.

La comparaison de l'activité sismique métropolitaine et de la couverture du Réseau National de Surveillance Sismique (RéNaSS) laisse entrevoir une densité anormalement faible de stations sismologique en Franche-Comté au regard de l'importance de la microsismicité locale¹⁵. Cette faible densité de stations sismologiques ne permet pas une grande précision des localisations de séismes dans la région (précision actuelle des épicentres

¹²Le 11 juillet 1909, et dont la magnitude est estimée autour de 6.2, causa 46 morts et plus de 200 blessés.

¹³Le 15 juillet 1996, magnitude 5.2. Cet événement, dont l'hypocentre fut localisé près de la surface, causa de nombreux dégâts matériels.

¹⁴Le 23 février 2003, magnitude 5.4.

¹⁵Le séisme de Roulans du 23 février 2004 (magnitude 5.4) est bien l'illustration du caractère actif de l'activité sismique dans la région.

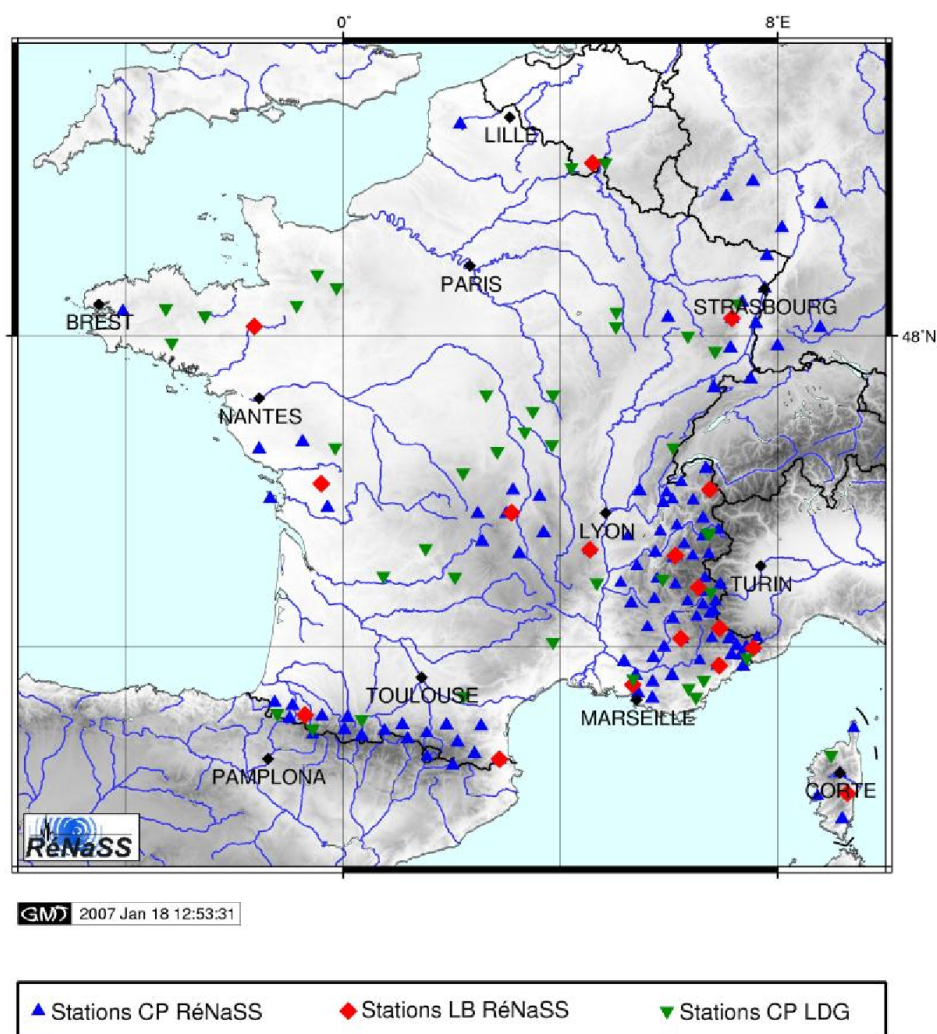


FIG. II.8 – Carte des stations sismiques en France

de l'ordre de 5-10 km).

Dans le but de s'inscrire pleinement dans cette mission de prévention et de vigilance, l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne projette de développer une composante d'observation de l'activité micro-sismique de la région Franche-Comté sous l'égide de l'EOST et de l'OSUG dans le cadre du réseau RéNaSS.

Il propose ainsi de prendre en charge la mise en place d'un service d'observation de l'activité sismologique en Franche Comté en contribuant à la densification du réseau sismologique national le long d'un axe Bâle-Bourg en Bresse : mise en place dans un premier temps d'un réseau sismologique temporaire (pour une durée de 6 mois à 1 an), puis mise en place progressive d'un dispositif de surveillance sismique permanent.

Un tel ajout de stations permettra, dans un premier temps, d'améliorer significativement la précision des localisations de microséismes régionaux. Dans un second temps, il sera alors possible d'obtenir une image plus fine des failles actives et zones à risque de la région à partir de cette donnée de meilleure qualité. Sur le long

terme, on peut espérer mieux comprendre l'évolution spatiale et temporelle de l'activité sismique dans cette région influencée par la déformation des reliefs jurassiens.

Le regroupement de nombreuses compétences en sismologie, chimie, hydrologie, et sciences environnementales au sein de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne, en collaboration avec nos partenaires du réseau RéNaSS, permettra en outre une approche multidisciplinaire du phénomène sismique en Franche-Comté incluant par exemple l'identification des structures sismogéniques actives, des recherches sur l'anisotropie sismique de la lithosphère ; mais également des recherches sur les émissions gazeuses (tel le radon) à l'aplomb des failles tectoniques, contribuant ainsi à la compréhension des processus d'initiation de la sismicité.

II-3 Possibilités de mutualisation

II-3.1 Service de métrologie

Les activités accréditées (SERAC/MARIO, LNE-LTFB) partagent les mêmes structures de système de management de la qualité grâce au soutien du service qualité de l'Université. Cette mutualisation est extrêmement profitable compte tenu de la charge de travail que représente l'élaboration et le maintien du système qualité d'un organisme accrédité. Elle constitue également une forte incitation pour la mise sur pied éventuelle de nouvelles accréditations.

Du point de vue technique, la création du LNE-LTFB en 2008 (décrite en détail dans la section II-1.1) outre la mutualisation de méthodes, équipements et ressources humaines a permis de donner une visibilité nationale et internationale aux activités temps-fréquence de Besançon.

II-3.2 Archivage et mise en commun de données

Les réflexions sur ce point se sont situées initialement dans le cadre d'un groupe de travail "Spatialisation, modélisation des processus spatiaux et temporels" regroupant des membres des UMR Chrono-environnement et UTINAM. Il est apparu notamment que les problématiques mises en oeuvre dans le développement de l'observatoire virtuel astronomique présentaient des similitudes avec les besoins d'interopérabilité de données dans plusieurs domaines scientifiques couverts par l'UMR Chrono-environnement.

Deux ateliers ont été organisés en avril 2008 et mars 2009, le second coorganisé par les 2 laboratoires, ayant pour thèmes l'observatoire virtuel astronomique, les projets en cours à Besançon, et les besoins en terme d'interopérabilité de données pour les recherches locales en sciences de l'environnement et santé.

Si la conception et la structuration des bases de données et outils relèvent des problématiques scientifiques propres aux disciplines, la mise en ligne et l'interopérabilité de services dans le cadre d'un paradigme de type "observatoire virtuel" peut bénéficier d'infrastructures communes et de développement d'outils communs (un

exemple de ce type d'organisation existe par exemple au Laboratoire d'Astronomie de Marseille avec la plateforme "ENVOL").

II-3.3 Isotopes et rayonnements ionisants

L'UT MARIO, créée en 2005, est une émanation du Laboratoire de Chimie-Physique et Rayonnement Alain Chambaudet (LCPR-AC) qui possède une expérience en matière de métrologie des rayonnements ionisants α , β et γ de plus de vingt ans.

Cette Unité Technique fait partie intégrante du SERAC (Service d'Analyse et de Caractérisation). Il bénéficie, à ce titre de l'appui technique du LCE (Laboratoire de Chimie des Eaux) sur certaines analyses. Le SERAC est accrédité par le COFRAC pour les programmes 100-1 "analyses physico-chimiques des eaux" et 135 "analyses en laboratoire des radionucléides présents dans l'environnement". Grâce à cette accréditation, le SERAC dispose également de plusieurs agréments de différents ministères (Ministère de l'Ecologie et Ministère de la Santé) et de l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

La vocation de l'UT MARIO est d'apporter son soutien aux activités d'enseignement et de recherche dans le domaine des rayonnements ionisants au sein de l'UFR ST de l'Université de Franche-Comté. Dans le cadre de prestations de service, l'UT MARIO contribue également à la surveillance de l'environnement en mesurant notamment l'activité en tritium ainsi que l'indice de radioactivité α , β global dans des échantillons d'eau. L'effectif de l'UT MARIO en février 2008 se limite à deux personnes :

- un maître de conférences universitaire,
- un ingénieur de recherche titulaire.

Historique de l'UT MARIO :

2005 - Création de l'Unité Technique MARIO et mise en place du système de management de la qualité selon le référentiel NF EN ISO/CEI 17025 appliqué à la mesure de l'activité en tritium dans les échantillons d'eau.

2006 - Finalisation de la mise en place du système de management de la qualité de l'UT. - Acquisition d'un compteur proportionnel à circulation de gaz pour la mesure d'indice de radioactivité α , β global dans des échantillons d'eau et mise en place du système qualité correspondant.

2007 - Extension de l'accréditation du SERAC avec intégration du programme 135 suite à l'audit COFRAC de l'UT MARIO en octobre.

2010 - Agrément santé D "analyses de radioactivité" : demande en cours.

Chapitre III

Missions de recherche

S'appuyant sur 3 unités de recherche reconnues BioGéoSciences, Chrono-Environnement et UTINAM, ainsi que sur 2 équipes de 2 autres unités de recherche, le département Temps-Fréquence de Femto-ST et l'équipe SMPCA de l'ICB, l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogneéemarge à toutes les directions scientifiques de l'INSU. Le tableau III.1 dresse une synthèse de l'ensemble des activités de recherche en Sciences de l'Univers présentes dans l'OSU. D'autres thèmes de recherche sont également développés dans les laboratoires autour de problématique liées aux sciences de la matière, à l'environnement et aux sciences humaines et sociales.

III-1 Recherches dans le domaine Astronomie-Astrophysique

III-1.1 L'équipe Spectroscopie, Planétologie, Atmosphère, Clathration et Environnement d'UTINAM

Directions scientifiques INSU : (1) Astronomie et Astrophysique, (2) Océan-Atmosphère

Cette nouvelle équipe est constituée de la réunion de chercheurs et enseignants-chercheurs de l'Institut UTINAM dont les travaux concernent principalement l'étude des atmosphères planétaires (y compris l'atmosphère terrestre) et les petits corps du système solaire. Elle repose sur la mise en commun de compétences liées aussi bien à l'étude de la phase gaz que des interfaces gaz/solide, et qui se caractérisent par le développement et l'utilisation de méthodes numériques innovantes permettant à la fois la compréhension des mécanismes de base et l'interprétation de mesures expérimentales de laboratoire et/ou in situ. Les travaux de recherche qui seront développés au sein de cette équipe seront principalement de nature fondamentale, mais se situeront en amont de thématiques plus appliquées, liées à la protection de notre environnement et à la préparation de missions spatiales. Ils s'appuieront sur les axes forts développés avant même la création de l'Institut UTINAM et pour lesquels une reconnaissance internationale existe depuis longtemps, sur les thématiques qui ont émergées

InSIS	InP	INSU			InEE
	Astronomie et Astrophysique	Sciences de la Terre	Océan-Atmosphère	Surfaces et Interfaces Continentales	
	SPACE (UTINAM, voir III-1.1)				
	PhAs (UTINAM, voir III-1.2)				
	Temps-Fréquence (Femto-ST, voir III-1.3)				
	SMPCA (ICB, voir III-1.4)				
		BioME (BioGéoSciences, voir III-2.1)			
		SEDS (BioGéoSciences, voir III-2.2)			
		Serpentinisation/Clathrates (Chrono-Env./UTINAM, voir III-2.3)			
			CRC, (BioGéoSciences, voir III-3.1)		
		Géosciences et paléoclimatologie (Chrono-Environnement, voir III-4.1)			
			MECE (Chrono-Env./UTINAM, voir III-4.2)		

TAB. III.1 – Répartitions des thèmes de recherche de l’OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne dans les directions scientifiques de l’INSU.

depuis la création d’UTINAM à la frontière entre la physique et l’astrophysique et qui se sont déjà révélées fructueuses, et sur quelques pistes qui s’annoncent prometteuses pour de nouveaux travaux interdisciplinaires.

D'une manière générale, nous profiterons donc de la proximité unique qui existe à Besançon entre physiciens et astrophysiciens pour développer, au sein d'une même équipe, les thématiques suivantes.

III-1.1.1 Spectroscopie des atmosphères planétaires et cométaires

Cette thématique visera à développer le calcul de paramètres collisionnels de raies spectrales pour les atmosphères planétaires (en vue de l'alimentation de bases de données internationales), l'étude de l'excitation rotationnelle lors de collisions moléculaires pour des couples d'intérêt astrophysique ($\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2$, $\text{CS}-\text{H}_2$, $\text{N}_2\text{H}^+-\text{H}_2$), la modélisation de la formation de molécules excitées dans les atmosphères planétaires et cométaires.

III-1.1.2 Dynamique et Physico-chimie du système solaire

Dans cette thématique, l'équipe SPACE étudiera les caractéristiques physico-chimiques et dynamiques des corps du système solaire et les utilisera comme traceurs pour modéliser leur formation et leur évolution. Plusieurs objets d'étude de cette thématique découleront directement des travaux réalisés dans les autres thématiques. On s'intéressera plus spécifiquement à l'étude physique (propriétés de surface et composition chimique) des comètes et des satellites comme traceurs des conditions physico-chimiques de formation dans la nébuleuse ainsi qu'à la caractérisation de la structure dynamique des petits corps du système solaire externe comme traceurs de l'environnement stellaire lors de la formation du soleil et de l'évolution dynamique des planètes géantes.

III-1.1.3 Interfaces carbonées

Cet axe de recherche visera à étudier le rôle des interfaces carbonées dans différents milieux : dans l'atmosphère terrestre où l'on s'intéressera aux suies émises par les avions et à leurs interactions avec les molécules environnantes ; dans le milieu interstellaire où l'on modélisera le piégeage et la réponse spectroscopique de petites molécules d'intérêt astrophysique sur les grains des nuages interstellaires, enfin dans l'atmosphère des exoplanètes où l'on caractérisera l'influence de la présence des suies sur la composition atmosphérique des Jupiter chauds et leur implication pour le contenu en éléments lourds.

III-1.1.4 Interactions gaz/glace

Cette thématique développera la modélisation des interactions gaz/glace dans l'atmosphère (glace pure et glace dopée), l'étude du piégeage des volatils dans les glaces du système solaire, ainsi que la modélisation de la nébuleuse proto-planétaire avec piégeage de volatils dans les glaces en condensation en caractérisant l'implication pour la formation des planètes géantes et leur environnement satellitaire.

En parallèle à ces thématiques appliquées directement à la planétologie ou à des problématiques d'intérêt

environnemental, nous continuerons à développer également des travaux plus méthodologiques visant, par exemple, à déterminer les équations d'état pour des gaz partiellement ionisés ou encore visant à l'amélioration des algorithmes utilisés pour le calcul des interactions à longue portée ou pour la résolution des équations de la dynamique Newtonienne. Il est intéressant de noter à ce propos que la confrontation des méthodes utilisées pour la dynamique moléculaire à l'échelle microscopique et celles pour la dynamique des petits corps du système solaire pourrait à terme déboucher sur l'optimisation des algorithmes existants.

III-1.2 L'équipe PHysique et ASTrophysique d'UTINAM

Direction scientifique INSU : Astronomie et Astrophysique

A travers la création de l'équipe PhAs, certains acteurs des équipes ARTE, DREAM et DSC ont souhaité mettre en commun leur savoir-faire au service d'une recherche tournée vers des aspects plus fondamentaux. Une telle démarche rend compte de l'identité de méthodes théoriques numériques utilisées pour appréhender des phénomènes mécaniques, physiques et chimiques se produisant dans des objets et structures cosmiques ou nanométriques. Elle permet en outre de clairement afficher la présence de la physique théorique et de l'astrophysique au sein de l'institut UTINAM, et, par conséquent, de susciter l'attractivité et le maintien des étudiants attachés à ces problématiques au sein des masters liés à notre laboratoire.

La thématique "Astrophysique" de l'équipe regroupe les travaux relatifs aux systèmes de référence temps et espace ainsi que les études stellaires et galactiques. Nos motivations concernent l'établissement de **références pour le temps** (élaboration, caractérisation et diffusion des références de temps et de fréquences), **l'espace** (références astrométriques dans le système solaire et aux échelles galactiques et extragalactiques), et l'étude de la structure, de la dynamique et de l'**évolution galactique** en utilisant les **étoiles** comme traceurs. Nous développons des outils similaires (observations, modélisation, méthodes d'ajustements de modèles) et nous continuerons à participer très activement à la préparation de la **mission spatiale Gaia** et à l'analyse des données qu'elle fournira. Dans cette perspective nos modèles servent de référence, et nous visons à améliorer nos méthodes pour tirer le meilleur parti de cette mission.

III-1.2.1 Etoiles et système galactique

Les études de la compréhension du système galactique vont être poursuivies et se développer selon plusieurs axes dans les prochaines années. Pour répondre aux interrogations sur la formation de la Voie Lactée et la mise en place des différentes composantes (bulbe, barre, disque épais, halo, matière noire), nous développons un **modèle synthétique de la Galaxie** qui permet de tester différents scénarios en le confrontant aux observations, et nous poursuivons de **grands relevés** que nous menons (MEGABULGE) ou auquel nous participons activement (CFBDS). En complément nous nous impliquons dans des grands relevés internationaux (SEGUE2, APOGEE, BRAVA, Gaia) dont l'analyse donnera des contraintes importantes sur les liens entre la cinématique et la composition chimique dans les différentes composantes galactiques (disque et disque épais dans SEGUE2,

bulbe, barre et disque mince dans APOGEE et BRAVA), ainsi que les caractéristiques des traceurs stellaires particuliers (étoiles évoluées, étoiles variables, naines froides et naines brunes).

Suite à notre récente entrée dans le relevé **SDSS3** (SEGUE2 et APOGEE), nous préparons la sélection des champs qui seront observés par le projet APOGEE, dont l'objectif est de contraindre le scénario de formation, la mise en place et les interactions entre les populations (bulbe, barre, disque et disque épais) grâce à la détermination de leurs abondances chimiques et de leur cinématique. Les données APOGEE seront analysées avec nos méthodes mises au point et testées sur les simulations du modèle de synthèse. Par ailleurs, nous utiliserons les données SEGUE-2 pour analyser les structures dans le halo et le disque épais. Nous étudierons les distributions spatiales des populations stellaires du halo lisse et celles des courants en tenant compte des biais générés par le choix des cibles (SEGUE-2 n'est pas un relevé complet en magnitude). Nous utiliserons des méthodes statistiques pour ajuster les paramètres du modèle (composition chimique moyenne, dispersions, gradients spatiaux, ellipsoïde des vitesses, gradients spatiaux de vitesse, corrélation chimie/ cinématique).

Le modèle de synthèse de populations sera développé dans la perspective de raffiner les prédictions et de préparer des méthodes d'analyse adaptées à la perspective de la **mission Gaia**. Nous participons au projet **GREAT**, réseau ITN de l'Union Européenne, dans le cadre duquel nous encadrerons une thèse sur ce sujet. Une nouvelle version du modèle sera mise au point, en collaboration avec une équipe de l'Université de Barcelone, permettant de prendre en compte les taux de binarité des étoiles, la variation de l'**histoire de la formation d'étoiles** en fonction de la position dans la Galaxie. Au final une méthode de classification bayésienne, basée sur des probabilités données par le modèle de synthèse, sera mise au point pour être appliquée au relevé Gaia et mise à disposition via l'**Observatoire Virtuel**.

L'arrivée du relevé Gaia, donnant accès à des positions et vitesses d'un très grand nombre d'étoiles, va apporter une avancée importante en ce qui concerne la compréhension de la **dynamique galactique**. Nous nous engagerons dans une nouvelle modélisation dynamique couplée à la méthode de synthèse de populations en utilisant la méthode "Made-to-measure" en collaboration avec V. Debattista¹. Nous pourrions considérer différents modèles de gravitation alternatifs (MOND, relativité d'échelle, ...). La relativité d'échelle, en particulier, fournit un cadre révolutionnaire pour la dynamique galactique. Les données Gaia vont de leur côté donner des contraintes sans précédent sur la distribution de masse dans la Galaxie et sur les orbites stellaires. Le développement des équations de la relativité d'échelle à l'échelle de la Galaxie pourrait donner accès à une description nouvelle de la dynamique galactique. Le caractère prédictif de la théorie sera exploité pour corroborer ou invalider celle-ci à partir des données cinématiques fournies par Gaia.

En parallèle à ces études, basées sur des données de grands relevés, qui tendent à fournir une vision globale et cohérente de la Galaxie, nous allons mener des études détaillées des étoiles froides. Les **naines M** sont la composante majoritaire de notre Galaxie. En dépit de leur faible luminosité, donc de leur détection limitée en distance, elles représentent par leur densité des traceurs valables pour les études dynamiques jusqu'à petite échelle, et leur durée de vie couvre la totalité de la formation de la Galaxie. Par ailleurs, un nombre grandissant d'exoplanètes (y compris une super-Terre) sont découvertes autour de ces étoiles. Nous proposons de faire des

¹ ceci fait l'objet d'une demande d'ANR en collaboration avec le GEPI et l'OCA-CASSIOPEE

comparaisons détaillées entre des observations et des prédictions de **modèles d'atmosphères** froides les plus récents. L'objectif est d'étudier l'influence de la température effective, de la masse, de la luminosité et de la métallicité sur le spectre et le comportement des structures moléculaires. La détermination des **paramètres fondamentaux** a des implications importantes sur la physique stellaire et sur la physique galactique. Ce sujet fait l'objet d'une thèse financée par le ministère.

Dans la même optique, nous menerons des études spécifiques sur les **étoiles évoluées**. Ces étoiles représentant potentiellement des chandelles standards très nombreuses et utilisables même dans les régions de forte extinction, il est important de les caractériser très précisément. Les spectres observés des géantes M et des AGB dans les longueurs d'onde optique et proche infrarouge permettront d'améliorer les modèles (par exemple, les opacités manquantes) et de déterminer des **paramètres physiques** tels que la température, la masse, la gravité, etc. Le bulbe galactique est le champ idéal pour l'étude de l'évolution stellaire car il héberge des étoiles de métallicités très diverses ($-1 < [\text{Fe}/\text{H}] < 1$). De plus, la distribution de la métallicité dans l'espace est un élément important dans les différents scénarios de formation galactique tels que le collapse dissipatif, l'accrétion de matière, les instabilités dynamiques. Nous déterminerons une **carte de métallicité** qui, associée à un modèle de structure galactique contraint par la cinématique (mouvements propres MEGABULGE, vitesses radiales avec Giraffe et relevé BRAVA), nous fournira une image complète de la **formation du bulbe**, de son interaction avec le disque et le halo et de l'influence de la composition chimique sur la cinématique et l'évolution.

III-1.2.2 Ephémérides planétaires et systèmes de références spatiales

Dans le cadre du développement des **éphémérides INPOP**, nous souhaitons acquérir les compétences afin de pouvoir exploiter les données brutes de navigation des sondes disponibles dans la base de données du PDS (Planetary Data System). Ces compétences nous permettront de franchir un pas supplémentaire dans l'autonomie, puisqu'actuellement seul le JPL est fournisseur pour les sondes américaines de données traitées et prêtes à être intégrées dans les ajustements des modèles dynamiques planétaires ou satellitaires. Notamment, les données brutes de la **sonde Mercury Messenger** en route vers Mercure sont dès à présent disponibles. Ces données sont fondamentales puisqu'aucune sonde n'a été mise en orbite autour de Mercure. De part la proximité de Mercure du soleil, de nombreux **tests de physique fondamentale** pourront être réalisés avec une précision jamais atteinte. Dans ce contexte, nous sommes aussi impliqués dans la préparation de la **mission Bepi-Colombo** dont nous attendons là-encore des données de positionnement de la planète permettant une grande amélioration dans notre capacité à comprendre la gravitation. Un cofinancement CNES/Région Franche-Comté a été obtenu pour une thèse sur ces thématiques commençant en septembre 2010.

La **mission Gaia** va fournir des observations très précises des petits satellites des planètes extérieures ainsi que des estimations de **masses d'astéroïdes** avec une assez grande précision. Ces différents éléments vont permettre une amélioration conséquente des orbites des planètes géantes et une meilleure appréhension de la physique des astéroïdes de la ceinture principale qui pourra être confrontée à nos propres estimations. Les futures missions européennes et américaines à destination des planètes géantes (New Horizons, EJSM ou

TandEM/TSSM) nous apporteront aussi de nouvelles données essentielles.

Nous renforcerons notre implication dans le European Pulsar Timing Array (EPTA). En effet afin de réaliser un lien entre repères de référence et l'ICRF homogène, il est nécessaire d'utiliser des **observations de pulsars** réparties dans toutes les directions. Il est donc impératif de densifier le nombre de pulsars utilisés pour les raccordements (actuellement une dizaine) via une collaboration avec l'EPTA (qui organise l'observation d'environ soixante-dix pulsars en Europe).

Enfin, des collaborations avec la communauté des physiciens de la gravitation sont en cours de mise en place. Plusieurs propositions de **tests de gravitation** (principe de Mach, modèles alternatifs de gravitation) sur la base d'INPOP et de son ajustement aux données spatiales ont été émises par cette communauté et seront certainement explorées.

III-1.2.3 Références temporelles

Le projet InterReg SIDGET vient d'être accepté et permettra de réaliser pour 2012 un premier prototype de l'**horloge composite** dont l'étude de faisabilité avait fait l'objet du contrat InterReg HOROM. Cette horloge, intégrant un oscillateur à quartz ultra-stable, un maser à hydrogène et une horloge atomique à jet de césium présentera l'avantage d'être l'horloge la plus stable du marché à la fois sur le court terme (durées inférieures à 10 s), sur le moyen terme (durées comprises entre 10 s et 1 jour) et sur le long terme (durées supérieures à 1 j). La version industrielle sera commercialisée par la société suisse Oscilloquartz SA (Neuchâtel). Une version de laboratoire, de performances supérieures, permettra de mutualiser les horloges atomiques du campus de Besançon (Maser de Femto-ST et Césium de l'observatoire de Besançon) et de fournir une fréquence de très haute qualité métrologique aux 2 laboratoires.

Le groupe Temps-Fréquence d'UTINAM a la responsabilité de l'étude de l'effet de la fenêtre temporelle d'observation des horloges d'**ACES** (maser spatial et PHARAO) qui seront installées sur l'ISS. En effet, l'ISS n'est visible en un lieu donné que pendant quelques minutes à chaque période de rotation (90 minutes) et pendant quelques périodes par jour (5 à 6). Il en résulte des mesures de temps ou de fréquence présentant un temps mort extrêmement important, dont les effets doivent être quantifiés très précisément. Une phase préliminaire commencera avec l'analyse des données T2L2 transmises par le satellite JASON-2. Une première campagne de tirs laser aura lieu à Besançon à l'automne 2010 avec la station mobile de l'OCA. A plus longue échéance, une station T2L2 fixe est demandée dans le cadre d'un projet d'Équipement d'Excellence Grand Emprunt visant à établir un Centre de Métrologie Temps-Fréquence à Besançon, conjoint entre UTINAM et Femto-ST. Une allocation de thèse cofinancée par le CNES, codirigée par F. Vernotte et P. Exertier de l'OCA, devrait permettre, à la rentrée 2011, de transposer l'étude de la fenêtre temporelle d'observation sur les données **T2L2** de JASON-2, sur celles issues de l'expérience ACES/PHARAO.

Enfin, l'application au chronométrage des **pulsars** millisecondes de la méthode des cross-spectra, développée par E. Rubiola de Femto-ST, semble prometteuse pour mettre en évidence efficacement un éventuel bruit de fond gravitationnel très basse fréquence.

III-1.2.4 Tests de relativité et modèles de théorie des champs

Du fait de l'incompatibilité entre la théorie de la relativité générale et la mécanique quantique, on s'attend à découvrir des violations des principes relativistes dans des expériences et des observations de hautes précisions. Outre les travaux qui sont menés dans les thématiques relevant de l'astronomie stricto sensu - sur la violation du principe d'équivalence dans le modèle PPN (Parametrized Post-Newtonian) à travers l'étude des éphémérides calculées dans le projet INPOP et sur le potentiel de la théorie de la relativité d'échelle dans le modèle de la galaxie - nous avons deux projets spécifiques traitant des tests et des modèles de relativité.

A- Test de l'invariance de Lorentz locale

Un des points forts de la collaboration entre physiciens et astronomes concerne, en premier lieu, le dépôt d'un projet blanc ANR (dépôt prévu au printemps 2011) qui implique des chercheurs en astronomie (références temporelles) et en physique d'UTINAM ainsi que des collègues de FEMTO-ST. Ce projet s'inscrit dans un des tests fondamentaux des symétries de la relativité moderne : l'**invariance de Lorentz locale**. Il semble que les progrès récents effectués dans le domaine du temps-fréquence, et notamment la maîtrise internationalement reconnue de la technologie des saphirs cryogéniques (Femto-ST est une des 2 seules équipes au monde à posséder cette métrologie) soit de nature à donner de nouvelles limites aux tests relativistes. Le projet consiste à réaliser des tests de l'invariance de Lorentz locale grâce à une nouvelle version de l'expérience de Michelson-Morley basée sur des masers à saphir cryogéniques en fonctionnement continu et en rotation. In fine, il s'agira de chercher les signatures spectrales des différents types de violations possibles, anisotropie de l'espace, terme de Chern-Simon dans le lagrangien électromagnétique ou déformation géométrique du groupe Lorentz. La combinaison des compétences des spécialistes de physique théorique et de celles des spécialistes de métrologie temps-fréquence, fournit les atouts scientifiques nécessaires pour mener à bien une telle expérience à Besançon.

B- Modèles cosmologiques

Le second projet concerne la poursuite du développement du modèle cosmologique que nous avons proposé, qui consiste à considérer une classe particulière des solutions des **équations de Friedmann** où la vitesse d'expansion cosmologique est corrélée à la vitesse de la lumière (Vigoureux et al, 2009). Si dans le modèle standard de la cosmologie (modèle Λ CDM), la constante cosmologique est requise pour accélérer l'expansion, elle a un rôle très différent dans notre approche où l'accélération est issue d'une illusion d'optique. Nous souhaitons étudier les origines physiques possibles de cette constante dans le cadre de notre modèle, en particulier en essayant de la générer par un champ scalaire, afin de mieux comprendre son rôle. Nous souhaitons également étudier la généralisation de notre modèle dans les cadres des théories non-standards de la physique où la vitesse de la lumière n'est plus une constante.

Les déterminations de paramètres PPN et d'avances supplémentaires des périhélie et des noeuds des orbites planétaires faites avec les éphémérides planétaires INPOP sont des contraintes importantes pour les théories alternatives de gravitation comme les théories hybrides MOND-matière noire de (Blanchet et al. 2008) et les

modèles cosmologiques basés sur les théories des cordes (Fyuzfa et al. 2008). Nous continuerons ces estimations et testerons des modèles cosmologiques tels que les modèles de gravité modifiée avec S. Reynaud (LKB) et ceux de quintessence et de non-linéarité de la matière en collaboration avec A. Fuzfa (université de Namur, Belgique).

Enfin, notre groupe travaille depuis plusieurs années, sur le développement de modèles pour la mécanique quantique non-relativiste et l'optique similaires à ceux de la théorie des champs ou des théories alternatives. Nous souhaitons poursuivre nos recherches sur l'adaptation des méthodes de modélisation de la physique théorique à la physique atomique et moléculaire, en particulier en étudiant le rôle possible des nouvelles théories de jauge (issues de la théorie des cordes et de la géométrie non-commutative) dans la géométrisation des systèmes quantiques ouverts. Ces recherches sont menées au sein de la thématique Dynamique Quantique des Systèmes Complexes d'UTINAM.

III-1.3 Le département Temps-Fréquence de Femto-ST

Rattachement principal : InSIS. Direction scientifique INSU : Astronomie et Astrophysique

Le département Temps-Fréquence de l'Institut FEMTO-ST, UMR 6174, a été créé en 2008 en regroupant des chercheurs en provenance de quatre équipes provenant du LPMO et du LCEP, érigées en départements de FEMTO dès 2004. Ses axes scientifiques couvrent les horloges, les oscillateurs et la synthèse de fréquence, mais aussi la métrologie de fréquence en tant que telle, la piézoélectricité et toutes ses applications aux résonateurs et capteurs résonnants, avec notamment une activité en matière de caractérisation de matériaux piézoélectriques, et enfin la conception et simulation de composants acoustiques passifs conjointement à la recherche de technologies et procédés innovants pour la micro-acoustique. Le département comporte environ 70 personnes, dont 11 EC, 4 chercheurs CNRS, et une dizaine d'ingénieurs de Recherche. Il est organisé en trois thématiques et une équipe de recherche partenariale :

- Horloges, oscillateurs et synthèse de fréquences
- Acousto-électronique et Piézoélectricité, capteurs
- Métrologie de fréquences
- Conception et simulation en micro-acoustique, équipe COSIMA.

Le département soutient très fortement le Service Commun d'Electronique de FEMTO-ST, car il dispose de 15 ITA, avec une majorité d'électroniciens.

Dans ce contexte, la thématique métrologie est particulièrement liée aux activités du LNE à Besançon, activités qu'elle contribue à nourrir de ses travaux et réalisations, (bancs micro-ondes à lignes à retard optique, par exemple). Les recherches effectuées dans cette thématique sont exploitées par les activités du Laboratoire Temps-Fréquence Bisontin (LTFB), guichet unique pour les certifications LNE-COFRAC, s'inscrivant très naturellement dans le droit-fil d'une Unité Mixte de Service. L'effort de mutualisation entrepris avec la création du LTFB peut être étendu de façon très bénéfique par la mise en place de moyens de communication permettant aux activités de métrologie de l'OSU d'accéder de façon transparente aux diverses références de fréquence

et oscillateurs développés par les acteurs de la thématique “Horloges” du département. En particulier, des oscillateurs micro-ondes opérés aux températures cryogéniques grâce à l’utilisation de cryo-générateurs ont récemment démontré d’excellentes performances de stabilité à court et moyen terme (instabilité inférieure à 10^{-15} sur plusieurs heures), outrepassant probablement les performances des Masers à hydrogène, pourtant classés parmi au nombre des références atomiques. L’exploitation de ces nouvelles références en association avec les travaux sur les horloges composites menés par les chercheurs de l’Observatoire de Besançon permettra de renforcer la position de la communauté temps-fréquence bisontine au plan international. En effet, déjà reconnue après avoir produit dans les années 1980 les meilleurs résonateurs à quartz ultra-stables (dits BVA, instabilité à court terme $7 \cdot 10^{-14}$) et joué un rôle moteur dans la création du congrès European Frequency and Time Forum, cette petite communauté régionale voit maintenant apparaître l’opportunité de renforcer encore sa position pourtant au premier plan national et international, le panel de recherches qu’elle propose étant très complémentaire des activités du LNE-SYRTE et de l’Observatoire de Paris. Celles-ci sont très en pointe dans le domaine des horloges atomiques, dont la plage de stabilité optimale est long terme, contrairement au cas des oscillateurs développés par FEMTO-ST (stabilité optimale sur des périodes inférieures à un jour). L’intégration des thématiques Métrologie et Horloges au sein de l’OSU est donc très naturelle, en harmonie avec les recherches sur les horloges composites conduites à l’Observatoire de Besançon.

La thématique acousto-électronique et l’équipe partenariale COSIMA conduisent des recherches dans un domaine appliqué où résonateurs et oscillateurs piézoélectriques à l’état de l’art côtoient les capteurs résonnants, à sortie fréquentielle ou d’amplitude (gyromètres micro-usinés) et d’une façon générale tous les composants acoustiques RF passifs, exploités au sein d’électroniques de plus en plus intégrées (ASIC, FPGA). Outre les travaux sur les BVA précités, on notera le développement de résonateurs composites dits HBAR, avec couche mince piézoélectrique monocristalline reportée sur substrat cristallin plus épais, piézoélectrique ou non. Ces recherches présentent un fort aspect microtechnique et recourent largement à la centrale de technologie MIMENTO, 6eme centrale du réseau RTB. L’équipe COSIMA a d’ailleurs significativement contribué à des achats de matériels par la centrale. Ces recherches permettent de prévoir à court terme la réalisation d’oscillateurs locaux très portables, voire miniatures, fonctionnant dans la plage 1-10 GHz, et qui pourront valoriser et compléter le travail moteur de l’équipe Horloges pour le développement d’une micro-horloge atomique basée sur un principe original (gestion de gaz tampons et CPT, Coherent Population Trapping) développée dans le cadre de contrats européens établissant des coopérations transverses tant à l’intérieur de FEMTO (département micro-nanosciences et systèmes) qu’avec des entreprises (OSA) et laboratoires européens (Univ. Ulm par exemple).

L’entrée du département Temps-Fréquence de FEMTO dans l’OSU THETA implique l’entrée de l’Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques au sein de l’OSU, car cet établissement de statut autonome (article 43) joue un rôle tutélaire essentiel dans l’accueil et le support de FEMTO en général et de son département Temps-Fréquence en particulier, à la fois en termes d’infrastructures et par les emplois mis à disposition.

III-1.4 L'équipe Spectroscopie Moléculaire, Processus Collisionnels et Applications de l'ICB

Rattachement principal : InP. Direction scientifique INSU : Astronomie et Astrophysique

L'actuelle équipe SMA (Spectroscopie Moléculaire et Applications) du laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (UMR uB/CNRS 5209) va subir une évolution notable à partir du prochain contrat. Si les travaux et projets actuels, tout particulièrement concernant la spectroscopie du méthane et ses applications en planétologie, vont bien entendu être poursuivis et approfondis, de nouveaux thèmes connexes sont en cours d'émergence. Ceci est rendu possible, en particulier, grâce au recrutement fin 2009 de Yohann Scribano (Maître de Conférences) et à l'arrivée, au 1er janvier 2012, de deux collègues issus du laboratoire UTINAM de Besançon. En effet, Béatrice Honvault (Directeur de Recherche CNRS) et Pascal Honvault (Professeur), en accord avec leur laboratoire d'origine et avec l'ICB, ont exprimé le souhait d'être rattachés à l'équipe. Les compétences de celle-ci vont donc s'étendre de manière très significative en direction de la chimie quantique et des processus collisionnels moléculaires.

A partir du 1er janvier 2012, l'intitulé de l'équipe sera donc "Spectroscopie Moléculaire, Processus Collisionnels et Applications" (SMPCA), afin de refléter ces évolutions. Le projet s'articulera autour de trois grands axes, développés ci-dessous. L'équipe possèdera ainsi un ensemble de compétences reconnues et très complètes, depuis les calculs de chimie quantique jusqu'aux applications, par exemple en planétologie, en passant par la modélisation des spectres moléculaires à haute résolution, l'étude des profils spectraux et la réactivité. Les domaines d'applications se retrouveront eux aussi étendus.

A noter également que l'équipe s'est inscrite dans le projet de création de l'OSU (Observatoire des Sciences de l'Univers) THETA (Terre-Homme-Environnement-Temps-Astronomie) de Franche-Comté/Bourgogne qui devrait regrouper les laboratoires UTINAM, Chrono-Environnement, le département Temps-Fréquence de Femto-ST (Besançon), BioGéoSciences et l'équipe SMPCA (Dijon), à partir de janvier 2012.

III-1.4.1 Spectroscopie Moléculaire et Application aux Atmosphères

Cette première partie du projet SMPCA représente la continuité mais aussi l'extension du savoir faire internationalement reconnu de l'équipe en matière de modélisation des spectres à haute résolution. Elle intègre la poursuite des extensions récemment effectuées en termes de nouveaux systèmes traités.

A- Modélisation de l'absorption du méthane

En collaboration avec le LESIA (Meudon), le LCP (Grenoble), le GSMA (Reims), l'ETH Zürich (Suisse), le JPL (Pasadena CA, USA), ...

L'étude exhaustive du spectre d'absorption du méthane pour les applications en planétologie, engagée lors du contrat ANR Blanc CH4@Titan, se poursuivra au delà de celui-ci. En particulier, les méthodes de calcul symbolique développées à Reims pour la déduction des opérateurs Hamiltonien et moment dipolaire à partir

de surfaces ab initio seront exploités pour l'attribution des raies, l'ajustement et la modélisation des polyades très excitées (au-delà de 7000 cm^{-1}). Il est en effet nécessaire de progresser plus encore vers les régions proche infrarouge et visible, tant pour les applications à l'atmosphère de Titan et des planètes géantes du système solaire, que pour l'étude des objets chauds (exoplanètes géantes, naines brunes, ?) dans lesquels un grand nombre de bandes chaudes sont observées. La thématique du méthane chaud fait partie du projet ANR Blanc SYRACUSE déposé en 2010 (Rennes, Orsay, Dijon, Reims). L'extension de l'étude concernera aussi les isotopologues $^{13}\text{CH}_4$ et $^{12}\text{CH}_3\text{D}$, dont la modélisation reste actuellement à un niveau inférieur à celle de $^{12}\text{CH}_4$.

Un accent particulier sera mis sur l'évaluation de la précision des calculs et sur les conséquences des erreurs des modèles spectroscopiques dans les calculs de transfert radiatif. Ces erreurs concernent les positions et intensités des raies, mais aussi les profils de raies, dont l'étude sera bien entendu poursuivie (voir partie C de ce projet).

Les nouvelles raies calculées du méthane seront mises à disposition de la communauté scientifique "en temps réel" via le serveur qui sera mis en place dans le cadre du réseau européen VAMDC.

B- Autres molécules présentes dans diverses atmosphères

En collaboration avec M. Rotger (GSMA, Reims), ...

Ici encore, les efforts entrepris lors du précédent contrat seront poursuivis et les outils développés seront exploités et étendus. Nous nous focaliserons sur plusieurs molécules pour lesquelles existe un besoin important de modélisation d'états plus excités et pour lesquelles nous possédons des outils adaptés :

- C_2H_4 , dont les régions de l'élongation C-H (3000, 6000 cm^{-1}) devront être modélisées de manière plus approfondie en tenant compte des nombreux couplages entre bandes présents.
- SF_6 , la modélisation des bandes chaudes dans la région de la bande d'absorption atmosphérique (ν_3) nécessitant encore l'analyse de plusieurs niveaux vibrationnels.
- CF_4 , pour des raisons similaires.

Ponctuellement, d'autres molécules seront étudiées à l'aide des outils XTDS et SPVIEW, en fonction des demandes des collègues expérimentateurs.

C- Molécules piégées et complexes

En collaboration avec l'équipe Adsorption sur Solides Poreux (ASP) de l'ICB, UTINAM (Besançon), ...

Cette partie, qui concerne la modélisation de spectres de molécules piégées dans un solide et de complexes moléculaires, utilisera abondamment les résultats des calculs ab initio (partie B). Les systèmes étudiés concerneront :

- Les molécules (C_2H_4 , C_2Cl_4 , C_2HCl_3 , ?) piégées à l'intérieur d'un canal de zéolithe, dans la continuité des travaux engagés avec l'équipe ASP de l'ICB.
- Les clathrates de méthane, intéressant tant les environnements terrestre (réserves de gaz naturel sous forme de clathrates, risque d'augmentation de l'effet de serre en cas de relâchement de ce gaz) que

planétaires (Titan, Mars, ?). Cette thématique est au centre du projet ANR Blanc SOLHYD déposé en 2010 (Besançon, Dijon, Grenoble, Rennes, Paris).

- Les dimères de van der Waals tels que CH₄-N₂ ou C₂H₄-C₂H₄. Dans ce cas, les travaux déjà engagés au cours du contrat précédent devront être confrontés à des données expérimentales.

III-1.4.2 Calculs ab initio de la structure et des propriétés électroniques de petits systèmes moléculaires d'intérêt pour la spectroscopie ou la dynamique collisionnelle

L'équipe dispose maintenant de compétences importantes en matière de calculs de chimie quantique, ceux-ci étant devenus le partenaire indispensable des études spectroscopiques (partie A) et des processus collisionnels (partie C). Cette thématique fera donc le pont entre les deux autres.

A- Calculs ab initio sur les complexes et les molécules piégées

Des calculs ab initio seront réalisés sur un certain nombre de complexes d'intérêt atmosphérique et astrophysique, notamment ceux qui comportent la molécule de méthane. L'intérêt d'un tel travail réside dans la construction d'une surface de potentiel, dont la forme analytique décrit l'ensemble des configurations nucléaires (radiales et angulaires), et qui peut servir à de multiples applications : forme de la bande rovibrationnelle, énergies de transition rovibrationnelles inter- et intramoléculaires, qui peuvent également justifier la précision de la surface de potentiel. C'est une continuation du projet concernant l'étude du dimère CH₄-N₂ pour les applications atmosphériques et astrophysiques (Titan), qui a fait l'objet d'une thèse en cotutelle franco-russe (co-direction N. Zvereva-Loëte et V. Boudon) et qui s'inscrit dans le cadre du contrat ANR CH₄@Titan.

Les calculs ab initio pour la spectroscopie de molécules piégées dans des solides (zéolithes, matrices, ...) peuvent constituer un thème très porteur pour l'avenir, avec de nombreuses applications potentielles telles que la dépollution. Dans ce cadre on s'intéressera au développement des méthodes hybrides fonction d'onde / théorie de la fonctionnelle de la densité.

Les calculs ab initio pour le dimère C₂H₄-C₂H₄, traités actuellement dans le cadre de la thèse de Yulia Kalugina, permettront de mieux comprendre le problème d'adsorption de l'éthylène sur les zéolithes (le cas de deux molécules dans une cavité).

Les travaux sur les zéolithes peuvent aisément être étendus à l'étude du méthane ou d'autres molécules piégées dans des cristaux de glace, appelées clathrates. Les clathrates, ou "hydrates de gaz" sont présents sur terre et seraient aussi à l'origine du méthane dans l'atmosphère de Titan. Cette étude fait partie des objectifs du Pôle de Sciences Planétaires de Bourgogne Franche-Comté.

Dans le cadre d'une collaboration avec A. Vigasin (RFBI et GDRI SAMIA) nous souhaitons également développer le projet " Etude expérimentale et théorique du continuum d'absorption des mélanges de vapeur d'eau avec l'azote, l'oxygène, le dioxyde de carbone ou le méthane ".

B- Etude de la réactivité de CH₄ avec O(1D), N(2D), ...

Forts de notre expérience dans l'étude des potentiels d'interaction atome/molécule entreprise ces dernières années sur des systèmes modèles atome + diatome traités de façon quasi-exacte, nous nous proposons d'étendre notre étude à des systèmes de plus grande dimensionnalité et en particulier, aux systèmes mettant en jeu le méthane. En effet, des résultats obtenus récemment (Nature 460, 720-723, 2009) par les modèles de la chimie atmosphérique du méthane sur Mars montrent de grosses lacunes dans ce domaine. Ce thème fait partie du projet ANR Blanc PRIMAT soumis en 2010 (Dijon, Besançon, Verrières-le-Buisson). A l'aide des logiciels de chimie quantique propre à la caractérisation des surfaces, nous nous attacherons dans ce projet à déterminer le potentiel d'interaction entre une molécule et un atome dans un état excité. Pour cela, nous appliquerons la méthode MRCI, particulièrement bien adaptée au traitement des cassures et formations de liaisons, en prenant soin de corriger les énergies des erreurs de cohérence de taille et de tendre vers la limite de bases atomiques complètes. La grosse partie du travail de thèse consistera à fournir une représentation analytique ou numérique de ces hypersurfaces de façon à ce qu'elles soient utilisables dans les codes de dynamique réactionnelle employés par la suite.

C- Étude théorique et expérimentale des interactions moléculaires CO₂ - H₂/N₂

En collaboration avec F. Thibault (Rennes, France), D. Cappelletti (Perugia, Italie), M. Bartolomei (Madrid, Espagne).

Ce projet concerne l'étude théorique et expérimentale des potentiels d'interaction intermoléculaire et des processus collisionnels (sections efficaces inélastiques, transfert d'énergie, relaxation, ?) pour les systèmes mettant en jeu le dioxyde de carbone (CO₂) avec le dihydrogène (H₂) ou le diazote (N₂). L'interaction CO₂-H₂ est déterminante pour la formation du méthanol et du diméthyl éther (DME), tous les deux étant des gaz d'intérêt potentiel comme source d'énergie future. Les mécanismes collisionnels entre CO₂ et N₂ présentent également un intérêt fondamental pour la physico-chimie des atmosphères terrestres ou planétaires. Ceci est le cas pour l'atmosphère de Mars, riche en dioxyde de carbone et de Titan, riche en azote. Les collisions moléculaires avec H₂, principal composant du milieu interstellaire (MIS), participent également au bilan thermique de ces environnements et les modélisations se basent sur les données obtenues en laboratoire. Notre projet de recherche sur cette thématique repose alors sur la complémentarité entre les différentes techniques envisagées, à savoir le calcul ab initio de grande précision des potentiels d'interaction moléculaire, le calcul de dynamique quantique "close-coupling" des sections efficaces de collision, la modélisation par des potentiels modèles des interactions moléculaires et les mesures expérimentales des sections intégrales de collision en jets moléculaires (Perugia).

D- Structure électronique des systèmes O₂, O₃ et O₄ et des processus photochimiques

"magnétiquement" interdits dans l'atmosphère

En collaboration avec B. Minaev (Cherkassy, Ukraine).

Ce projet concerne la recherche théorique de nouveaux systèmes de bandes de O₂, O₃ ou O₄ et de processus

induits par collision dans le rayonnement nocturne terrestre. Le but principal de ce projet est la caractérisation de complexes collisionnels excités et une recherche théorique de nouvelles transitions électroniques interdites dans la molécule O₂ qui pourraient être observées dans le rayonnement nocturne terrestre de très faible intensité avec les télescopes Keck de grande sensibilité. L'étude des transitions électroniques interdites dans O₂, particulièrement riches en de telles transitions, a fortement aidé à la compréhension de la photophysique et photochimie de la haute atmosphère. L'équipe américaine conduite par Tom Slanger a trouvé récemment un nouveau système de bandes de O₂ dans les spectres du rayonnement nocturne terrestre enregistré par le télescope Keck dans la région 380-550 nm correspondant à la transition $c_1 \ ^1\Delta_g - b_1 \ ^1\Sigma_g^+$. L'équipe du Prof. Minaev a fourni l'explication théorique de cette observation. Nous prévoyons d'utiliser les méthodes les plus récentes de Chimie Quantique pour l'étude ab-initio des transitions singulet- triplet (S-T) du spectre de l'oxygène incluant les couplages spin-orbite (SOC), spin-spin (SSC) et hyperfins (HFC).

III-1.4.3 Processus collisionnels moléculaires

L'équipe souhaite développer largement cette thématique avec pour applications, entre autres, la modélisation des profils spectraux des espèces moléculaires présentes dans les atmosphères planétaires, ainsi que l'étude de la formation d'espèces chimiques dans le milieu interstellaire ou dans les enveloppes planétaires en considérant notamment les processus collisionnels réactifs et inélastiques.

A- Processus non réactifs

Un des axes d'investigation de l'équipe concerne la description des processus collisionnels pour des systèmes moléculaires divers (CH₄/N₂, H₂O/H₂, D₂O/H₂, CH₄/He, ?) d'intérêt astrophysique et/ou planétologique. En effet, la prise en compte des effets collisionnels dans les modèles de transfert radiatif, par exemple, reste actuellement limitée par l'utilisation de paramètres spectraux (largeurs, déplacements, termes de couplage entre transitions, dépendances en température) plus ou moins approximatifs. Ces grandeurs sont nécessaires pour remonter de façon précise aux conditions physiques des milieux observés (atmosphères planétaires, ?). Le projet ANR CH₄@Titan, déjà évoqué, profitera notamment du travail que nous nous proposons de faire. D'un autre côté, le rapide développement des moyens d'observations dans les domaines sub-millimétriques et infrarouge, par exemple la mission Herschel, lancée en 2009, va apporter des avancées majeures dans les prochaines années pour l'astrophysique moléculaire et la planétologie.

Dans le cas des transitions infrarouge du méthane, le modèle semi-classique pour le calcul des coefficients d'élargissement par la pression que nous utilisons commence à montrer ses limites. A court terme, nous envisageons d'utiliser des modèles de potentiels intermoléculaires issus de calculs de la chimie quantique (méthode ab initio ou de premier principe). Ce type d'approche se fera en lien direct avec la seconde partie (B) du projet. Dans un même temps, nous allons développer et implémenter des modèles de dynamique (collisions inélastiques) pouvant traiter des systèmes polyatomiques en interaction et allant au delà des modèles actuels semi-classiques. Ceci pourra se faire par comparaison avec des résultats purement quantiques sur des processus modèles afin de valider les nouvelles approches envisagées.

B- Processus réactifs

Un deuxième axe de recherche concerne l'étude des processus moléculaires réactifs en phase gazeuse. Des méthodes quantiques et quasi-classiques de trajectoires seront appliquées aux collisions réactives mettant en jeu trois atomes, avec si nécessaire la prise en compte de couplages non-adiabatiques. Ces recherches concerneront également le développement et l'application de méthodes pour déterminer et analyser la dynamique quantique des collisions froides et ultra-froides en lien avec le domaine de recherche très actif et excitant de la physique des basses et ultra-basses températures.

Par ailleurs, l'un des grands défis actuellement en dynamique réactionnelle est d'effectuer des calculs de dynamique pour des réactions à quatre atomes ou plus. Nous envisageons l'étude de réactions polyatomiques qui jouent un rôle crucial en physico-chimie de l'atmosphère, en astrophysique, et en combustion. Ce travail a pour objectif de fournir des taux de réaction pour ces processus, qui seront utilisés dans les modèles atmosphériques et astrophysiques. En outre, ces travaux aboutiront à une meilleure compréhension des mécanismes fondamentaux impliqués dans ces réactions en considérant tous les paramètres clé (énergies et états internes des réactants, ...), et pourront révéler de nouveaux mécanismes réactionnels inattendus. Le couplage étroit avec les expériences à haute résolution et la puissance des ordinateurs toujours en rapide croissance donne une opportunité unique d'étudier en profondeur et quantitativement la réactivité de systèmes polyatomiques complexes.

III-2 Recherches dans le domaine des Sciences de la Terre

III-2.1 L'équipe BIODiversité-Macroécologie-Évolution de BioGéoSciences

Directions scientifiques INSU : (1) Sciences de la Terre, (2) Surfaces et Interfaces Continentales

L'équipe BioME se structure en quatre axes thématiques : 1). Biominéralisation, 2). Emergence et structuration des phénotypes, 3). Evolution des traits d'histoire de vie, et 4). Macroécologie.

Deux thématiques de recherche sont en lien étroit avec l'équipe SEDS (TI/SIC)

III-2.1.1 Diagenèse des carbonates biogéniques

Le volet diagenèse est un projet d'interface, adossé aux équipes "Biodiversité - Macroécologie - Evolution (BioME)" et "Systèmes, Environnements et Dynamique Sédimentaire (SEDS)". Il assure un lien cohérent et naturel entre les approches sédimentologiques et biochimiques. L'expertise des membres de la future équipe SEDS est indispensable au développement de cette thématique.

La diagenèse des biominéraux carbonatés et de leur matrice calcifiante est une thématique de recherche qui n'a été abordée que très ponctuellement à Dijon, lors du précédent contrat quadriennal. Nous souhaitons

dynamiser cette recherche, par le biais d'une thèse notamment (sujet déposé). Bien que cette thématique soit subordonnée à la compréhension des matrices calcifiantes actuelles, nous souhaitons dans le futur la pérenniser ; son émergence est amplement justifiée par les acquis techniques récents et par les outils moléculaires (nombreux anticorps polyclonaux) disponibles sur Dijon.

A ce jour, on ne sait toujours pas s'il est réaliste de chercher des protéines fossiles dans des coquilles de mollusques fossiles relativement anciens (Paléogènes ou Mésozoïques par exemple) dans la mesure où l'on ne connaît toujours pas leur degré de résistance à la diagenèse. De plus, aucun des travaux (anciens ou récents), basés sur des analyses d'acides aminés de mélanges, n'a été capable de montrer si les protéines extraites de formes fossiles étaient natives ou résultaient de contaminations (bactériennes, fongiques). Dans ce contexte largement ouvert, il est temps de réévaluer la diagenèse des matrices calcifiantes à l'aide des outils déjà employés dans les volets 1 et 2, et de voir si l'on peut espérer retrouver de l'information à partir des résidus protéiques extraits de coquilles de mollusque fossiles. La diagenèse des matrices calcifiantes sera abordée selon trois angles différents : des expériences de diagenèse de laboratoire, des caractérisations de matrices fossiles, des expériences visant à comprendre les interactions organo-minérales.

Des expériences de diagenèse expérimentale seront réalisées par étuvage de poudre de coquille sous diverses conditions (présence ou absence d'eau, variation de température et de durée). Des expériences d'enfouissement de coquille dans des sols de diverses natures seront également réalisées, sur plusieurs mois. Le suivi de la dégradation des protéines connues sera obtenu en combinant plusieurs approches biochimiques et immunologiques : visualisation directe en SDS-PAGE, dot-blot, Western-blot et ELISA. Pour ces 3 dernières techniques, le laboratoire dijonnais possède de nombreux anticorps polyclonaux. Le développement d'anticorps monoclonaux est envisagé. Des contrôles minéralogiques seront effectués en parallèle. En complément, une approche protéomique ainsi que des analyses de monosaccharides seront réalisées. Les expériences de diagenèse expérimentale serviront à l'élaboration de modèles de dégradation protéique, au cours du temps.

Des analyses biochimiques, immunologiques et protéomiques de spécimens fossiles à microstructures bien préservées, anciens (Inocérames, Trichites, spécimens du Lutétien du B. de Paris), ou récents (spécimens quaternaires) seront réalisées, l'objectif étant d'obtenir des séquences de protéines fossiles. Nous verrons s'il est possible d'extraire de l'information (notamment taxonomique) à partir de ces protéines fossiles résiduelles. Pour toutes les formes fossiles, la diagenèse minérale sera évaluée par les méthodes d'analyse classiques en pétrographie (colorations de lames minces, DRX, fluorescence, cathodo-luminescence, microsonde EDX et WDS).

Des analyses des interactions organo-minérales par phage-display, technique permettant de sélectionner des peptides en fonction de leur affinité pour une surface minérale, en l'occurrence un carbonate de calcium. Nous testerons la congruence entre les données obtenues expérimentalement par phage display et les données obtenues sur du fossile : les peptides ayant les plus fortes affinités pour les carbonates de calcium (aragonite ou calcite) sont-ils aussi ceux que l'on retrouve dans les matrices fossiles ?

III-2.1.2 Mécanismes et facteurs déterminant la cinétique de la biodiversité lors des périodes

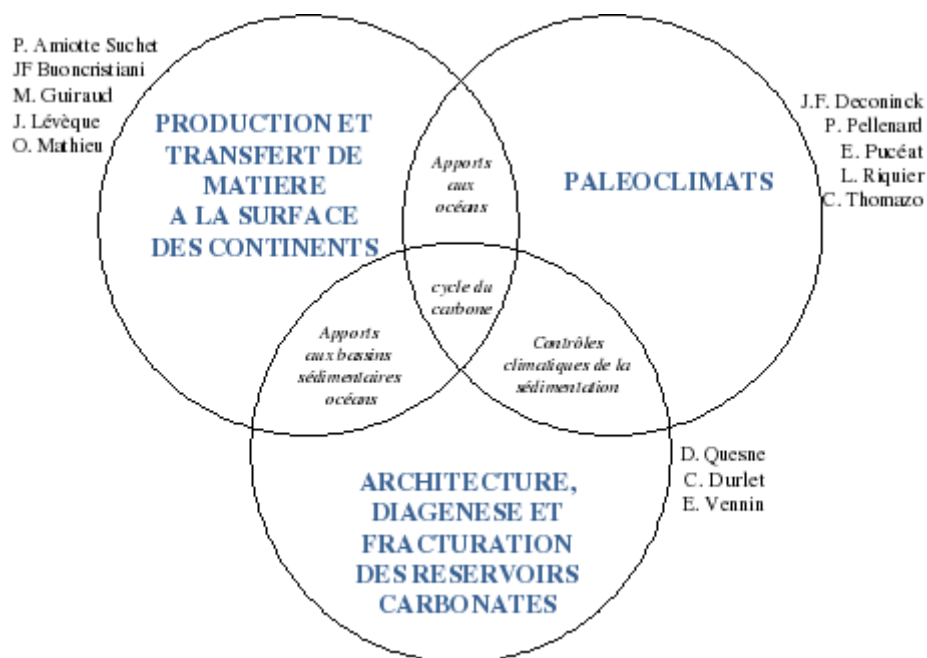


FIG. III.1 – Les enseignants chercheurs de SEDS sont répartis dans trois axes de recherche qui présentent de fortes interactions.

majeures de diversification et d'extinction ?

Ce projet repose essentiellement sur l'étude d'invertébrés triasiques et jurassiques (~250 Ma à ~145 Ma). Pour cet intervalle de temps, riche en événements biologiques et environnementaux bien documentés, nous étudierons des assemblages de mollusques céphalopodes et d'échinodermes. Ces groupes ont un excellent registre fossile et leur diversité, disparité et distribution géographique sont bien contraintes (e.g., Brayard et al. 2009, Dommergues et al. 2009). Nos recherches cibleront certains événements clés de cet intervalle tels que le passage Permien-Trias, Pliensbachien-Toarcién, le début du Toarcién et le Dogger.

Les perturbations paléoenvironnementales lors des crises biologiques seront qualifiées et quantifiées en relation avec les travaux de l'équipe SEDS.

III-2.2 L'équipe Systèmes, Environnements et Dynamique Sédimentaire de BioGéoSciences

Directions scientifiques INSU : (1) Sciences de la Terre, (2) Surfaces et Interfaces Continentales, (3) Astronomie et Astrophysique

Les membres de l'équipe SEDS s'intéressent à la compréhension des systèmes sédimentaires à travers trois axes transversaux :

- Production et transfert de matières à la surface des continents ;
- Paléoclimats ;
- Architecture stratigraphique des réservoirs carbonatés : Fracturation et Diagenèse.

Axe Transferts	Axe Paléoclimats	Réservoirs carbonatés
<ul style="list-style-type: none"> – Caractérisations physique et chimique des matériaux : géochimie isotopique (isotopes stables du C, N, S), caractérisation géochimique des M.O. (chromatographie gazeuse et spectrofluorescence) et géochimie des éléments majeurs (TOC, chromatographie liquide, absorption atomique) – Dispositifs d’observation, et de mesure, de prélèvement sur le terrain ; et hydrométrie – Cartographie des paramètres géo-environnementaux, quantification et modélisation, changement d’échelle (GPS, SIG). 	<ul style="list-style-type: none"> – Géochimie, avec la mesure des isotopes de l’oxygène de fossiles marins (traceur de la température de l’eau de mer passée), la mesure des isotopes du néodyme sur différents supports (traceur de la circulation océanique), et la mesure de la concentration en éléments majeurs et traces des sédiments bruts (qui renseignent sur les conditions d’oxygénation de l’environnement de dépôt et sur la productivité primaire). La diffraction des rayons X permettra de déterminer la minéralogie des argiles (indicateur des variations d’humidité/aridité). – Géophysiques (spectrométrie gamma-ray et susceptibilité magnétique) permettent de mesurer la susceptibilité magnétique et la radioactivité naturelle des sédiments, qui varient avec les fluctuations périodiques de l’orbite terrestre. 	<p>Etudes généralement pluridisciplinaires incluant des approches :</p> <ul style="list-style-type: none"> – sédimentologiques (traceur des environnements de dépôts) – pétrographiques et pétrophysiques (caractérisation des propriétés réservoirs) – diagénétiques (traceurs des phases de transformation des sédiments) – tectoniques (traceurs de la mise en place, des déformations et de l’évolution géodynamique des réservoirs carbonatés) – et des modélisations (Dyonisos, Petrel, ...)

TAB. III.2 – Outils dont dispose l’équipe SEDS pour répondre à ses thématiques.

III-2.2.1 Axe Production et transfert de matières à la surface des continents (SIC)

La combinaison érosion des continents-sédimentation dans les océans est un facteur important de l’évolution biogéochimique de l’ensemble du système Terre (Garrels & Mackenzie, 1971). Par exemple, le rôle de l’érosion des silicates associée à la sédimentation des carbonates sur le cycle du carbone et la régulation

induite de la concentration en CO₂ atmosphérique au cours des temps géologiques est emblématique de ce questionnement scientifique. Par ailleurs, l'accumulation des matériaux dans les bassins sédimentaires et leur composition chimique sont fortement influencées par les apports continentaux.

Comprendre la façon dont ces matériaux, dissous et particulaires, sont produits puis transférés à la surface des continents permet donc de mieux appréhender le fonctionnement des cycles biogéochimiques et d'apporter de nouveaux éléments pour l'interprétation des enregistrements sédimentaires.

Ces différents volets, émergeant dans le cadre du contrat 2007-2011, sont consolidés par la mise en œuvre de programmes ambitieux et la plupart du temps financés par des ANR :

- ANR RMQS Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (J. Lévêque/O. Mathieu)
- ANR SYSTERA DIMIMOS (J. Lévêque/O. Mathieu)
- ANR ERD-ALPS : Erosion and Relief Development in the Western Alps (J.F. Buoncristiani) - 2009-2012.

III-2.2.2 Axe Paléoclimats (SdT/AA)

La particularité de notre équipe dijonnaise pour cet axe Paléoclimat au sein de la communauté française est de rassembler des spécialistes de différents outils complémentaires pour les appliquer à l'étude des climats anciens. Cet axe va bénéficier de l'arrivée prochaine d'un ensemble analytique permettant la mesure de la composition isotopique de carbonates et de phosphates, qui facilitera l'acquisition de nouvelles données isotopiques, réalisées jusqu'à présent en externe.

A- Mise en place des événements climatiques extrêmes

A l'échelle du phanérozoïque, les modélisations de l'évolution du taux de CO₂ dans l'atmosphère (modèle BLAG, Berner, 1984 ; Francois et Walker, 1992 ; modèle Geocarb III, Berner et al. 2001) montrent que le climat sur terre présente le passage successif entre un état " glaciaire " et un état " non-glaciaire ". Cependant ces modèles constituent des tentatives de reconstruction et sont fonction des connaissances actuelles des lois d'altération et de dégazage du CO₂ interne. Cet atelier s'intéresse aux transitions vers des états climatiques extrêmes froids comme la (A) glaciation Ordovicienne et (B) refroidissement jurassique supérieur et chauds, comme l'optimum thermique du (C) Paléocène-Eocène.,

B- Identification des modes de circulation océanique au Crétacé

La circulation océanique fait partie intégrante du système climatique. Pourtant, la circulation océanique des périodes anciennes comme le Crétacé reste encore inconnue, même s'il a été suggéré qu'une stratification de l'océan aurait pu jouer un rôle dans l'établissement d'une anoxie globale et dans l'occurrence de dépôts très riches en matière organique dans l'enregistrement sédimentaire. En particulier, quelles sont les sources d'eaux profondes au niveau mondial ? A-t-il existé des sources de production d'eaux intermédiaires en basse latitude, dans des zones de forte évaporation ? Ces questions restent ouvertes à l'heure actuelle.

C- Calage astroclimatique des séries sédimentaires Jurassique et Crétacé (AA/SdT)

Pour comprendre l'origine des perturbations environnementales que l'on identifie, il est indispensable de connaître la durée des événements. Ainsi, un troisième atelier est consacré à l'amélioration de l'échelle des temps géologiques afin de mieux contraindre la durée des principaux événements paléocéanographiques et paléoclimatiques associés et ainsi d'améliorer la compréhension des processus à l'origine des perturbations environnementales.

La concordance entre les calculs astronomiques et les variations climatiques enregistrées dans les sédiments est maintenant si bien établie, que dans les échelles géologiques récentes toute la période Néogène (0-23 Ma) est astronomiquement calibrée en utilisant la solution astronomique de Laskar et al. (2004). Un nouvel effort international a démarré pour étendre cette calibration astronomique aux périodes plus anciennes. Un des objectifs de ce projet interdisciplinaire associant astronomes et géologues (dans le cadre de l'ANR ASTS-CM porté par Jacques Laskar), est d'améliorer l'échelle des temps géologiques pour le Jurassique supérieur et le Crétacé et ainsi d'accroître la participation nationale à l'établissement de la future échelle des temps géologiques.

III-2.2.3 **Axe Architecture, diagenèse et fracturation des réservoirs carbonatés (SdT)**

Cet axe concerne des applications industrielles et sociétales. Il est bien évidemment mené en partenariat avec des organismes extérieurs parmi lesquels figurent des compagnies pétrolières et des sociétés de service (TOTAL, GDF, EXXON, BEICIP, Cambridge Carbonates, NIOC, etc), des compagnies minières (AREVA), des organismes publics (ANDRA, IFP, BRGM) et d'autres universités françaises et étrangères (Marseille, Bordeaux, Liège, Genève, Marrakech, etc.). Ces partenariats permettent : (1) un accès à des cas d'études nombreux et diversifiés ; (2) de financer une forte proportion des thèses encadrées par les membres de l'équipe SEDS ; (3) de financer ou de co-financer des projets de recherche et d'équipement ; (4) d'assurer de bons débouchés professionnels aux étudiants de master et docteurs. Ces applications s'appuient sur des problématiques de recherche qui concernent les processus sédimentaires, diagénétiques et tectoniques qui aboutissent à la création ou à la destruction d'un réservoir carbonaté en profondeur. Devant l'ampleur d'un tel sujet, seuls trois chantiers de recherche ont été définis, sur la base des recherches actuelles, des thèses en cours et à venir, et des futures collaborations avec l'industrie.

A- Interactions bioconstructions - fracturation - diagenèse

Deux questions seront en particulier abordées : (A) Comment et quand la présence de bioconstructions influence-t-elle la fracturation des réservoirs carbonatés ? et (B) Quels types de biosconstructions et quel type d'histoire diagénétique permettent une préservation ou réouverture en profondeur de la porosité ? Les ateliers retenus pour répondre à cette problématique sont : les Bioconstructions du Permien de l'Oural (Russie) et les Bioconstructions bajociennes et oxfordiennes du Bassin de Paris et du Haut-Atlas Marocain.

B- Impact du diapirisme sur l'architecture des plates-formes mixtes carbonatées - siliciclastiques

Les questions posées sont : (A) Comment la déformation des systèmes diapiriques peut-elle influencer la mise en place et la pétrographie des plates-formes carbonatées ? (B) Les diapirs perçants ont-ils une influence sur les communautés d'organismes bioproduteurs de carbonates ? Et (C) Peut-on modéliser l'impact de la tectonique salifère sur la sédimentation ? Ce chantier met en oeuvre une thèse (C. Kolodka) ayant pour intitulé : "Impact of diapirism on mixed carbonate-siliciclastic sedimentation (Northern Spain and Zagros, Iran)" dans le cadre d'un financement GDF-Suez et une seconde en devenir (A. Ashgari) qui s'intéressera à la "Caractérisation des réservoirs mixtes du Paléozoïque inférieur en Iran".

C- Réservoirs carbonatés fortement enfouis

Au-delà de 3000 mètres d'enfouissement, il est rare que des formations carbonatées soient encore poreuses et perméables, donc susceptibles de constituer des réservoirs pour de l'eau, du gaz ou du pétrole. Cette poronécrose est la conséquence de nombreux processus diagénétiques et tectoniques parmi lesquels peuvent être cités : la compaction mécanique, les phénomènes de pression dissolution (stylolisation), les cimentations précoces à tardives. Malgré cela, des réservoirs carbonatés enfouis à plus de 3000 mètres sont connus, et d'autres restent à découvrir. Aussi, dans cet atelier, il est prévu de décrire et d'interpréter des "trajectoires diagénétiques d'exception" expliquant l'existence de réservoirs carbonatés fortement enfouis.

III-2.3 Dégazage et évolution des climats planétaires : serpentinitisation et clathrates

Directions scientifiques INSU : (1) Sciences de la Terre, (2) Astronomie et Astrophysique

Ce projet a pour but de caractériser les processus à l'origine de la production, du stockage et du dégazage de l'hydrogène et du méthane dans les atmosphères planétaires. Il vise d'une part à définir le rôle joué par la serpentinitisation des péridotites sur la production de ces gaz dans les manteaux planétaires et d'autre part à étudier l'impact de leur stockage intermédiaire par des processus de formation de clathrates sur les bilans globaux de dégazage des planètes.

III-2.3.1 Rôle et conséquences de la serpentinitisation

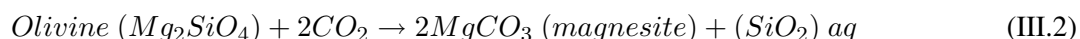
1) *Etat des lieux* — Des études de cas "terrestres" pour comprendre et modéliser les processus impliqués dans les bilans gazeux

Les travaux réalisés sur les péridotites mantellaires terrestres démontrent que la serpentinitisation est un vecteur important de la production d'hydrogène et de séquestration du CO₂ en produisant du méthane et des hydrocarbures selon la suite de réactions suivantes à des pressions très variables (P_{litho} , $P_{\text{H}_2\text{O}}$, P_{CO_2}) et des températures inférieures à 500-600°C. :

Serpentinisation :



Séquestration de CO₂ :



Et éventuellement production de méthane :

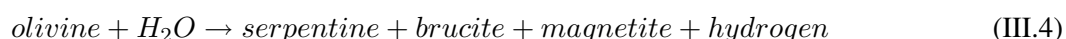


Ces différentes réactions, tout comme la nature des fluides et les processus impliqués, sont à évaluer sur la base des données pétrographiques, minéralogiques, géochimiques disponibles ou à compléter. Cet état des lieux pourra être réalisé à partir des complexes Ophiolitiques terrestres d'âges différents depuis 2 Ga jusqu'à l'actuel (Ungava, Tetford Mines (Canada), Oman, Nouvelle Calédonie...)

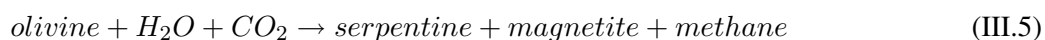
2) *Projet* — Rôle et conséquences de la serpentinisation sur les bilans gazeux.

Les processus de serpentinisation sont associés à des réactions complexes avec augmentation de volume et modification de la densité. L'étude de ces réactions hydrothermales (serpentinisation) dans les intérieurs planétaires permettent d'appréhender l'évolution chimique et physique des régolites mantelliques, au sens du manteau péridotitique. De plus ces réactions participent au bilan gazeux des planètes par la séquestration de CO₂, la production hydrogène, de méthane souvent stocké sous forme d'Hydrates (clathrates) et de chaînes hydrocarbonées peut être à la source de la vie primitive.

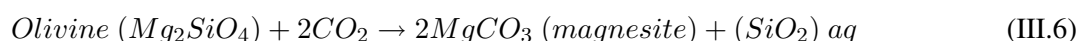
-Libération d'hydrogène :



- Libération de méthane :



- Séquestration de CO₂ : cristallisation de Magnésite (carbonate de magnésium) :



Le projet s'attachera à répondre à des questions essentielles telles que :

1. les effets de la P_{CO₂} sur la serpentinisation, les réactions métamorphiques et les transferts.

2. Changement de volume et de densité du régolite : Implications astrophysiques (vitesse de rotation...) intégrées dans le temps depuis 4,5Ma.
3. le fractionnement D/H lors des processus de serpentinisation et de cristallisation/fusion des clathrates pour comprendre le bilan des échanges de deutérium entre les différents réservoirs. Il est en effet important d'étudier le fractionnement du rapport D/H au cours des réactions de serpentinisation entre le réservoir d'eau qui a interagit avec la roche et l'hydrogène qui en résulte. En effet, dans le cas de Titan, son méthane atmosphérique pourrait s'être formé à partir de l'hydrogène produit par les réactions de serpentinisation. Le point clé est que le rapport D/H dans le méthane de Titan a été mesuré précisément par les observations de Cassini (1.32×10^{-4}) et que l'on sait aussi maintenant que la glace d'eau primordiale accrétée par le satellite possédait un rapport D/H de valeur cométaire (2.9×10^{-4}). Si les réactions de serpentinisation à l'intérieur de Titan sont à l'origine de son méthane, il faudrait expliquer le fractionnement existant entre le rapport D/H acquis par le réservoir primordial d'eau et celui mesuré dans le méthane atmosphérique.

III-2.3.2 Bilan des transferts gazeux sur les planètes et exoplanètes intégrés dans le temps depuis 4,5Ma : dégazage de méthane, Hydrogène et CO₂

1) *Etat des lieux* — Des études de cas “ planétaires ”.

D'importants gisements de clathrates sont connus sur notre planète par exemple au large de Santa Barbara en Californie. D'autres gisements importants sont connus au niveau de la ride de Lord Howe entre l'Australie et la Nouvelle Calédonie (Auzende et al., 2000). Or les études en cours indiquent que ces clathrates, lors de leur déstabilisation, pourraient être à l'origine d'une très grande quantité de méthane libéré dans les océans, et de manière plus indirecte dans l'atmosphère. Ainsi ce gaz à très fort effet de serre, pourrait selon certains auteurs représenter un danger sur l'évolution des climats s'il était libéré en grande quantité. Les travaux indiquent en outre que son origine est en grande partie d'origine organique, mais les travaux réalisés sur la serpentinisation permettent d'envisager un autre processus de formation. Le but du projet est d'essayer de tester la part pouvant être jouée par ce processus de serpentinisation sur la formation des clathrates terrestres et par voie de conséquence l'impact de ces processus sur le climat des planètes.

Les travaux réalisés sur Titan révèlent que ce satellite de Saturne serait composé suivant les modèles : d'un cœur chondritique (de 1870 km d'épaisseur avec une température centrale de 1400 K), ou bien d'un noyau ferreux liquide de 910 km de diamètre entouré d'une enveloppe silicatée à 1400 K d'environ 800 km d'épaisseur (Grasset et al., 2000 ; Tobie et al., 2005). Ces enveloppes seraient à leur tour entourées de glaces et d'hydrates de gaz (sur une épaisseur de 400 à 500 km) puis d'une enveloppe liquide (d'environ 300 km d'épaisseur) et enfin d'une nouvelle enveloppe de glace (d'environ 75 km d'épaisseur). D'après Atreya et al. (2006), ces enveloppes superficielles seraient en grande partie constituées de méthane sous forme de clathrates (hydrate de méthane) et une hypothèse est formulée que ce méthane piégé serait le résultat de la serpentinisation du cœur

silicaté de Titan. Enfin Titan présente une atmosphère dense (idem Venus) dominée par la présence d'azote et de méthane (+ autres hydrocarbures). Un problème est que le méthane de Titan est continuellement détruit et converti en hydrocarbures plus complexes. D'où la question importante concernant l'origine du méthane qui alimente l'atmosphère depuis 4.5 Ga ?

Le projet consiste à tester le mécanisme entretenu de production de méthane dans l'atmosphère de Titan sur la base des réactions de serpentinisation connues sur Terre. De plus, les hydrates de gaz existeraient dans de nombreux corps du système solaire. Les conditions thermodynamiques de nombreux corps du Système Solaire laissent penser que les clathrates pourraient exister dans le permafrost Martien (Chastain & Chevrier 2007), à la surface et à l'intérieur de Titan et des satellites de glaces (Thomas et al. 2007 ; Mousis & Schmitt 2008), ou encore que l'activité observée de certains noyaux cométaires résulterait de la décomposition de ces structures cristallines (Mousis et al. 2000). D'une manière générale, les clathrates ont probablement participé à la formation des planétésimaux du Système Solaire externe. Cette hypothèse est en particulier réaliste dans le cas d'objets formés dans la partie interne initialement chaude et dense de la nébuleuse primitive. En effet, les glaces issues du nuage présolaire ont été vaporisées jusqu'à la distance d'une trentaine d'unités astronomiques (UA) du Soleil. Le refroidissement de la nébuleuse primitive interne aurait alors permis à l'eau de se condenser sous forme cristalline vers 150 K, puis de piéger les autres volatils sous formes de clathrates à des températures plus basses. Ces glaces auraient par la suite été accrétées par les planétésimaux à l'origine des planètes géantes (Gautier et al. 2001 ; Alibert et al. 2005 ; Mousis et al. 2008) et par une grande partie des petits corps du système solaire externe.

2) *Projet* — Impacts des et gaz (clathrates) sur les climats des planètes et des satellites depuis la formation du système solaire.

Dans le cas d'Encelade, le spectromètre de masse à bord de la sonde Cassini a détecté la présence de CH₄ dans les grains de glaces prenant part à la constitution des geysers existant à la surface du satellite. L'observation de geysers à la surface d'Encelade est révélatrice de la présence d'activités hydrothermales importantes dans son intérieur et il est également possible d'envisager un mécanisme de production du CH₄ abiogénique de type serpentinisation ou bien Fischer-Tropsch. Afin de vérifier ce scénario, nous proposons d'étudier le rapport D/H de ce méthane dans le cas où cette molécule serait produite par serpentinisation dans l'intérieur d'Encelade et de comparer cette valeur à celle acquise par le méthane si ce constituant avait déjà été incorporé par le satellite au moment de sa formation. Ce travail se place ainsi dans la perspective des prochaines missions spatiales envisagées dans le système de Saturne telles que TSSM (Titan Saturn System Mission).

III-2.3.3 Climats présent et futur : impact de l'enfouissement des hydrocarbures au cours de la subduction téthysienne sur la crise Paléocène-Eocène (55,8 Ma).

La consommation actuelle d'énergie fossile, et notamment d'hydrocarbures, soulève la question de son impact sur le réchauffement climatique. Même si les modèles de prospective climatique actuels montrent des

scenarii avec une augmentation de la température de notre planète, la complexité des échanges entre océans et atmosphère ne permet pas, dans l'état actuel des recherches, de quantifier précisément l'augmentation de température provoquée par l'utilisation actuelle des hydrocarbures. Cet axe de recherche est d'importance puisqu'il permet de déterminer à quelle vitesse cette augmentation peut se réaliser au cours du prochain siècle et d'induire une fusion partielle des clathrates actuellement présents à la base des talus continentaux.

Cette indétermination peut être levée en observant le passé. Les extinctions à la fin du Paléocène et au début de l'Eocène sont attribuées à un évènement thermique constitué de deux phénomènes distincts : le premier étant un bref pic de +4 à +6°C en moins de 500000 ans, possiblement attribué à la fusion rapide de clathrates (P.E.T.M. : Paleocene-Eocene Thermal Maximum : Nisbet et al., 2009). Le second phénomène correspond à une augmentation progressive de la température +8°C durant 8Ma (E.E.C.O. : Early Eocene Climate Optimum – de 58 Ma à 50Ma (Pearson, 2007)). Notre objectif de recherche, ciblé sur ce second phénomène, consiste à déterminer les volumes de volatils (CO₂ et CH₄) libérés au cours du temps lors de la fermeture de la Téthys pendant la période Paléocène-Eocène lors de l'enfouissement de sédiments riches en hydrocarbures dans les zones de subduction. Ce projet s'articule selon trois volets :

1. La détermination des volumes et de la géométrie des sédiments enfouis au cours de la subduction (paléogéographie Paléocène-Eocène).
2. La caractérisation de la teneur en hydrocarbure de ces sédiments ainsi que le comportement de ceux-ci au cours de l'enfouissement.
3. La modélisation thermo-mécanique de l'enfouissement d'une marge au cours de la subduction couplée à la détermination du volume de volatils obtenue au cours de l'enfouissement en fonction du temps pour définir la cinétique du rejet des gaz à effet de serre qui peuvent conduire à la fusion partielle de clathrates.

Cette question de l'impact de la consommation d'hydrocarbures sur le climat concerne notre société globale puisque d'un point de vue anthropique, l'humanité a consommé une bonne partie de nos réserves mondiales en énergie fossile au cours du siècle passé. La question des modifications climatiques du futur est une question d'actualité qui nous pose des problèmes de choix sociétaux. Cette étude intégrée dans le temps (épisode à 50 Million d'années sur une durée de 8Ma) permettra de lever le voile, à une échelle supérieure à l'historique des données climatiques dont nous disposons, sur les processus de modification climatiques actuels et passés à l'échelle planétaire. Cette étude permettra également d'apporter une base pour évaluer l'effet de l'élévation actuelle de la température sur la fusion partielle des clathrates et leurs effets catastrophiques sur le climat futur de notre planète.

A- Impact de cette thématique de recherche

Outres les aspects de recherche fondamentale énoncés précédemment, des aspects environnementaux liés à la fusion des clathrates et son influence climatique seront ainsi abordés par l'étude du rôle de ces composés dans les grandes crises climatiques, voire sur la question de l'origine de la vie...De même des aspects industriels

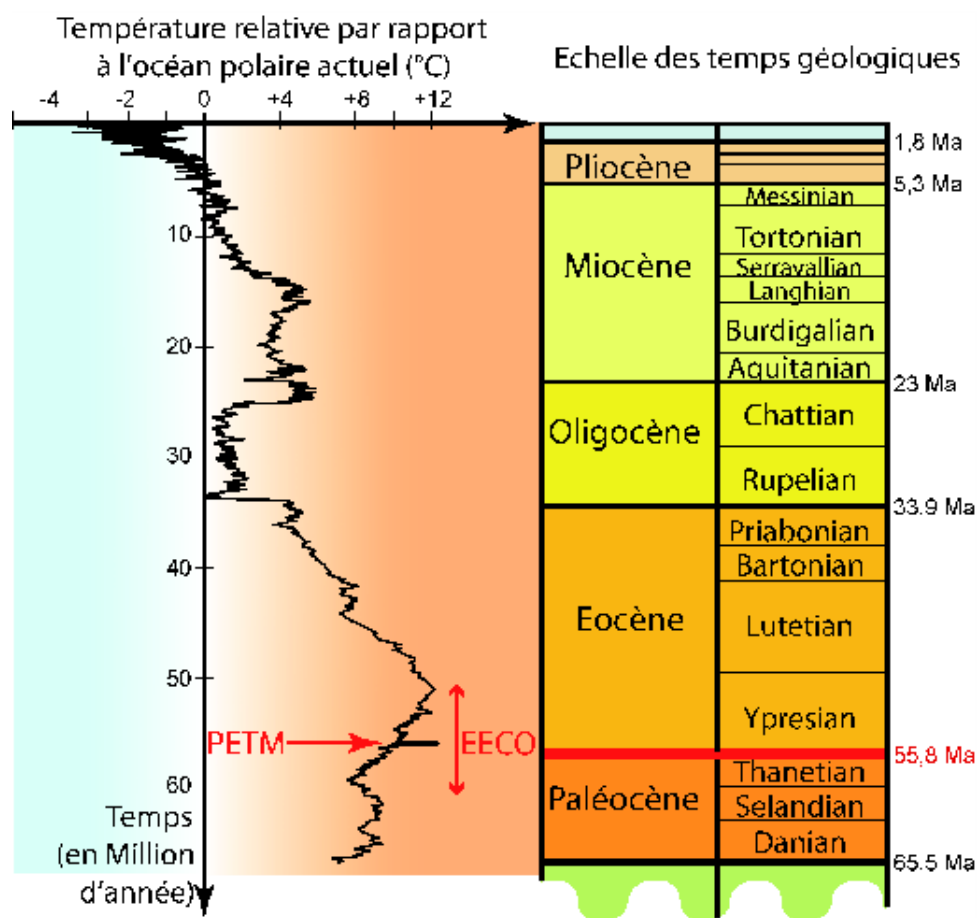


FIG. III.2 – Variation de la température depuis 60 Ma d'après Zachos [2001]. E.E.C.O. : Early Eocene Climate Optimum. P.E.T.M. : Paleocene-Eocene Thermal Maximum

pourraient être abordés : notamment sur les clathrates comme source d'énergie (hydrogène, méthane) avec la question posée des modalités de leur exploitation et leurs conséquences environnementales, et de la problématique de leur coagulation lors du transport dans les pipe-lines. Les aspects sociétaux de ces études sur la serpentinitisation concerneront les risques sur la santé publique (amiante), les possibilités de réservoir CO₂ et la production d'hydrogène pour les énergies du futur.

B- Savoir faire

Olivier Mousis, Sylvain Picaud, Vincent Ballenegger, Jean-Marc Petit : clathrates Didier Marquer et Christian Picard, Philippe Goncalves : spécialistes en pétrologie et géochimie, axés sur les interactions eau-roche (serpentinisation) et le rôle des fluides dans la lithosphère.

III-2.3.4 Références

Atreya S. K., Adams E. Y., Niemann H. B., Demick-Montelara J.E., Owen T.C., Fulchignoni M., Ferri F., Wilson, E. H. Ð 2006 - Titan's methane cycle. *Planetary and Space Science* 54 (2006) 1177Ð1187.

Audet, M.-A., 2008. Caractérisation Pétro-structurale et géochimique du massif du Koniambo Nouvelle-Calédonie, Thèse en cotutelle - Université de Montréal au Québec, Université de la Nouvelle-Calédonie, Montréal, Nouméa, 281 pp.

Auzende J/M., Beneton G., Dickens G., Exon N., François C., Hodway D., Juffroy F., Lafoy Y., Leroy A., Van de Beuque S., Voutay O. Ð 2000 - Mesozoic diapirs at the eastern edge of Lord Howe Rise (southwest Pacific) : ZoNéCo 5 cruise- Mise en évidence de diapirs mésozoïques sur la bordure orientale de la ride de Lord Howe (Sud-Ouest Pacifique) : campagne ZoNéCo 5 - Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science, Volume 330, Issue 3, 15 February 2000, Pages 209-215.

Grasset O., Sotin C., Deschamps F. Ð 2000 - On the internal structure and dynamics of Titan. *Planetary and Space Science* 48 (2000) 617-636.

Hyndman Roy D. et Peacock S. M. Ð 2003 - Serpentinization of the forearc mantle. *Earth and Planetary Science Letters* 212 (2003) 417-432.

Nisbet E.G., Jones S.M., MacLennan J., Eagles G., Moed J., Warwick N., Bekki s., Breasicke P., Pyle J.A. and Flower C.M.R. (2009) Kick-starting ancient warming. *Nature Geosciences*, 2/3, 156-159.

Pearson, P.N., van Dongen, B.E., Nicholas, C.J., Pancost, R.D., Schouten, S., Singano, J.M., and Wade, B.S., 2007. Stable warm tropical climate through the Eocene Epoch. *Geology*, 35 (3) 211-214.

Tobie G., Grasset O., Lunine J. I., Mocquet A., Sotin C. - Titan's internal structure inferred from a coupled thermal-orbital model. *Icarus* 175 (2005) 496Ð502.

Ulrich M. ; Picard C., Guillot S. ; Chauvel C. ; Cluzel D. ; Meffre S. - Multiple melting stages and refertil-

isation process as indicators for ridge to subduction formation of the New Caledonia Ophiolite. Submitted to *Lithos*, avril 2009.

Zachos J., Pagani M., Sloan L., Thomas E., Billups K. (2001) Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. *Science* 292, 686-693.

III-3 Recherches dans le domaine Océan-Atmosphère

III-3.1 Équipe Centre de Recherche de Climatologie de BioGéoSciences

Directions scientifiques INSU : (1) Océan-Atmosphère, (2) Surfaces et Interfaces Continentales

III-3.1.1 Variabilité climatique africaine, de l'intrasaisonnier au décennal (OA)

Cette thématique regroupe plusieurs projets, émergeant partiellement au programme AMMA-2 (African Monsoon Multidisciplinary Analyses) :

- Analyse de la variabilité décennale africaine. Les tendances climatiques marquées de certaines régions africaines et péri-africaines (Afrique de l'ouest, océan Indien Sud) dans la seconde moitié du vingtième siècle (Thompson & Solomon, 2002 ; Dore, 2005) seront étudiées par des analyses guidées sur MCGA afin de comprendre le rôle des conditions de surface régionales, et à partir des simulations GIEC-AR5 afin d'établir la contribution des forçages anthropiques (ozone et gaz à effet de serre).
- Prévisibilité interannuelle et sub-saisonniers des saisons des pluies africaines. Ce volet vise à estimer la prévisibilité potentielle des composantes intra-saisonniers des saisons des pluies (occurrence de jours secs / pluvieux, intensités de pluie, dates de début et de fin de saison) en Afrique de l'Ouest et de l'Est, puis le cas échéant de développer des modèles de prévision.
- Relations entre variabilité des pluies en Afrique et organisation de la convection à large échelle sur l'océan Indien. Il s'agit ici, à partir des données d'observation, de détecter les oscillations intra-saisonniers de la convection atmosphérique sur l'océan Indien et leurs effets sur l'organisation spatio-temporelle des pluies africaines, puis de tester les mécanismes à l'aide du Modèle de Circulation Générale Atmosphérique (MCGA) ARPEGE en voie d'implémentation au CRC.
- Relations entre circulation des moyennes latitudes et perturbations tropicales en Afrique Australe. De 30
- Variabilité climatique du Sud-ouest de l'Océan Indien. Sur cet espace, qui inclut des territoires Français (Réunion, Mayotte, îles éparses), Madagascar, Maurice et les côtes orientales de l'Afrique (Tanzanie, Mozambique), il existe peu d'études reliant les modes de variabilité large échelle (El Niño, dipôles de l'Océan Indien, oscillation de Madden-Julian) et le climat régional. Il est proposé, dans un projet d'ANR associant la Communauté française travaillant sur cet espace, d'engager des travaux coordonnés pour combler ces manques, aux échelles décennale, interannuelle et sub-saisonniers.
- Facteurs de variabilité spatio-temporelle de la température de l'air sur les reliefs est-africains, et signi-

fication pour l'évaluation des changements climatiques récents et futurs. Les montagnes tropicales sont particulièrement vulnérables aux changements et à la variabilité climatiques (fortes densités humaines, contrôle du relief sur les maladies à vecteur). Pour l'Afrique de l'Est, les analyses prévues porteront sur l'attribution du signal décennal de hausse des températures, et la projection des tendances futures en tenant compte des configurations topographiques. Ce projet s'appuiera notamment sur le SOERE RHGM (Rungwe Hydroclimatic Gradient Monitoring, ci-dessus).

Collaborations : LOCEAN (Paris), CNRM (Toulouse), LaCy (île de la Réunion), ICPAC Nairobi (Kenya), CSIR (Afrique du Sud), Universités de CapeTown, Nairobi, Dar es Salaam.

III-3.1.2 Rôle du Bassin Méditerranéen sur la dynamique climatique dans le fuseau Europe-Afrique (OA)

Les projets relevant de cette thématique s'inscrivent pour la plupart dans l'action internationale HYMEX (Hydrological cycle in the Mediterranean EXperiment), qui fédère de nombreux laboratoires européens. Les actions qui seront engagées au CRC, s'appuyant à la fois sur des études diagnostiques des données d'observation et des expériences numériques (pôle "simulations climatiques" en cours de mise en place au CRC), concernent principalement :

- Interactions entre la variabilité climatique du domaine méditerranéen et la circulation atmosphérique des latitudes tropicales, notamment la mousson ouest-africaine. Des résultats antérieurs ont montré des connexions robustes entre les flux d'humidité issus de Méditerranée et la mousson de l'Afrique de l'ouest via la circulation cellulaire de Hadley (Rowell, 2003 ; Fontaine et al., 2009). La nature de ces interactions reste cependant à détailler. Les efforts porteront sur (i) l'analyse des relations entre les grands types de circulation atmosphérique extratropicale et la circulation atmosphérique de mousson ; (ii) les interactions entre la Méditerranée et les variations spatio-temporelles des pluies de mousson (déplacement saisonnier de la convergence intertropicale).
- Interactions entre la variabilité climatique du domaine méditerranéen et celle des latitudes moyennes de l'Europe de l'ouest avec un focus sur le centre-est de la France. Les efforts se porteront sur (i) l'influence méditerranéenne sur l'instabilité barocline au sein de la circulation d'ouest ; (ii) les "remontées de sud" qui favorisent le transit de chaleur et d'humidité de la Méditerranée via le sillon rhodanien. Un intérêt particulier sera porté à l'impact des conditions marines et atmosphériques méditerranéennes sur les phénomènes hydro-météorologiques intenses (notamment les précipitations extrêmes) du bassin méditerranéen occidental (rives nord et sud), et des vagues de chaleurs. L'analyse s'appuiera sur des méthodes statistico-dynamiques de "downscaling" permettant de relier des prédicants bien simulés par les modèles de circulation générale (oscillations climatiques vaste échelle, types de circulation, etc.) et les événements extrêmes. Le transfert des relations statistiques observées aux données des modèles climatiques du GIEC et des modèles régionaux (runs CORDEX / HYMEX) permettra aussi de proposer des scénarios d'évolution aux horizons 2050-2100.

Collaborations : IPSL (Ph. Drobinski), IBIMET (Italie - M. Gaetani, M. Baldi, G. Dlu), TROPA-UCM (Espagne).

III-3.1.3 Relations climat-aérosols-santé (OA, SIC)

Il a récemment été montré, notamment dans le cadre du programme AMMA, que certaines conditions de température, d'humidité de l'air, de vitesse de vent et de teneur en aérosols désertiques dans l'atmosphère peuvent être des facteurs favorables au développement des épidémies de méningites en Afrique de l'Ouest (Sultan et al., 2005 ; Jeanne et al., 2005 ; Martiny et al., 2007). Cependant plusieurs limitations restent à lever pour progresser dans la compréhension des liens entre aérosols, climat et méningite, en particulier la création de bases de données épidémiologiques et environnementales de qualité. Les recherches pluridisciplinaires de cet axe, inscrites dans le programme AMMA-2 et l'ANR HIPAC, comprennent la prévisibilité des variables climatiques et environnementales liées aux risques des méningites, l'étude du lien entre événements de poussières et poussières réellement inhalées, et une évaluation de l'état sanitaire des populations ouest-africaines depuis la fin du 19ème siècle par le biais d'analyses d'archives historiques croisées avec les variables climatiques. Elles doivent aussi bénéficier du SOERE SECAO (Suivi Environnemental et Climatique en Afrique de l'Ouest, ci-dessus), et incluront un suivi des aérosols par télédétection, l'installation d'un instrument de mesures TEOM (collecteur de particules) en Afrique, des analyses de la circulation atmosphérique à l'origine des événements poussières, et des conditions de surface continentale les favorisant. Collaborations : LOA (I. Chiapello), LISA (B. Martincorena), GEMI, LMD, LA, LSCE, CRHQ, Réseau des Instituts Pasteur, OMS-Genève, CERMES-Niger, DMN du Burkina Faso, OMS-Afrique.

III-3.1.4 Caractérisation spatio-temporelle des changements climatiques dans le Centre- et le Nord-Est de la France et impacts sur les agro- et sylvo-systèmes (OA, SIC)

Le contexte climatique du Centre- et Nord-Est de la France et de la Bourgogne en particulier a évolué. Avec un réchauffement observé de +1,9°C et des régimes de précipitation modifiés au printemps et à l'automne, l'évolution récente (1961-2007) pose l'hypothèse d'une limite climatique océanique/ méditerranéenne située en Bourgogne. Cette évolution nécessite de documenter la variabilité climatique à l'échelle des saisons et des territoires. Ce point crucial questionne 1) les forçages oeuvrant aux échelles fines (régionales à locales - humidité des sols, etc.) en lien avec la large échelle (e.g. forçage méditerranéen) et 2) les modifications spatiales observées et attendues des températures et du cycle de l'eau. Pour cela nous désagrégerons à haute résolution spatiale (env. 5km) à partir du modèle climatique régional ARW/WRF les réanalyses ERA-Interim et les projections climatiques par MCG (scénarios du GIEC). Seront combinées des approches multi-domaines par runs longs continus, et par runs d'ensemble saisonniers, sur lesquelles l'équipe a acquis un réel savoir-faire, et en s'appuyant sur le pôle " simulations climatiques " du CRC et les centres de calcul du CCUB et du CRIHAN. Les sorties serviront via des modèles topo-climatiques semi-empiriques et/ou (géo)-statistiques à décliner cette variabilité à très haute résolution. L'analyse des effets potentiels des changements climatiques identifiés sera considérée à travers deux projets distincts, le premier sur les agro-systèmes viticoles, le second sur les sylvo-systèmes.

Dans le cas des relations climat-vigne, on s'intéressera plus particulièrement :

- à la relation phénologie-climat de la vigne en Bourgogne et à sa déclinaison en milieu complexe à par-

tir d'une part des réseaux des mesures phénologiques et météorologiques, et d'autre part des modèles climatiques régionaux ;

- à l'évolution de la phénologie de la vigne et du risque phytosanitaire en réponse aux changements climatiques futurs (via une désagrégation dynamique des projections climatiques, et des modèles agroclimatiques et phytosanitaires) ;
- à la caractérisation de la variabilité spatiale des précipitations à l'échelle locale et son influence sur le régime hydrique de la vigne (programme transversal et pluridisciplinaire HydraVitis, 2010 - 2013)

Collaborations : Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne, AgroSup Dijon, Institut Universitaire de la Vigne et du Vin [uB] , Chaire UNESCO Culture et Traditions du Vin hébergée à l'uB, laboratoires COSTEL (Rennes) et Prodig (Paris-V).

Dans le cas de la gestion sylvicole, la question de l'adaptation aux changements climatiques est centrale dans la mesure où les plantations effectuées aujourd'hui visent à produire des forêts et du bois d'IJuvre pour la 2e moitié du XXIe siècle. Le projet poursuivra les objectifs suivants :

- analyser la sensibilité des forêts du centre-est français face au changement climatique, ce qui suppose notamment une identification des variables climatiques (température, humidité, précipitations) et périodes (gel hivernal, stress hydrique estival) de forte vulnérabilité, et un diagnostic des changements climatiques intervenus ces dernières décennies
- dans une dimension prospective, mettre en œuvre, à partir des sorties de modèles de climat forcés par différents scénarios, des stratégies de downscaling afin de produire des champs climatiques aux échelles des principaux massifs forestiers, soit à des mailles de l'ordre de 10 km.

Collaborations : Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) , Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), CRPF, ONF, Parcs régionaux.

III-3.1.5 Variabilité pluviométrique et réponse des agro-écosystèmes tropicaux (OA, SIC)

Les travaux concernent d'abord les écosystèmes semi-arides. Les interactions végétation-sols-atmosphère doivent être analysées, en approfondissant les effets mémoire inter-saison de l'état de la végétation en Afrique de l'Est et du Sud, et l'évolution au cours du cycle saisonnier des rétroactions végétation-atmosphère en Afrique de l'Ouest. Trois nouveaux points seront développés :

- L'appréhension des impacts des grands événements thermiques océaniques (ENSO, Dipôle Indien, Atlantique équatorial, Benguela Nino...) en Afrique à l'aide des données d'activité photosynthétique (NDVI) de la végétation. L'hypothèse sous jacente est que le signal océanique va être amplifié dans les données de végétation d'origine satellitale, par rapport aux données pluviométriques locales. En effet, la végétation en zone semi-aride est un bon intégrateur des anomalies de précipitations.
- L'impact de la qualité de la saison végétative au Sahel sur la quantité d'événements de poussières durant l'hivernage. Ce volet a pour but de comprendre la dynamique spatio-temporelle des aérosols désertiques aux échelles locales, en lien avec le volet santé (ci-dessus). En effet, le flux vertical d'aérosols désertiques dépend en partie de la rugosité de surface et de l'humidité au sol, modulés par la végétation, elle-même

dépendante des fortes variations climatiques des dernières décennies.

- Le Rain Use Efficiency (RUE) en Afrique. En croisant données de précipitations et NDVI, il a été montré que l'efficacité des pluies était très dissemblable en Afrique de l'Ouest, de l'Est et du Sud. Les hypothèses expliquant ces différences doivent être testées par simulations numériques (modèle WRF) et à l'aide de données télédéteectées de rayonnement global HélioClim (Lefèvre et al., 2007).

D'autre part, l'étude de la vulnérabilité de l'agriculture pluviale à la variabilité des pluies en Afrique sera poursuivie. L'objet est de comprendre l'effet de la répartition intra-saisonnière des pluies (dates de début et de fin de saison, faux-départs, épisodes secs ou pluvieux) sur la croissance végétative et les rendements potentiels. Cette recherche utilisera le modèle agroclimatique SARRA-H du CIRAD, pour des tests de sensibilité à partir de séries climatiques observées ou générées stochastiquement. Les cibles concernent les cultures pluviales de sorgho et de riz sur les versants des monts Kenya et Rungwe (Tanzanie), où des gradients topoclimatiques marqués complexifient la relation entre climat et production agricole. Ces régions font l'objet d'une ANR en cours (projet PICREVAT, 2009-2012).

Collaborations : CIRAD (Montpellier), CEREGE (Aix-en-Provence), LOCEAN (Paris), Université de Nairobi (Kenya), Université de Dar-es-Salaam (Tanzanie).

III-4 Recherches dans le domaine Surfaces et Interfaces Continentales

III-4.1 Géosciences et paléoclimatologie à Chrono-Environnement

Directions scientifiques INSU : (1) Surfaces et Interfaces Continentales, (2) Sciences de la Terre

Une partie des thématiques de recherche de l'UMR6249 Chrono-environnement fortement axées sur les problématiques scientifiques propres à l'INSU sont résumées ci-dessous. Ces recherches entrent essentiellement dans les deux directions scientifiques "Surfaces et Interfaces Continentales" et "Sciences de la Terre" de l'INSU.

L'objectif de nos recherches est de construire des référentiels et archives permettant de caractériser les états, les fonctionnements et les évolutions des biogéosystèmes. Il s'agit de définir les échelles spatiales et temporelles pertinentes pour décrire les états initiaux et identifier les paramètres prépondérants de stabilité et d'instabilité. L'accent est mis sur les notions de continuité et de discontinuité, de temps et d'espaces emboîtés, et de vitesse, de durée et d'histoire des phénomènes étudiés à haute résolution afin de décrire et de comprendre les environnements passés. Ces thèmes de recherche sont appréhendés par des études détaillées intégrant des échelles de temps longs et des résolutions de plus en plus focalisées vers les témoins des processus actuels.

- les témoins passés : substratum, temps long et temps court, chroniques et dynamiques géologiques, climatiques et environnementales.
- les témoins actuels : observatoires, expérimentations in natura et en environnements contrôlés.

Cinq thèmes majeurs de nos recherches largement développés dans le dossier de quadriennal de l'UMR6249 Chrono-environnement et impliquant environ 50 chercheurs, personnels ITA et IATOS, et doctorants sont dé-

clinés brièvement ci-dessous :

III-4.1.1 Interaction eau-roche et Transfert (SdT)

Les interactions eau-roche et les circulations fluides sont reconnues comme les moteurs principaux de la mobilisation et du transfert de matière. Les chemins de transfert (pores, fissures, fractures, zone de cisaillement) jouent un rôle primordial puisqu'ils conditionnent largement la distance et la vitesse de transport ainsi que l'évolution de la composition des fluides au cours du cheminement, ils peuvent aussi donner lieu à la formation de minéralisations économiquement exploitables.

Pour produire des modèles prédictifs sur les transferts de matière, qu'ils soient profonds ou de surfaces il apparaît nécessaire :

- de définir une échelle spatiale et temporelle adéquate,
- de caractériser l'état initial et d'identifier les paramètres de stabilité du système,
- de caractériser les mécanismes mis en jeu (dissolution, précipitation, transport par diffusion ou advection),
- de contraindre les facteurs physico-chimiques (P,T, activité, perméabilité) contrôlant les interactions eau-roche et les flux de matière,
- de déterminer l'influence de ces transferts sur les propriétés physiques des roches et sur la rhéologie de la croûte océanique et continentale.

L'originalité de l'approche utilisée est d'étudier des objets naturels à différentes échelles temporelles et spatiales à partir d'approches variées (structurale, chimique, isotopique et minéralogique) et de combiner ces données expérimentales à une modélisation thermodynamique des réactions mises en jeu. Les objets étudiés peuvent être regroupés en trois grands groupes :

- les réservoirs dont les propriétés pétrophysiques peuvent être modifiées par les interactions eau-roche.
- les interfaces entre les réservoirs qui peuvent permettre la formation de minéralisations lorsque les réservoirs sont de natures géochimiques contrastées.
- les discontinuités qui sont des conduits préférentiels pour les fluides et les transferts de matière associés (failles et zones de cisaillement).

III-4.1.2 Évolutions morpho-dynamiques des systèmes alluviaux (SIC)

Capteur sensible des évolutions environnementales au sens large du terme, les plaines alluviales sont au centre d'une réflexion pluridisciplinaire qui associe géologue, géophysiciens, géodésistes et archéologues. Leur morphologie et leurs mutations (formes hydrographiques et dépôts sédimentaires) résultent d'une combinaison de facteurs dont la détection et l'analyse doivent permettre d'estimer l'impact de chacun. Ces facteurs influant sur la dynamique du système alluvial sont d'ordre tectonique, climatique et anthropique. Ils agissent selon une intensité, une durée et une cyclicité variables.

Notre approche repose sur des études développées à différentes échelles d'espace et de temps et les indica-

teurs produits par chacune contribuent à une compréhension globale du fonctionnement des plaines alluviales dans leur dimension régionale. A terme, il s'agit de proposer des modèles numériques des morphologies passées à différentes périodes et d'envisager une simulation des processus dynamiques formalisés. Ces simulations permettront de valider nos connaissances, puis le cas échéant de produire des modèles prédictifs à plus ou moins long terme.

L'originalité de la démarche est fondée sur le développement conjoint de deux axes de recherche, l'un abordant prioritairement les dynamiques récentes (Holocène) sous contrainte anthropique et climatique, l'autre considérant la prise en compte du facteur tectonique et néotectonique dans la structuration des plaines alluviales.

III-4.1.3 Interactions eaux-roche et écoulement dans les réservoirs aquifères (SIC)

La qualité naturelle de l'eau est acquise lors de son passage dans les différents compartiments de son cycle. Elle est le fruit d'interactions complexes avec les milieux traversés. L'objectif est d'utiliser ces interactions pour conceptualiser, quantifier, modéliser le stockage et les mouvements d'eau souterraine dans des milieux hétérogènes (karst, versants instables, zone semi-aride). La démarche scientifique générale comprend :

- une mesure in situ des paramètres environnementaux,
- une évaluation des conditions aux limites de l'hydrosystème,
- une caractérisation des phénomènes mis en jeu,
- une paramétrisation des variables physico-chimiques ou biologiques,
- une modélisation déterministe des transferts entre compartiments et/ou au sein d'un compartiment

L'originalité de l'approche utilisée est d'étudier l'emboîtement des échelles spatiales et temporelles. Trois axes permettent de décliner cette thématique générale :

- Karst : assignation d'une réponse hydrogéochimique à un milieu de transfert et/ou de stockage et modélisation du transport réactif.
- Versants instables : caractérisation des épisodes d'infiltration à travers les versants déstructurés de socle.
- Recharge en zone semi-aride : recharge naturelle en contexte semi-aride et mesure de l'impact de la recharge artificielle d'une nappe par lâchés de barrages.

III-4.1.4 Interactions substratum géologique - hydrosphère - atmosphère - végétation (SIC)

L'altération chimique de la croûte continentale a lieu à l'interface entre les quatre enveloppes de la Terre que sont l'atmosphère, la biosphère, l'hydrosphère et la lithosphère. L'altération de la croûte conditionne les cycles géochimiques et module la composition chimique et minéralogique des sols ainsi que celle des eaux continentales et des océans. A l'échelle des temps géologiques, des travaux récents ont montré que l'altération des roches silicatées en milieu continental contribue à l'extraction du CO₂ de l'atmosphère. Une approche classique des mécanismes d'altération chimique est de considérer les modifications physico-chimiques liées à l'action des eaux météoriques sur la croûte continentale via les seules interactions eau-roche. Une partie des éléments chimiques ainsi désagrégés de la roche mère va être redistribuée au sein du profil d'altération par formation de minéraux secondaires (argiles, zéolites, phosphates, oxy-hydroxydes de Fe-Mn), une autre partie

quittera le sol par dissolution et transport par les cours d'eau jusqu'aux océans. La majorité des travaux sur l'altération continentale ne prend pas suffisamment en compte le rôle de la végétation. Récemment il a été démontré que les taux d'altération de roches silicatées peuvent être multipliés d'un facteur de deux à dix en présence de plantes.

Un autre aspect de l'interaction substratum - végétation concerne l'accumulation d'éléments chimiques issus de l'altération au sein de la biomasse des organismes végétaux. Cette bio-accumulation peut sensiblement modifier les bilans chimiques de certains éléments traces (i.e. terres rares) ou majeurs (i.e. calcium) à l'échelle des bassins versants. L'absorption annuelle de TR par la végétation est comparable à l'exportation des TR dans la phase dissoute et colloïdale de l'écoulement superficiel. Des particules colloïdales organiques issues de la décomposition de la végétation sont impliquées dans le transport des éléments chimiques peu solubles au sein des eaux superficielles. Par ailleurs, la végétation est un réservoir important de calcium et contribue de façon non négligeable au bilan de cet élément au moins à l'échelle locale. Deux questions majeures conduisent nos recherches :

- Quelles sont les conséquences de l'absorption et du fractionnement des terres rares par la végétation sur les bilans d'altération à l'échelle d'un bassin versant ? Nos travaux ont pour but d'améliorer la compréhension des processus qui régulent (i) l'absorption des TR par la végétation à l'interface sol-racine et (ii) le transport et l'accumulation des TR au sein des végétaux.
- Quel est le rôle du calcium dans les processus chimiques et biologiques qui contrôlent les mécanismes de l'altération silicatée ? Notre objectif est d'identifier le rôle respectif des processus lithogéniques (interactions eau-roche) et biologiques (cycle de nutriments des plantes) dans les mécanismes d'altération silicatée et les flux d'éléments exportés vers les océans.

III-4.1.5 Quantification paléoclimatique et modélisation (SIC, OA)

L'effort entrepris pour quantifier les climats du passé sous lesquels ont évolué les sociétés humaines va être poursuivi et étendu à différentes échelles temporelles et spatiales afin de mieux cerner la variabilité naturelle du climat et les événements rapides qui ont pu avoir un impact sur les sociétés humaines. Ces résultats permettront également de valider les simulations des modèles climatiques.

- Application aux carottes marines : Les derniers 400 000 ans.
Les reconstitutions déjà engagées sur les derniers 130 000 ans à partir de la carotte ODP 976 prélevée en mer d'Alboran vont être étendues aux derniers 400 000 ans. La résolution exceptionnelle de cette carotte permettra de comparer directement les résultats avec les courbes isotopiques de température issues des glaces, notamment NorthGRIP. Les changements de température et de précipitations, ainsi que la saisonnalité de ces paramètres permettront de mieux comprendre la variabilité des événements de Heinrich et des interstades de Dansgaard/Oeschger.
- Paléoenvironnements et paléoclimats lors du dernier cycle climatique : les derniers 130 000 ans.
En Europe du Sud, rares sont les séquences polliniques continentales de moyenne altitude ayant enregistré la totalité du dernier cycle climatique. L'étude palynologique de deux séquences provenant de milieux sédimentaires très différents dans les Balkans (lacs Malik et Orhid) doit permettre la quantifi-

cation des paramètres climatiques de cette région d'Europe. De plus, la séquence du lac Orhid devrait permettre de quantifier, en Europe du Sud, les changements du climat sur la totalité du dernier cycle climatique. Ce projet vise également à étudier l'influence des variations de l'environnement sur les populations humaines en Albanie (Eclipse II).

- Le stade isotopique 3 et le dernier maximum glaciaire (DMG) : De 58 900 à 21 000 ans BP.

Pour mieux comprendre l'impact possible des changements climatiques sur les sociétés humaines en méditerranée, le projet propose de fournir un cadre chronologique du peuplement humain aux portes de l'Europe durant le dernier cycle climatique et de prendre en compte l'influence des paléoenvironnements. Les résultats obtenus à partir des séquences polliniques continentales ont mis en évidence de grosses différences en Méditerranée entre les reconstructions climatiques issues des données et celles simulées par les modèles climatiques. Notre approche de quantification est appliquée à deux séquences polliniques marines où le DMG a été enregistré avec une résolution exceptionnelle : la séquence MD99-2349 dans le Golfe du Lyon et la séquence ODP 976 prélevée en mer d'Alboran. Les résultats seront comparés et permettront de valider les simulations de modèles climatiques pour cette période dans cette région méditerranéenne.

- zoom sur les paléoclimats du Tardiglaciaire à l'Holocène : De 14 000 ans BP à l'actuel.

Notre objectif est de continuer l'effort de quantification sur la variabilité du climat très instable du Tardiglaciaire et du début de l'Holocène, et d'améliorer la fiabilité des estimations obtenues en Europe occidentale. Le choix des régions étudiées (Alpes, Jura, Plateau suisse, Pyrénées, Massif Central, massif vosgien, Écosse, Italie,) est motivé par le nombre de données disponibles, mais également par la diversité des milieux. De plus, ces projets seront comparés aux enregistrements polliniques marins en différents points de la région Méditerranéenne (Mer Adriatique, Golfe du Lyon, Mer d'Alboran, Delta du Nil) afin de dresser une première ébauche de carte de la réponse de la végétation et du climat à la variabilité holocène et de tester l'opposition nord-sud détectée par l'étude des variations des niveaux de lacs.

III-4.2 Mesure et Effets de la Contamination Environnementale (Air-Eau-Sol)

Directions scientifiques INSU : (1) Surfaces et Interfaces Continentales, (2) Océan-Atmosphère

III-4.2.1 Introduction

La connaissance de la contamination des milieux par des substances toxiques et la compréhension des perturbations induites au sein des systèmes biologiques constituent des enjeux environnementaux et sanitaires majeurs en raison du danger potentiel que représentent ces contaminations pour le maintien de l'intégrité des écosystèmes et pour la santé publique.

Or il existe à Besançon des compétences complémentaires qui doivent permettre le développement de recherches pluridisciplinaires entre biologistes, chimistes et physiciens afin de développer des projets dans le

domaine de la contamination environnementale.

En effet, certains travaux conduits au sein du Laboratoire de Chrono-environnement ont pour objectif de déterminer les effets de différents contaminants (métaux lourds, pesticides, polluants organiques persistants, radionucléides. . .) à différents niveaux d'organisation biologique (molécules, cellules, organismes, populations). Afin de décrire et comprendre les effets de la contamination environnementale, les chercheurs de ce laboratoire s'appuient principalement sur l'étude des processus de transport, de dépôts et de transferts entre compartiments aérien, aquatique et terrestre, l'étude des transferts aux et entre organismes, l'étude des effets biologiques induits ainsi que l'étude du devenir des contaminants (métabolisation, détoxification. . .). Cependant, pour progresser dans la compréhension des effets de la contamination environnementale, il est nécessaire de disposer d'outils et de techniques de détection, de quantification et de traitements des contaminants. La quantité, la rapidité et le coût des informations à recueillir sont souvent les facteurs limitant les progrès. Dans de très nombreux cas, il est donc important de développer des capteurs permettant de quantifier les contaminations diffuses liées à des pollutions à large échelle (pesticides, métaux lourds, radionucléides . . .) ou les contaminations aiguës issues de sources bien identifiées (axes routiers, effluents industriels, incinérateurs. . .) mais aussi de développer des méthodes numériques susceptibles de modéliser l'adsorption de polluants sur un milieu. Depuis quelques années, les chercheurs de l'Institut UTINAM et du Laboratoire de Chimie-Physique des Rayonnements ont justement acquis une grande expérience dans le domaines des capteurs en milieu liquide ou en milieu gazeux, dans le développement de dispositifs et de molécules susceptibles de piéger des polluants ou dans celui de la modélisation de l'adsorption de particules à l'échelle atomique offrant ainsi des solutions dans le domaine de la mesure et de la modélisation de la contamination environnementale.

Le rapprochement, au sein de l'OSU THETA, des différentes équipes impliquées dans ces thématiques liées à la contamination environnementales apparaît donc prometteur, autour des activités de recherche suivantes (qui sont soit déjà existantes dans chacun des laboratoires, soit transdisciplinaires, impulsées par la mise en place de l'OSU THETA).

III-4.2.2 Description des activités de recherche dans le domaine de la contamination environnementale menées actuellement au sein des laboratoires

A- Institut UTINAM

1) *Impact des particules de suie sur notre environnement et notre santé : approches à l'échelle atomique* — [Personne impliquée : S. Picaud, UTINAM (OA)]

Les particules de suie émises par les avions peuvent influencer notre climat de manière directe par leurs propriétés radiatives ou de manière indirecte en permettant la formation de cirrus artificiels par condensation des molécules d'eau atmosphériques. De plus, la présence de ces suies dans le milieu troposphérique peut modifier de façon notable la chimie radicalaire observée en phase gazeuse et ainsi perturber les équilibres physico-chimiques dans l'atmosphère, avec au final un impact potentiel sur l'ozone par exemple. Par ailleurs,

la communauté scientifique commence à se préoccuper de l'impact potentiel de ces suies sur la santé des riverains des zones aéroportuaires dans la mesure où ces particules qui peuvent être inhalées sont susceptibles d'agir comme agents de transport de molécules nocives telles que les HAP. Les travaux menés à l'Institut UTINAM concernent plus spécifiquement la modélisation à l'échelle atomique de ces particules de suie et de leurs interactions avec les molécules environnantes. Ils s'articulent autour de quatre grands axes : i) modélisation de particules de suie à l'échelle atomique en prenant en compte leur morphologie et leur composition chimique, ii) modélisation des interactions entre ces particules de suie et les molécules d'eau, en utilisant des méthodes de simulation numériques (dynamique moléculaire et Monte-Carlo), iii) modélisation des interactions HAP/suie et de la réactivité des HAP sur les suies par une méthode mixte classique/quantique développée à Besançon, dans le cadre d'une collaboration avec des chimistes théoriciens à Bordeaux, iv) modélisation des propriétés optiques des particules de suie, en collaboration avec M. Devel de l'Institut FEMTO-ST.

2) *Adsorption de micropolluants* — [Personnes impliquées : M. Euvrard (McF - UTINAM), J. Husson (McF - UTINAM), Nicolas Fatin Rouge (McF - UTINAM), B. Lakard (Pr-UTINAM)]

Ces travaux de recherche porte d'une part sur la fonctionnalisation puis la caractérisation de surfaces de particules colloïdales (oxydes minéraux tels que la silice) par greffage ou adsorption de macromolécules (biopolymères notamment) en vue de l'obtention de matériaux composites présentant des propriétés spécifiques pour l'adsorption de composés polaires. Une des applications de ces travaux de recherche est de proposer de nouveaux adsorbants permettant de réduire la concentration en micropolluants dans les eaux naturelles ou effluents aqueux issus de l'industrie.

D'autre part, nos travaux consistent à utiliser et à modéliser les propriétés séparatives des membranes de clarification pour la capture, la concentration, la mesure ou la destruction de micropolluants, en présence d'agents complexants retenus par la barrière membranaire. Les matrices sur lesquelles nous travaillons sont, par exemple, des solutions d'effluents industriels, des sols contaminés. Dans ces opérations, les procédés membranaires utilisés apportent de la rapidité et de la flexibilité et se combinent facilement à d'autres traitements. [Martinot et al. 2008, Petitgirard et al. 2009, Fatin Rouge et al. 2006].

3) *Développement de capteurs en milieu liquide* — [Personnes impliquées : B. Lakard (McF - UTINAM), F. Lallemand (McF - UTINAM)]

Les polymères r-conjugués sont des matériaux présentant de nombreux avantages puisqu'ils sont faciles à préparer, stables dans l'air et en milieu aqueux, susceptibles de permettre le piégeage ou l'adsorption de nombreux composés et donc sont conducteurs électroniques.

Aussi, nous avons décidé d'utiliser ces matériaux polymères afin de développer nos propres capteurs, en nous appuyant sur les compétences existantes dans le domaine de l'électrochimie et de la sonochimie au sein de l'Institut UTINAM mais également sur le savoir-faire local de l'Institut FEMTO-ST. Nous travaillons à l'élaboration de capteurs intégrant des polymères synthétisés par électrochimie ou sonoélectrochimie ayant des applications en milieu liquide ou en milieu gazeux. En milieu liquide, nous développons par exemple des capteurs de pH miniatures, des capteurs d'urée et d'ammoniaque [Lakard et al. 2005, Lakard et al. 2004]. En milieu

gazeux, nous souhaitons développer des microsystèmes recouverts d'une couche de polymère conducteur susceptible de voir un gaz polluant venir s'adsorber ou se désorber sur lui ; Le but étant de mesurer les quantités en certains gaz

polluants présentes dans une atmosphère gazeuse [Carquigny et al. 2009]. Cette étude, qui vient d'être initiée, est détaillée plus loin puisqu'elle fait l'objet d'un projet transversal entre Institut UTINAM, Laboratoire de Chimie Physique et Rayonnement et Laboratoire de Chrono-environnement.

B- Laboratoire de Chimie-Physique et Rayonnement - Alain Chambaudet

1) *Développement de micro-systèmes sélectifs pour la détection de gaz* — [Personnes impliquées : F. Berger (McF - LCPR-AC), JB. Sanchez (McF, LCPR-AC)]

Depuis 1992 une thématique du Laboratoire de Chimie-Physique et Rayonnements - Alain Chambaudet (LCPR-AC UMR CEA E4) est dédiée au développement de micro-systèmes sélectifs pour la détection de gaz basés en particulier sur l'utilisation conjointe de micro-capteurs chimiques et de micro-colonnes chromatographiques. Les applications envisagées pour ces dispositifs miniaturisés sont diverses puisque les domaines d'utilisation concernent la détection de composés toxiques industriels, de gaz de la pollution atmosphérique ou encore des composés toxiques pouvant être utilisés en cas de conflits armés. Aujourd'hui, 2 directions de recherches sont principalement suivies :

- Développement de couches sensibles sélectives [Personnes impliquées : F. Berger (McF - LCPR-AC)]. Cet axe d'étude est destiné à concevoir de nouvelles couches sensibles présentant des affinités spécifiques avec une ou plusieurs molécules cibles données, ceci dans l'optique d'obtenir des couches sélectives (Berger et al. 2010).
- Développement de dispositifs séparateurs [Personnes impliquées : JB. Sanchez (McF- LCPR-AC)] : ce second axe d'étude concerne le développement de microsystèmes intégrés sur silicium, comprenant un micro-préconcentrateur couplé à une micro-colonne chromatographique (Sanchez et al. 2009).

Ces deux axes d'études sont complémentaires dans la mesure où l'objectif final de ces deux axes de recherches doit dans un avenir proche, converger vers un prototype de laboratoire de type Lab-on-Chip. Le micro-système dont nous envisageons le développement permettra le couplage au sein d'un wafer 3 pouces, d'un pré-concentrateur, d'une micro-colonne chromatographique et d'un capteur chimique. Le prototype ainsi développer constituera finalement un système de type micro-chromatographe gazeux.

C- Laboratoire Chrono-Environnement

Les contaminations environnementales constituent une source majeure de préoccupations pour les populations et les pouvoirs publics. Depuis plusieurs décennies, différentes autorités (inter)nationales ont mis en place et développent des politiques actives pour répondre à ces grands enjeux sociétaux. La diversité des stress environnementaux, la multiplicité de leurs impacts avérés ou potentiels sur la santé humaine ainsi que sur les systèmes écologiques, la complexité et l'interconnexion des problèmes ainsi posés, la variété des dangers qu'ils représentent nécessitent la mise en place d'approches intégrées prenant en compte (i) les différents niveaux

d'organisation biologiques (cellule, individu, population, communauté. . .) et/ou mésologiques (compartiments du milieu, typologie des contraintes. . .), (ii) les différentes échelles spatiales (globale, régionale, locale et infra-locale) et temporelles (des phénomènes usuellement considérés comme "instantanés" à ceux se déroulant aux durées géologiques). Les questions liées à la perception sociale des risques environnementaux, à leur évaluation et à leur gestion, celles concernant la vulnérabilité des milieux et des ressources, les évidentes conséquences des stress environnementaux en terme de santé humaine sont aussi caractérisées par leur très grande complexité. Cette diversité, cette multiplicité et cette complexité imposent de recourir à des approches interdisciplinaires, seules susceptibles de présenter une réelle valeur heuristique. Le projet scientifique du laboratoire de Chrono-environnement est donc centré sur l'étude du fonctionnement de systèmes écologiques (homme inclus) et sur l'analyse de leurs réponses à différents stress ou agents physiques, chimiques (radionucléides, éléments métalliques, polluants organiques persistants) et biologiques.

La démarche méthodologique retenue est basée (i) sur l'observation, la description et la comparaison de cibles d'étude variées, (ii) sur la formulation d'hypothèses sur la nature des dysfonctionnements et des perturbations observées, (iii) sur la mise en œuvre d'expériences et la mise au point et l'utilisation d'outils permettant de tester ces hypothèses et (iv) sur l'établissement de modèles généraux identifiant et quantifiant les processus écologiquement pertinents. Ces travaux contribuent à une meilleure connaissance des risques environnementaux et sanitaires et à l'élaboration d'outils d'aide à la décision en matière de gestion environnementale via les thématiques développées ci-après.

1) *Emissions, transports et dépôts de substances toxiques* — Les émissions et les transports atmosphériques de polluants d'origine variée se traduisent à plus ou moins court terme par leur dépôt sec ou humide et leur transfert aux autres compartiments physiques (sols, eaux de surface) et biologiques (essentiellement couvert végétal) des écosystèmes terrestres. Ces processus constituent des éléments déterminants de la distribution des substances toxiques donc de l'exposition des organismes. En règle générale, ces retombées sont caractérisées par leur très grande variabilité spatiale et temporelle et par la multitude et la complexité des facteurs susceptibles de les moduler. Décrire et comprendre l'origine de cette variabilité constituent donc un enjeu de premier plan pour qui souhaite évaluer et gérer les risques liés aux polluants et aux retombées atmosphériques.

Les travaux que nous conduisons concourent aux objectifs suivants :

- localiser, quantifier les contaminations diffuses liées à des pollutions à large échelle (pesticides, métaux lourds, radioéléments. . .), ou les contaminations aiguës issues de sources bien identifiées (PCDDs, PCB-DL, métaux lourds, particules etc. issus d'axes autoroutiers, effluents industriels, incinérateurs, etc.),
- spatialiser ces contaminations, c'est-à-dire comprendre comment la structure et le fonctionnement des systèmes écologiques sont susceptibles d'influer sur la répartition spatiale et temporelle des polluants,
- identifier les voies de transferts et comprendre les paramètres clés modulant l'intensité des transferts aux autres compartiments physico-chimiques des systèmes étudiés. Cette étape nécessite d'identifier les processus pertinents qui modulent les dépôts et le devenir des polluants après dépôt, c'est-à-dire, qui conditionnent l'intensité des transferts et l'amplitude des effets toxiques. Nos recherches ont aussi un

caractère finalisé, puisqu'elle contribue à :

- développer de nouvelles méthodes d'études (bioindication, stratégie d'échantillonnage optimisée, mesures d'exposition...),
- développer des outils biologiques d'évaluation de la qualité de l'air, des sols et des eaux, proposer des protocoles d'évaluation et de suivi de cette qualité,
- identifier les risques, établir des cartes de sensibilité et des échelles de vulnérabilité, proposer des contre-mesures...

2) *Biodisponibilité et transfert dans les réseaux trophiques* — La connaissance de la concentration totale d'un polluant dans un compartiment environnemental ou biologique donné ne présente souvent qu'un intérêt limité pour comprendre et prédire qualitativement et quantitativement les transferts qui s'effectuent vers les organismes biologiques. Au contraire, la connaissance de la fraction du contaminant qui est susceptible d'être absorbée par un organisme à partir de son environnement dans des conditions environnementales données - c'est-à-dire sa biodisponibilité - apporte des informations beaucoup plus intéressantes pour qui souhaite évaluer les risques liés aux contaminants chimiques. Or, les approches disponibles pour quantifier cette fraction biodisponible présentent encore à ce jour des limitations importantes. Nos travaux ont pour objet de mieux comprendre comment les différents paramètres physico-chimiques d'une part (disponibilité environnementale) et biologiques d'autre part (biodisponibilité environnementale) interagissent et modulent cette biodisponibilité.

Comment les paramètres physico-chimiques et biologiques interagissent et modulent la biodisponibilité ?

Le transfert d'un contaminant vers un organisme est un processus dynamique qui intègre les effets de deux grandes catégories de facteurs : (i) ceux qui conditionnent la disponibilité environnementale à savoir les caractéristiques physico-chimiques de la substance et celles du milieu et (ii) ceux qui contrôlent la biodisponibilité environnementale qui rend compte de tous les paramètres biologiques modulant l'absorption du contaminant par l'organisme. Tant en milieu aquatique que dans les sols, la disponibilité environnementale des contaminants dépend de leur concentration, de leur spéciation dans la phase dissoute, de leur solubilité et de leur adsorption sur la phase solide ainsi que de la compartimentation existant entre phase dissoute et particulaire. La solubilité des contaminants dépend notamment des conditions physico-chimiques du milieu (pH, potentiel d'oxydo-réduction, température...), de la disponibilité de ligands complexants, paramètres eux-mêmes liés à la dynamique du milieu, au contexte géologique, hydrologique et pédologique local. En ce qui concerne les ETMs par exemple, la spéciation chimique des contaminants dissous peut être calculée sur la base des constantes d'équilibres thermodynamiques pour des conditions données (Denimal et al. 2002, 2005). La compartimentation des contaminants entre phases dissoute et solide est contrôlée par la compétition entre solubilité et sorption qui dépend des conditions physico-chimiques, de l'affinité du contaminant pour certains composés tels que argiles, polymères et autres composés organiques, oxy-hydroxydes de Fe/Mn... (Steinmann et Stille 1997, Fesenko et al. 2001a, Delval et al. 2004, Adam et al. 2005). Pour les ETMs par exemple, il est possible d'accéder à leur spéciation dans la phase solide par voie directe (EDAX, EXAFS...) ou indirecte (extractions séquentielles). En outre, les colloïdes jouent un rôle capital dans le transport et la disponibilité environnementale des contaminants qu'ils soient organiques ou minéraux, ce qui rend leur étude nécessaire.

L'activité des organismes modifie très souvent les conditions physico-chimiques du milieu dans lesquels ils vivent. S'il est bien connu que l'excrétion racinaire de protons lors de l'absorption contribue à acidifier le sol et à augmenter la disponibilité de certains contaminants, l'action de la macrofaune et de la microfaune du sol est beaucoup moins bien connue et nous avons par exemple montré que l'activité d'oligochètes dans un sol entraîne une augmentation de la fraction soluble du Cd et du transfert de ce métal vers des gastéropodes (Cœurassier et al. 2007). Nos travaux ont apporté la première évidence qu'un invertébré du sol, l'escargot *Helix aspersa*, absorbe une partie du Cd du sol dans le pool non-labile (i.e. fortement adsorbé à la phase solide) jusque là considéré comme non biodisponible (Scheifler et al. 2003).

Nos recherches visent à comprendre (i) comment les caractéristiques mésologiques et la présence d'organismes agissent sur la spéciation et la compartimentation des polluants dans le milieu et (ii) comment les caractéristiques propres à chaque espèce modulent le transfert des substances toxiques depuis le milieu.

Dans quelle mesure, les caractéristiques biologiques (physiologiques, écologiques) des organismes modulent-elles le transfert des contaminants au sein des réseaux trophiques ?

Les organismes qui accumulent des quantités importantes de contaminants représentent un risque pour leurs consommateurs. La prise en compte des facteurs biologiques influençant cette accumulation de contaminants est donc indispensable pour évaluer le risque associé. Afin de prédire les transferts trophiques de contaminants et leur évolution temporelle, nous avons donc la nécessité de tenir compte à la fois des cinétiques d'accumulation et de persistance des substances toxiques à l'échelle des organismes (Gimbert et al. 2006) mais aussi des transferts au niveau des populations. En effet, plus que les quantités totales accumulées, la distribution interne du polluant et les formes intracellulaires de stockage peuvent jouer un rôle déterminant dans leur transfert vers le consommateur. Nous avons récemment mis en évidence que des rats n'assimilent pas le cadmium de façon similaire selon qu'ils l'ingèrent sous forme de sels ou sous forme de tissus d'escargots contaminés inclus dans leur alimentation (Hispard et al. 2008).

L'objectif de nos travaux est de comprendre en quoi la physiologie d'un organisme (cinétiques d'assimilation et d'excrétion, métabolisation, distribution interne, formes de stockage, etc.) influence le transfert des polluants vers un consommateur. Le défi est de lier des processus se déroulant à des niveaux d'organisation différents (molécules et/ou organites pour les formes et structures de stockage ; individus pour les cinétiques d'accumulation, d'excrétion voire de métabolisation) dans une perspective écologique relative au transfert et flux de contaminants dans les chaînes trophiques. Nous nous inscrivons également dans une perspective méthodologique visant à développer des outils et des indicateurs pertinents pour l'étude de la biodisponibilité. Nos travaux reposent sur l'association de compétences théoriques et techniques de géochimie, de pédologie, d'écologie, de physiologie et de biologie cellulaire réunies sur des systèmes d'étude communs.

3) *Réponses écotoxicologiques* — La biodisponibilité des contaminants dans les milieux et les organismes conditionne les effets induits chez les organismes par l'exposition à un ou des contaminants. Les connaissances actuelles sont limitées notamment car :

- on ne dispose d'informations que sur un nombre limité d'organismes et de contaminants ;

- ces informations sont généralement obtenues sur des durées d'expositions relativement courtes qui ne renseignent pas sur les effets à l'échelle du cycle de vie ;
- on sait encore mal relier entre eux les effets observés à différents niveaux d'organisation et/ou à différentes échelles spatiales

A partir d'observations de terrain, d'expérimentations in natura et en conditions contrôlées (bioessai monospécifique, chaînes alimentaires simples, microcosmes en laboratoire, en serre ou in situ) l'objectif de nos investigations est de :

- connaître les effets de différents contaminants (métaux lourds, pesticides, polluants organiques persistants) à différents niveaux d'organisation biologique (molécules, cellules, organismes, populations).
- déterminer, pour les contaminants bioaccumulés, les relations concentrations internes - effets, résultant par exemple d'expositions contrôlées afin d'appréhender le risque potentiel résultant de l'exposition des populations et/ou de leurs prédateurs in situ.
- développer des méthodes écotoxicologiques (laboratoire, terrain) basées sur ces réponses à partir d'organismes "modèles" situés à différents niveaux dans les réseaux trophiques.

L'analyse des effets des substances toxiques fournit des informations relatives à des échelles de temps et d'espace différentes et peut, selon la sensibilité et la précocité de la réponse, rendre compte d'un effet observé à un niveau d'organisation supérieur. Face à la multiplicité des cibles biologiques et des scénarios d'exposition à considérer pour une compréhension globale, on s'attachera chez certains groupes biologiques à mettre en évidence les réponses aux contaminants à différents niveaux d'organisation, de la molécule aux populations. Les organismes retenus appartiennent à des groupes encore peu étudiés représentatifs de maillons trophiques importants en milieu terrestre, aquatique ou aérien. Ils intègrent diverses sources et voies de contamination qui en font des cibles pertinentes pour des études de disponibilité environnementale - biodisponibilité environnementale et toxicologique.

Nos travaux apportent des éléments de compréhension relatifs aux phénomènes de changement d'échelles spatiales et biologiques et participent au développement d'outils et de méthodes de diagnostic (biosurveillance et évaluation des risques a posteriori) et de gestion environnementale (évaluation des risques a priori).

4) *Expologie et évaluation du risque* — Au début des années 60, les méthodes "d'évaluation du risque" ont été développées et structurées pour évaluer le risque d'une manière aussi complète et objective que possible. Elles ont dans un premier temps été appliquées à la caractérisation du risque sanitaire. Puis dans les années 70, alors que les inquiétudes quant à l'impact des pesticides sur les espèces animales allaient croissantes, ces méthodes ont été de plus en plus utilisées pour authentifier le risque écologique.

Dans les différents domaines considérés (sécurité alimentaire, sécurité environnementale, sécurité sanitaire...), l'évaluation de l'exposition constitue le plus souvent l'étape limitante dans l'appréciation rigoureuse des risques. L'exposition est en effet modulée par un très grand nombre de facteurs, qu'il est souvent difficile d'identifier et a fortiori de quantifier. L'exposition est appréhendée très souvent au niveau individuel et à une échelle très locale. Or, de manière opérationnelle, les risques doivent être estimés "en vraie grandeur". Pour satisfaire cette exigence, il est nécessaire d'appréhender l'exposition au niveau des populations et à une large

échelle spatiale.

Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des systèmes contaminés - substratum géologique, nature des sols, climat, orographie, topographie, structure et dynamique paysagère, structure et dynamique des peuplements et des populations, etc. - sont susceptibles d'influencer l'exposition des individus et des populations aux contaminants chimiques. Nos investigations visent à comprendre comment le contexte écologique module l'exposition des organismes aux contaminants.

En ce qui concerne les risques environnementaux, de nombreux contaminants organiques (pesticides, dioxines, PCBs...) ou minéraux (éléments traces métalliques, radionucléides...) peuvent être à l'origine de contaminations locales de l'environnement ou sont susceptibles d'être distribués à large échelle. La société s'inquiète des risques environnementaux et sanitaires causés par la présence de ces contaminants chimiques dans les milieux physiques (air, eau, sol, sédiment) et par leur possible accumulation dans les organismes et notamment dans ceux qui contribuent à l'alimentation humaine. Plusieurs exemples récents ont montré que les filières agro-alimentaires sont à la merci de ces contaminations qui peuvent en outre déboucher sur des crises médiatiques aux effets économiques parfois dévastateurs.

Nos investigations portent sur les risques liés à l'exposition des milieux et des organismes à différents contaminants chimiques, sur la vulnérabilité des zones de production des aliments aux contaminants chimiques et sur l'évaluation des transferts aux aliments. Nous nous intéressons plus particulièrement aux produits de terroirs qui sont identifiés par les consommateurs comme des produits de qualité issus de régions possédant des milieux naturels préservés. Pour certains de ces produits, les systèmes de production sont tels qu'ils permettent d'établir un lien univoque entre un produit donné (ex fromages de l'A.O.C. Comté) et une zone de prairies permanentes parfaitement localisée ("crus"). Il est ainsi possible d'étudier les relations entre l'exposition des milieux et des organismes (sol - végétation prairiale) et la contamination des produits (lait et fromages).

III-4.2.3 Projets envisagés dans le cadre de la nouvelle structure

Comme nous venons de le voir il existe déjà au sein de l'Institut UTINAM, du Laboratoire Chrono-Environnement et du Laboratoire de Chimie-Physique des Rayonnements beaucoup d'activités de recherche liées aux effets et à la mesure de la contamination environnementale. Aussi, la création d'un OSU permettra d'associer les compétences complémentaires présentes dans ces trois laboratoires autour de projets transversaux. Aussi, des membres de ces trois laboratoires ont déjà commencé de travailler sur un premier projet transverse qui vise à développer des mesures de polluants atmosphériques au moyen de capteurs à base de polymères conducteurs. D'autres projets sont actuellement en cours de maturation (ils sont appelés projets émergents ci-après) et pourraient se développer dans le cadre du futur OSU.

1) *Projet Transverse* — Développement de microcapteurs de gaz à base de polymères conducteurs pour la mesure de gaz polluants environnementaux présents dans l'atmosphère.

Equipe de recherche :

Participants	Laboratoire	Tâche
Sylvain Picaud	Institut Utinam	Particules dans l'atmosphère
Boris Lakard		Fabrication des capteurs
Myriam Euvrard		Fonctionnalisation de surfaces
Laurent Guyard		Synthèses électrochimiques de polymères
Jérôme Husson		Fonctionnalisation de monomères ou polymères
Fabrice Lallemand		Synthèses électrochimiques de polymères sous irradiation ultrasonore
Franck Berger	LCPR-AC	Développement de micro-systèmes sélectifs pour la détection de gaz :
Jean-Baptiste Sanchez		couches sensibles, préconcentrateur, μ -colonnes chromatographiques
Nadine Bernard	Laboratoire Chrono-Environnement	Mesure de la contamination

Problématique :

Le contrôle de la pollution environnementale est désormais devenu un problème de santé publique en plus d'un problème écologique crucial sur lequel il est important de se concentrer. En effet, suite au développement de nombreux complexes industriels ou à l'accroissement permanent du trafic routier par exemple, la pollution atmosphérique est devenue un réel danger sanitaire de sorte que la mesure des taux de polluants atmosphériques (oxydes de carbones, oxydes d'azote...) devient un enjeu majeur. Par ailleurs, les effets de la pollution atmosphérique sur notre environnement constituent également un enjeu d'intérêt scientifique. Il est donc nécessaire de développer des outils permettant de mesurer les taux de polluants atmosphériques et ainsi de produire des indicateurs environnementaux permettant l'étude du mode de fonctionnement de systèmes environnementaux et l'évaluation des effets de ces polluants sur des systèmes environnementaux. Dès lors, l'objectif de ce projet concerne la conception de microcapteurs chimiques dédiés à la détection sélective des différents composés chimiques (NO_x, CO_x, composés organiques volatiles) pouvant être présents sous forme de traces dans l'atmosphère ou dans un système environnemental bien précis.

Description scientifique du projet :

Depuis le début de l'année 2008, des chercheurs du LCPR-AC (spécialisés dans le développement de capteurs de gaz à base de semi-conducteurs) et des chercheurs d'UTINAM (spécialisés dans la synthèse et l'intégration de polymères synthétisés par électrochimie au sein de capteurs) ont entamé une collaboration destinée à mettre au point des capteurs de gaz à base de polymères. Ces premiers travaux ont permis de microfabriquer des capteurs en forme de peignes interdigités qui ont ensuite été recouverts de polypyrrole utilisé comme couche sensible, puis ont été testés avec succès comme capteurs de NH₃. Ce début de collaboration fructueux nous encourage désormais à intensifier cette collaboration avec comme objectif de développer des capteurs de polluants atmosphériques (oxydes de carbone et d'azote ou composés organiques volatiles). Une fois les capteurs de gaz élaborés et optimisés en laboratoire, ils seront testés par des chercheurs du Laboratoire de Chrono-

environnement en milieu naturel dans le but d'être utilisés afin de suivre l'évolution de la concentration en gaz dans un système environnemental donné et ainsi permettre de déterminer les effets de gaz contaminants sur un système environnemental. Ce travail sera possible grâce à la présence au sein du futur OSU de toutes les compétences nécessaires à la microfabrication des capteurs, à la synthèse et à la fonctionnalisation de polymères, à l'étude des réponses des capteurs de gaz et à la présence de biologistes étudiant les effets de la contamination sur l'environnement.

2) Projets émergents —

- Projet émergent n°1 : Modélisation et contamination des systèmes suies / HAP : Une collaboration est actuellement discutée entre Sylvain Picaud, physicien ayant déjà travaillé sur la modélisation de suies et de HAP, et Nadine Bernard, biologiste travaillant sur l'étude des effets de contaminants, notamment les HAP.
- Projet émergent n°2 : Adsorption de micropolluants Plusieurs membres d'UTINAM (Myriam Euvrad, Nicolas Fatin-Rouge) et de Chrono-Environnement (Jacques Mudry, Catherine Bertrand, Marc Steinmann) s'intéressent à la détection de contaminants (notamment de métaux lourds) à l'intérieur de sols pollués. Leurs travaux respectifs doivent permettre d'initier une collaboration dans le cadre de l'OSU.

III-4.2.4 Bibliographie

O. Adam, M. Bitschené, G. Torri, F. De Giorgi, P.M. Badot, G. Crini, *Separation and Purification Technology*, 46 (2005) 11.

S. Carquigny, J.B. Sanchez, F. Berger, B. Lakard, F. Lallemand, *Talanta*, 78, (2009) 199.

M. Coeurdassier, R. Scheifler, A. de Vaufléury, N. Crini, C. Saccomani, L. Salomon Du Mont, P.-M. Badot, *Applied Soil Ecology*, 35 (2007) 302.

B. Collignon, P.N.M. Hoang, S. Picaud, D. Liotard, M.T. Rayez, J.C. Rayez, *Journal of Molecular Structure : THEOCHEM*, 772 (2006) 1.

F. Delval, G. Crini, S. Bertini, N. Morin-Crini, P.M. Badot, J. Vebrel, G. Torri, *Journal of Applied Polymer Science*, 93 (2004) 2650-2663.

S. Denimal, N. Tribovillard, F. Barbecot, L. Dever, *Environmental Geology* 42 (2002) 966.

S. Denimal, C. Bertrand, J. Mudry, Y. Paquette, M. Hochart, M. Steinmann, *Applied Geochemistry* 20 (2005) 825.

S.V. Fesenko, N.V. Soukhova, N.I. Sanzharova, R. Avila, S.I. Spiridinov, D. Klein, E. Lucot, P.M. Badot, *Radiat. Environ. Biophys.* 40 (2001) 105.

F. Gimbert, A. de Vaufléury, F. Douay, R. Scheifler, M. Coeurdassier, P.M. Badot, *Environment International*, 32 (2006) 866.

G. Hantal, S. Picaud, B. Collignon, P.N.M. Hoang, M.T. Rayez et J.C. Rayez, *Molecular Simulation*, 2009 (sous presse)

F. Hispard, A. de Vaufleury, R.P. Cosson, S. Devaux, R.Scheifler, M. Cœurassier, F. Gimbert, H. Martin, L. Richert, A. Berthelot, P.M. Badot, *Environment International*, 34 (2008) 381.

B. Lakard, G. Herlem, S. Lakard, René Guyetant, Bernard Fahys, *Polymer*, 46 (2005) 12233

B. Lakard, G. Herlem, M. de Labachellerie, W. Daniau, G. Martin, J.C. Jeannot, L. Robert, B. Fahys, *Biosensors and Bioelectronics*, 19 (2004) 595.

B. Lakard, G. Herlem, S. Lakard, A. Antoniou, B. Fahys, *Biosensors and Bioelectronics* 19 (2004) 1641.

R. Scheifler, M. Ben Brahim, A. Gomot-de Vaufleury, J. -M. Carnus, P.M. Badot, *Environmental Pollution*, 123 (2003) 343.

M. Steinmann, A. Stille, *Applied Geochem.* 12 (1997) 607.

III-5 Le Bonus Qualité Recherche OSU

Ce sont les unités qui composent l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne qui ont la responsabilité de leur propre politique scientifique. L'OSU s'est néanmoins doté d'un outil favorisant le développement des recherches dans les thématiques emblématiques de l'OSU : le Bonus Qualité Recherche OSU. Il s'agit d'une subvention qui vise à financer chaque année un ou plusieurs projets aptes à renforcer les synergies entre les laboratoires de l'OSU ou à promouvoir des thèmes de recherche portés par l'OSU, même s'ils sont monodisciplinaires. C'est le Conseil Scientifique de l'OSU qui a la charge de choisir les projets qui sont retenus.

Ce BQR OSU a été mis en place pour la première fois en 2010 avec une somme relativement modeste : 17 k€. Cette première opération a été un succès puisque 5 demandes ont été présentées pour un total de 44 k€. Malgré le très bon niveau d'ensemble, seuls 3 projets ont été retenus :

- *Développement d'outils moléculaires pour le suivi des populations animales* (3 k€)
- *Soutien au démarrage du SOERE "Jurassic Karst"* (7 k€)
- *Organisation d'un atelier international sur "Star formation under extreme conditions : the Galactic Center"* (7 k€)

Compte-tenu du nombre et de la qualité des demandes qui ont été établies dès cette première année, il nous semble justifié de porter le montant de ce BQR OSU à une somme de 60 k€ par an pour le prochain quadriennal. Nous pourrions alors favoriser des demandes plus ambitieuses et impulser une véritable politique scientifique INSU en région Bourgogne/Franche-Comté.

Chapitre IV

Adossement enseignement/recherche

Le prochain quadriennal verra l'ouverture de ponts de plus en plus importants entre les Universités de Franche-Comté et de Bourgogne sous l'égide du PRES Bourgogne/Franche-Comté. Bien qu'aucune cohabilitation de diplôme n'existe dans les disciplines qui nous concernent, c'est à dire les sciences de la matière et les sciences environnementales, de nombreuses mutualisations d'UE auront lieu dans plusieurs diplômes. Nous espérons ainsi apporter une première réponse à la désaffection des étudiants pour nos disciplines, notamment en physique, et ouvrir pour l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne un vivier de doctorants potentiels plus importants en décloisonnant les spécialités habituelles des deux régions.

IV-1 Masters en physique et chimie

IV-1.1 Master mention Sciences de la Matière (Université de Franche-Comté)

Le Master a pour objectif de regrouper sous une seule mention intitulée "Sciences de la Matière" les enseignements de chimie et de physique à l'UFC et d'offrir une formation solide et cohérente autour d'axes prioritaires : la physique moléculaire, la physico-chimie des interfaces, des surfaces et des matériaux, la modélisation numérique de processus multi-physiques, la photonique (optique moderne), le temps-fréquence, les micro et nanotechnologies et la formation aux métiers de l'enseignement de la physique et de la chimie. Ce regroupement permet d'offrir aux étudiants une palette de formations :

- En chimie soit à finalité professionnelle (spécialité Formulation et Traitements des Surfaces FTS) soit à finalité recherche (spécialité Chimie-Physique des Interfaces CPI) s'appuyant sur l'Insitut UTINAM et le LCPR-AC.
- En physique à travers deux spécialités orientées pour la première vers les thématiques de recherche de l'institut UTINAM et incluant un parcours professionnalisant dans le domaine de la modélisation numérique en physique (spécialité Physique, Physique Numérique P2N) et pour la seconde spécialité, une formation en physique fondamentale et appliquée à caractère plus technologique (spécialité Pho-

tonique, micro & nanotechnologie et tempS-fréquence PICS) s'appuyant sur les Départements d'Optique, Temps-Fréquence et MN2S de l'institut FEMTO-ST, l'Institut UTINAM et l'Observatoire THETA.

- Enfin une spécialité liée à la formation aux métiers de l'enseignement de la Physique-Chimie (spécialité Métier de l'Enseignement et de la Formation en Physique et en Chimie MEFFPC) vient compléter l'offre de formation dans cette mention. Pour cette spécialité, des passerelles vers les autres spécialités de la mention seront proposées pour les étudiants qui le souhaitent.

Nous offrons ainsi à travers ces 5 spécialités (FTS, CPI, P2N, PICS et MEFFPC) un ensemble de formations lisibles, attractives et variées susceptibles d'attirer les étudiants locaux et extérieurs avec des origines, des profils, des motivations et des projets professionnels variés. La mutualisation d'une large proportion d'UE entre les spécialités de ce master ouvre des passerelles aux étudiants pour une éventuelle réorientation en cours de formation. De plus dans le cadre du PRES Bourgogne-Franche-Comté (BFC) un partenariat entre les masters SdM des 2 universités (UFC et UB) sera établi autorisant ainsi une mutualisation de certaines UE, des offres de stages et des plateformes de technologie (MIMENTO et ARCEN). Ce partenariat ouvrira des passerelles pour les étudiants entre les masters des deux établissements. Cette formation de master est issue du précédent master SdM qui comprenait 3 spécialités : RMM, PICS et FTS. L'offre proposée ici pour le renouvellement de la mention SdM tient compte du bilan du précédent quadriennal et est construite en complémentarité et en partenariat avec l'offre de formation en SdM à l'UB. À travers ces formations nous avons pour objectif de (i) former les étudiants à la rigueur de l'analyse scientifique, (ii) les inciter à une approche créative des problématiques scientifiques et techniques qu'ils pourraient rencontrer dans leur future activité professionnelle. Les compétences acquises devront permettre aux étudiants d'accéder à une carrière académique (recherche et/ou enseignement) ou au sein d'une entreprise :

- Dans le milieu académique (universités, CNRS et autres organismes de recherche) en tant qu'enseignant chercheur (après avoir obtenu un diplôme de doctorat), chercheur ou ingénieur de recherche (après avoir obtenu un diplôme de doctorat), ingénieur d'étude, enseignant dans le secondaire (après obtention du CAPES ou de l'Agrégation).
- En entreprise, en tant qu'ingénieur essentiellement en Recherche et Développement (ingénieur de recherche, ingénieur d'essais, ingénieur d'études, ingénieur mesures et analyses) mais aussi dans des fonctions plus commerciales (cadre technico-commercial) dans les secteurs industriels en relation avec la formation.

IV-1.2 Master Sciences de la matière (UB)

La mention "Sciences de la matière" de l'Université de Bourgogne regroupe actuellement en son sein les spécialités de masters liées aux diverses disciplines de la chimie et de la physique, sous les trois aspects : Recherche, Enseignement et Professionnel. Cette mention comporte 7 spécialités, qui présentent entre elles de fortes interactions.

D'une manière générale, l'évolution souhaitée de cette SDM répond à quatre exigences de notre part :

1. Création ex nihilo d'un master "Enseignement" dans le cadre de la réforme de la formation des maîtres.
2. Rapprochement des universités UB et UFC, à travers la création du PRES - Université Fédérale Bourgogne-

Franche-Comté - qui a mis en évidence les fortes complémentarités dans plusieurs domaines entre l'université de Bourgogne et de Franche-Comté, permettant le développement de synergies entre les formations adossées aux laboratoires de recherche des deux universités, bénéficiant ainsi de l'excellence de la recherche effectuée.

3. Développement d'actions transversales entre les différentes équipes et Laboratoires (ICB et ICMUB) par suite de la nécessité d'une mutualisation des savoirs entre les différents champs disciplinaires.
4. Création en parallèle à Dijon d'une mention "Sciences pour l'Ingénieur", afin d'obtenir une organisation similaire à celle existant à l'UFC. Celle-ci intégrera les spécialités "Contrôle et Analyse Chimiques", "Qualité, Environnement et Sécurité dans l'Industrie et les Services" et mécanique, qui faisaient partie de la mention SDM.

Ainsi dans le présent projet, l'offre de la mention SDM se concentre désormais autour du savoir faire des deux Laboratoires de Recherche - ICB et ICMUB - afin de mieux répondre aux projets professionnels des étudiants, qu'ils soient à finalité académique ou industrielle, à travers les activités des différentes équipes de recherche :

- Métiers de l'enseignement en physique et chimie (MEPC - Resp. : G.Boni et P.Delarue)
- Chimie moléculaire et procédés propres (CMPP - Resp. : F.Denat)
- Contrôle et durabilité des matériaux (CDM - Resp. : B.Domenichini)
- Physique Laser Matériaux (PLM - Resp. : O. Faucher)
- Nanotechnologies et Nanobiosciences (Nano - Resp. : E.Bourillot)

En M1, la mention comporte deux spécialités, l'une liée directement au métier de l'enseignement (MEPC) et l'autre Chimie-Physique-Nanosciences-Matériaux (CPNM) comportant quatre parcours en rapport avec les spécialités CMPP, CDM, PLM et NANO.

La spécialité MEPC (M1 et M2) est une création avec son propre mode de fonctionnement, lié aux exigences et aux périmètres définis par la réforme sur la formation des maîtres (cf. fiche spécialité MEPC).

Dans la spécialité CPNM, un effort prononcé a été mis sur la complémentarité des parcours par une forte mutualisation (au moins 60 % des UE sont partagées entre 2 parcours et plus) afin d'apporter à chaque parcours une plus value de connaissances transversales dans différents champs disciplinaires et permettre ainsi des passerelles entre spécialités et parcours, laissant leur place au choix de l'étudiant.

Cet effort a été également fait au niveau du M2, en particulier entre PLM-NANO-CDM, mettant au moins 3 UE sur 5 en commun.

Notre action d'ouverture vers l'Université de Franche-Comté se concrétise par :

- d'une part l'intégration de 2 ou 3 UE des spécialités P2N/PICS et FTS du master SDM de l'Université de Franche-Comté dans les spécialités et parcours PLM et CDM,
- d'autre part par l'intégration d'enseignants-chercheurs de l'UTINAM et Femto-ST de Besançon dans les parcours et spécialités CMPP et NANO pour leur complémentarité dans les domaines traitant des édifices polymétalliques et leur propriétés (UTINAM, UMR CNRS 6213) mais aussi sur le volet Micro/nanofabrication avec des enseignements et TP en salle blanche (plate-forme MIMENTO, Femto-ST,

UMR CNRS 6174), et sur le volet nanobiotechnologie en vue de renforcer les applications pour le vivant. De plus, la spécialité CMPP sera désormais la seule sur les deux universités à traiter de chimie moléculaire.

IV-2 Masters en sciences de l'environnement

IV-2.1 Le master Mention Sciences environnementales de l'UFC

Le master Mention Sciences environnementales qui relève du Domaine Sciences, Technologies, Santé regroupe les différentes spécialités offertes à l'UFR Sciences et Techniques dans le domaine :

QUEST : Qualité des Eaux, des Sols et Traitements, spécialité à finalité professionnelle

GAp : Géologie APpliquée, spécialité à finalité professionnelle

ECoS : Ecosystèmes, CoNtaminants, Santé, spécialité à finalité recherche

SVT : Sciences de la Vie et de la Terre, enseignement et médiation scientifique.

Son Responsable est Pierre-Marie Badot (PR Cl Exc en 66e section - Physiologie), membre de l'UMR Chrono-environnement qui est le principal laboratoire d'adossement de cette mention avec comme Unités partenaires l'UMR CNRS 6049 THEMA, l'UMR CNRS 6213 UTINAM, et l'AFSSA (Laboratoire de la rage et de la pathologie des animaux sauvages - 54 Malzéville).

Cette mention est principalement rattachée à l'UFR Sciences et Techniques en partenariat avec l'UFR SLHS - Sciences du langage, de l'homme et de la société, et l'UFR SMP - Sciences médicales et pharmaceutiques de l'UFC. Sont également associés à cette mention l'Université de Neuchâtel (Master Biogéosciences) et l'Université de Lausanne (Master Biogéosciences).

Chacune des spécialités existe depuis un nombre élevé d'années.

Les deux spécialités professionnelles GAp et QuEST ont une très longue histoire derrière elles. Elles sont très bien identifiées par leurs milieux professionnels respectifs et sont les héritières de formations bien identifiées nationalement. Elles ont su construire et développer au cours du temps une image très positive qui leur assure attractivité et placement des diplômés. Elles sont fortement adossées au milieu professionnel : mobilisation de nombreux professionnels, présence de PAST réellement actifs professionnellement à l'extérieur, stages professionnels, réseau de professionnels, participation des professionnels au conseil pédagogique des spécialités, réseau actif de diplômés au sein des milieux professionnels, associations de diplômés...

La spécialité recherche ECoS correspond à l'ancien DEA Environnement Santé Société, devenu ensuite Vie, Terre Environnement Santé Société. Elle a été mise en place il y a maintenant 3 contrats quadriennaux dans un esprit de transdisciplinarité. Le vécu commun des chercheurs au sein de cette mention a été l'un des fondements ayant permis la création de l'UMR Chrono-environnement.

Cette spécialité a essentiellement une finalité recherche. Elle s'appuie sur l'UMR Chrono-environnement et constitue l'un des viviers majeurs de doctorants de cette unité. De plus, toutes les unités de la spécialité M2 ECoS et du parcours d'écologie sont mutualisées avec le Master de Biogéosciences des unités de Lausanne et de Neuchâtel, dans le cadre des options. Le séminaire de 3 jours des grands témoins est obligatoire et commun pour les étudiants de ECoS et de Biogéosciences Lausanne-Neuchâtel. L'évolution naturelle de ce partenariat devrait conduire à une spécialité co-habilitée lors de la prochaine vague, co-habilitation qui n'est pas possible, techniquement, coté suisse, avant 2014.

Le placement des diplômés est bon, qu'il s'agisse d'études doctorales ou de leur placement dans les métiers de l'environnement et de la santé.

Les spécialités ECoS et QUEST partagent le même tronc commun en M1. Un jeu d'options permet aux étudiants de commencer à différencier leur parcours dès le second semestre du M1, mais le choix de la spécialité reste ouvert jusqu'à l'issue du semestre 8.

La spécialité SVT est issue de la Licence et de la Maîtrise de Sciences Naturelles et prépare depuis de nombreuses années les étudiants franc-comtois aux concours (CAPES-CAFEP SVT) et aux métiers de l'enseignement. Tout comme la spécialité Gap, la spécialité SVT est conçue comme un parcours bien identifié avec des débouchés ciblés. Des réorientations sont possibles à l'issue du M1 vers les autres spécialités de la Mention ou vers d'autres Masters.

Le prochain contrat quadriennal sera mis à profit pour renforcer la gestion du diplôme au niveau de la mention. A l'heure actuelle, un tronc commun important existe entre la spécialité QuEST et ECOS (M1 en tronc commun avec options), et des possibilités de ponts d'orientation avec les autres spécialités. Une ouverture explicite et factuelle à l'international est également intégrée dans quadriennal 2012-2015. La création en 2008 et le développement actuel de l'UMR Chrono-environnement qui regroupe la plupart des chercheurs en biologie et géosciences de l'Université de Franche-Comté constitue à cet effet une opportunité importante.

IV-2.2 Master Mention ETEC de l'uB : Environnement, Terre, Evolution, Climat

La mention de master ETEC est une formation pluridisciplinaire à plusieurs laboratoires dont de nombreuses UMR uB/INRA et uB/CNRS regroupés au sein de la Fédération de recherche Buffon et la MSH - Dijon et par conséquent bien ancrée dans le tissu régional. La pédagogie s'appuie sur la solidité scientifique des équipes enseignantes impliquées dans des laboratoires de recherche reconnus dont les thématiques portent sur la géologie, l'environnement et l'évolution (UMR Biogéosciences UMR CNRS-uB), l'archéologie et les archéosciences (UMR ARTÉHIS), la climatologie (UMR CRC CNRS-uB), les Sciences Humaines (Centre Georges Chevrier UMR CNRS 5605, Maison des Sciences de l'Homme), la vigne et sa physiologie (UMR INRA-CNRS-uB PME), l'œnologie (équipe EA REVV et CSGA UMR INRA-CNRS-uB-AgroSup), ainsi que d'autres laboratoires adossés à l'INRA Dijon, Agro-Sup Dijon. Cette mention se décline en cinq spécialités M1/M2 dont 2 concernent l'OSU : Géobiosphère et ERE

1. Géobiosphère - GBS (M2, parcours Environnement-Climatologie et Sédimentologie-Paléontologie)
2. Archéo-GEO-Sciences - AGES
3. Biologie des Organismes et des Populations - BOP (parcours Ecologie Comportementale et Conservation et Biodiversité)
4. Vigne-Vin-Terroir - VVT (actuel master Vigne et Terroir)
5. Environnement - ERE

- La spécialité **Géobiosphère (GBS)** est la filière historique de la mention. Elle assure la formation d'étudiants qui définissent ensuite leur profil professionnel dans les domaines de la recherche ou de la production de ressources et de stockage du sous-sol. L'enseignement proposé est orienté vers les domaines des géosciences, de la climatologie et de l'environnement. Cette formation ne perd pas de vue l'approche pratique des faits, en proposant une part importante de travaux sur le terrain et en laboratoire.
- La spécialité **Espace Rural et Environnement (ERE)** est une formation professionnalisante généraliste et fortement pluridisciplinaire en environnement, axée sur l'espace rural. Directement héritée du DESS du même nom créé en 1990, elle existe depuis la mise en place du LMD à l'Université de Bourgogne en 2002. Cette spécialité est complémentaire de l'offre d'AgroSup Dijon, dont plusieurs enseignants sont intervenants et responsables d'UE depuis la création de la filière. La co-habilitation avec AgroSup Dijon est à nouveau demandée.

La nouvelle offre de formation ne comporte pas de changements majeurs, mais l'objectif a été de mutualiser lorsque c'était possible et lorsqu'une réelle plus-value pédagogique était évidente, une partie des enseignements délivrés par ailleurs dans d'autres filières de l'Université de Bourgogne, à l'Université de Franche-Comté dans le cadre du PRES ou plus généralement en France et à l'étranger.

Chapitre V

Contractualisation et structuration

L'organisation que nous proposons est celle d'un OSU "classique", c'est à dire une structure fédérative regroupant d'une part des UMR concernées par les thématiques INSU et d'autre part une UMS mutualisant des moyens communs aux unités, en particulier ceux nécessaires à la réalisation des tâches de service. Cette structure s'appuie administrativement sur une composante "article 33". Il convient cependant de distinguer le contour de la composante de celui de la fédération de recherche qui a vocation à circonscrire un périmètre plus grand. En revanche, la structure fédérative pourra s'appuyer sur l'organisation administrative de la composante (conseils, unité budgétaire) et accueillir des personnels CNAP.

V-1 L'OSU : une Fédération de Recherche contractualisée avec ses tutelles

Un OSU possède, par nature, une dimension fédérative, bien qu'il ne s'agisse pas d'une "Fédération de Recherche" au sens du CNRS. Sont fédérés en son sein des laboratoires entiers (comme par exemple, Chrono-Environnement, le LCPR-AC et UTINAM). En revanche, si une petite équipe d'un grand laboratoire est seule concernée par des problématiques INSU, on peut imaginer que cette équipe entre seule dans l'OSU (comme par exemple, l'équipe "Spectroscopie Moléculaire et Applications" du laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne ou le département "Temps-Fréquence" de l'Institut Femto-ST). L'OSU ne pouvant dépendre que d'une université, les laboratoires et équipes d'autres universités (BioGéoSciences, CRC, SMA/ICB, TF/Femto-ST) pourront intégrer l'OSU par convention entre leur(s) université(s) de tutelle et l'Université de Franche-Comté.

Cette fédération regroupe déjà, dans sa première version purement bisontine 308 membres (voir tableau V.1) parmi lesquels figurent les 4 astronomes et astronomes-adjoints de l'ancien Observatoire de Besançon. Cette configuration a été validée par le Comité Scientifique de l'INSU du 7 mai 2010 et par le Conseil d'Administration de l'Université de Franche-Comté du 11 mai 2010.

La seconde étape, demandée dans le cadre du contrat quadriennal 2012-2015 correspond à l'extension aux

Laboratoire ou équipe	Tutelle	Chercheurs	Ens.-ch.	ITA	Biatoss	Non-perm.	Total
Chrono-environnement	UFC/CNRS	8	72	11	38	47	176
LCPR-AC	UFC/CEA	(CEA) 3	9	0	3	6	21
UTINAM	UFC/CNRS	5	53	4	19	30	111
Sous-total		16	134	15	60	83	308
BioGéoSciences	uB/CNRS	8	29	6	10	38	91
CRC	uB/CNRS	3	7	2	0	13	25
ICB/SMA	uB/CNRS	1	6	1	0	8	16
Femto-ST/TF	UFC/ENSMM/ /UTBM/CNRS	3	12	8	13	14	50
Total		31	188	32	83	156	490

TAB. V.1 – Effectifs des laboratoires et équipes constituant l’OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne (source : labintel).

laboratoires et équipes de Dijon et de Femto-ST, ce qui monterait l’effectif global de l’OSU à 490 personnels (voir tableau V.1). Pour réaliser cette extension, deux conventions seront donc établies entre l’Université de Franche-Comté d’une part et respectivement, l’Université de Bourgogne et l’École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques, d’autre part.

Enfin, suite à la signature de la charte des OSU par le président de l’Université de Franche-Comté, il est maintenant possible d’établir une convention entre l’INSU et l’UFC. L’objet de cette convention est exclusivement d’identifier et de sauvegarder les moyens affectés par l’INSU et l’UFC aux services labellisés au niveau national et portés par l’OSU. La convention elle-même est une convention générique, commune à toutes les universités. En revanche, l’annexe, listant les moyens, est spécifique à chaque université. Le contenu de cette annexe sera négocié entre l’INSU et l’UFC, sur proposition du directeur de l’OSU. Le chapitre “Besoins” (voir section VII-2) correspond aux moyens spécifiques qui seront demandés à nos tutelles. Il est à noter que les autres établissements d’enseignement supérieurs concernés par l’OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne (uB et ENSMM) devront également participer à cette négociation.

V-2 Une Unité Mixte de Service

L’UMS constitue le centre de gravité de l’OSU puisqu’elle regroupe tous les outils nécessaires pour mener à bien les missions de l’OSU. Ici, le terme “unité de **Service**” prend tout son sens puisqu’il s’agit effectivement d’assurer les tâches de **Service** de l’OSU, les laboratoires ayant quant à eux la responsabilité des activités de recherche.

V-2.1 L'UMS THETA

À terme, le but de l'UMS est d'augmenter les services de l'OSU quantitativement autant que qualitativement sans démunir les laboratoires grâce à des moyens supplémentaires (en terme de personnels, d'investissement et de fonctionnement) et des mutualisations. L'UMS pourrait intégrer de nouveaux services et mutualiser des services déjà existants comme par exemple :

- gestion d'une plate-forme bio-hydro-géo-chimique (via le DIPEE)
- création d'un pôle d'ingénierie informatique scientifique (architecture distribuée, développement de services en ligne, bancarisation et réduction de données, extension du modèle d'Observatoire Virtuel aux données environnementales)
- service d'analyses microscopiques
- Unité Technique MARIO (mesure des rayonnements ionisants environnetaux)
- Unité Technique LNE-LTBF (métrologie du temps et des fréquences).

Il est à noter que ces deux UT existent, disposent déjà d'un plan qualité et sont certifiées COFRAC (Comité Français d'ACCréditation). L'UT LTBF est par ailleurs associée au Laboratoire National de métrologie et d'Essais (LNE). L'UMS THETA concentrerait ainsi l'essentiel des activités de certification de l'Université de Franche-Comté.

V-2.1.1 Compétences

L'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne doit pouvoir s'appuyer sur une Unité Mixte de Service à la hauteur de ses ambitions : une UMS qui lui permettra, d'une part, de gérer son infrastructure (administration de l'OSU, entretien des bâtiments et du parc) comme ce sera le cas avec l'UMS Initiale, mais aussi d'autre part, d'apporter une réelle plus value sur les services existants, notamment les services d'observations. L'idée force est d'assurer une diffusion des savoirs faire et des méthodologies à travers toutes les activités représentées dans l'OSU ainsi qu'une mutualisation des plates-formes et équipements. Deux exemples sont particulièrement de nature à justifier l'extension de cette UMS :

- **La métrologie** est une importante mission de service de l'OSU. Elle concerne les Unités Techniques "MARIO" (Métrologie et Analyse des Rayonnements IOnisants) et le LNE-LTFB (Laboratoire Associé au LNE pour la Métrologie Temps et Fréquence) qui sont accréditées par le COFRAC selon le référentiel NF EN ISO/CEI 17025. La longue expérience de rigueur inhérente à ces accréditations permettra de mettre en place rapidement une démarche qualité selon le référentiel ISO 9001 sur l'ensemble de l'UMS THETA.
- **La mise en ligne et l'interopérabilité des données et services** est développée à l'Observatoire de Besançon depuis près de 10 ans à travers notre participation à l'Observatoire Virtuel. Une forte demande pour des services de ce type existe également dans les autres champs thématiques de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne (écologie voire archéologie) et le savoir faire acquis dans le cadre astronomique pourra utilement être réinvesti dans les données et services environnementaux. Il s'agira là d'un des principaux axes fédérateurs de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne.

Par ailleurs, l'UMS est la structure adéquate pour gérer les plates-formes instrumentales des laboratoires de l'OSU voire du DIPEE Bourgogne/Franche-Comté lorsqu'elles concernent une problématique INSU. L'UMS pourrait gérer notamment la plate-forme bio-hydro-géo-chimique et le service d'analyses microscopiques.

L'UMS THETA sera également le lieu où sera gérée la diffusion de la culture scientifique et technique de l'OSU ainsi que le patrimoine protégé au titre des monuments historiques.

Enfin, plus généralement, l'UMS THETA aura la charge de tous les Services d'Observations de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne, en terme de fonctionnement (entretien du parc scientifique), d'investissement (nouveaux équipements), voire de salaire (CDD spécifiquement sur des SO).

V-2.1.2 Composition

Afin d'assurer l'ensemble des tâches de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne, l'UMS THETA sera constituée de la façon suivante :

- le directeur de l'UMS qui devrait être également le directeur de l'OSU
- le Service d'Administration de Maintenance et d'Entretien (SAME) qui comptera 7 membres :
 - ★ le responsable du SAME (niveau AAENES)
 - ★ un adjoint d'administration chargé du secrétariat (niveau AdjAENES ou AdjT)
 - ★ un adjoint d'administration chargé de la gestion financière (niveau AdjAENES ou AdjT)
 - ★ un conservateur chargé de la valorisation des bâtiments et instruments protégés au titre des monuments historiques ainsi que, plus généralement, de coordonner la diffusion de la culture scientifique au sein de l'OSU
 - ★ un adjoint technique chargé du ménage
 - ★ un adjoint technique chargé de l'entretien des locaux des espaces verts
 - ★ un adjoint technique effectuant les tâches de conciergerie, de gestion du système d'alarme et participation à l'entretien des locaux et des espaces verts
- le Service Technique d'Instrumentation, de Métrologie et de Services En Ligne (SIMSEL) qui comptera 8 membres :
 - ★ le responsable du SIMSEL
 - ★ un ingénieur d'étude Temps-Fréquence
 - ★ un technicien temps-fréquence
 - ★ un adjoint technique temps-fréquence
 - ★ un ingénieur d'étude rayonnements ionisants
 - ★ un ingénieur d'étude informatique pour les services en ligne
 - ★ un ingénieur d'étude pour la plate-forme bio-hydro-géo-chimique
 - ★ un technicien pour la plate-forme bio-hydro-géo-chimique et le service d'analyses microscopiques.

Un effectif minimal de 16 membres sera nécessaire pour que l'UMS puisse mener à bien ses missions. Si une partie des emplois pourra provenir des laboratoires (de manière équilibrée, c'est-à-dire de TOUS les laboratoires), **cette montée en puissance de l'UMS devra être initiée par des créations de postes par les tutelles**

(UFC et CNRS). La participation au financement d'un emploi sur budget propre sera assurée par les laboratoires que ne sont pas en mesure de mettre un poste dans l'UMS. Ce financement pourra être assuré directement par l'université de rattachement des laboratoires concernés ou par tout autre moyen (crédits récurrents, crédits CNRS, etc.). L'emploi sur budget propre pourrait être, dans un premier temps, le poste d'ingénieur responsable du SIMSEL.

Étant à la base une entité dédiée à la fourniture de Services et Prestations, le LNE-LTFB est appelé à jouer un rôle essentiel dans la construction de l'UMS THETA. Le département Temps-Fréquence de FEMTO-ST intervient déjà dans le fonctionnement du LNE-LTFB via le travail d'un IR (P. Salzenstein, directeur-adjoint du LNE-LTFB) et d'un IE. Afin de favoriser le déploiement de l'OSU, la direction du département envisagerait favorablement le transfert de cet ingénieur d'études vers l'UMS. Ceci implique par nécessité un contrat avec l'ENSMM, car le poste en question est supporté par cet établissement. L'exclusion mutuelle UMR/UMS dans l'affectation des personnels reviendrait de plus à perdre un poste pour FEMTO-ST qui devra donc engager une action auprès de ses tutelles pour maintenir son effectif. Dans ce cas, UTINAM pourrait également affecter des personnels du service Temps-Fréquence dans l'UMS. Cependant, ces changements d'unité ne pourront se faire que sur la base du volontariat de la part des personnels concernés.

D'autres transferts de postes dans l'UMS sont à l'étude en fonction des futurs départs en retraite prévus dans les unités. En effet, plusieurs postes affectés actuellement dans les laboratoires pourraient être renouvelés dans l'UMS. C'est le cas notamment d'un poste de catégorie C à chrono-environnement (implémentation de capteurs sur site) et d'un ingénieur à BioGéoSciences (utilisation du spectroscope de masse).

Ces transferts de poste dans l'UMS feront l'objet d'une négociation globale entre tous les partenaires de l'OSU sur la durée du quadriennal afin de garantir un effort équitable des laboratoires.

V-2.1.3 Conseil de Laboratoire

Pour ne pas multiplier les instances, le rôle de Conseil de Laboratoire de l'UMS sera joué par l'Assemblée Générale des personnels de l'UMS.

V-2.2 L'UMS Initiale

Néanmoins, nous avons dû dans, un premier temps, réduire nos ambitions quant à cette UMS, qui ne pouvait prendre en charge l'ensemble de ces services par manque de moyens humains et financiers.

Au départ, c'est à dire entre l'acceptation de l'OSU THETA par l'INSU et l'UFC et le prochain quadriennal, il nous a semblé plus réaliste de demander la création d'une UMS minimaliste, que nous avons appelerons ci-après l'UMS "Initiale" (par opposition à l'UMS "THETA" décrite ci-dessus, réduite à l'administration de l'OSU et à l'entretien des bâtiments et du parc de l'observatoire de Besançon. **À la date de rédaction de ce dossier, l'UMS "Initiale" reste un projet puisqu'elle n'a toujours pas été validée ni par le ministère, ni par le**

CNRS.

Nous avons néanmoins décidé de fonctionner comme si elle existait déjà. Elle est constituée de :

- le directeur de l'OSU qui est également le directeur de l'UMS ;
- le responsable des services administratifs de l'OSU ;
- les personnels du service administratif de l'OSU, soit 90 % ETP **dont seulement 40 % correspondent à un emploi statutaire pérenne** (à la date de rédaction du présent dossier ces postes sont occupés par Mmes M. Pidancier¹ et M. Freyburger²) ;
- les trois personnels du service d'entretien de l'Observatoire Astronomique actuel.

L'UMS Initiale a à gérer le budget de l'infrastructure de l'observatoire (~ 100 k€/an) ainsi que le BQR (~ 17 k€ pour l'année 2010) mis en place dès cette année (voir ci-dessus en section III-5). L'UMS assure également la responsabilité au niveau composante (mandatements, etc.) de l'ensemble des crédits des Centres de Responsabilités de l'Unité Budgétaire 917 (UB de l'observatoire), y compris des CR gérés par l'UMR UTINAM³.

Compte-tenu de son faible effectif, l'UMS ne comporte pas de conseil de laboratoire, mais l'ensemble des personnels est réuni en Assemblée Générale 3 à 4 fois par an (la dernière a eu lieu le 28 mai 2010).

V-3 Un “article 33”

Comme il a été précisé plus haut, la composante “article 33” ne doit pas être confondue avec la structure fédérative du futur OSU. Les personnels appartenant en propre à la composante constituent un sous-ensemble de l'OSU qui regroupera les personnels de l'UMS, les personnels CNAP (4 aujourd'hui) et les quelques personnels BIATOS qui sont déjà dans la composante OSU actuelle (14 membres permanents).

À ces personnels viendront s'ajouter les enseignants-chercheurs puisque statutairement, ils peuvent émarger à deux composantes de l'Université dont, s'ils le souhaitent, l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne. De même, les personnels CNRS pourront être rattachés à l'OSU en tant que “personnels hébergés”. Toutes ces personnes pourront donc être électeurs et éligibles dans les différentes instances de l'observatoire (CS, Conseil et direction) sur la base du volontariat.

En revanche, il n'en sera pas de même pour les BIATOSS rattachés à l'UFR ST, à d'autres composantes ou à un autre établissement d'enseignement supérieur. Ils ne pourront donc être électeurs et éligibles dans les différentes instances de l'OSU que s'ils font une demande de changement de composantes et que cette demande est validée par le Conseil d'Administration de l'Université. Cette question, si elle se pose, pourra faire l'objet d'une clause spécifique dans l'annexe au contrat INSU/UFC, de même que les prérogatives du directeur de

¹Mme Pidancier est à 80 % et partage son service à part égale entre l'UMR UTINAM et l'administration de l'observatoire ; elle interviendra donc pour 40 % ETP dans l'UMR Initiale.

²Mme Freyburger est actuellement sur un emploi non titulaire et partage son service à part égale entre l'UFR SJEPE de l'UFC et l'observatoire/UTINAM ; elle interviendrait donc pour 50% ETP dans l'UMS Initiale.

³Le budget d'UTINAM est actuellement réparti pour 1/3 dans l'UB 917 et pour 2/3 dans l'UB 903, de l'UFR Sciences et Techniques.

l'OSU relativement à la gestion des personnels de l'article 33.

À la date de rédaction du présent document, les personnels propres de l'article 33 sont :

- J. Clairemidi, Astr (retraite en 2010)
- E. Duault, AdjT
- A. Fienga, As-Ad
- N. Gautherot, IE
- F. Gazelle, IR
- O. Lavedrine, Tec
- H. Locatelli, Tec
- F. Meyer, IR
- F. Michel, ADENES
- E. Parente, AdjT
- J. Petetin, AdjT
- M. Pidancier, AdjT
- S. Rahal, AdjT
- C. Reylé, As-Ad
- M. Schultheis, As-Ad
- E. Tisserand, Tec
- K. Van Keulen, Tec
- K. Zmirli, AdjT.

Les personnels CNAP qui pourraient être nommés au sein de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne même que les personnels recrutés sur des emplois BIATOSS créés pour développer l'UMS viendront naturellement renforcer cet effectif.

V-4 Gouvernance

L'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne est administré par un Conseil et dirigé par un directeur, secondé par deux directeurs-adjoints. Le directeur et les deux directeurs-adjoints constituent le bureau de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne. L'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne comporte un Comité Scientifique consultatif.

V-4.1 Le Conseil de l'OSU

V-4.1.1 Constitution

Sont membres de droit du Conseil :

- le président de l'Université de Franche-Comté ou son représentant
- le directeur de l'OSU
- les deux directeurs-adjoints.

Le Conseil compte 13 membres élus :

- 3 parmi les professeurs des universités ou assimilés
- 3 parmi les maîtres de conférences ou assimilés
- 5 parmi les BIATOSS et ITA
- 2 parmi les usagers.

7 personnalités extérieures sont nommées au Conseil :

- le directeur de l'INSU ou son représentant
- le président du Conseil Régional de Franche-Comté ou son représentant
- le Maire de Besançon ou son représentant
- le président de l'Université de Bourgogne ou son représentant
- 3 personnalités scientifiques représentant les thèmes de recherche développés dans l'OSU et dépendant de l'INSU.

Les trois personnalités scientifiques sont choisies par le Conseil lors de la première séance qui suit son renouvellement.

Les mandats sont d'une durée de 4 ans excepté pour le collège des usagers où leur durée est limitée à 2 ans.

Le président du Conseil est choisi parmi les personnalités extérieures pour une durée de 4 ans.

V-4.1.2 Compétences

- Le Conseil propose au Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche le nom d'une personnalité candidate à la direction de l'OSU, lorsque ce poste est vacant.
- Le Conseil nomme les directeurs-adjoints sur proposition du directeur.
- Le Conseil définit le programme de recherche et le programme pédagogique de l'OSU dans le cadre de la politique de l'Université de Franche-Comté et de la réglementation nationale en vigueur :
 - ★ il détermine les statuts de l'OSU et les soumet pour approbation au C.A. de l'Université de Franche-Comté. Ces statuts sont ensuite communiqués au Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
 - ★ il est consulté sur les recrutements CNAP et l'emploi des postes vacants de l'UMS
 - ★ il vote le budget préparé par le Directeur, et approuve les comptes en fin d'exercice
 - ★ il donne son avis sur les conventions qui lient l'OSU dans le cadre des plans quadriennaux ou dans le cadre de conventions et de contrats passés par l'Unité Mixte de Service
 - ★ il examine les rapports d'activité de l'OSU
 - ★ il peut modifier les statuts.

En cas d'égalité des votes, le président du Conseil a une voix prépondérante.

V-4.2 Direction

V-4.2.1 Le directeur

A- Nomination et durée du mandat

Le directeur est choisi parmi les catégories de personnel qui ont vocation à effectuer leur recherche dans l'OSU dans les thématiques relevant de l'INSU.

Il est nommé par le ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche sur proposition du Conseil de l'OSU. La durée de son mandat est de 5 ans, renouvelable une fois. Le directeur de l'OSU a vocation à être également directeur de l'UMS et directeur de la composante article 33.

B- Compétences

- Dès sa nomination, le directeur choisit deux directeurs-adjoints qu'il propose au Conseil de l'OSU.
- Le Directeur représente l'OSU auprès des autorités de tutelle et de tous les organismes nationaux et internationaux. Il représente l'OSU auprès des Conseils de l'Université de Franche-Comté lorsque ceux-ci traitent de questions qui concernent l'OSU.
- Il prépare les délibérations du Conseil et assure l'exécution de ses décisions.
- Il prépare le budget, les demandes de crédits et de postes, les demandes importantes de contrats au nom de l'OSU ou de l'UMS, les rapports d'activité.
- Il est ordonnateur des recettes et des dépenses.

V-4.2.2 Les directeurs-adjoints

A- Nomination et durée du mandat

Les directeurs-adjoints sont choisis de telle sorte que l'un d'entre eux effectue son activité de recherche dans une thématique relevant de la division "Astronomie et Astrophysique" de l'INSU et le second dans une thématique relevant d'une des autres divisions de l'INSU (Surfaces et Interfaces Continentales, Terre Solide, Océan-Atmosphère).

Ils sont nommés par le Conseil de l'OSU sur proposition du directeur. La durée de leur mandat est de 5 ans sauf s'ils ont été nommés en cours de mandat du directeur. Leur mandat prend fin avec celui du directeur. Leur mandat peut être renouvelable une fois.

B- Compétences

- Une délégation de signature du président de l'Université de Franche-Comté est demandée pour les

directeurs-adjoints.

- Ils assistent le directeur et le suppléent, en cas d'absence, à la gestion des dossiers en cours.
- En cas de vacance de la direction, c'est le directeur-adjoint relevant de la division "Astronomie et Astrophysique" qui assure l'intérim.

V-4.3 Le Comité Scientifique

V-4.3.1 Constitution

Le Comité Scientifique est constitué de 3 collèges :

1. le collège des chercheurs et enseignants-chercheurs (10 membres élus)
2. le collège des BIATOSS et ITA (8 membres élus)
3. le collège des doctorants et post-doctorants (2 membres élus)

Sont membres de droit du Comité Scientifique le directeur de l'OSU, les deux directeurs-adjoints et les directeurs des laboratoires concernés par l'OSU ou leur représentant.

Le collège des chercheurs et enseignants-chercheurs est constitué de 3 sous-collèges "disciplinaires" :

- **Astronomie-Astrophysique**, regroupant les enseignants-chercheurs en 34^{ème} section du CNU, les chercheurs en 17^{ème} section du CNRS, et les astronomes-adjoints et astronomes de la section Astronomie et Astrophysique du CNAP. Ce sous-collège compte 3 membres élus.
- **Terre Interne et Surfaces Continentales, Océan, Atmosphère**, regroupant les enseignants-chercheurs en 35, 36, 37 et 67^{ème} section du CNU, les chercheurs en 18, 19, 20, 29 et 31^{ème} section du CNRS, et les physiciens-adjoints et physiciens des sections Terre Interne et Surfaces Continentales, Océan, Atmosphère du CNAP. Ce sous-collège compte 3 membres élus.
- **Autres thématiques**, regroupant les enseignants-chercheurs et chercheurs n'appartenant pas aux autres sous-collèges. Ce sous-collège compte 4 membres élus.

Les mandats sont d'une durée de 4 ans excepté pour le collège des doctorants et post-doctorants où leur durée est limitée à 2 ans.

V-4.3.2 Compétences

Le Comité Scientifique est une instance consultative. Il est présidé par le directeur de l'OSU.

Les principales responsabilités du CS sont les suivantes :

- **Recrutements :**
 - * **CNAP :** définir chaque année les priorités de recrutement pour les 3 sections du CNAP
 - * **UMS :** définir lorsqu'il y a lieu les priorités de recrutement de l'UMS et la définition des profils de postes correspondants

- ★ **CDD** : définir les besoins en post-docs en CDD liés à des Services d'Observation et donner un avis sur le recrutement des candidats ; il aura également la charge de veiller à ce que l'activité de recherche du post-doctorant reste au moins égale à 50 %.
- **Missions INSU** : le CS a vocation à
 - ★ définir les tâches de service de l'OSU
 - ★ proposer le cas échéant des mutualisations de services (métrologie, OV)
 - ★ réguler la part consacrée aux SO et à la recherche dans les services des personnels CNAP
 - ★ définir les priorités stratégiques de l'OSU notamment en terme de SO.
- **Bonus Qualité Recherche** : en finançant chaque année un ou plusieurs projets de recherche, le CS a la responsabilité de promouvoir
 - ★ des actions aptes à renforcer les synergies entre les laboratoires de l'OSU
 - ★ des thèmes de recherche purement INSU, même s'ils sont monodisciplinaires.
- **Gestion budgétaire** :
 - ★ le CS donne un avis sur la gestion du budget de l'UMS
 - ★ il effectue des demandes de crédits (INSU, région, etc.) lorsqu'elles concernent les SO ou des demandes entre les laboratoires de l'OSU
 - ★ il gère la somme correspondant au BQR interne (demande de crédits, affectation, etc.).
- **Gestion de l'UMS** : le CS donne son avis sur la répartition des tâches des personnels de l'UMS.
- **Diffusion de la Culture Scientifique** : le CS suscite, gère, promeut les actions de diffusion de la culture scientifique et technique dans les domaines de recherche de l'OSU.

Les délibérations du Comité Scientifique sont publiques. Néanmoins, lorsque le débat concerne des personnes, le CS peut se dérouler à huis clos.

Chapitre VI

Perspectives

Les perspectives de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne concernent essentiellement l'ensemble des projets Grand Emprunt dans lesquels il est impliqué, que ce soit dans un rôle de porteur de projet ou de partenaire. En effet, chacun d'eux constitue un projet ambitieux qui a lui seul pourrait amplifier considérablement la stature de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne dans le paysage national et international. À l'heure où nous rédigeons ce document, seul le projet d'EquipEx "Oscillator IMP" porté par les départements Temps-Fréquence de Femto-ST et d'UTINAM a déjà été déposé. Il illustre bien les ambitions que nous nous sommes fixées puisqu'il ne s'agit rien moins que de viser le leadership mondial dans le domaine de la stabilité à court terme des oscillateurs, domaine hautement stratégique pour le spatial.

VI-1 Demandes dans le cadre du Grand Emprunt portées par l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne

VI-1.1 Projet d'Équipement d'Excellence : "Oscillator IMP"

Le temps (ou son dual : la fréquence) est la grandeur physique qui se mesure actuellement avec la plus grande précision. Inévitablement, cette capacité à effectuer des mesures ultra-précises a entraîné l'utilisation de la métrologie temps-fréquence et d'oscillateurs stables dans pratiquement tous les domaines des sciences et des technologies.

Le département Temps-Fréquence de l'Institut FEMTO-ST a une longue tradition dans le domaine des oscillateurs et de mesure de stabilité à court terme. Tradition héritée des anciens laboratoires : LCEP, LPMO et LHA qui ont été créés autour du seul thème de la métrologie Temps-Fréquence. L'OSU THETA est la structure actuelle qui inclut l'ancien l'Observatoire de Besançon. Cet Observatoire, construit à la fin du XIX^{ème} pour la détermination du temps à partir de l'observation des étoiles, est une autorité dans le domaine des échelles de temps depuis sa création. FEMTO-ST et l'OSU THETA sont complémentaires : le premier est spécialiste des

oscillateurs et des mesures, le second des échelles de temps et de la statistique. Les agences gouvernementales comme la DGA ou le CNES, et plus récemment l'ANR et l'ESA, nous confient des contrats de recherche sur une base régulière.

Les besoins des agences spatiales en stabilité de fréquence à court terme sont sans cesse croissants. Les besoins militaires concernent plus spécifiquement la pureté spectrale des sources de signaux. Ces besoins nécessitent des efforts de recherche importants qui ne sont pas couverts par les laboratoires de métrologie fondamentale. Ces laboratoires maintiennent les échelles de temps et développent les étalons primaires de fréquence, pour lesquelles les fluctuations de fréquence à court terme ont une importance mineure. Pourtant, dans le passé, les systèmes développés pour le test des étalons primaires étaient compatibles avec la plupart des applications nécessitant de la stabilité de fréquence à court terme. Avec les progrès de la technologie, ceci est profondément remis en question. Ainsi, nous pouvons affirmer que la pureté spectrale et la stabilité à court terme sont des branches émergentes de la Métrologie Temps-Fréquence. Dans le futur, cette nouvelle branche sera clairement

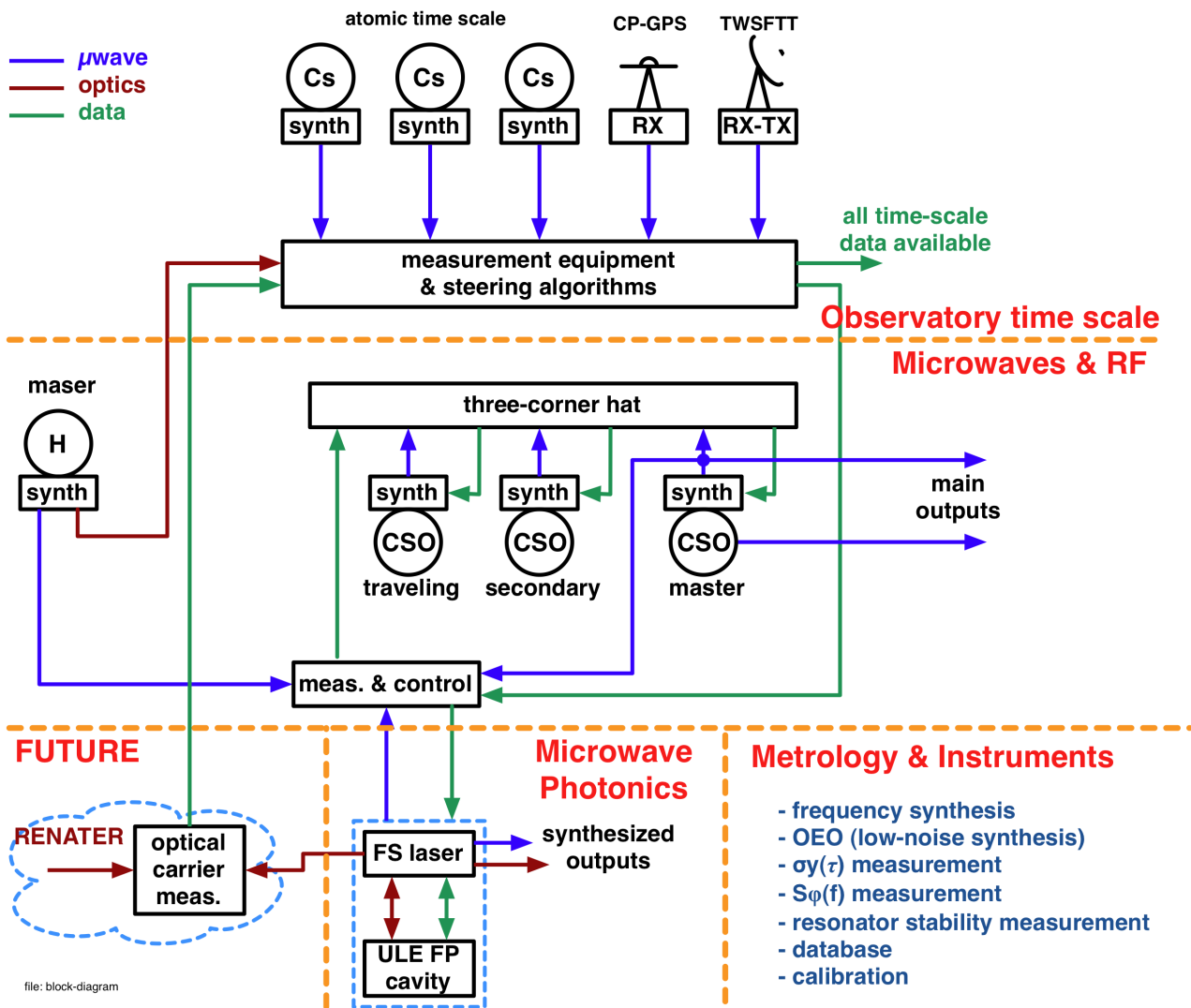


FIG. VI.1 – Schéma général de l'EquipEx "Oscillator IMP".

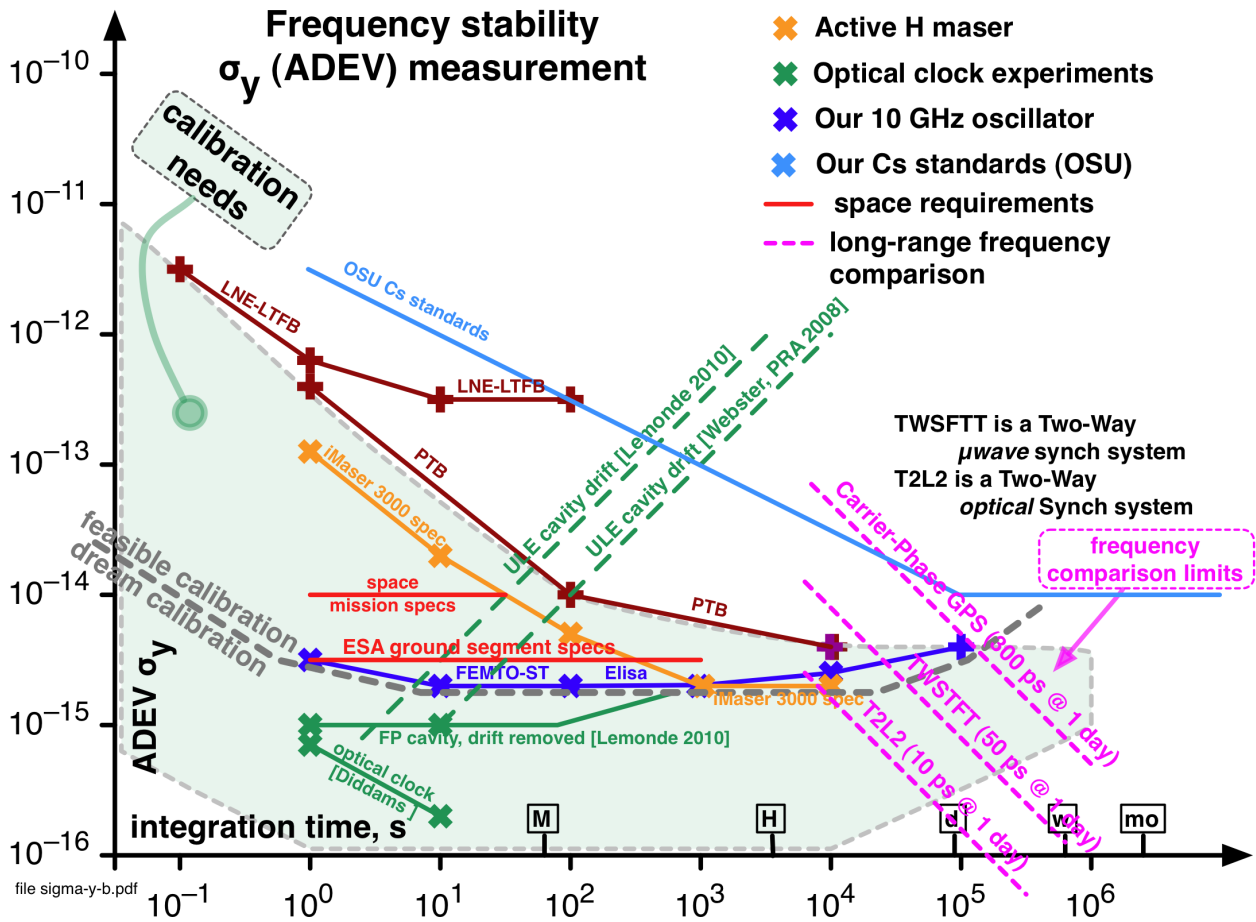


FIG. VI.2 – Spécification de la stabilité temporelle du projet “Oscillator IMP”.

identifiée et aura un rôle important en technologie, bien que toujours très proche de la métrologie fondamentale. À l’exception du NIST aux US, les laboratoires primaires sont relativement peu impliqués dans cette direction et pour l’instant il n’existe pas de concurrents en Europe.

Le projet “Oscillator IMP” (pour Oscillator Instability Measurement Playground) concerne la mise en place de la première plateforme au niveau mondial dédiée à la mesure de la stabilité à court terme d’oscillateurs et d’autres instruments ou composants dans la totalité du domaine radiofréquence (du MHz au THz) et une large partie du domaine des fréquences optiques. Cette plateforme est constituée des oscillateurs les plus stables associée à une instrumentation spécifique hautement sophistiquée. Les oscillateurs ultra-stables de Osc-IMP : un maser à hydrogène, deux lasers femtoseconde stabilisés et trois oscillateur saphir cryogéniques, sont référencés à l’échelle de temps atomique (voir figure VI.1).

Les impacts attendus de la mise en œuvre d’Osc-IMP sont (voir figure VI.2) :

- Une augmentation du nombre et de l’importance de nos contrats de recherche avec les Agences qui résultera naturellement de l’amélioration de nos capacités expérimentales à attaquer des problèmes non résolus.
- Une extension de nos capacités d’étalonnage aux qualifications d’oscillateurs pour le spatial et le militaire

ainsi qu'une amélioration de l'aptitude de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne à remplir ses missions (participation à la génération des échelles de temps atomiques, dissémination des échelles de temps).

- Une augmentation de l'attractivité de Besançon et de sa région pour des industries. Celles-ci bénéficieront de la proximité de la plateforme et de l'augmentation de la visibilité de notre laboratoire et de notre région vis-à-vis des grandes Agences. Il est ensuite naturel que des technologies moins haut de gamme suivent attirées par l'image et l'environnement technique et scientifique.

La France est reconnue pour son leadership dans le domaine spatial. Or, dans ce domaine, l'importance du Temps-Fréquence est indéniable. Pourtant les atouts de l'industrie Temps-Fréquence française sont extrêmement limités. La plateforme Osc-IMP se veut un outil d'aide à l'industrie pour relever les défis actuels et futurs dans le domaine des oscillateurs.

En résumé, le projet Osc-IMP a vocation à rassembler les équipements à l'état de l'art et les compétences de nos deux laboratoires créant ainsi les conditions idéales pour lancer de nouveaux projets de recherche ou transferts technologiques.

VI-1.2 Autres projets portés par l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne

Trois autres projets Grand Emprunt sont en gestation à l'heure où nous rédigeons ce document :

- un projet de Laboratoire d'Excellence Temps-Fréquence en collaboration avec le SYRTE (Observatoire de Paris), GéoAzur (Observatoire de la Côte d'Azur) et le CNES (Toulouse) ;
- un projet de Laboratoire d'excellence centré sur "Anthropisation et Durabilité des Territoires" ouvert aux MSH et à d'autres laboratoires SHS et Environnement de Dijon et Besançon ;
- un projet d'Equipement d'Excellence pour 2011 concernant une plateforme d'analyse environnementale des zones humides dulçaquicoles, en collaboration avec le DIPEE Bourgogne/Franche-Comté ;
- un projet de participation française à la mission spatiale canadienne OCLE-DOCLE, microsatellite de détection des objets de la ceinture de Kuiper et du nuage de Oort par occultation d'étoiles.

VI-2 Partenariats de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne dans d'autres projets Grand Emprunt

REFIMEVE : EquipEx porté par le LPL (Paris 13) destiné à diffuser via RENATER une fréquence optique ultra-stable. Porteur du projet : Christian Chardonnet (LPL, Paris 13) ; contact OSU THETA : François Vernotte (UTINAM).

ODT : EquipEx porté par la MSHE Claude-Nicolas Ledoux de Besançon sur le thème "Observatoire de la Dynamique des Territoires".

SIS : IRT porté par Femto-ST centré sur les Structures Intelligentes et Sécurisés dans lequel nous intervenons autour des "Microcapteurs pour l'Environnement".

CRITEX : EquipEx visant à équiper les différents SOERE regroupés sous le label “Réseau National des Bassins Versants” (RNBV) avec une infrastructure identique de sondes et de capteurs in situ et de mettre en place une banque de données centrale. Porteur du projet : André Mariotti (direction INSU); responsable scientifique : Jérôme Gaillardet (IPGP); contact OSU THETA : Marc Steinmann (Chrono-Environnement).

Chapitre VII

Calendrier et besoins

VII-1 Calendrier

VII-1.1 Extension de l'OSU

L'extension de l'OSU est double : en premier lieu disciplinaire, puisque l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne vient de s'ouvrir aux thématiques environnementales ; et en second lieu géographique, puisque plusieurs laboratoires et équipes de Dijon devront y rentrer lors du prochain quadriennal.

L'extension disciplinaire s'est déroulée suivant le calendrier suivant :

22 mars 2010 : Validation du dossier d'extension de l'Observatoire de Besançon à l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne et de création de l'UMS Initiale par le Comité Scientifique Provisoire de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne

23 mars 2010 : Validation du dossier d'extension de l'Observatoire de Besançon à l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne et de création de l'UMS Initiale par le Conseil Scientifique de l'Observatoire de Besançon

1^{er} avril 2010 : Dépôt du dossier à l'INSU

5 mai 2010 : Validation du dossier par le Conseil d'Administration de l'Observatoire de Besançon

7 mai 2010 : Validation du dossier par le Comité Scientifique de l'INSU

11 mai 2010 : Validation du dossier par le Conseil d'Administration de l'Université de Franche-Comté.

La prochaine échéance consistera à signer deux conventions : l'une entre l'UFC et l'uB ; l'autre entre l'UFC et l'ENSMM. Des premiers contacts ont été pris en ce sens.

VII-1.2 Création de l'UMS

La création de l'UMS Initiale a déjà été demandée par l'UFC, mais les tutelles n'ont pas encore donné suite.

La création de l'UMS THETA est demandée dans le cadre du prochain quadriennal (1^{er} janvier 2012).

VII-1.3 Renouvellement des instances

L'OSU THETA de Franche-Comté étant une extension de l'OSU "Observatoire de Besançon" et non pas la création d'un nouvel OSU, les instances de l'Observatoire (Conseil Scientifique, Conseil dit "d'Administration"¹, et direction).

En attendant leur renouvellement, il a été décidé d'adjoindre à ces conseils des invités permanents possédant une voix délibérative et permettant de garantir la représentativité de l'ensemble de l'OSU. De même, deux directeurs-adjoints ont été nommés, Céline Reylé, astronome-adjointe à UTINAM, et Christian Picard, professeur de géologie à Chrono-Environnement.

Les prochaines échéances électorales seront les suivantes :

Printemps 2012 : Élection du Comité Scientifique et du Conseil de l'OSU sur la base de la configuration complète de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne.

Automne 2012 : Élection du directeur de l'OSU et des deux directeurs-adjoints.

VII-2 Besoins

VII-2.1 Moyens financiers

Le tableau VII.1 montre les dépenses prévisionnelles de l'infra-structure de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne qui seront gérées par l'UMS. Pour l'essentiel, ces dépenses sont calquées sur celles effectuées pour le fonctionnement de l'Observatoire de Besançon.

Le tableau VII.2 présente l'ensemble des dépenses de l'UMS THETA. le plus gros poste de dépense concerne le service Temps-Fréquence, à égalité avec les dépenses d'infra-structure. On trouve ensuite le BQR interne à l'OSU puis le poste d'Ingénieur d'Étude financé sur budget propre. Ce poste (voir section V-2.1) est destiné à recruter rapidement un ingénieur en CDD qui mettra en place le SIMSEL. Le financement de cet emploi sera assuré par une contribution de chaque laboratoire que ne sera pas en mesure de mettre un poste dans l'UMS, soit directement sur la dotation annuelle du laboratoire, soit par son université de rattachement, soit par tout autre moyen à sa convenance (organismes de recherche, etc.). Outre les dépenses de fonctionnement des divers services, une somme de 10 k€, prise en partie sur le "leg Gruey"² (voir ci-dessous dans les recettes) et

¹Le terme "Conseil d'Administration" était utilisé jusqu'ici pour désigner improprement le Conseil de Gestion de l'Observatoire (seule les universités ont un CA), qui s'appellera désormais le Conseil d'OSU (voir V-4.1).

²Le premier directeur de l'Observatoire de Besançon, Louis-Jules Gruey, mort sans héritier en 1902, a légué des surfaces agricoles situées en Côte d'Or à l'Observatoire.

Destination	Dépense	Financement	Montant	Sous-total
Fluides	Électricité	UFC	21,0 k€	47 k€
	Gaz		18,0 k€	
	Fuel		7,0 k€	
	Eau		1,0 k€	
Maintenance et sécurité	Entretien bâtiments	RP ³ /UFC	8,0 k€	42 k€
	Petit équipement		5,5 k€	
	Affranchissement		4,0 k€	
	Téléphone		4,0 k€	
	Mobilier		4,0 k€	
	Équipements de gestion		3,0 k€	
	Impôts		3,0 k€	
	Copieur		3,0 k€	
	Réceptions		2,0 k€	
	Chaufferie		1,5 k€	
	Véhicule		1,5 k€	
	Services extérieurs		1,5 k€	
	Extincteurs		1,0 k€	
	Appui à la recherche		Abonnements	
Missions		1,5 k€		
Séminaires		2,5 k€		
Fonctionnement bibliothèque		1,5 k€		
Total				100 k€

TAB. VII.1 – Tableau des dépenses d’Infra-Structure de l’UMS THETA par nature.

en partie sur des crédits du PRES, sera réservée à l’entretien du patrimoine classé ainsi qu’à la diffusion de la Culture Scientifique et Technique.

Le tableau VII.3 met en évidence que la principale source de financement de l’UMS (36 %) est constituée par les ressources propres³, principalement la part due aux prestations d’étalonnage en Temps-Fréquence, mais aussi aux mesures de rayonnements ionisants. Une part non négligeable provient également des fermages que perçoit l’Observatoire du “leg Gruey²”.

Les financements demandés aux tutelles sont de 103 k€ à l’UFC (28 %), 70 k€ au CNRS (19 %), 60 k€ aux autres tutelles universitaires (PRES Bourgogne/Franche-Comté, uB et ENSMM, 16 %) et 5 k€ au CEA (environ 1 %) soit un total de 238 k€.

³Les Ressources Propres sont notées RP dans les tableaux VII.1 et VII.2.

Dépenses	Financement	Montant
Maintenance et équipement du service temps-fréquence	RP ³ /INSU	100 k€
Infra-structure (fluides, maintenance bâtiments, mobilier, téléphone, etc.)	UFC/RP	100 k€
BQR OSU	INSU/PRES	60 k€
Emploi IE	UFC/uB/ENSMM	40 k€
Fonctionnement de l'UT Mario	RP/CEA	20 k€
Fonctionnement de la plateforme bio-hydro-géo-chimique	INEE	20 k€
Patrimoine/CST	RP/PRES	10 k€
Fonctionnement du centre d'analyse microscopique	UFC	10 k€
Fonctionnement informatique pour les services en ligne	UFC	10 k€
Total		370 k€

TAB. VII.2 – Tableau des dépenses par nature.

Ressources propres	Prestations Temps-Fréquence	100 k€	36 %
	Prestations MARIO	20 k€	
	Fermages	12 k€	
Université de Franche-Comté		103 k€	28 %
Université de Bourgogne		20 k€	5 %
ENSMM		10 k€	3 %
PRES Bourgogne/Franche-Comté		30 k€	8 %
CNRS	INSU	50 k€	19 %
	INEE	20 k€	
CEA		5 k€	2 %
Total		370 k€	100 %

TAB. VII.3 – Tableau des dépenses par sources de financement.

VII-2.2 Besoins en personnels

VII-2.2.1 Personnels BIATOSS

La gestion financière de l'OSU est actuellement assurée par une personne contractuelle à mi-temps alors que, d'une part, il s'agit d'un poste crucial à la fois pour l'UMS et les laboratoires fédérés dans l'OSU et que, d'autre part, le volume de travail justifierait pleinement un emploi à temps complet. Le recrutement d'un adjoint administratif (AdjAENES ou AdjT) à plein-temps pour la gestion financière de l'UMS et de la composante OSU (UB 917) constitue **la priorité absolue de recrutement** de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne. Cet emploi peut provenir de l'UFC (AENES ou ITRF) ou du CNRS (adjoint en gestion administrative, BAP J).

Les emplois demandés à l'Université de Franche-Comté sont les suivants :

1. Adjoint administratif (AdjAENES ou AdjT) pour la gestion financière de la composante OSU (UB 917)
2. Ingénieur d'Étude en Informatique pour le transfert des compétences de l'Observatoire Virtuel vers d'autres disciplines et le SO SERES
3. Conservateur spécialisé dans la gestion du patrimoine classé et la diffusion de la culture scientifique et technique.

Les deux premiers emplois sont également demandés au CNRS dans l'ordre inverse :

1. Ingénieur d'Étude en Informatique pour le transfert des compétences de l'Observatoire Virtuel vers d'autres disciplines et le SO SERES
2. Adjoint en gestion administrative pour la gestion financière de l'UMS et de l'OSU
3. Ingénieur d'Étude "Personne compétente en radioprotection" spécialisé dans la manipulation de sources radio-actives.

D'autres emplois seront demandés aux autres établissements, organismes ou instituts du CNRS (dont un également demandé à l'INSU) :

- à l'INEE via le DIPEE Bourgogne/Franche-Comté : Ingénieur d'Étude pour la plate-forme bio-hydro-géo-chimique
- à l'uB : Ingénieur de Recherche en Informatique pour la modélisation climatique
- à l'ENSMM : Ingénieur d'Étude en Instrumentation pour le Temps-Fréquence
- au CEA : Ingénieur d'Étude "Personne compétente en radioprotection" spécialisé dans la manipulation de sources radio-actives.

En tout état de cause, **les 2 premiers postes, à savoir l'adjoint administratif pour la gestion financière et l'ingénieur d'étude en informatique, sont des priorités absolues sans lesquelles l'UMS THETA ne pourra fonctionner.**

VII-2.2.2 Astronomes et astronomes-adjoints

Le nombre de personnels CNAP à Besançon est en train de devenir sous critique : 1 astronome (en retraite en 2010) et 3 astronomes-adjoints. Un des objectifs de la création de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne est clairement d'augmenter significativement le nombre de personnels CNAP, en Astronomie/Astrophysique comme en Surfaces Continentales-Océan-Atmosphère et en Terre Interne afin de pouvoir mener à bien nos missions d'observations.

Concernant les services d'observation, les priorités de l'OSU THETA de Franche-Comté/Bourgogne sont aujourd'hui les suivantes :

- A & A :**
1. GAIA (SO4)
 2. Éphémérides de précision, pulsars milliseconde, ICRF (SO1)
 3. Projet SERES (SO2 mais regroupe les compétences des 2 SO ci-dessus, voir [II-2.1](#))

SCOA : Observation à très long terme (plusieurs décennies) de l'hydrologie et de l'hydrogéochimie des hydrosystèmes karstiques, en particulier dans le cadre du projet de SOERE intitulé "Jurassique Karst" (voir [II-2.2](#)).

TI : Développement d'un réseau de stations sismiques en Franche-Comté sous l'égide des Observatoires de Grenoble (OSUG) et Strasbourg (EOST).

Bien sûr, le classement des demandes, notamment en Astronomie et Astrophysique, n'est pas figé et pourrait être amené à évoluer au cours du quadriennal.

ANNEXE : Proposition de convention constitutive de l'UMS THETA