



Département d'évaluation de la recherche

# DOCUMENT D'AUTOÉVALUATION DES UNITÉS DE RECHERCHE

—  
**CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2023-2024**  
VAGUE D

**ISTeP**  
**Institut des Sciences de la Terre de Paris**  
**UMR 7193**  
**Sorbonne Université – CNRS INSU**



## INFORMATIONS GÉNÉRALES POUR LE CONTRAT EN COURS

### 1- Identification de l'unité

Nom de l'unité : **Institut des Sciences de la Terre de Paris**

Acronyme : **ISTeP**

Label et numéro : **UMR 7193**

Domaine scientifique principal :  
**ST : Sciences et Technologies**

Panels scientifiques par ordre décroissant de pertinence :

**Panel 1**

*ST3 : Sciences de la Terre et de l'Univers*

Équipe de direction :

**Olivier Lacombe** (Directeur)

**Hélène Balcone-Boissard** (Directrice adjointe)

**Elia d'Acremont** (Directrice adjointe)

**Subbarao Bassava** (Secrétaire Général)

**Yamina Bendjebba** (Responsable administrative)

**Sandrine Gay** (Responsable financière)

Tutelles de l'unité de recherche :

-**Sorbonne Université, Faculté Sciences et Ingénierie**

-**CNRS - INSU**

École doctorale de rattachement : **Géosciences Ressources Naturelles et Environnement (GRNE ED398)**

### 2- Présentation de l'unité

#### 2.1. Historique, localisation de l'unité

L'ISTeP est une unité mixte de recherche (UMR 7193) de Sorbonne Université (SU, anciennement Université Pierre et Marie Curie) et du CNRS basée sur le campus Pierre et Marie Curie. Cet institut, créé en 2009 par la fusion de plusieurs laboratoires (Tectonique, Bio-minéralisations et Paléo-environnements, Pétrologie-Minéralogie), a permis de regrouper une très grande partie de la recherche en Géologie de l'Université. Ses plus proches voisins géographiques et thématiques, souvent partenaires de recherche sur le campus, sont le laboratoire METIS, l'IMPMC, le CR2P, le LOCEAN et le LATMOS.

L'ISTeP occupe des locaux désamiantés depuis 2004 répartis sur 5,5 couloirs autour des tours 46 et 56. Sur le plan de la gestion financière, l'ISTeP est depuis le 1er janvier 2010 en délégation globale de gestion à SU.

Les chercheurs de l'ISTeP relèvent de la section 18 du CoCNRS, ainsi que des sections 35 et 36 du CNU. Le laboratoire est rattaché au domaine "Terre Solide" (TS) de l'INSU.

A l'échelle locale, l'ISTeP est rattaché à l'UFR 918, Terre-Environnement-Biodiversité (TEB) de Sorbonne Université et de l'OSU Ecce Terra, au côté de 16 autres UMRs qui complètent les champs disciplinaires vers la géophysique de surface, l'hydrologie, la biologie et l'écologie.

Pour la période évaluée (2017-2022), l'ISTeP a été renouvelé en tant qu'UMR attachée au CNRS et à SU, avec comme porteurs de projet, Sylvie Leroy (DR CNRS) et Loïc Labrousse (PU SU). Le présent bilan est donc en grande partie le fruit du travail de cette direction. Depuis le 01/01/2022, la direction est assurée par Olivier Lacombe (PU SU), Elia d'Acremont (PU SU) et Héléne Balcone-Boissard (MCU SU) de façon à préparer le projet 2025-2029 de l'UMR.

## 2.2. Organisation et fonctionnement de l'unité

A la date de l'évaluation, la direction de l'ISTeP se compose du DU et des deux DU-adjoints. L'équipe de direction étendue comprend également le secrétaire général (Subbarao Bassava, IR CNRS), la responsable administrative (Yamina Bendjebila, T CNRS) et la responsable financière (Sandrine Gay, AI CNRS).



**Figure 1 : Organisation actuelle de l'ISTeP**

Le laboratoire dispose d'un comité de pilotage qui associe la direction et les responsables d'équipe et qui instruit les dossiers importants, réfléchit aux orientations de la politique scientifique de l'Unité. Il prépare le conseil de l'UMR.

Le conseil de l'UMR se réunit trois à quatre fois par an (liste des membres disponible sur le site web de l'unité (<http://www.istep.upmc.fr/fr/istep/conseil.html>)). Il est consulté pour les questions stratégiques nécessitant une prise de décision concertée avec la direction. Il peut s'agir d'actions récurrentes (validation du budget annuel, du financement d'actions "coup de pouce" ou "petits équipements") ou plus spécifiques (révision des effectifs). Les décisions sont discutées au sein du conseil et votées le cas échéant. Les comptes-rendus des réunions du conseil sont diffusés par email à tous les membres de l'unité et sont disponibles sur l'intranet de l'unité.

La politique scientifique de l'UMR est articulée au sein des conseils scientifiques de l'UFR et de l'OSU, en particulier pour le fonctionnement et le développement des plateformes d'analyses, la définition des priorités des profils de postes techniques et la révision des effectifs d'enseignants-chercheurs.

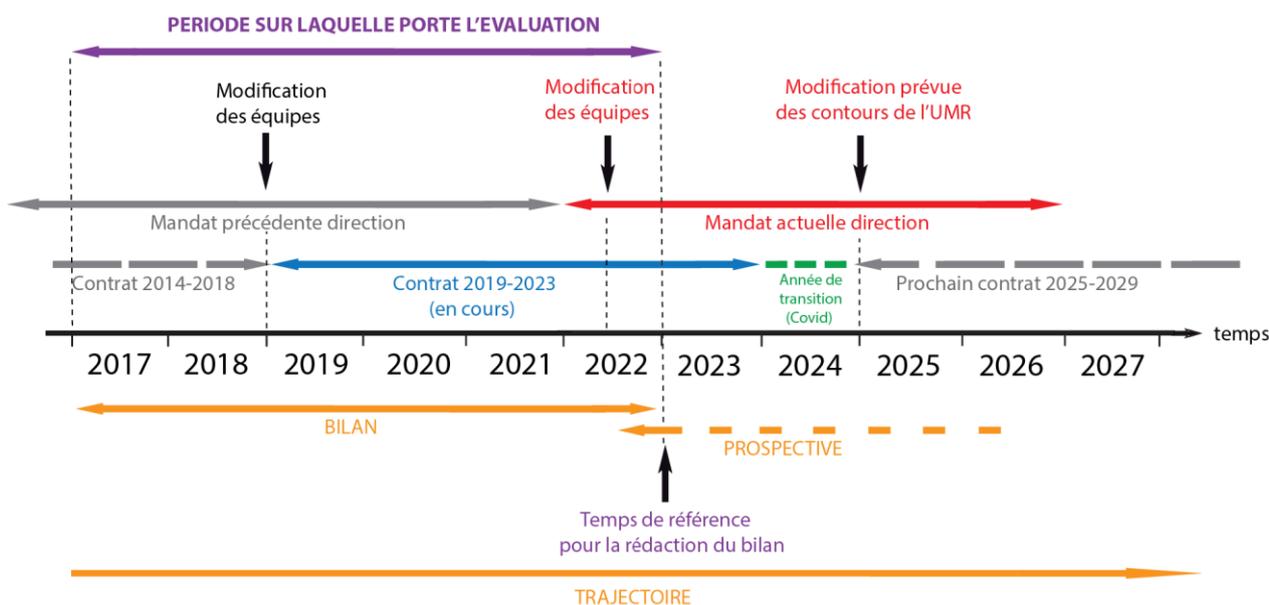
Sur le plan de la formation à et par la recherche, les chercheurs (C) et enseignants chercheurs (EC) de l'ISTeP assument de nombreuses responsabilités (directeur de département de Licence, directeur de mention et parcours de Master, directeur d'école doctorale, directeur des préparations aux concours CAPES et Agrégation, responsables de modules ...) (voir **portfolio Unité**) tout en assurant leur charge d'enseignements,

au moins 192h équivalent TD par an et par EC (en moyenne 220h eqTD) et en encadrant des stages de Master. La plupart des 96 doctorants encadrés par des collègues de l'ISTeP sur la période évaluée sont rattachés à l'Ecole Doctorale GRNE 398.

### 2.3. Équipes, plateformes, services communs

La recherche de l'Unité est structurée en équipes et axes/chantiers transverses. Les équipes sont au nombre de 3 et sont organisées autour de thématiques de recherche fondamentale. Les thèmes transverses regroupent les chercheurs des équipes autour de thèmes à fort enjeu sociétal ou de chantiers communs pour lesquels la renommée de l'ISTeP est établie. Ces thèmes et chantiers ne sont pas des structures rigides et nécessairement pérennes. Certains de ces thèmes ont émergé pendant le mandat précédent, d'autres ont cessé d'exister. Le succès de certains a guidé la restructuration en nouvelles équipes lors de la prise de fonction de la nouvelle direction en Janvier 2022.

Les changements d'équipes et de direction ne coïncident donc pas avec les contrats quinquennaux de l'UMR. La fresque ci-après résume les changements au cours de la période évaluée :



**Figure 2 :** Evolution des contours des équipes par rapport aux contrats quinquennaux et au bilan

#### **\*Evolutions des contours des équipes entre 2014 et 2022**

Suite au contrat 2014-2018, les 5 équipes scientifiques de l'ISTeP,

- Biomínéralisations et Environnements Sédimentaires (BES)
- Evolution et Modélisation des Bassins Sédimentaires (EMBS)
- Déformations, Sismo-tectonique, Imagerie, Relief (DESIR)
- Lithosphère, Structure et Déformations (LSD)
- Pétrologie, Géochimie et Minéralogie Magmatiques (PGM2)

sont devenues 3 équipes thématiques pour la période 2019 à 2022:

- Paléoenvironnements, Paléoclimats, Bassins (PPB = BIOMIN+EMBS – départs)
- Dynamique et Evolution des Marges et des Orogènes (DEMO = DESIR + LSD – départs)
- Pétrologie, Géochimie et Minéralogie Magmatiques (PGM2)

Équipe de direction					
<b>Directeur :</b> Sylvie Leroy <b>Directeur adjoint :</b> Loïc Labrousse			<b>Secrétaire Général :</b> Subbarao Bassava <b>Responsable Administrative :</b> Marie-José Querroy <b>Responsable Financière :</b> Sandrine Gay		
Équipes scientifiques					
Paléoenvironnements, Paléoclimats, Bassins PPB		Dynamique et évolution des Marges et des Orogènes DEMO		Pétrologie, Géochimie et Minéralogie Magmatologie PGM2	
François Baudin (PU)		Laurent Jolivet (PU)		Hélène Balcone-Boissard (MC)	
Slah Boulila (MC)	Christian Gorini (PU)	Elia d'Acremont (PU)	Laetitia Le Pourhiet (PU)	Benoît Dubacq (CR)	Christian Honthass (MC)
Marie-Françoise Brunet (CR)	Fabrice Minoletti (MC)	Philippe Agard (PU)	Sylvie Leroy (DR)	Omar Boudouma (IR-SU)	Anne-Marie Lejeune (MC)
Damien Do Couto (MC)	Jeffrey Poort (IR-CDI-SU)	Nicolas Bellahsen (MC)	Nicolas Loget (MC)	Benoît Caron (IR-SU)	Erwan Martin (MC)
Laurent Emmanuel (MC)	Laurent Riquier (MC)	<i>Lapo Boschi (MC) Détach.</i>	Marion Thomas (CR)	Philippe d'Arco (PU)	Yves Noël (MC)
Loïc Ségalen (PU)	Johann Schnyder (MC)	Nadaya Cubas (MC)	Bertrand Meyer (PU)		
Bruno Galbrun (DR)	Laurence Le Callonnec (MC)	Marc Fournier (PU)	Alain Rabaute (PAST)		
		Catherine Homberg (MC)	Frédérique Rolandone (MC)		
		Philippe Huchon (PU)	Claudio Rosenberg (MC)		
		Olivier Lacombe (PU)	Anne Verlaquet (MC)		
		Loïc Labrousse (PU)	Sylvie Wolf (IR-SU)		
		Sara Lafuerza (MC)			

**Figure 3 :** Composition de l'équipe de direction et des équipes de recherche (permanents) entre 2019 et 2022

Ce regroupement a été motivé par la recherche d'une plus grande synergie entre les personnes et les projets. Ceci faisait suite à des départs vers d'autres UMRs en raison de promotions notamment, et à la volonté du laboratoire de mieux faire apparaître ses points forts. En outre, le précédent découpage ne satisfaisait pas totalement les chercheurs qui sentaient leur questionnement scientifique à cheval sur deux équipes.

Après presque 4 ans de fonctionnement (dont les années covid 2020 et 2021), un certain nombre d'imperfections de ce découpage sont apparues. Certaines avaient déjà été évoquées lors de la précédente évaluation HCERES. De plus, le changement à mi-mandat de l'équipe de direction (janvier 2022), avec le départ à la retraite de Laurent Jolivet (resp DEMO) et la prise de fonction de DU-adj d'Hélène Balcone-Boissard (resp PGM2) a motivé la modification du contour des équipes en 2022. L'objectif était de mixer les spécialités, avec une équipe tectonique (TECTO) focalisée sur sa thématique et une équipe pétrologie (magmatique et métamorphique) orientée vers le lien avec la géodynamique (PETRODYN). Pour la troisième équipe, l'axe transverse Géosciences marines ayant fonctionné avec succès, il a semblé opportun à la nouvelle direction de mettre en avant cette thématique en l'affichant dans une équipe faisant le lien terre-mer associant archives sédimentaires et structures tectoniques (TERMER).

Équipe de direction					
<b>Directeur :</b> Olivier Lacombe <b>Directrice adjoite :</b> Elia d'Acremont <b>Directrice adjointe :</b> Hélène Balcone-Boissard			<b>Secrétaire Général :</b> Subbarao Bassava <b>Responsable Administrative :</b> Yamina Bendiebla <b>Responsable Financière :</b> Sandrine Gay		
Équipes scientifiques					
Pétrologie et Géodynamique PETRODYN		Terre-Mer : Structures et Archives TERMER		Tectonique TECTO	
Philippe Agard (PU)		Sylvie Leroy (DR)		Loïc Labrousse (PU)	
Hélène Balcone-Boissard (MCU)	Christian Honthass (MCU)	François Baudin (PU)	Laurence Le Callonnec (MCU)	Nicolas Bellahsen (MCU)	Nicolas Loget (MCU)
Céline Baudouin (MCU)	Marc Fournier (PU)	<i>Slah Boulila (MCU) (Détach)</i>	Fabrice Minoletti (MCU)	Nadaya Cubas (MCU)	Bertrand Meyer (PU)
Omar Boudouma (IR)	Anne-Marie Lejeune (MCU)	<i>Lapo Boschi (MCU) (Détach)</i>	Jeffrey Poort (IR)	Catherine Homberg (MCU)	Claudio Rosenberg (PU)
Benoît Caron (IR)	Erwan Martin (MCU)	Elia d'Acremont (PU)	Alain Rabaute (PAST)	Olivier Lacombe (PU)	Marion Thomas (CR)
Philippe d'Arco (PU)	Yves Noël (MCU)	Damien Do Couto (MCU)	Laurent Riquier (MCU)	Laetitia Le Pourhiet (PU)	Sylvie Wolf (IR)
Benoît Dubacq (CR)	Anne Verlaquet (MCU)	Laurent Emmanuel (MCU)	Frédérique Rolandone (MCU)		
		Bruno Galbrun (DR)	Loïc Ségalen (PU)		
		Christian Gorini (PU)	Johann Schnyder (MCU)		
		Sara Lafuerza (MCU)			

**Figure 4 :** Composition de l'équipe de direction et des équipes de recherche (permanents) depuis fin 2022

Les nouvelles équipes, tout comme les axes et chantier transverses affichés dans l'organisation actuelle traduisent une volonté d'évolution de la trajectoire de l'Unité, dans l'optique d'un renforcement du positionnement et de la visibilité des travaux de l'ISTeP dans les enjeux sociétaux et afin d'anticiper l'évolution du périmètre de l'UMR à l'horizon 2025 avec le rapprochement avec le GEC (CYU, Cergy)(voir Trajectoire).

Le DAE est ainsi le « bilan » des deux équipes de direction, suite à des discussions concertées et à un passage du mandat en biseau en 2021. Afin de simplifier au maximum son organisation et faciliter son appréciation par le comité, et compte-tenu du fait que le premier changement d'équipe (2019) ne s'est accompagné que d'un regroupement sans redistribution des collègues et des thèmes abordés, la direction actuelle a choisi de présenter un bilan unique des équipes pour les années 2017-2022. Le court bilan et les projets des nouvelles équipes après leurs quelques mois d'existence seront présentés dans la Trajectoire de l'Unité.

### **\*Plateformes et services communs :**

Deux pôles soutiennent la recherche de l'Unité : un pôle « Valorisation et Bases de données », dont la responsable est E. d'Acremont et un pôle « Equipements et plateformes instrumentales », dont la responsable est H. Balcone-Boissard, et auquel est également rattaché un directeur technique au sens de l'INSU (B. Caron).

Pôle "Valorisation et Base de données"	
Communication	1 IE
Base de données	1 AI
Pôle "Equipements et Plateformes instrumentales"	
Sédimentologie et Géochimie (spectromètre de masse)	1 IE
Caractérisation Péetrologique et Analyses (MEB, EBSD)	1 IR
ALIPP6 (ICPMS-MS-Ablation Laser; ICP-OES)	1 IR
Analyse de la Matière Organique et Sédimentaire (AMOS)	1 TCS
Géophysique - SIG (GPS permanents, sismomètres, flux de chaleur, carothèque)	1 IR
RHEOLITH - Calculs	1 IR, 1 AI
CAMPARIS	

**Figure 5 : Les deux pôles de soutien à la recherche de l'ISTeP**

L'ISTeP héberge des moyens de calcul puissants et des installations analytiques (6 entités) de dernière génération. Les équipements peuvent ou non appartenir à une plateforme de l'OSU Ecce Terra. La plateforme de service d'analyse ponctuelle par microsonde électronique (CAMPARIS) est hébergée dans un couloir de l'ISTeP (46-00, 3<sup>ème</sup> étage) ; l'un des responsables scientifiques est B. Dubacq (CR, ISTeP).

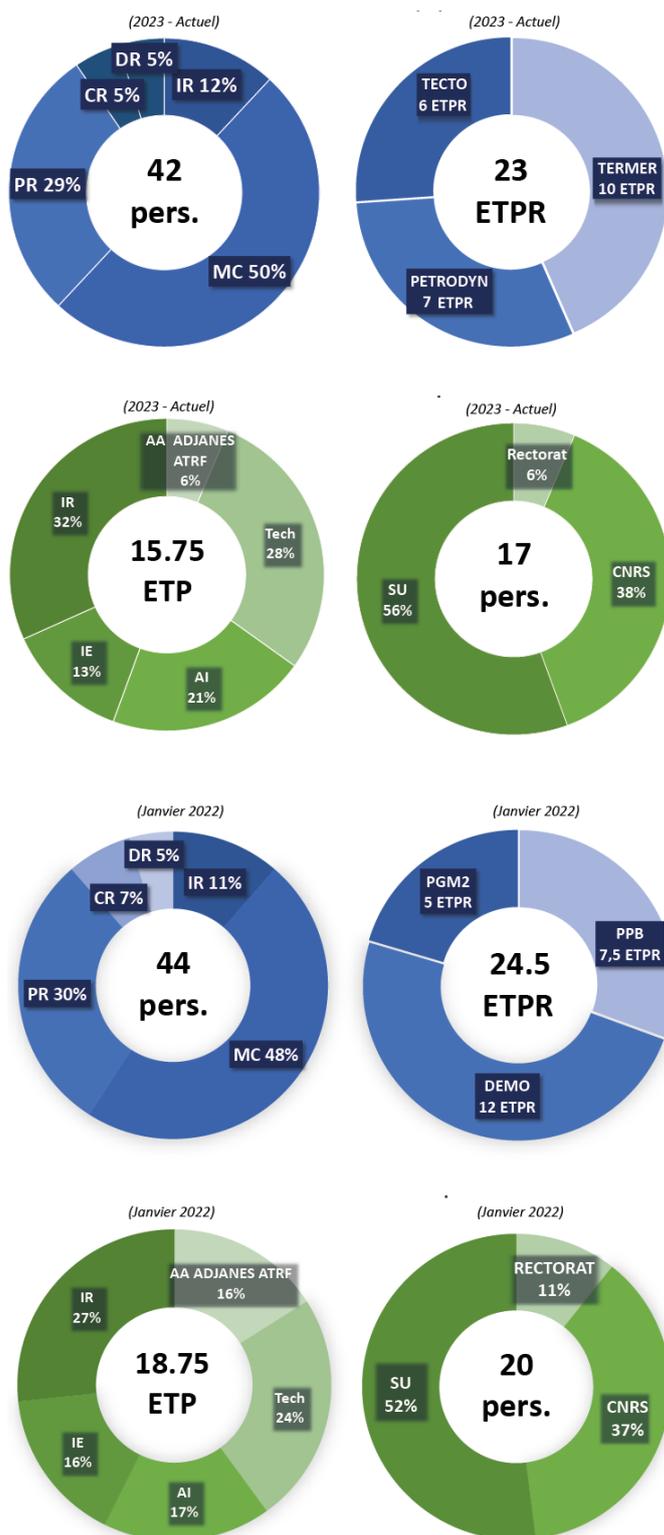
L'Unité dispose également de plusieurs services d'appui technique et administratif placés sous la responsabilité du secrétaire général : gestion administrative, gestion financière, Informatique-Web, Cartographie-Images-SIG, Communication, Litholamellage-Caractérisation des matériaux et Assistants de prévention.

L'unité s'appuie enfin sur plusieurs référents : Séminaires, Diffusion-Communication-Science Ouverte, Personne Compétente en Radioprotection, Risques psycho-sociaux-Egalité-Parité, Ethique-Déontologie-Intégrité, Développement durable, Formation des personnels, Lien avec les formations.

#### 2.4. Effectif de l'unité à l'actuel (01/01/2023) et sur la période évaluée au 01/01/2022

L'ISTeP compte au 01/01/2023 54 permanents [37 C et EC, 17 ITA et BIATSS (dont 5 IR)] et 49 non-permanents (23 doctorants, 4 ATER, 8 collaborateurs bénévoles, 5 DR émérites, 3 PR émérites, 1 MC émérite et 5 post doctorants). Les personnels d'appui à la recherche permanents se répartissent comme suit : 38% de personnel CNRS, 6% de personnel rattaché au rectorat et 56% de personnel SU.

Les figures 6 et 7 montrent respectivement la répartition des C, EC et ITA-BIATSS à l'actuel et sur la période évaluée.



**Figure 6 :** Répartition actuelle du personnel de recherche (C, EC et IR) (en haut) et du personnel d'appui à la recherche ITA-BIATSS (incluant les IR) (en bas) au 01/01/2023, pour un total de 54 permanents.

**Figure 7 :** Répartition du personnel de recherche (C, EC et IR) (en haut) et du personnel d'appui à la recherche (incluant les IR) (en bas) sur la période évaluée

## 2.5. Thématiques scientifiques

L'Institut des Sciences de la Terre de Paris (ISTeP) est un laboratoire de **Géosciences**, tourné vers la recherche fondamentale, avec des orientations scientifiques larges, et s'intéressant au fonctionnement des enveloppes internes et externes de la Terre. Ce positionnement scientifique est étayé par des approches couplant géochimie, pétrologie et minéralogie, stratigraphie et sédimentologie, tectonique et géologie structurale, géophysique, géomorphologie et modélisation numérique.

La recherche à l'ISTeP repose autant sur l'approche de terrain que sur des approches couplées (terre-mer, ancien-récent, profond-surface, géologie-biologie, géophysique-mécanique,...), sur la manipulation et le traitement de données, sur l'imagerie, sur des techniques analytiques de pointe en minéralogie et géochimie et sur la modélisation à différentes échelles de processus complexes (thermo-mécaniques, thermodynamiques, sédimentologiques ou minéralogiques). Le fil conducteur est la caractérisation et la quantification des processus qui ont façonné notre planète.

L'ISTeP détient une position forte et reconnue dans le domaine de **la dynamique de la lithosphère**, tant sur la place francilienne qu'au national et à l'international. La géodynamique pratiquée à l'ISTeP vise à caractériser et comprendre les différents couplages entre les processus géologiques (tectoniques, thermiques, hydrodynamiques, chimiques) superficiels et profonds, actuels comme passés. A côté des aspects fondamentaux évidents, ces recherches fournissent le cadre indispensable pour (1) appréhender et modéliser la genèse des ressources énergétiques non carbonées (géothermie, hydrogène naturel) ou encore la formation de gisements (terres rares, lithium), (2) préciser les échelles de temps (vitesses, durée) des processus mis en jeu grâce à des datations à haute résolution et (3) comprendre et mieux prédire l'aléa géologique, des enjeux évidemment de premier ordre pour la société. L'ISTeP a également une reconnaissance forte et historique dans la **reconstitution des paléoenvironnements et des paléoclimats** en lien avec la **dynamique des bassins sédimentaires**.

L'expertise historique de l'UMR en géodynamique et ses thématiques émergentes contribuent ainsi à son attractivité et lui permettent de jouer un rôle moteur dans la communauté des Géosciences.

## **3- Les thématiques scientifiques et leurs enjeux**

Les thématiques de recherche de l'ISTeP sont orientées vers la compréhension et la quantification des processus géologiques qui contrôlent et/ou accompagnent la dynamique de la lithosphère dans son ensemble (« sur toute son épaisseur » = from top to bottom), depuis la surface (sédimentation, interactions avec les enveloppes externes-paléoclimats, lien volcanisme-atmosphère, aléas volcanique-sismique-hydro-dynamique et gravitaire) jusqu'à la profondeur (tectonique profonde, métamorphisme, interactions avec la fusion partielle et la dynamique mantellique), et depuis des échelles de temps de la centaine de Ma (long terme) jusqu'à l'échelle de temps du cycle sismique ou de l'ascension des magmas.

L'approche est fondamentalement « *field-based* », avec une expertise historique reconnue dans la géologie de terrain au sens large (du terrain « classique » jusqu'à l'acquisition de données géophysiques en mer). Une des caractéristiques revendiquées de l'ISTeP est la pluridisciplinarité, avec un champ d'expertises continu depuis le terrain jusqu'à la modélisation numérique à différentes échelles, en passant par l'acquisition et le traitement de données géologiques et géophysiques à terre et en mer et l'analyse pétrologique et géochimique haute résolution des matériaux.

Cette pluridisciplinarité se décline (1) au sein de ses équipes et (2) au sein d'axes thématiques et chantier transverses fédérateurs, historiques ou émergents, et dont les thématiques sont présentées ci-dessous.

Cette vision pluridisciplinaire et intégrée de l'ISTeP lui permet d'aborder non seulement les aspects les plus fondamentaux (modélisation ab initio et modèles d'activité, paléopiézométrie, rhéologie, formation des chaînes de montagnes) mais aussi plus appliqués, avec une recherche historiquement tournée vers l'exploration des hydrocarbures (paléoenvironnements et paléoclimats, géosciences marines, interactions fluides-roches-déformation) progressivement réorientée vers d'autres enjeux

sociétaux via un transfert de son expertise (aléas, séquestration du CO<sub>2</sub>, ressources minérales et énergétiques non carbonées).

### 3.1 Thématiques de recherche des équipes

Pour illustrer leurs thématiques de recherche, les équipes ont choisi de mettre en avant quelques résultats marquants en plus de ceux présentés dans le **portfolio**.

#### Equipe DEMO (Dynamique et Evolution des Marges et des Orogènes)

**Responsable/Animateur de l'équipe** : L. Jolivet, puis C. Rosenberg

**Chercheurs permanents** : P. Agard, N. Bellahsen, N. Cubas, E. d'Acremont, M. Fournier, C. Homberg, L. Jolivet, L. Labrousse, O. Lacombe, S. Lafuerza, L. Le Pourhiet, S. Leroy, N. Loget, B. Meyer, A. Rabaute, F. Rolandone, C. Rosenberg, M. Thomas, A. Verlaquet, Sylvie Wolf (IR)

Soit 12 ETPR en 2022

**Emérites et collaborateurs bénévoles** : I. Moretti (50% PPB), M. Sébrier (DR ém), J. Bourgois (DR ém)

**Post-Doctorants**: A. Koptev, L. Watremez, A. Jourdon, J.-B. Girault, G. Bonnet, A. Ahmed, N. Grasseau, C. Nonn, P. Perron, J. Tugend, M. Janowski, M. Gillard, E. Momoh, V. Roche, L. Airaghi, L. Jeandet

**Thèses soutenues** : M. Locatelli, M. Soret, G. Bonnet, L. Masci, B. Lefeuvre, M. Janowski, J.B., Girault, M. Waldner, E. Kästle, R. Wessels, E. Jewison, M. Laborde, V. Symeou, M. Lafosse, F. Mary, M.-J. Hernandez Salazar, A. Faure, T. Gyomlai, C. Herviou, M. Lefevre, L. Jeandet, J. Goncalves de Souza, S. Pajang, M. Jentzer, D. Ninkabou, T. Larvet, C. Nonn, V. Le Gal, M. Mohamadian Sarvandani, A. Beniast, C. Parlangeau, A. Grare, M. Baïssset

**Thèses soutenues avec co-encadrement dans d'autres laboratoires** : P. Gharibnezhad (Teheran, Iran) ; A. Godet (Univ. Laval, Canada), S. Zertani (Freie Univ. Berlin), Arefeh Moarefvand (ENS, Paris), T. Ferrand (ENS, Paris), Bonnemains, Al Reda (Paris-Saclay), Y. Zhou (Oxford), J. Dianala (Oxford), V. Tonderon Salmeron (Barcelone), E. Momoh, D. Possee, C. Masquelet, A. Rodriguez-Zurrunero, A. Labeur

**Thèses en cours**: Q. Brunsmann, A. Faure, K. Mendes, M. Sonnet, J. Flores Cuba, B. Huet, R. Kerverdo, A. Zeboudj, B. Bah, L. Merit, A. Oliveira de Sa, S. Gommery, E. Basquin, K. Elkharrat.

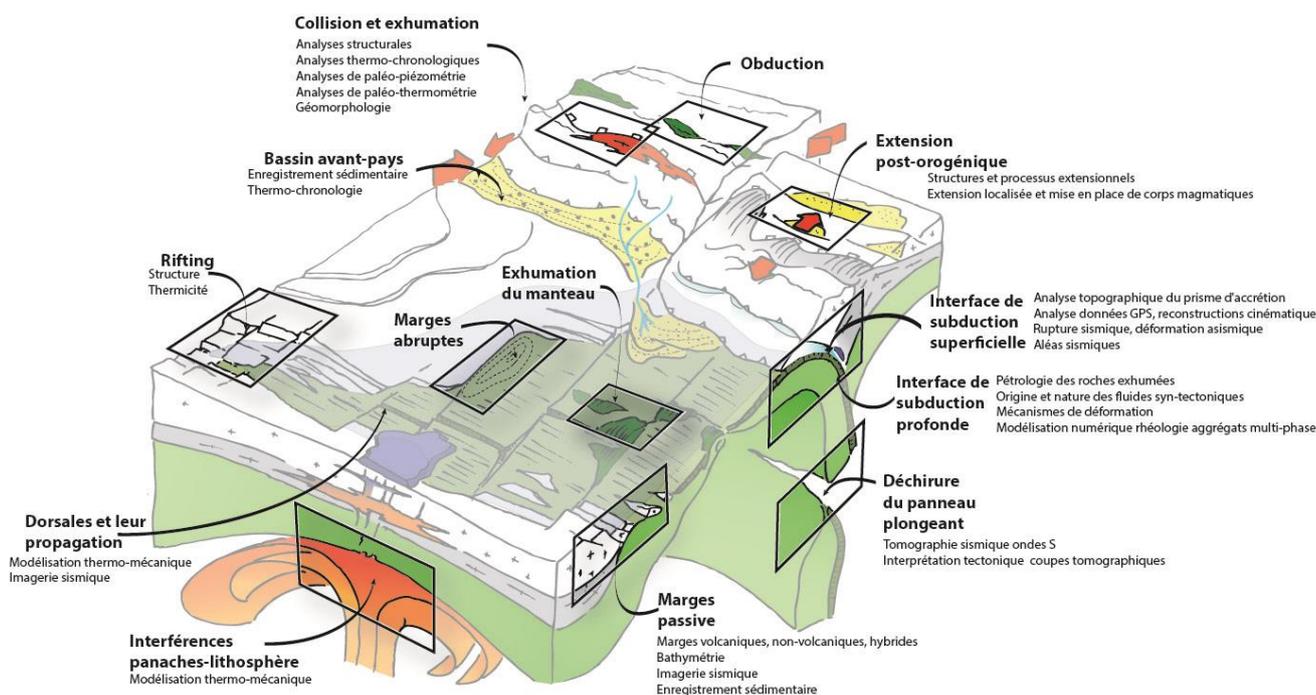
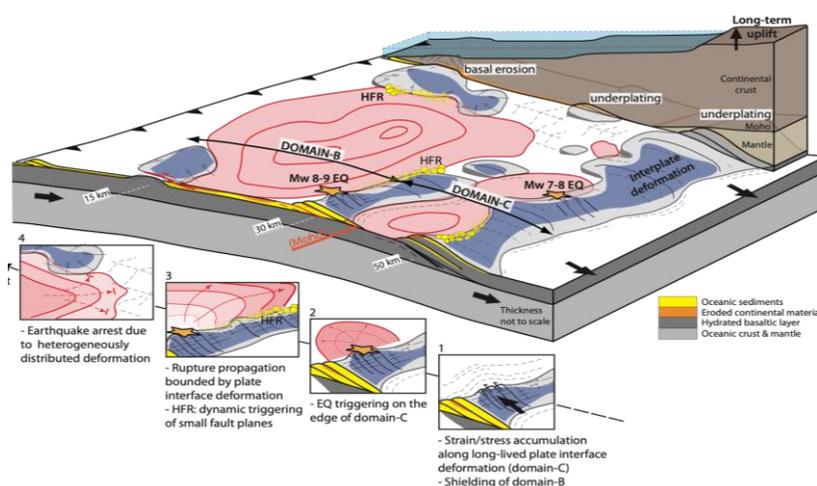


Figure 8 : Thématiques principales développées dans l'équipe DEMO

Les thématiques de recherche couvrent tous les contextes géodynamiques (subduction, collision, extension, décrochements/transformantes) afin de répondre à des questions sur les processus fondamentaux de la tectonique en relation avec la cinématique, la mécanique et la rhéologie, mais aussi sur la tectonique régionale. Les travaux s'appuient sur des outils et méthodes très variées, qui vont de l'analyse structurale et pétrographique de terrain, à l'analyse et modélisation chimique/pétrologique, à la géochronologie, aux campagnes en mer visant l'acquisition de données sismiques et bathymétriques, à la modélisation mécanique et thermo-mécanique. Les projets interdisciplinaires sont nombreux, souvent réalisés grâce à des expertises complémentaires d'autres laboratoires (thermo-chronologie, géochronologie, sismologie, paléomagnétisme, modélisations analogiques).

### (1) Rhéologie, mécanique des failles, mécanismes de déformation, ruptures sismiques et aismiques

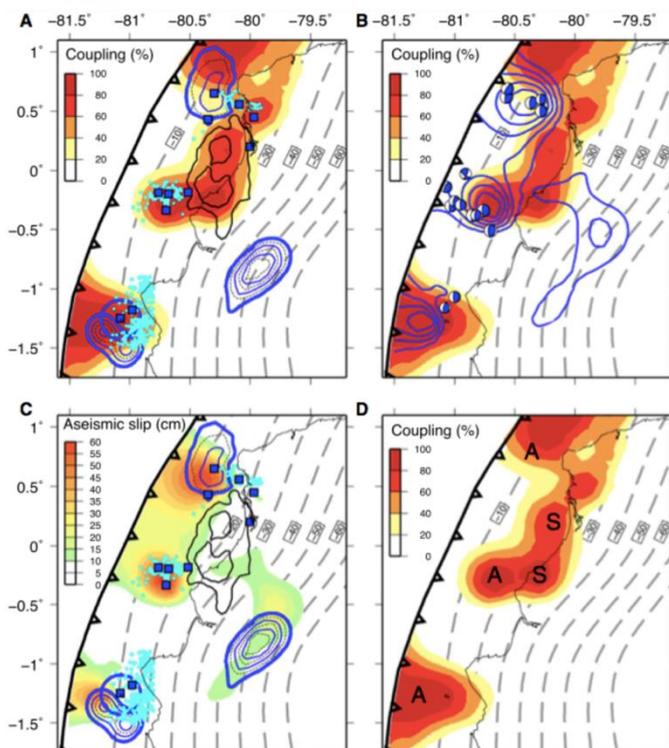
Ces études s'appuient sur des analyses topographiques, structurales et microtectoniques, des analyses de microstructures de roches déformées, des expériences analogiques, des expériences à haute pression et température, et des modélisations numériques.



**Figure 9 :** Interface de subduction montrant les relations entre ruptures sismiques (en rouge) et déformation long terme définie par l'analyse « Critical Taper Theory » (taches bleues). Les étapes 1 à 4 illustrent comment cette déformation contrôle la nucléation, la propagation et l'arrêt des ruptures sismiques. HFR: high frequency radiation (Cubas et al. 2022)

Plusieurs exemples naturels fossiles ont été étudiés pour améliorer la compréhension des processus agissant sur les failles sismiques (thèses Laborde, Magott, Ferrand). Des pseudotachylites dans des roches mantelliques de Corse, exhumées de profondeurs > 60 km (Magott et al., 2020), liées à une lithosphère en subduction lors des stades précoces de l'orogénèse alpine, se développent de manière hétérogène, avec : (1) des domaines à glissement frictionnel instable (sismique) entourés de (2) domaines à glissement frictionnel conditionnellement stables, eux-mêmes distribués au sein de (3) domaines à glissement frictionnel stable (asismique). Cette distribution hétérogène rappelle celle déjà suggérée par des études sismologiques ou géologiques portant sur des interfaces de subduction modernes. Elle montre l'existence d'aspérités sur les failles sismiques actives aux profondeurs intermédiaires.

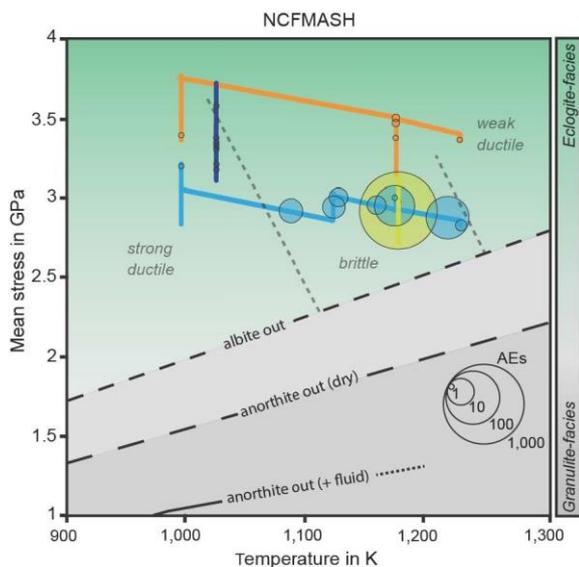
Une approche de la compréhension de la rupture sismique passe par l'analyse de données GPS (F. Rolandone). Ces dernières sont utilisées pour montrer que suite au séisme 2016  $M_w$  7.8 en Ecuador, de grands déplacements rapides d'« afterslip » se localisent à différents endroits du mega-chevauchement, sur les mêmes surfaces qui avaient accommodé précédemment des glissements lents. Les zones de glissements lents bloquent la propagation de la rupture sismique et favorisent le glissement post-sismique (Rolandone et al., 2018; Mothes et al., 2018; Tsang et al., 2019).



**Figure 10** : Modes de glissement sur l'interface de subduction pendant le cycle sismique. A- phase intersismique avec couplage, les SSE, les essais sismiques et les séismes répétitifs. B- Afterslip durant le premier mois, et mécanismes au foyer. C- Afterslip, SSE, essais sismiques et séismes répétitifs. D- Localisation des zones qui glissent sismiquement et asismiquement (Rolandone et al., 2018).

La compréhension de la mécanique des failles est nécessairement liée à la connaissance des contraintes qui les activent. Un volet important des activités de DEMO concerne la détermination des paléo-contraintes. Des analyses d'échantillons naturels et numériques et des expériences de déformation ont été réalisées et ont permis de mettre au point de nouvelles techniques paleopiezométriques (macles de la calcite, rugosité des stylolites) qui permettent de définir avec précision les 5 paramètres du tenseur de contrainte déviatorique (Beaudoin and Lacombe, 2018; Beaudoin et al., 2020 ; Lacombe et al., 2021).

La déformation expérimentale est très utilisée dans les projets des membres de l'équipe. Des expériences à  $T$  ambiante et sous MEB-EBSD de monocristaux de calcite (Parlangeau et al. 2019) permettent de corréler le comportement contrainte-déformation avec la déformation intracrystalline. Elles montrent le début de la plasticité cristalline avec la formation de premières macles pendant l'écroutissage, puis la densification et l'épaississement des macles en régime permanent. Un tel épaississement des macles à  $T$  ambiante souligne que la morphologie des macles n'est pas contrôlée uniquement par la température. De nombreux projets de déformation expérimentale se déroulent en coopération avec le laboratoire de l'ENS, où les émissions acoustiques peuvent être enregistrées in-situ en même temps que les autres paramètres rhéologiques (déformation, contrainte). Une série de thèses (Incel, 2017, Ferrand, 2017, Baisset, 2023) a ainsi étudié les impacts mécaniques des transformations métamorphiques : déserpentinisation du manteau; déshydratation des schistes bleus ou écolitisation des granulites. Les effets de changement de pression de fluides, produits ou consommés par les réactions, de changement de texture dus à la réaction ou encore de changement de volume lors de la réaction induisent des changements rapides des propriétés des roches.



**Figure 11** : Déformation d'agrégats de plagioclase dans leur champ métastable montrant davantage d'émissions acoustiques à haute  $T$  (cercle jaune) qu'à basse  $T$ . Ces émissions, qui sont assimilées à des séismes, sont interprétées comme l'effet de la transformation du plagioclase en omphacite (Incel et al., 2019).

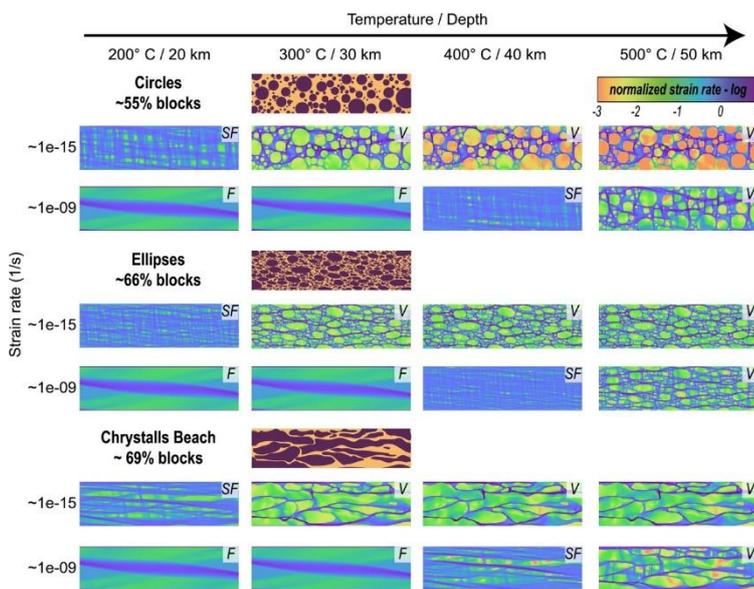
Sample	$P_c$ in GPa	$T$ in K	$\epsilon$ in %	$\dot{\epsilon}$ in $s^{-1}$	# AEs	$X$ in vol. %
NG_2.5_1023	2.5	1,023±50	35	$5 \times 10^{-5}$	7	<1
NG_2.5_1173	2.5	1,173±50	37	$6 \times 10^{-5}$	794	2.5
NG_2.5_1225	2.5	(995-1,225)±50	34	$5 \times 10^{-5}$	82	5
NG_3_1225	3	(995-1,225)±50	36	$5 \times 10^{-5}$	9	10

Les relations entre métamorphisme et déformation sont une thématique importante pour plusieurs membres de DEMO qui ont mené de nombreuses recherches à ce sujet sur des roches naturelles (Ferrand et al., 2017; Soret et al., 2019; Airaghi et al. 2020). Une de ces études a mis en évidence que les réactions métamorphiques pré-pyrénéennes avaient modifié la rhéologie du socle granitique varisque et expliquent son style de déformation distribué et ductile au cours du raccourcissement pyrénéen, malgré les basses  $T$  (Airaghi et al. 2020).

Les études de tectonique expérimentale de DEMO se réalisent aussi par d'autres méthodes et à d'autres échelles, surtout grâce à la coopération avec le laboratoire de l'Université de Cergy (N. Cubas) et de Rennes (C. Homberg), où la déformation peut être étudiée grâce à des « bacs à sable ». Ces expériences (Lefèvre et al., 2021) ont montré que la distance inter-Riedels dépend de l'épaisseur de la couche cassante, et cette relation est identique à la longueur de segments de faille observés sur le terrain. Cette segmentation fait l'objet de nouvelles expériences en boîte à sable pour étudier la propagation des ruptures sismiques.

Finalement, l'étude de la mécanique et rhéologie des failles se fait aussi par les outils numériques. Une grande partie du travail sur ces sujets porte sur le développement de la méthodologie (Duretz et al. 2018; 2020). L'effet de l'hétérogénéité lithologique sur la rhéologie des roches et unités rocheuses, toujours hétérogènes à toutes les échelles du point de vue mécanique est l'un des sujets de ces modélisations. Une application à un contexte géodynamique spécifique est représentée par la modélisation visco-plastique 2D en éléments finis d'un mélange bi-phasé, simulant les mélanges d'un chenal de subduction (Ioannidi et al., 2022). Cette étude montre que la variation des proportions entre les blocs frictionnels (basalte) et la matrice visqueuse (quartz) contrôle la rhéologie effective du mélange. La déformation frictionnelle des blocs atteint des contraintes élevées, avec une valeur effective de l'exposant de la contrainte  $n$ , plus haute que celle des deux phases à l'état pur et une viscosité effective de la matrice inférieure à celle de la phase moins résistante. Ces résultats peuvent être intégrés dans la modélisation géodynamique de grande échelle pour simuler une surface de subduction rhéologiquement hétérogène, donc plus réaliste.

La modélisation numérique est aussi utilisée pour l'analyse de rupture et déformation « court terme ». Un exemple représentatif de ces études est celui de Thomas et Baht (2018), dans lequel la relation entre rupture sismique et réseau de failles dans la zone d'endommagement est modélisée par la méthode des éléments spectraux.

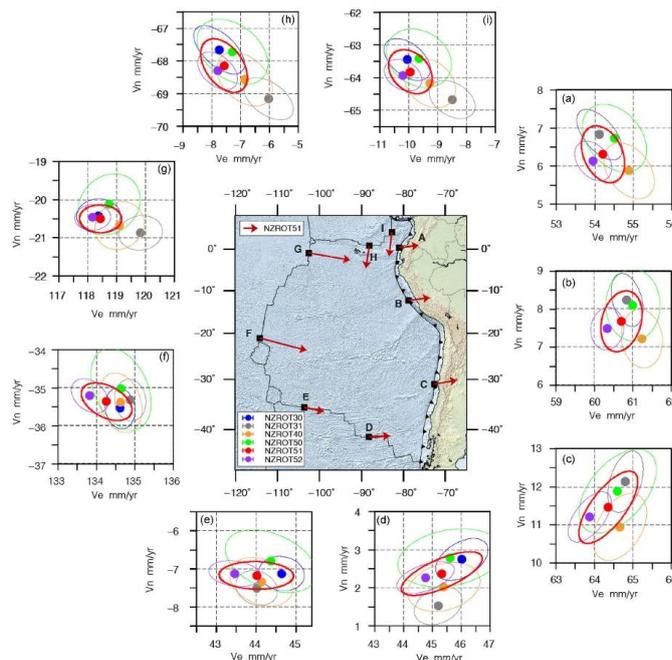


**Figure 12:** Localisation de la vitesse de déformation à différentes températures et vitesses de déformation pour trois modèles : modèle du haut : 55% de blocs circulaires, au milieu : 66% de blocs elliptiques, et en bas : 69% de blocs naturels. Les modèles sont colorés en fonction de leur taux de déformation normalisé. Les couleurs chaudes/froides indiquent une faible/forte localisation de la déformation. Chaque ligne a le même taux de déformation de fond, chaque colonne a la même température. À côté du nom de chaque modèle, la géométrie initiale est indiquée, la couleur violette représentant les blocs et l'orange clair la matrice. F. : rupture par frottement, SF : rupture semi-frictionnelle, V : fluage visqueux. (Ioannidi et al., 2022)

Plusieurs membres de l'équipe travaillent aussi sur les interactions entre fluides et déformation dans des contextes tectoniques très variés, qui vont de la croûte supérieure (chaînes plissées et bassins pétroliers) jusqu'au chenal de subduction. Les datations U-Pb sur les ciments calcitiques (Beaudoin et al., 2018) permettent de déchiffrer la source des fluides (locale, hydrothermale ou superficielle) et de remonter aux chemins de migration (socle, niveau évaporitique ou bassin) et à l'âge relatif/absolu de la circulation des fluides dans les roches pendant la déformation (e.g., Grare et al., 2018; Beaudoin et al. 2020, 2022).

## (2) Subduction :

Plusieurs membres de l'équipe travaillent sur les processus de subduction, à la fois par une approche pétrologique (Agard, 2021), géochimique (Locatelli et al., 2019; Herviou et al., 2021), cinématique (Jarrin et al. 2023), par la modélisation thermo-mécanique, mais aussi par des synthèses globales de données sur les systèmes de subduction actifs (Jolivet et al., 2018).

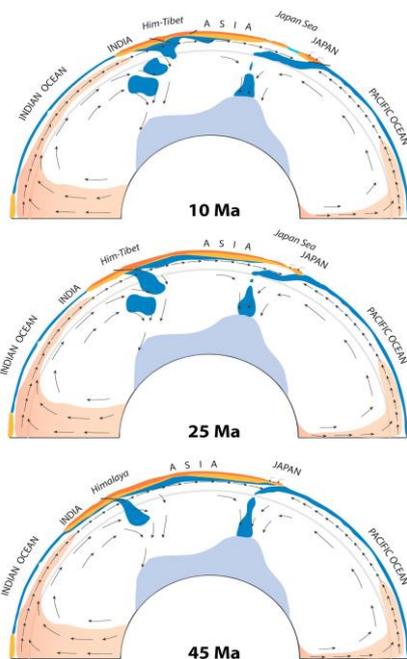


**Figure 13 :** Vitesses prédites pour les 6 pôles eulériens de la plaque Nazca. Les flèches rouges montrent les vitesses prédites par le modèle préféré (NZROT51) pour la Plaque Nazca par rapport aux plaques adjacentes (Jarrin et al., 2023).

L'analyse de données GPS dans les Andes septentrionales (Mothes et al., 2018 ; Jarrin et al. 2023) a permis de déterminer un nouveau pôle eulérien pour la cinématique de la plaque Nazca et montre que la

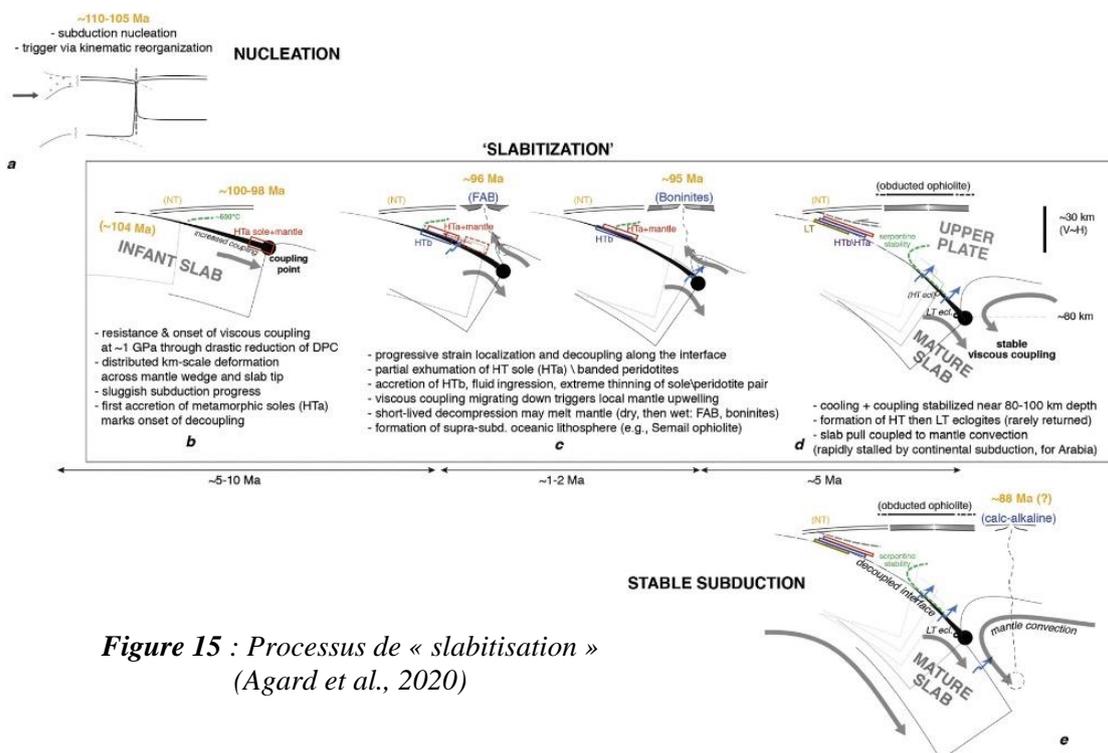
déformation n'est pas accommodée par un seul système de failles, permettant de contraindre le détail du couplage dans la zone de subduction.

Les données de la cinématique actuelle sont aussi le point de départ d'analyses du fluage du manteau à l'échelle globale et de l'interprétation des moteurs de la tectonique des plaques.



**Figure 14 :** Mouvements du manteau en coupe, de l'Afrique du Sud au Pacifique occidental. Remontées asthénosphériques au-dessus des LLSVP et enfouissement sont partiellement déconnectés du fluage horizontal dans le manteau supérieur. Fluage vers le N pousse d'une part l'Inde à indenter l'Asie laissant des fragments de slab détachés derrière elle, et d'autre part les zones de subduction Pacifiques en dessous du Japon. Les deux premiers stades correspondent au slab break-off de l'Himalaya à 45 et 25 Ma et le dernier stade (10 Ma) correspond à la transition extension à compression le long de la marge orientale de la mer du Japon (Jolivet et al., 2018).

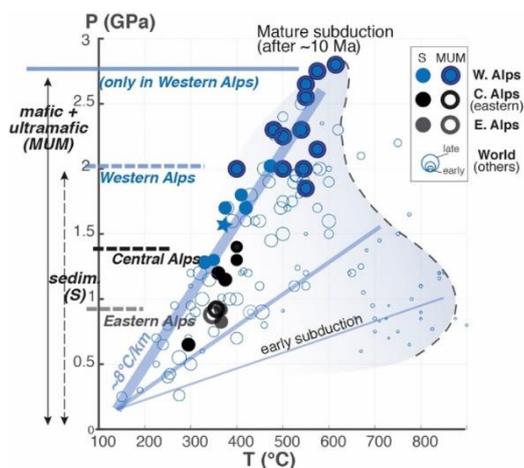
La subduction est enregistrée par les roches de haute et moyenne pression, et leur conditions  $P T$  sont modélisées et reconstruites dans de nombreuses études. Ces études pétrologiques combinées à celles des mécanismes de déformation et la synthèse de données de littérature (Agard et al., 2020) permettent de tirer d'importantes et nouvelles conclusions sur les processus qui ont lieu le long de l'interface de subduction.



**Figure 15 :** Processus de « slabitisation » (Agard et al., 2020)

L'accommodation de la déformation par le fluage par dissolution-précipitation contrôle le couplage mécanique visqueux de la surface des plaques jusqu'à 30 km de profondeur. La migration de ce couplage en profondeur cause la remontée du prisme mantellique qui peut générer des ophiolites supra-subduction ou la formation de lithosphère d'avant-arc. Le couplage mécanique visqueux se stabilise vers 80-100 km de profondeur dans les zones de subduction matures et froides. C'est ici que les plaques se re-attachent et les slabs deviennent une partie intégrante du système convectif mantellique.

Des synthèses de données pétrologiques à l'échelle du système de subduction alpin permettent d'une part de définir le gradient géothermique de la subduction et d'autre part de conclure que la surpression tectonique ne peut avoir modifié les valeurs de P liées à la profondeur et enregistrées par les paragenèses des minéraux (Agard, 2021).

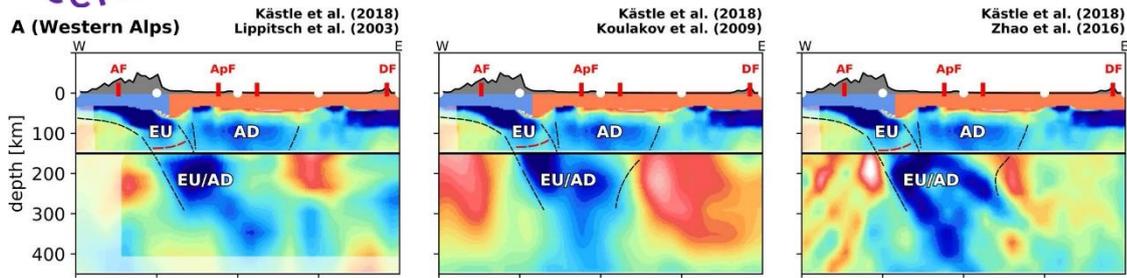


*Figure 16 : Compilation de données P-T du métamorphisme de subduction Alpin. Toutes les données s'alignent le long d'un gradient P-T typique de la subduction mature, ce qui exclue la possibilité d'une surpression significative dans les éclogites des Alpes, qui générerait des rapports P/T différents (Agard, 2021).*

Les circulations de fluides (Locatelli et al., 2019; Herviou et al., 2021) et la genèse de gisements de minéraux (Menant et al., 2018) associés aux zones de subduction font aussi partie des expertises de l'équipe. Herviou et al. (2021) observent que la salinité des inclusions fluides des méta-sédiments Alpains diminue avec l'augmentation du degré de métamorphisme, ce qui est interprété comme l'effet d'une dilution progressive de la signature initiale de l'eau de mer, par les fluides faiblement salins relâchés localement par des réactions de déshydratation. La compilation globale de données sur les inclusions fluides dans des fragments subductés de lithosphère océanique montre que les compositions des métasédiments alpins sont comparables à celles des autres zones de subduction.

### (3) Collision

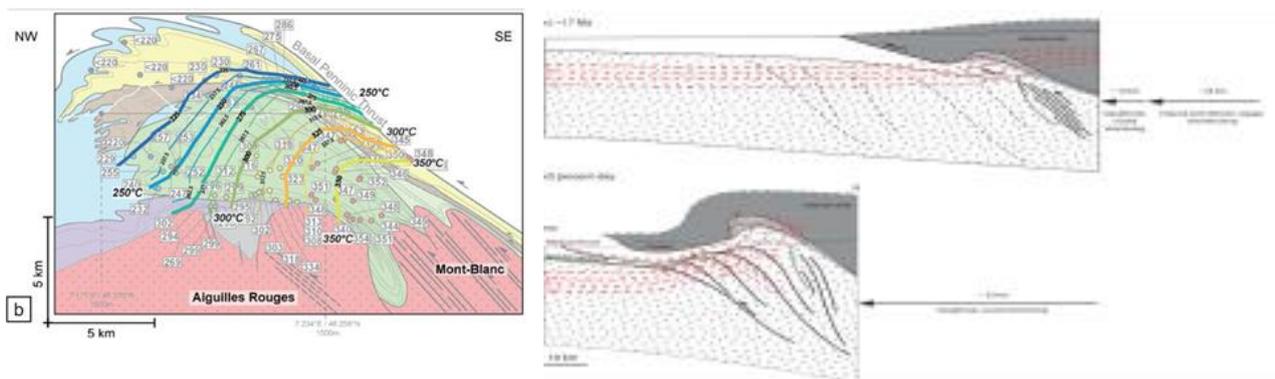
Les processus de collision sont étudiés par de nombreux collègues de DEMO, avec des chantiers très variés (Alboran, Bétiques, Pyrénées, Alpes, Apennins, Calédonides, Zagros, Haiti, Paléoprotérozoïque du Québec) et des thématiques tout aussi variées: collision et évolution thermique, collision et magmatisme, style de collision et rhéologie, collision et réactivation de failles, collision et évolution sédimentaire des bassins d'avant-pays. Comme pour les autres sujets, l'équipe DEMO utilise de nombreuses méthodes pour l'étude des processus de collision : des analyses pétrologiques et géochimiques (Airaghi et al., 2020; Ducoux et al., 2020; Gharibnejad et al., 2022), des analyses structurales et thermo-chronologiques (Waldner et al. 2021; Girault et al., 2021), des analyses structurales et géochronologiques (Bessière et al., 2022 ; Gyomlai et al., 2022 ; **portfolio DEMO**), des reconstructions paléogéographiques quantitatives (Romagny et al., 2021), des modélisations thermo-mécaniques (Jourdon et al. 2018, 2019, 2020) et l'imagerie sismique (Kästle et al., 2018; 2020; Chevrot et al., 2022).



**Figure 17** : Coupe E-W à travers les Alpes occidentales. Modèle d'ondes S de Kästle jusqu'à 150 km de profondeur. Modèles ondes P d'autres auteurs en dessous de 150 km (Kästle et al., 2020).

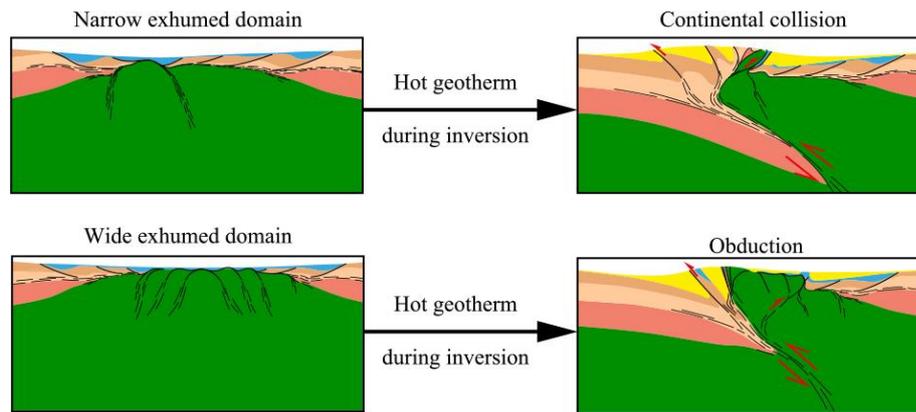
L'imagerie de la lithosphère alpine (Kästle et al., 2018; 2020) a conduit à de nouvelles évidences qui alimentent le débat actuel sur la géométrie profonde du slab européen en suggérant sa déchirure dans les Alpes occidentales et éventuellement aussi dans les Alpes de l'Est. A cet endroit il a été possible de confirmer qu'il ne s'est réalisé aucune inversion dans la polarité de la subduction. Cette interprétation a été la première d'une longue série de papiers, qui ont changé un paradigme devenu très fort ces dernières années. De nombreuses échanges ont eu lieu avec les géophysiciens de Grenoble ces dernières années dans le cadre du chantier RGF et des papiers sur l'interprétation de la structure crustale profonde en relation avec les quantités de raccourcissement collisionnels sont en préparation (Bellahsen et al.).

Les Alpes occidentales continuent à être une cible d'étude privilégiée. La possibilité d'y réaliser des coupes géologiques de 15 km de profondeur et d'y projeter latéralement des données permet de visualiser la de manière quasiment unique la géométrie des courbes de iso-*T* miocènes à travers un antiformal stack de 4 nappes.



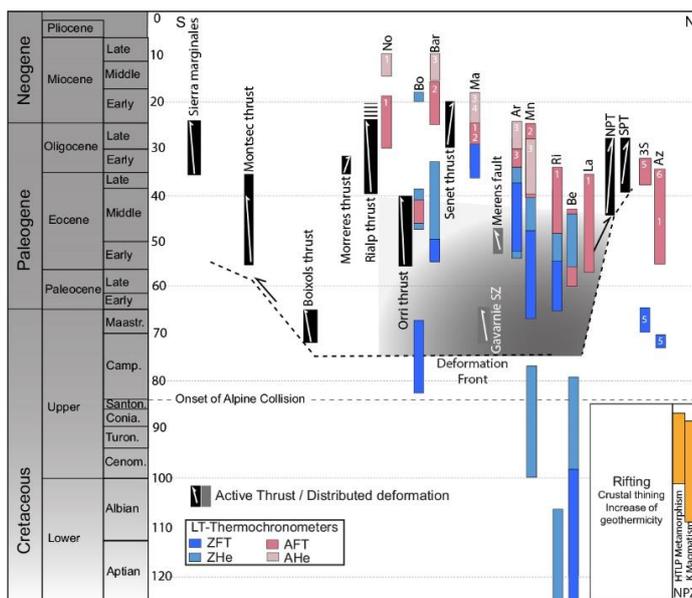
**Figure 18** : gauche: *T*<sub>max</sub> d'un antiformal stack de quatre nappes de couverture et de la partie sommitale du socle du Mt Blanc. Les lignes de iso-*T*<sub>max</sub> recoupent les contacts des nappes et sont faiblement plissées, ce qui suggère que le pic métamorphique est tardi-tectonique (persiste jusqu'à 17 Ma)(Girault et al., 2020).

L'analyse du métamorphisme N-pyrénéen (Ducoux et al., 2019) a permis une nouvelle cartographie de l'anomalie thermique qui caractérise l'histoire des rifts ante-pyrénéens. Plusieurs synthèses à grande échelle montrent les points majeurs de la dynamique du rifting et de l'orogénèse pyrénéenne (Jolivet et al., 2021 ; Mouthereau et al., 2021). Celle-ci a aussi fait l'objet de modélisation thermo-mécaniques qui testent l'effet de l'exhumation du manteau dans la phase synrift sur les processus et géométries collisionnels (Jourdon et al., 2019).



**Figure 19** : Schémas interprétatifs de modèles numériques. En haut : faible étendue de manteau exhumé produisant une collision continentale lors de l'inversion avec géotherme élevé. En bas : Manteau exhumé dans un rift large produisant une obduction au cours de l'inversion avec géotherme élevé (Jourdon et al., 2019).

Les Pyrénées ont aussi été étudiées en couplant la thermo-chronologie et l'analyse structurale (Waldner et al., 2021). Ces études montrent une évolution au cours de la collision, qui passe d'une déformation distribuée associée à des faibles taux d'exhumation à une déformation localisée associée à des taux d'exhumation élevés (entre 40 et 20 Ma).

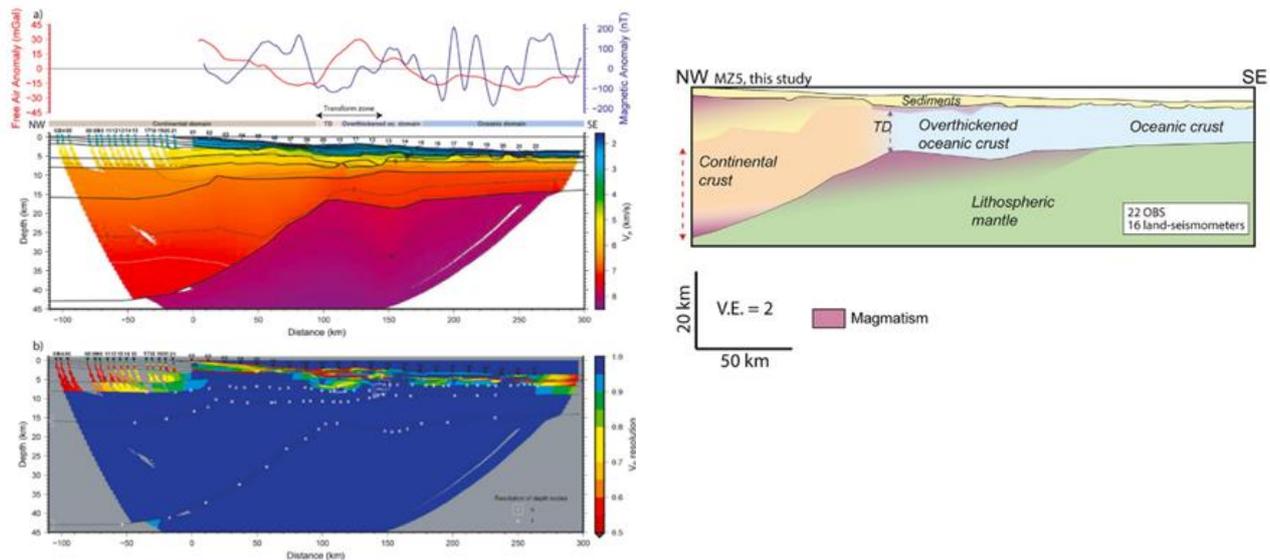


**Figure 20** : Synthèse des événements mésozoïques et cénozoïques dans les Pyrénées, basés sur données thermo-chronologiques (Waldner et al., 2021).

#### (4) Rifting, marges, dorsales

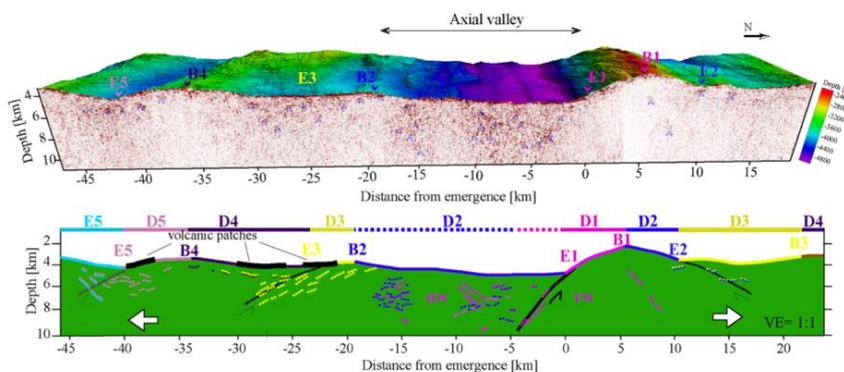
L'extension, depuis l'amincissement d'une croûte épaissie jusqu'aux rifts, marges et dorsales océaniques, représente un axe de recherche majeur de l'équipe. Les processus de l'extension lithosphérique sont étudiés grâce à l'analyse et synthèse des données géologiques globales au cours du temps (Jolivet et al. 2018), mais aussi par des modélisations thermo-mécaniques (Jourdon et al. 2018, 2019; Koptev et al., 2018; 2019; Le Pourhiet et al. 2018), gravimétriques (Gillard et al. 2021) des analyses d'exemples régionaux (Senkans et al., 2019; Nonn et al., 2019, Leroy et al., 2022), souvent basées sur l'imagerie sismique (Momoh et al. 2020; Mohamadian et al., 2021), mais aussi sur l'enregistrement stratigraphique, tectonique et magmatique (Nonn et al., 2019). Des marges de natures très différentes ont été étudiées, principalement par imagerie sismique et bathymétrique: (1) Marges volcaniques (rifting polyphasé du Mozambique: Senkans et al., 2019; Leroy et al 2019; 2022; Roche et al., 2021); (2) Marges non volcaniques (à l'Est du golfe d'Aden : Nonn et al 2017; Leroy and Nonn 2022); (3) Marges hybrides (Golfe d'Aden central: Leroy et al 2019); (4) Marges transformantes riches en magma (Limpopo oriental, au large du Mozambique: Watremez et al., 2021, Leroy

et al., 2021). Au-delà de l'apport de nouvelles connaissances sur la structure de ces marges, il devient clair que leurs processus de formation sont plus fortement conditionnés par le magmatisme qu'initialement envisagé, indépendamment de leur nature magmatique ou non, divergente ou transformante. Le magma joue un rôle majeur dans la localisation de la déformation et peut déclencher la rupture continentale et des déformations tardives.



**Figure 21 :** Modèles de vitesse des ondes P, profils gravimétriques et magnétiques correspondants et interprétation tectonique de la coupe à travers la marge du Limpopo. A Terre un prisme volcano-sédimentaire de > 10 km recouvre la croûte continentale. En mer, une activité magmatique intense a formé une croûte océanique épaissie. Entre les deux, une zone transformante de 50–60-km de largeur avec forte activité magmatique et tectonique. Une anomalie thermique profonde et les failles transtensives permettent la remontée de magmas (Watremez et al., 2021).

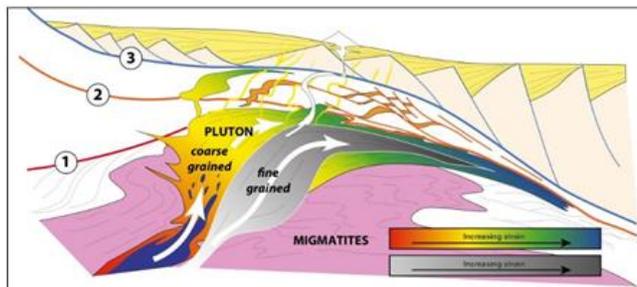
L'imagerie et l'interprétation associée du fonctionnement des dorsales océaniques (Momoh et al., 2020; Cannat et al., 2019; Mohamadian Sarvandani et al., 2021; Corbalan et al., 2021) montrent que l'apport de magma est aussi un moteur fondamental de leur fonctionnement. Si quasi amagmatiques, des dykes magmatiques réutilisent les anciennes failles de détachement responsables de l'exhumation de péridotites serpentinisées, si riches en magma, des plateaux océaniques se développent.



**Figure 22 :** Structure du Southwest Indian Ridge En haut : section convertie en profondeur des lignes combinées (SMOO 33) en utilisant le modèle de vitesse de réfraction (Momoh et al., 2017). En bas : interprétation simplifiée des réflecteurs. Les différentes couleurs correspondent au temps

d'activité des failles de détachement successives, les lignes noires au fond de la mer indiquent des plaques volcaniques isolées. Evolution en 2 phases: exhumation, flexure du mur, serpentinisation, et magmatisme dans le mur d'un détachement, suivi par endommagement ultérieur, altération, et magmatisme dans le mur d'un prochain détachement. Les réflecteurs sont dus à l'un ou à une combinaison des trois processus suivants : dommages tectoniques, corps magmatiques intrusifs, ou contrastes dans le degré de serpentinisation du socle ultramafique (Momoh et al., 2019)

L'interaction entre extension et mise en place de magmas aussi été étudiée sur la croûte continentale amincie de la Méditerranée, en Mer Egée et en Mer Tyrrhénienne (Bessière et al., 2018; Jolivet et al., 2021). L'analyse structurale de terrain associée à la modélisation thermo- mécanique a pu montrer qu'à ces différents endroits, la mise en place de magmas causait la migration vers le haut des détachements et la formation séquentielle de leurs différentes branches (Jolivet et al., 2021).



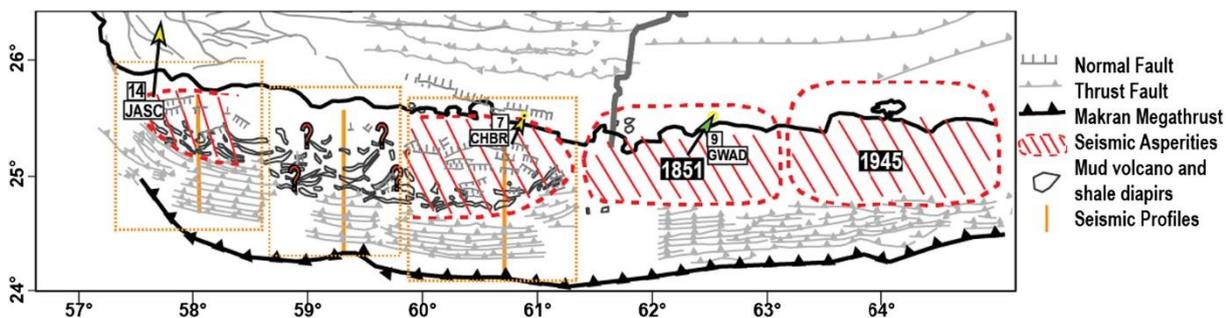
**Figure 23 :** *Modèle conceptuel des relations entre les plutons syn-cinématiques et les détachements (Jolivet et al., 2021)*

La modélisation 3D (Le Pourhiet et al., 2018) a permis d'analyser l'évolution des rifts en 3D et de conclure que leurs géométries finies ne dépendaient pas seulement du couplage croûte-manteau, comme considéré habituellement sur la base d'analyses d'évolution en coupes 2D. L'étude 3D met en lumière que la présence d'un champ compressif faible, agissant perpendiculairement à la direction de propagation du rift contrôle sa vitesse de propagation, pouvant même l'immobiliser et créant ainsi de bassins en « V » (**portfolio DEMO**). L'approche numérique permet d'étudier la dynamique profonde des rifts, de les relier à des panaches asthénosphériques, mais aussi aux facteurs climatiques. Ainsi, Sternai et al. (2021) montrent par un modèle analytique que les précipitations orographiques asymétriques peuvent déclencher des ruptures lithosphériques sur le côté plus humide et érodé d'un système extensif.

## (5) Aléas naturels

De nombreuses compétences scientifiques de l'équipe DEMO (interprétation sismique, imagerie drone, analyse de stabilité terrains, analyses géomorphologiques et bathymétriques, analyses de données GPS et du cycle sismique, mécanique de la rupture, modélisation numérique) utilisées par l'équipe dans ses recherches fondamentales en géodynamique, s'avèrent parfaitement adaptées pour des études d'aléas naturels. En particulier, les aléas sismiques et gravitaires à terre et en mer font l'objet de plusieurs projets de l'équipe (Le Friant et al., 2020; d'Acremont et al. 2022; Pajang et al., 2021 ; Rolandone et al. 2018).

Plusieurs études régionales liées aux glissements sous-marins et leur potentiel tsunamigénique ont été lancées dans la mer d'Alboran (d'Acremont et al. 2020 ; **portfolio Unité**). Un développement méthodologique est aussi en cours, avec des premiers résultats (Le Boutellier et al., 2019), proposant une nouvelle approche pour reconnaître le transport de masse à partir de données sismiques et utilisant l'Intelligence Artificielle (**portfolio Unité**). Concernant les aléas sismiques, la déformation finie du prisme d'accrétion du Makran est étudiée par le biais de modélisation mécanique dans le but de définir les variations des propriétés frictionnelles du mega-chevauchement dans l'espace. Cette analyse permet de déduire le potentiel sismogénique de la région.



**Figure 24 :** *Prisme du Makran avec les zones d'aspérités sismiques interprétées suite à l'analyse structurale, mécanique et des séismes historiques (Pajang et al., 2021).*

## Equipe PPB (Paléoenvironnements, Paléoclimats, Bassins)

*Responsable/Animateur de l'équipe* : F. Baudin

*Chercheurs Permanents*: F. Baudin, S. Boulila, M.-F. Brunet, D. Do Couto, L. Emmanuel, B. Galbrun, C. Gorini, L. Le Callonnec, F. Minoletti, J. Poort, L. Riquier, J. Schnyder, L. Segalen.

Soit 7,5 ETPR en 2022

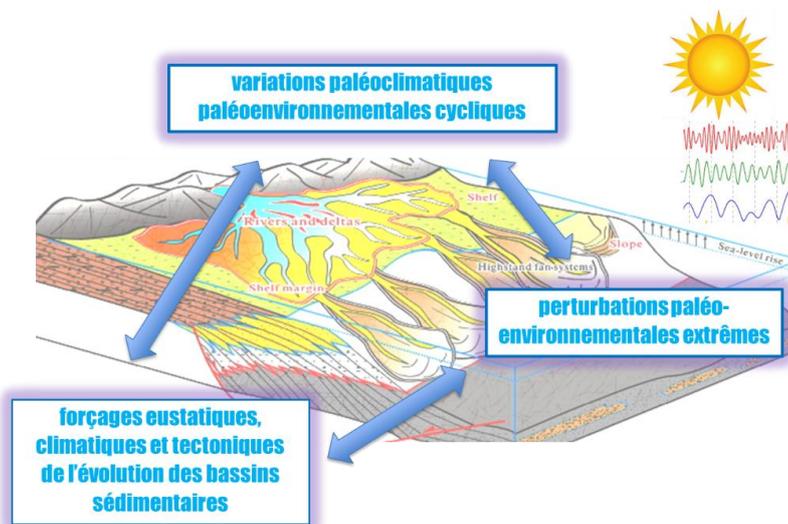
*Post-doctorants et ATER*: É. Bessiere (2020-2022), A. Boutoux (2017), B. Bruneau (2016-2017), G. Charbonnier (2020-2022), M. Chassé (2020), J. Danzelle (2019-2021), S. Garel (2021-2022), M. Hermoso (2017-2018), R. Lepretre (2017-2018), E. Leroux (2016-2017), M. Salpin (2016-2018), J. Toullec (post-doc avec ULCO 2021-2022).

*Doctorants* : P. Aubier (avec CR2P), G. Le Guevel, T. Munier, N. Natasia, L. Tortorolo (avec UBO)

*Thèses soutenues*: J. Aufort, A.M. Cruz, P. Le Bouteiller, J. Danzelle, S. Grohmann, L. El Hajj, R. Noemani-Rad, K.I. Chima, J. Goncalves de Souza (avec DEMO), L. Bento Da Costa (avec CR2P), M. Bellucci (avec UBO), D. Ninkabou (avec DEMO), E. Kanari, C. Godbillot, I. Tahy (avec CR2P).

*Collaborateurs bénévoles* : E. Barrier, L. Ben Khelifa, F. Bergerat (DR émérite), C. Blanpied, B. Haq, A.-Y. Huc, J. Letouzey, I. Moretti (50% avec DEMO), J.-L. Rubino, J.-P. Suc (DR émérite)

L'équipe PPB possède une expertise reconnue dans l'analyse de signaux sédimentaires variés [sismostratigraphie, minéralogie des argiles, éléments majeurs et traces, matière organique,  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  sur coccolithophoridés (**portfolio PPB**) et mollusques, ...] lui permettant d'aborder différentes questions scientifiques fondamentales ou appliquées. Les recherches sont organisées autour de trois thématiques : (1) les perturbations paléo-environnementales extrêmes, (2) les variations paléo-climatiques et paléoenvironnementales cycliques et (3) les forçages eustatiques, climatiques et tectoniques de l'évolution des bassins sédimentaires.



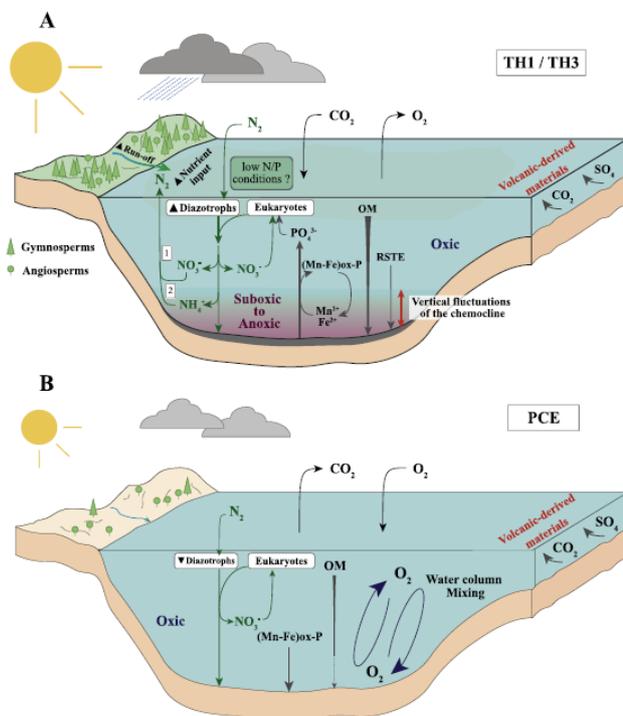
**Figure 25** : Thématiques principales développées dans l'équipe PPB. Les trois thématiques ont été abordées à différentes échelles de temps et d'espace (régional vs global), ce qui nécessite une approche intégrée et pluridisciplinaire, basée sur l'analyse de différents signaux enregistrés au sein des roches sédimentaires marines et/ou continentales. Ces thématiques concernent les interactions entre les enveloppes superficielles et les mécanismes internes ou externes au système tellurique. Leur combinaison permet une vision croisée, voire holistique, de la dynamique sédimentaire

### *Perturbations paléo-environnementales extrêmes*

Depuis longtemps, l'équipe s'intéresse aux événements anoxiques océaniques qu'il s'agisse de ceux du Toarcien (T-OAE), de l'Aptien inférieur (OAE1a), de la limite Cénomanién-Turonien (OAE2) ou de l'événement hyperthermique de la limite Paléocène-Eocène (PETM). Au cours du quinquennal de nombreux résultats ont été acquis et publiés sur cette thématique, mais tout particulièrement sur l'OAE2 avec sa première mise en évidence dans le Bassin de Paris (Boulila et al., 2020 ; Le Callonnec et al., 2021) et la confirmation de sa relation avec une intensification du cycle hydrologique, révélée par la dominance exceptionnelle de l'obliquité dans plusieurs archives sédimentaires (Charbonnier et al., 2018). D'autres travaux ont montré qu'un forçage orbital par les cycles d'excentricité de 100 ka sur les courtes excursions isotopiques du carbone caractérisent l'OAE2, suggérant un lien entre les gaz à effet de serre émis par les

provinces volcaniques géantes et l'amplification de cycles d'excentricité (Boulila et al., 2020). Des analyses isotopiques et des éléments traces sur des coupes de l'OAE2 dans le bassin vocontien ont permis de proposer un scénario de la dynamique des changements haute-fréquence des conditions redox et du cycle de l'azote et du carbone au cours de l'événement (Danzelle et al., 2018, 2020). L'impact de l'événement froid intra-OAE2 (*Plenus Cold Event*) a été retrouvé jusqu'au large de l'Afrique de l'Ouest (Riquier et al., 2021, **portfolio PPB**). Ces travaux ont fait l'objet de 3 mémoires de master, de la thèse de J. Danzelle et d'une partie du post-doc de S. Charbonnier. Ils ont été soutenus par des financements INSU-Syster (Projets GOMINAS et CO2A, PI : Riquier) et l'ANR Astro-Meso (Boulila).

L'estimation de durée des événements anoxiques est cruciale dans la modélisation climatique et biogéochimique. La calibration astronomique des séries sédimentaires couvrant les événements OAE2 et T-OAE a permis une meilleure détermination de leurs durées (Boulila et al., 2019, 2020). Par exemple, un long débat sur la durée du T-OAE semble désormais clos grâce à une synthèse exhaustive de plusieurs enregistrements aboutissant à une durée de ~400 ka (Boulila et al., 2019), utilisée aujourd'hui dans plusieurs modèles biogéochimiques.



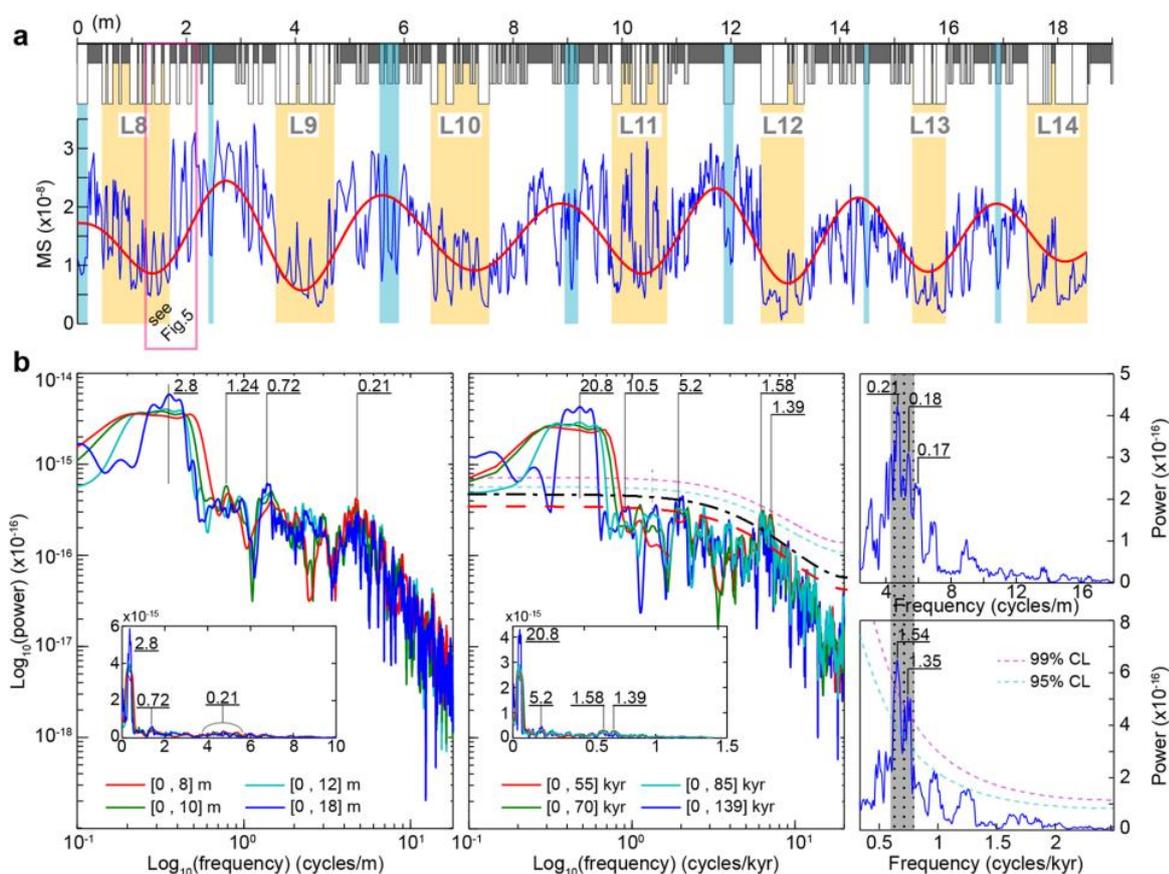
**Figure 26 :** Représentation schématique des cycles hydrologiques et biogéochimiques du C et de N dans le bassin vocontien durant l'événement anoxique du Cénomaniens-Turonien. Les processus 1 et 2 représentent respectivement la dénitrification et l'anammox (Danzelle et al., 2020).

### Variations paléoclimatiques-paléoenvironnementales cycliques

La mise en évidence de cyclicités communes dans les variations (astro)-climatiques et le mouvement des plaques tectoniques, et surtout leurs corrélations, permettent de mieux comprendre l'éventuel lien entre les forçages externes et internes au système Terre. En particulier, la recherche de grands cycles géologiques (climatiques, eustatiques, biogéochimiques, tectoniques, ...) de plusieurs Ma permet d'étudier l'éventuelle interaction entre le climat et la tectonique. Cette thématique nécessite, cependant, le traitement de données couvrant plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de Ma et nécessite donc l'implication de nombreuses collaborations nationales et internationales de diverses disciplines. Nous avons pu démontrer une relation physique entre deux grandes cyclicités de 9 et 35 Ma aussi bien dans les données astronomiques (excentricité de l'orbite terrestre) que dans les données géologiques (eustatiques, isotopes stables de l'oxygène, taux de subduction global). Ces différentes observations ont permis de construire un modèle expliquant le couplage entre le forçage externe provoqué par l'insolation et le forçage interne provoqué par les processus de subduction et d'expansion océanique résultant de l'activité interne de la Terre. Ce scénario met en avant les mécanismes d'altération des surfaces terrestres (insolation/climat, glaciation/déglaciation, niveau des mers, érosion/dépôt, etc.) dans la stimulation des processus géodynamiques (Boulila et al., 2021). Ce travail a fait

l'objet d'une nouvelle INSU (<https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/interactions-entre-climat-et-tectonique-au-meso-cenozoique>) et d'une Actualité SU.

L'étude cyclostratigraphique des variations de la susceptibilité magnétique acquises à très haute résolution sur une coupe du bassin vocontien a permis de décrypter une cyclicité de 1500 ans, modulée par les cycles de précession et demi-précession (Boulila et al., 2022). Cet enregistrement est tout à fait similaire aux cycles de type Dansgaard-Oeschger (DO) du Quaternaire dans les archives climatiques des basses latitudes, en particulier ceux dans les archives de la mousson asiatique. Nos résultats suggèrent que la force motrice des "événements" DO ne provient pas de l'interaction entre la dynamique des calottes glaciaires et la circulation océanique aux hautes latitudes septentrionales. Nous suggérons plutôt un forçage externe impactant en premier lieu les régions des basses latitudes, dont l'effet se propageant via les circulations atmosphériques et océaniques, induit ainsi des changements climatiques sur l'ensemble du globe. Ce résultat a fait l'objet d'une nouvelle INSU (<https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/des-cycles-climatiques-dansgaard-oeschger-il-y-155-millions-dannees>) et d'une Actualité SU.

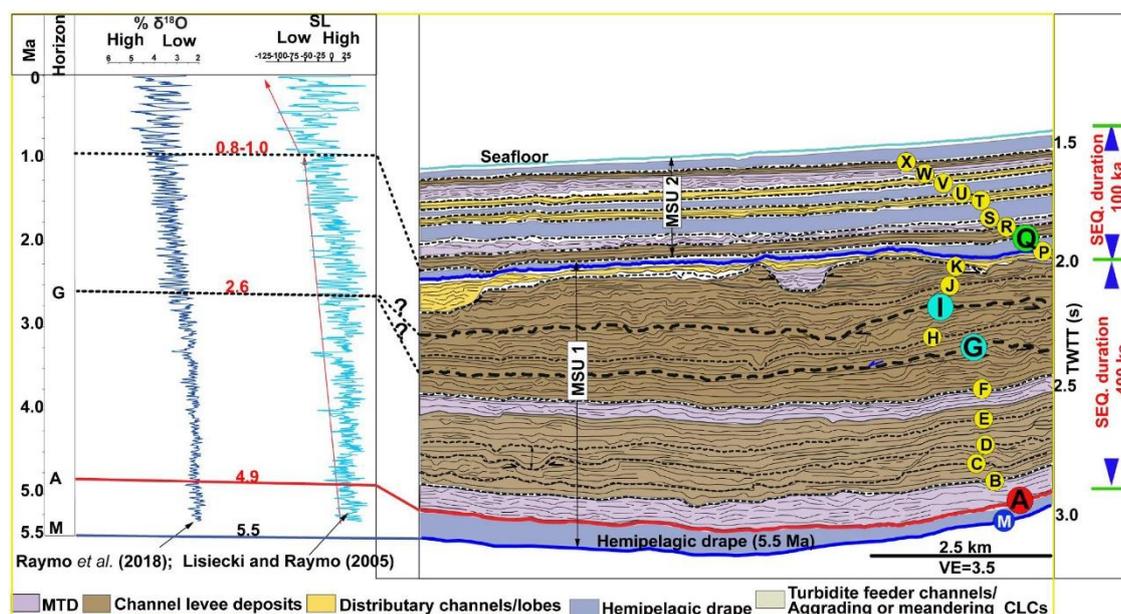


**Figure 27 :** a) Lithostratigraphie et mesure de la susceptibilité magnétique (MS) dans la zone à Lothari (Kimméridgien inférieur, ~155 Ma) sur la coupe de La Cluse (SE France). b) L'analyse spectrale et le passage du domaine stratigraphique (en m) au domaine temporel (en kyr) permet d'identifier des cycles de 1500 ans, très comparables aux cycles de type Dansgaard-Oeschger, jusqu'ici connus que dans le Quaternaire (Boulila et al., 2022).

D'autres résultats sur les variations paléoenvironnementales et paléoclimatiques cycliques et leurs implications en termes chronologique ou géodynamique ont été acquis dans le cadre de l'ANR Astro-Meso <https://anr.fr/Projet-ANR-19-CE31-0002> et de l'ERC Astro-Geo <https://cordis.europa.eu/project/id/885250/fr> par S. Boulila, G. Charbonnier et B. Galbrun, en partenariat avec l'observatoire de Paris (J. Laskar, PI)(portfolio PPB).

## Forçages eustatiques, climatiques et tectoniques de l'évolution des bassins sédimentaires

Les recherches menées le long des marges continentales ont permis de préciser avec un canevas temporel inédit, l'architecture du lobe occidental du delta du Niger et de mettre en évidence le rôle des zones transformantes dans le partitionnement des sédiments depuis le Crétacé jusqu'au Miocène moyen (Chima et al., 2021). Nos travaux ont aussi montré que depuis le Pliocène, la sédimentation dans le delta du Niger s'est principalement concentrée dans son lobe occidental, au détriment du lobe oriental. Un changement important dans les cyclicités climatiques dominantes, passant du cycle d'excentricité de 400 ka à celui de 100 ka à la transition mi-Pléistocène, marque également un changement drastique dans la sédimentation marquée par l'abandon de vastes systèmes de chenaux-levées à des alternances de drapages hémipélagiques entrecoupés par de profondes incisions de chenaux localisés dans la pente (Chima et al., 2020).



**Figure 28** : Interprétation d'une ligne sismique E-W provenant d'un bloc 3D sur la pente du delta du Niger occidental. Les marqueurs sismiques (notés de A à X) et les séquences de dépôt (MSU1 et MSU2) ont été corrélés avec les courbes du niveau marin. Notez la différence dans la séquence de dépôt avant et après la transition mi-Pléistocène (Chima et al., 2020).

Sur la marge amazonienne, une étude pluridisciplinaire intégrant stratigraphie séquentielle et sismique, cyclostratigraphie et astronomie a permis la détection dans les archives sédimentaires de cycles orbitaux de 4,7 et 9 Ma sur toute la période du Crétacé supérieur. Ces cycles ont été corrélés aux séquences eustatiques du 2<sup>ème</sup> ordre de la charte eustatique de référence (Boulila et al., 2020). Une approche source-to-sink basée sur la matière organique particulière dans le système turbiditique profond du Congo a permis de mettre en évidence l'importance des lobes terminaux comme piège final du carbone organique terrestre exporté par ce fleuve (Baudin et al., 2020).

### Equipe PGM2 (Pétrologie, Géochimie et Minéralogie Magmatiques)

**Responsable/Animateur de l'équipe** : Chrystèle Sanloup (2017-2018) – Hélène Balcone-Boissard (2018-2022)

**Chercheurs Permanents** H. Balcone-Boissard (MCU), C. Baudouin (MCU – recrutement 09/2022), O. Boudouma (IR), B. Caron (IR), P. D'Arco (PR), B. Dubacq (CR), C. Honthaas (MCU), A.-M. Lejeune (MCU détachement), E. Martin (MCU), Y. Noël (MCU détachement), M.-L. Pascal (CR – retraite 01/2018), C.

Sanloup (PR départ IMPMC - 01/2019), C. Wagner-Raffin (MCU émérite – 10/2017), B.Villemant (PR émérite – 01/2017).

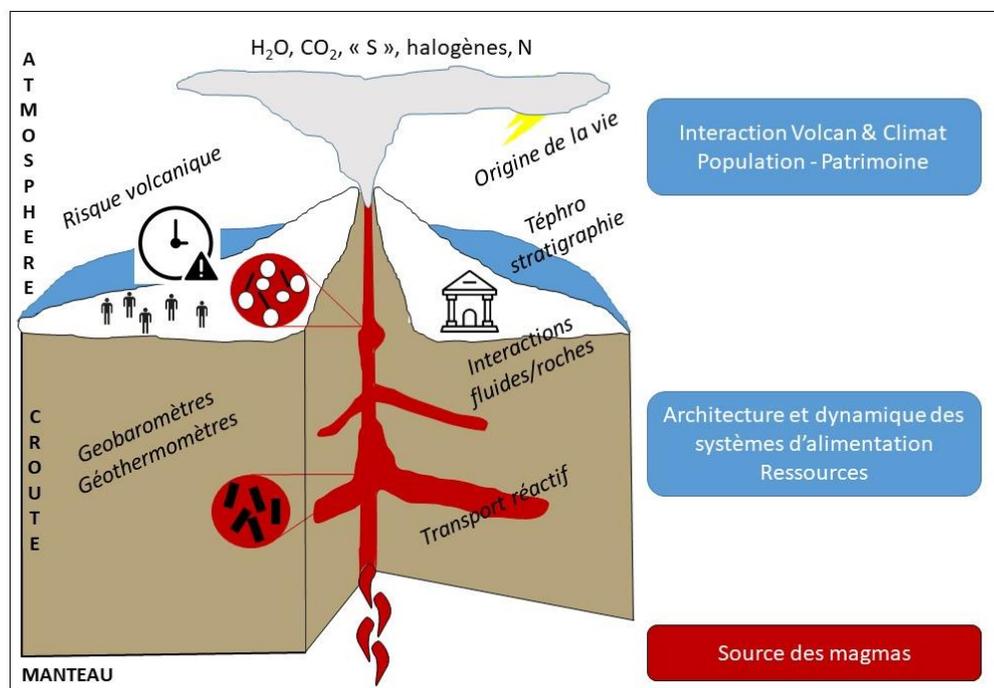
Soit 5 ETPR\* en 2022 (\* Noël et Lejeune en détachement sur une majeure partie de la période)

*Post-Doctorants et ATER* : G. Bonnet (2022), A. Aroskay (2022-2023)

*Doctorants en cours* : M. Dupont de Dinechin (2021 -), D. Contamines (2022 –)

*Thèses soutenues* : C. Solaro, A. Aroskay, T. d’Augustin, L. Ostorero, L. Masci, S. Figowy, G. del Manzo

L'équipe **PGM2** travaille sur divers aspects de la **Pétrologie Magmatique**, alliant les approches **Minéralogiques** et **Géochimiques**. Elle aborde les processus à (1) toutes les échelles d'espace, i.e. depuis l'atome (éléments, isotopes) jusqu'aux planètes telluriques, depuis le manteau jusqu'aux enveloppes fluides superficielles, notamment l'atmosphère et (2) sur différentes échelles de temps, de celle des temps géologiques (Archéen notamment) jusqu'à celle de la seconde (ascension des magmas).



**Figure 29** : Thématiques principales développées dans l'équipe PGM2

L'équipe s'intéresse aux processus crustaux et mantelliques ayant potentiellement des impacts sur les enveloppes fluides. Les thématiques abordées sont celles portant sur la pétrologie de la croûte et du manteau (genèse de la croûte continentale, partage des éléments traces, métasomatisme, dynamismes éruptifs), sur les interactions fluides-roches (métasomatisme, processus de dégazage des magmas, préservation des climats passés dans les encroûtements noirs des pierres de construction), comportement des éléments volatils en contexte magmatique (dégazage volcanique, conditions pré-éruptives, transports de métaux, halogènes, Li) et métamorphique (thermobarométrie, transport réactif, lien avec les déformations), et leurs implications en termes de ressources (du lithium aux métaux lourds) ou d'interactions avec l'atmosphère (interactions volcan-climat, chimie de l'atmosphère, azote volcanique).

Les études se conduisent principalement sur les zones de subduction actives ou passées (Petites Antilles, Québec), les ophiolites (Alpes, Québec), mais également sur des contextes intraplaques ou interaction dorsale/point chaud (Islande).

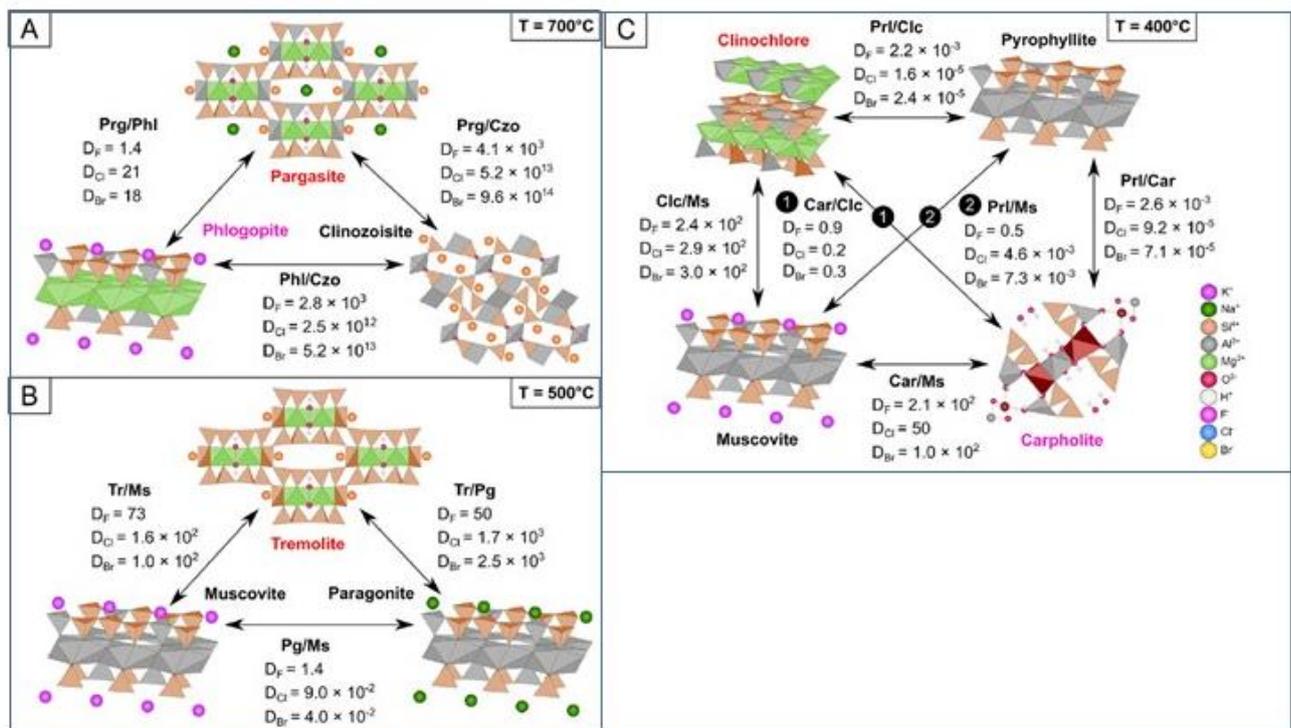
Les principaux axes abordés sont :

- Manteau terrestre / ophiolites : processus magmatiques et métasomatiques, interactions fluides / roches, déformation et lien avec l'obduction
- Stockage, évolution et ascension des magmas : l'architecture et la dynamique des magmas dans la croûte, les temps de stockage, les conditions pré-éruptives
- Eléments volatils : H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, espèces soufrées, halogènes, azote, en termes de comportement, émissions, interactions, notamment en lien avec l'apparition de la vie
- Matériaux : modélisation des structures à l'équilibre et de leurs défauts, préservation (archives paléoclimatiques)
- Ressources : oxydes de fer et/ou hydroxydes de fer, oxydes Fe-Mn et Cu-Aude gisements potentiels variés (BIF, porphyry copper, skarn..) dans des contextes géodynamiques complexes, azote volcanique, comportement du Li dans les magmas
- Aléa volcanique et volcano-climatique: définition d'une early-warning clock (**portfolio PGM2**), éruptions volcaniques, modification de la chimie de l'atmosphère, interaction volcan / climat, « pollution » volcanique, tephrochronologie
- Minéralogie : calcul ab initio, étude des propriétés thermodynamiques des minéraux, théorie du partage d'éléments-traces entre minéraux (**portfolio PGM2**)

De nouveaux champs d'application sont ainsi apparus à l'interface des sciences de la Terre, des sciences de l'environnement, sciences des matériaux ainsi que des sciences humaines.

### Incorporation et coefficients de partage des halogènes dans les silicates hydratés : approche ab initio

Il est important de comprendre comment les halogènes sont distribués parmi les silicates hydratés classiquement rencontrés dans la lithosphère pour contraindre leur cycle géochimique profond et les interactions fluide-roche dans les zones de subduction.



**Figure 30** : Estimation par modélisation ab initio du partage des halogènes (F, Cl, Br) entre des minéraux hydroxylés représentatifs des assemblages en zone de subduction. Les coefficients de partage  $D$  sont massiques. Les abréviations correspondent aux minéraux adjacents (Figowy et al., 2021).

La quantification de la distribution des halogènes dans les silicates hydroxylés des zones de subduction a été abordée par une modélisation ab initio et une analyse in situ. En quantifiant l'énergie requise pour l'incorporation des halogènes dans les minéraux, l'approche ab initio permet d'étudier l'impact de la cristallogénèse sur l'incorporation des halogènes (F-, Cl-, Br-) et d'estimer des coefficients de partage entre les silicates hydratés, y compris le mica, la chlorite, la serpentine, l'amphibole, l'épidote et la carpholite. Les estimations montrent que les défauts porteurs de F doivent être séparés d'au moins 9 Å les uns des autres pour reproduire le comportement des éléments traces, cette valeur augmentant à au moins 10 Å pour le Cl et le Br. Les résultats mettent ainsi en évidence la compétition entre les effets des interactions électrostatiques et de l'encombrement stérique pour l'incorporation des halogènes; l'encombrement stérique ayant une plus grande importance pour les halogènes lourds, en particulier pour le Br. Les résultats ont également montré que l'interaction avec les alcalins était un contrôle majeur pour l'incorporation de F, en particulier dans le mica. D'autres paramètres tels que l'occupation des sites octaédriques, le rapport Si/Al des sites tétraédriques et la nature des alcalins dans les amphiboles et le mica (K ou Na) semblent jouer des rôles subordonnés. Les coefficients de partage ont été estimés dans les assemblages minéraux pour être représentatif du métamorphisme en zone de subduction. Les résultats montrent que la pargasite, la biotite et lizardite sont des hôtes privilégiés pour les trois halogènes, suivis par le clinocllore, la trémolite et la carpholite. Ces différences de comportement sont à la source du fractionnement entre le fluor, le chlore et le brome et l'iode.

### Bilans des émissions volcaniques en halogènes, méconnues et sous-estimés dans les espèces modificateurs de la chimie de l'atmosphère à côté des espèces sulfurées.

La thèse de T. D'Augustin (2021) a permis pour la première fois de quantifier les émissions d'halogènes (F, Cl, Br) de volcans situés à différentes latitudes, mettant en jeu des magmas de composition variée (basique à différenciée), lors d'éruption émettant des volumes variables. Une étude détaillée et statistique des inclusions vitreuses piégées dans les cristaux présents dans les produits émis ont permis de quantifier les teneurs d'éléments volatils avant une éruption.

L'analyse ponctuelle des verres résiduels sur les produits émis lors de l'éruption a permis de quantifier les teneurs en éléments volatils qui sont restées piégées dans le magma lors de l'éruption. Par différence, il est possible d'estimer la quantité émise dans l'atmosphère. Ce travail pose les premières données nécessaires pour comprendre l'influence des émissions volcaniques sur la chimie de l'atmosphère. Ce travail est en cours suite à la thèse en collaboration avec S. Bekki du LATMOS.

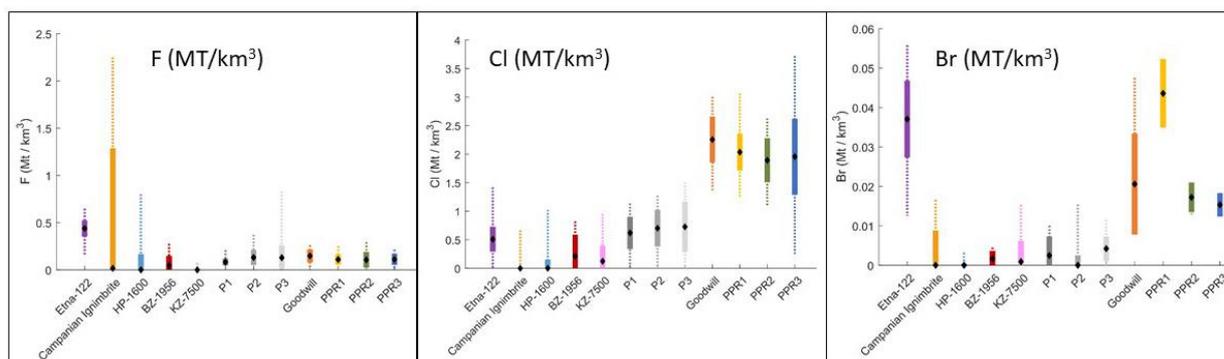
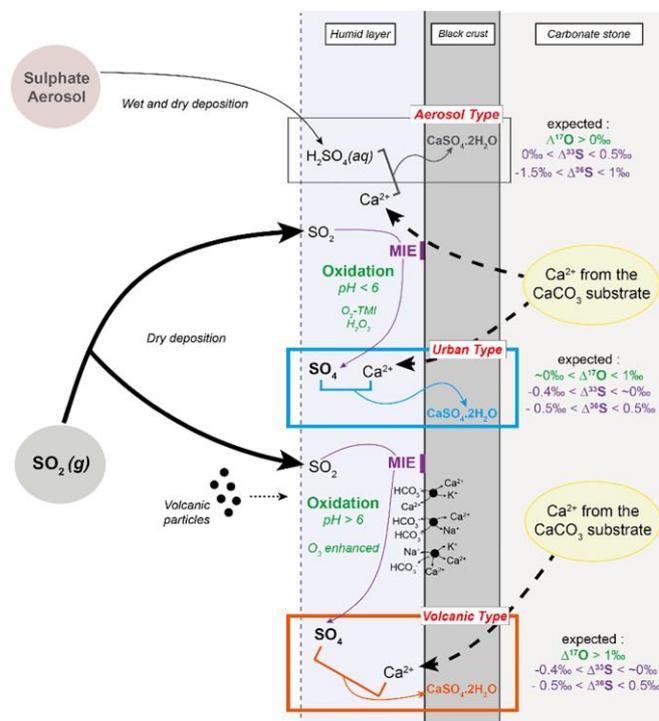


Figure 31 : Bilans de dégazage des éruptions en zone de subduction étudiées. Les valeurs sont normalisées par rapport au volume de magma émis. Le diamant noir correspond à l'estimation moyenne ; la ligne de couleur unie correspond à l'intervalle d'estimation "moyenne +  $\sigma$ " à "moyenne -  $\sigma$ " ; la ligne de couleur pointillée correspond à l'intervalle d'estimation maximum à minimum. Etna-122: l'éruption de l'an 122 de l'Etna (Italie), Campanian Ignimbrite: l'éruption des champs Phlégréens de l'Ignimbrite Campanienne, HP - 1600 : l'éruption de 1600 du Hyanaputina; BZ-1956; l'éruption de 1956 du Bezymianny (Russie); KZ - 7500: l'éruption de 7500 du Kizimen (Russie); P1, P2 et P3: les éruptions dites P1, P2 et P3 de la Montagne Pelée (Martinique); Goodwill, PPR1, PPR2 et PPR3: 4 éruptions du Morne Trois Pitons - Micotrin (Dominique)

## Les encroûtements noirs : nouvelle archive de la chimie atmosphérique locale.

Cette thématique allie géosciences et patrimoine. La détérioration des matériaux en pierre des monuments ou des bâtiments est principalement due à la croissance d'encroûtements noirs qui provoquent le noircissement et la désagrégation de la surface exposée. Les encroûtements noirs, composés de gypse, sont issus de l'oxydation du  $\text{SO}_2$  atmosphérique (origine anthropique, volcanique ou marin typiquement) déposé sur les murs par des oxydants atmosphériques locaux dans un film humide sur la pierre de construction. L'étude (Aroskay et al., 2021) fait suite à une étude sur les encroûtements noirs se formant sur les murs en calcaire des bâtiments dans le Bassin Parisien (Genot et al. 2020). Cette étude repose sur des signatures isotopiques en oxygène ( $\delta^{17}\text{O}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\Delta^{17}\text{O}$ ) et en soufre ( $\delta^{33}\text{S}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\delta^{36}\text{S}$ ,  $\Delta^{33}\text{S}$  et  $\Delta^{36}\text{S}$ ). Ces mesures sont utilisées pour identifier l'influence possible des émissions volcaniques sur la formation des encroûtements noirs. En effet, leur composition multi-isotopique en S et de O permet de discuter précisément des voies d'oxydation du  $\text{SO}_2$  en milieu plus ou moins urbanisé donc affectée par la pollution anthropique et sous l'influence des airs marins ou de panaches volcaniques par exemple.

Les encroûtements noirs étudiés en Sicile ont principalement été recueillis sur des pierres de construction carbonatées provenant de différents environnements (environnements côtiers, ruraux, urbains et volcaniques). Cette étude confirme les résultats obtenus dans le Bassin Parisien : les bâtiments de construction échantillonnés en Sicile sont soumis à diverses sources d'émissions de soufre (marines, anthropiques et volcaniques). Les signatures en  $\delta^{34}\text{S}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  montrent que le soufre des encroûtements noirs provient principalement de sources anthropiques. De plus la signature en  $\Delta^{33}\text{S}$  confirme que les sulfates des encroûtements ne résultent pas du dépôt d'aérosols sulfatés ou d'eau de pluie mais surtout de l'oxydation du  $\text{SO}_2$  déposé à sec sur le substrat de pierre. Les plus grandes anomalies en  $\Delta^{17}\text{O}$  sont mesurées dans les encroûtements échantillonnés sous le vent d'un volcan actif (Mt Etna), ce qui démontre la forte implication de l'ozone dans la formation des encroûtements noirs dans les environnements influencés par les volcans. Ceci constitue finalement une nouvelle archive de la chimie atmosphérique actuelle.

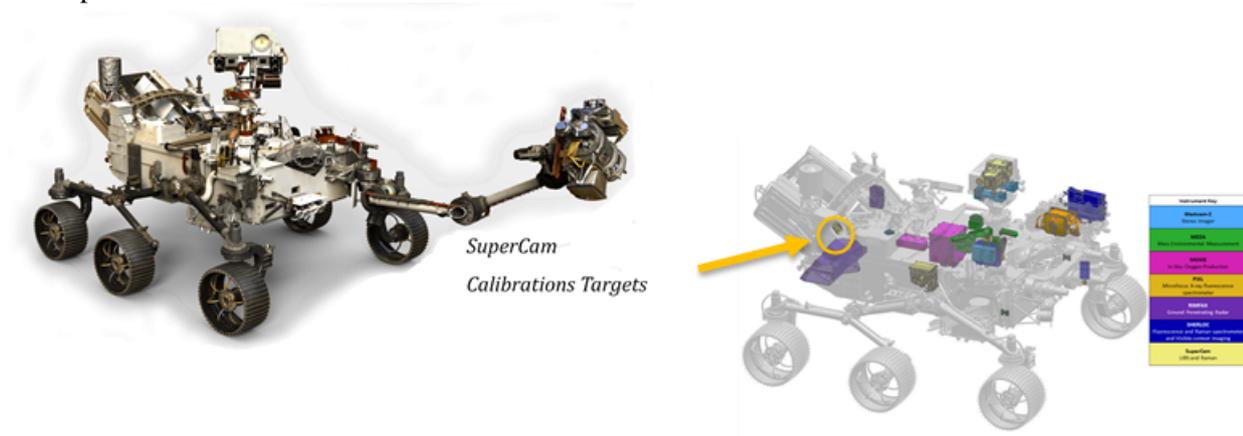


**Figure 32 :** Schéma des mécanismes possibles de formation des encroûtements noirs. Les deux précurseurs de soufre possibles pour la formation des encroûtements noirs sont présentés sur le côté gauche. La partie centrale décrit les mécanismes possibles opérant à la surface de la pierre carbonatée et la partie droite montre les anomalies isotopiques S- et O attendues. Le  $\text{SO}_2$  d'origine marine, anthropique ou volcanique subit soit une oxydation dans l'atmosphère pour former des aérosols sulfatés (le sulfate d'eau de pluie est inclus) qui peuvent ensuite se déposer sur la paroi humide, soit un dépôt sec sur la paroi humide. Ceci conduit à deux mécanismes possibles de formation du gypse via 1/ la réaction entre l'acide sulfurique déposé et le calcium de la pierre carbonatée, ce qui donne le gypse de type aérosol mais certainement un processus de formation

mineur selon la composition isotopique de la croûte noire (rectangle noir en haut) ; et 2/ la réaction entre le sulfate formé par l'oxydation du  $\text{SO}_2$  déposé sur la surface de la pierre humide et le calcium du substrat de pierre carbonatée, qui semble être le processus dominant de formation du gypse selon la composition isotopique de la croûte noire, donnant lieu au gypse de type urbain (rectangle bleu) ou au gypse de type volcanique (rectangle orange) selon l'influence volcanique.

## Calibration des standards SuperCam du rover Perseverance MARS 2020.

Le rover Perseverance explore le cratère Jezero sur Mars depuis février 2021. L'instrument SuperCam fait partie de la charge utile scientifique, combinant cinq techniques différentes afin de caractériser les cibles à échantillonner : LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy), Spectroscopies Raman et Visible et Infrarouge (VISIR), enregistreurs sonore et d'images colorées. Trente-six cibles d'étalonnage ont été développées pour cet instrument. Vingt-trois de ces cibles de calibration sont dédiées à la technique LIBS, et correspondent à des roches et/ou minéraux.



**Figure 33** : Position de la SuperCam calibrée à l'ISTeP sur le rover Perseverance MARS 2020.

Les spectroscopies Raman et VISIR ont leurs propres cibles d'étalonnage mais peuvent également utiliser les cibles minérales LIBS comme référence sur Mars pour tester les détections de minéraux. Le choix et la fabrication de ces cibles d'étalonnage sert à répondre aux intentions scientifiques de la mission, ainsi qu'aux intentions techniques et scientifiques de chacune des techniques SuperCam. Ces cibles d'étalonnage ont été caractérisées spectralement et se sont révélées chimiquement homogènes à l'échelle SuperCam LIBS. Leurs compositions élémentaires sont données, à l'aide de deux différentes méthodes quantitatives (EPMA et LA-ISP-MS/MS). ALIPP6 a analysé et certifié la composition des 36 étalons. La composition des cibles d'étalonnage sert de référence pour les évaluations quantitatives de la technique SuperCam LIBS.

### 3.2 Axes et chantiers transverses

La recherche de l'Unité est également conduite via des axes transverses (chronologiquement « Géosciences marines », puis « Aléas » et « Transition ») et un chantier transverse (Méditerranée) présentées succinctement ci-après et en détail en [Annexe 1](#).

#### Axe transverse 1 : Géosciences marines

Les géosciences marines représentent depuis maintenant plusieurs années une thématique de recherche importante partagée par plusieurs membres des différentes équipes. La création d'un axe sur cette thématique était évidente afin de développer et de renforcer les compétences, le savoir-faire et les collaborations dans ce domaine et de valoriser la participation aux différentes missions sur les flottes océanographiques côtières, hauturières ou de forages profonds (IODP).

Les travaux de recherche ont été orientés selon 2 thématiques principales :

- la formation et l'évolution de marges continentales et des bassins océaniques : cette thématique de recherche principalement sur une approche tectono-sédimentaire et s'intéresse à la formation et à la déformation des

bassins océaniques (transition océan-continent, réactivation/inversion, failles actives, processus de fond de mer tels que les glissements sous-marins ou échappement de fluides).

- l'évolution du cycle du carbone et de la matière organique en domaine marin : cette thématique de recherche, basée sur une approche sédimentaire et géochimique, s'intéresse à l'évolution du cycle du carbone (matière organique, hydrates de gaz) dans les sédiments marins, à partir d'exemples actuels et passés en lien avec les cycles climatiques.

## **Axe transverse 2 : Aléas (sismique, gravitaire/hydro-climatique, volcanique)**

Au sein de l'ISTeP, de nombreux travaux portent sur l'aléa sismique, volcanique, gravitaire, de submersion et sédimentaire. Ces aléas sont rarement isolés, l'aléa volcanique ou sismique pouvant par exemple engendrer des instabilités gravitaires (Llopart et al., 2021 ; d'Acremont et al., 2022 ; Villemant et al., 2022), les séismes et instabilités gravitaires marines des tsunamis (Basquin et al., 2021) et les aléas hydro-météorologiques des aléas gravitaires (Elkharrat et al., 2021) et même sismiques (Jeandet et al., 2020). L'aléa volcanique peut quant à lui avoir des répercussions climatiques. Comme révélé par de récents événements (ex : Tempête Alex - Vallée de la Roya, **portfolio PPB**), l'augmentation de la fréquence d'événements hydro-météorologiques liés au dérèglement climatique va engendrer une augmentation de la fréquence de ces aléas telluriques, et requiert une meilleure compréhension des ces phénomènes et de leurs interactions.

Les tremblements de terre, les tsunamis et glissements de terrain sous-marins étudiés sont des événements qui peuvent avoir de lourdes conséquences pour les communautés côtières. Les avancées développées dans cet axe permettront d'identifier et de discuter de la cyclicité et des facteurs de causalité des glissements gravitaires, des séismes et des événements climatiques extrêmes. Les résultats amélioreront certainement l'évaluation globale des géo-risques des fonds marins, en particulier en mer Méditerranée, ce qui est indispensable pour la croissance durable de l'"économie bleue" et pour la sécurité des établissements côtiers qui connaissent une augmentation continue des populations et des activités économiques.

Etant donné les forces en présence au sein du laboratoire, l'objectif de cet axe a consisté à dynamiser les échanges et à faire naître des projets transverses afin d'une part de mieux comprendre les interactions entre ces différents aléas par l'observation, et d'autre part d'apporter une compréhension physique à ces processus tout en augmentant la visibilité de l'implication de la recherche de l'UMR dans les enjeux sociétaux, en vue de fédérer les forces en vue des appels d'offre à venir (PEPR IRIMA, par exemple).

## **Axe transverse 3 : Transition (enjeux et rôles des géosciences dans la transition)**

Les géo-scientifiques jouent un rôle primordial dans la transition énergétique et environnementale. L'identification et la quantification des processus générateurs d'énergies renouvelables, notamment la géothermie ou les gaz non HC (hydrogène, hélium), le stockage de l'énergie ainsi que des déchets passent entre autres par une parfaite compréhension du sous-sol. La tension sur les marchés mondiaux de beaucoup de matières premières oblige à se poser la question de nos sources d'approvisionnement. De même, la résilience du patrimoine construit au changement climatique demande une parfaite connaissance des propriétés des géomatériaux. Tous ces sujets nous poussent à revoir notre sous-sol autrement.

Les collaborateurs de l'ISTeP se sont engagés dans la thématique de la transition à travers plusieurs chantiers de recherche fondamentale qui participent à asseoir ces connaissances.

Sur les aspects géothermiques, en particulier HT, les travaux permettent de caractériser par la mesure et de mieux comprendre par la modélisation comment les processus lithosphériques et mantelliques, la tectonique et la construction du relief influencent la thermicité du socle et les circulations de fluides chauds dans la croûte terrestre et les bassins sédimentaires. L'imagerie sismique permet de caractériser les failles crustales à lithosphériques pouvant être le lieu de circulations de fluides dans différents contextes géodynamiques. Enfin l'interaction fluide/roche va entraîner dissolution et dépôt et pour certains éléments comme l'hydrogène, la génération. La Méditerranée offre de parfaits laboratoires naturels pour étudier les gisements géothermaux

actifs et passés. Les gisements géothermaux actifs en Turquie occidentale et leurs analogues fossiles cycladiques seront étudiés à plusieurs échelles afin de comprendre la genèse et l'évolution d'un gisement géothermal à travers ses circulations de fluides et son empreinte thermique. Le gisement actif de Larderello et son équivalent passé de l'île d'Elbe formeront un second atelier potentiel.

Sur les aspects ressources naturelles, les travaux portent sur la prospection d'hydrogène naturel, sur la prospection du lithium et autres métaux rares associés aux interactions fluides-roches dans un contexte géothermique mais aussi dans le contexte de la relance de l'extraction minière en Europe. Pour le Li, les cibles sont la chaîne Varisque (Massif Central et Portugal) et le rift ouest-européen. En métropole, deux permis d'exploration de l'hélium viennent d'être donnés et une mine de lithium va être ouverte. La collègue jeune recrutée (C. Baudouin) a récemment apporté son expertise sur les processus concentrateurs de lithium dans les magmas alcalins.

Sur les aspects stockage de déchets/séquestration du CO<sub>2</sub>, nous étudions les capacités de stockage du carbone organique dans les sols agricoles et forestiers (**portfolio Unité**).

Enfin, les études des paléoclimats et de l'évolution de la pollution atmosphérique et notamment de son enregistrement dans les encroûtements noirs qui se forment sur les pierres de construction nous permettent non seulement de participer à la caractérisation de la transition, mais aussi de proposer des solutions pour une meilleure résilience au changement.

## **Chantier transverse Méditerranée**

La Méditerranée est depuis de nombreuses années le lieu des travaux des équipes de l'ISTeP qu'il s'agisse de recherches en tectonique/géodynamique à toutes les échelles ou sur la dynamique des bassins sédimentaires. Au cours des années récentes les thèmes des aléas naturels (sismique, gravitaire, climatiques, volcaniques) et des ressources énergétiques (géothermie) sont rentrés dans le cœur des préoccupations du laboratoire avec des travaux onshore ou offshore sur des exemples méditerranéens.

### *Pourquoi ce chantier ?*

- (1) La Méditerranée est un objet tectonique en soi avec sa propre dynamique contrôlée par le comportement des panneaux plongeants dans le manteau sous-jacent et elle est également un laboratoire naturel international sans égal pour étudier les processus géodynamiques (subduction, collision, liens avec la convection mantellique)
- (2) La Méditerranée est un ensemble partiellement fermé, donc particulièrement bien adapté aux recherches sur l'origine et le devenir des sédiments (approche source-to-sink, bilans sédimentaires).
- (3) La crise de salinité messinienne, et la formation d'un géant salifère, permet d'avoir un marqueur de la déformation essentielle à une époque de grands changements tectoniques aux frontières de plaques (Tortonno-Messinien)
- (4) la qualité des affleurements est exceptionnelle dans la plupart des régions méditerranéennes et permet de rentrer dans le détail des processus dynamiques comme dans peu d'autres régions du globe.
- (5) La densité et la qualité des données géologiques et géophysiques disponibles, le corpus de connaissances acquises, sont sans égal. Les chaînes et les bassins méditerranéens ont fait l'objet de recherches depuis l'aube des sciences géologiques et certaines régions comme les Alpes, les Pyrénées, le Golfe du Lion ou la Mer d'Alboran sont parmi les plus étudiées au monde.
- (6) le contexte géodynamique est certes complexe mais déjà suffisamment bien compris pour servir de cadre à des recherches sur la genèse des aléas sismique, gravitaire, climatique ou volcanique comme peu de régions le sont.
- (7) L'expérience historique de l'ISTeP dans cette région est très grande et servira à la réalisation et la conceptualisation de nouveaux projets sur les thèmes émergents de l'Unité (aléas et ressources).

(8) La région méditerranéenne, par son exceptionnelle richesse en coupes (à l’affleurement et forages carottés ou non), est une source d’informations de premier ordre sur l’évolution des environnements et notamment du climat.

(9) La Méditerranée est donc un chantier commun idéal pour susciter des discussions en interne afin que chaque nouveau projet bénéficie de l’expérience des projets passés et des chercheurs de différentes spécialités. La mise en commun des connaissances des membres de l’équipe sur cette région fournit un cadre scientifique et humain sans équivalent, pour les C et C comme pour les M2, thésards et post-doc.

(10) La Méditerranée est également un chantier idéal pour mettre en œuvre la pluridisciplinarité caractéristique de l’ISTeP.

### Les thématiques scientifiques :

#### **1 : Tectonique et géodynamique**

Géodynamique à l’échelle de la Méditerranée : dynamique de subduction/collision, dynamique des domaines arrière-arc, interactions géodynamique/magmatisme/fluides

Reconstructions paléo-cinématiques et paléogéographiques : interactions entre tectonique et forçages climatiques, Paléo-environnements

Dynamique des orogènes : construction des prismes orogéniques et variations spatiales le long des chaînes en fonction de l’hétérogénéité de la croûte et de la lithosphère (héritage)

Dynamique du rifting aux différentes époques, qu’il s’agisse de l’histoire téthysienne ou de l’histoire proprement méditerranéenne

#### **2: Formation et déformation des bassins sédimentaires**

Mécanismes de la subsidence : domaines en extension et bassins d’avant-pays

Processus sédimentaires, source-to-sink : la Méditerranée est un bassin en partie fermé, ce qui permet des bilans sédimentaires dans un cadre bien contraint que l’on peut relier à la dynamique grande échelle (dynamique mantellique et topographie dynamique), interactions entre forçages climatiques et tectoniques.

Tectonique salifère : déformation des avant-pays et prise en compte de la dynamique induite par la présence de niveaux salifères sur la propagation des fronts orogéniques. Estimation des déformations proprement liées à la dynamique salifère par rapport aux déformations purement tectoniques.

Tectonique gravitaire : Mécanismes des glissements en masse dans les bassins, description géométrique et cinématique, compréhension des processus de genèse.

#### **3: Aléas (voir axe transverse Aléas)**

#### **4 : Interactions fluides-roches, fluides-tectonique à différentes échelles**

Ces interactions sont fondamentales dans les recherches sur les mécanismes rhéologiques qui contrôlent les processus tectoniques à toutes les échelles, et gèrent la concentration des ressources minérales et énergétiques.

L’expérience de longue date de l’ISTeP sur le métamorphisme HP-BT dans les chaînes péri-méditerranéennes est une chance pour mieux comprendre la dynamique de formation des orogènes et la dynamique de subduction, voire la genèse des séismes (des événements à forte magnitude aux séismes lents). Les interactions fluide-roche sont également à la base des travaux sur la concentration des ressources métalliques au cœur des metamorphic core complexes en domaine arrière-arc, des gîtes métallifères qui sont des réservoirs géothermaux profonds fossiles. Le même type de travaux sont envisagés pour l’hydrogène naturel dans les domaines de socle ancien ou de manteau exhumé.

#### **5 : Archéologie et géologie**

L’ouverture des travaux de l’ISTeP vers la géoarchéologie méditerranéenne est déjà entamée (thèse de M. de Vals). La combinaison de la présence de sites archéologiques emblématiques sur tout le pourtour méditerranéen et de l’expérience géologique régionales du laboratoire est un atout exceptionnel. Les résultats probants obtenus sur la région égéenne sont très appréciés des archéologues et leur fournissent des perspectives d’approche nouvelles pour mieux comprendre l’histoire de ces sites antiques.

#### **6. Paléoenvironnements et paléoclimat**

Enregistrement des modifications paléoenvironnementales (milieux marins et continentaux) et paléoclimatiques à travers les archives sédimentaires extrêmement abondantes : études palynologiques, paléontologiques, géochimiques.

## 4- Profil d'activités liées à la recherche

### A l'échelle de l'Unité

<b>Administration et animation de la recherche</b> : pilotage de la recherche (VP, direction d'institut, DAS, par exemple), participation à des instances d'évaluation (CNU, CoNRS, CSS, Hcéres, par exemple), responsabilité de dispositifs Idex ou Isite, direction de projets (ANR, Horizon Europe, ERC, CPER, PIA, France 2030, par exemple), responsabilités éditoriales dans des revues ou collections nationales et internationales ( <b>portfolio Unité</b> ).	<b>20</b>
<b>Aide aux politiques publiques et expertise technique</b> : pouvoirs publics aux niveaux européen, national et régional, entreprises, instances internationales comme FAO, OMS, etc.	<b>2,5</b>
<b>Contribution à l'adossement d'enseignements innovants à la recherche : (portfolio Unité)</b>	<b>2,5</b>
<b>Dissémination de la recherche</b> : partage de connaissances avec le grand public, médiation scientifique, interface sciences et société.	<b>7,5</b>
<b>Recherche et encadrement de la recherche.</b>	<b>65</b>
<b>Valorisation, transfert, innovation.</b>	<b>2,5</b>

### Equipe DEMO

<b>Administration et animation de la recherche</b> : pilotage de la recherche (VP, direction d'institut, DAS, par exemple), participation à des instances d'évaluation (CNU, CoNRS, CSS, Hcéres, par exemple), responsabilité de dispositifs Idex ou Isite, direction de projets (ANR, Horizon Europe, ERC, CPER, PIA, France 2030, par exemple), responsabilités éditoriales dans des revues ou collections nationales et internationales ( <b>portfolio unité</b> ).	<b>15-20</b>
<b>Aide aux politiques publiques et expertise technique</b> : pouvoirs publics aux niveaux européen, national et régional, entreprises, instances internationales comme FAO, OMS, etc.	<b>0</b>
<b>Contribution à l'adossement d'enseignements innovants à la recherche</b>	<b>5</b>
<b>Dissémination de la recherche</b> : partage de connaissances avec le grand public, médiation scientifique, interface sciences et société.	<b>5-10</b>
<b>Recherche et encadrement de la recherche.</b>	<b>70-75</b>
<b>Valorisation, transfert, innovation.</b>	<b>0</b>

## Equipe PPB

<b>Administration et animation de la recherche</b> : pilotage de la recherche (VP, direction d'institut, DAS, par exemple), participation à des instances d'évaluation (CNU, CoNRS, CSS, Hcéres, par exemple), responsabilité de dispositifs Idex ou Isite, direction de projets (ANR, Horizon Europe, ERC, CPER, PIA, France 2030, par exemple), responsabilités éditoriales dans des revues ou collections nationales et internationales ( <b>portfolio Unité</b> ).	<b>10</b>
<b>Aide aux politiques publiques et expertise technique</b> : pouvoirs publics aux niveaux européen, national et régional, entreprises, instances internationales comme FAO, OMS, etc.	<b>0</b>
<b>Contribution à l'adossement d'enseignements innovants à la recherche</b> : EUR, SFRI, etc.	<b>0</b>
<b>Dissémination de la recherche</b> : partage de connaissances avec le grand public, médiation scientifique, interface sciences et société.	<b>7,5</b>
<b>Recherche et encadrement de la recherche.</b>	<b>75</b>
<b>Valorisation, transfert, innovation.</b>	<b>7,5</b>

## Equipe PGM2

<b>Administration et animation de la recherche</b> : pilotage de la recherche (VP, direction d'institut, DAS, par exemple), participation à des instances d'évaluation (CNU, CoNRS, CSS, Hcéres, par exemple), responsabilité de dispositifs Idex ou Isite, direction de projets (ANR, Horizon Europe, ERC, CPER, PIA, France 2030, par exemple), responsabilités éditoriales dans des revues ou collections nationales et internationales ( <b>portfolio Unité</b> ).	<b>10</b>
<b>Aide aux politiques publiques et expertise technique</b> : pouvoirs publics aux niveaux européen, national et régional, entreprises, instances internationales comme FAO, OMS, etc.	<b>2,5</b>
<b>Contribution à l'adossement d'enseignements innovants à la recherche</b> : EUR, SFRI, etc.	<b>0</b>
<b>Dissémination de la recherche</b> : partage de connaissances avec le grand public, médiation scientifique, interface sciences et société.	<b>7,5</b>
<b>Recherche et encadrement de la recherche.</b>	<b>72,5</b>
<b>Valorisation, transfert, innovation.</b>	<b>7,5</b>

## 5- Environnement de recherche

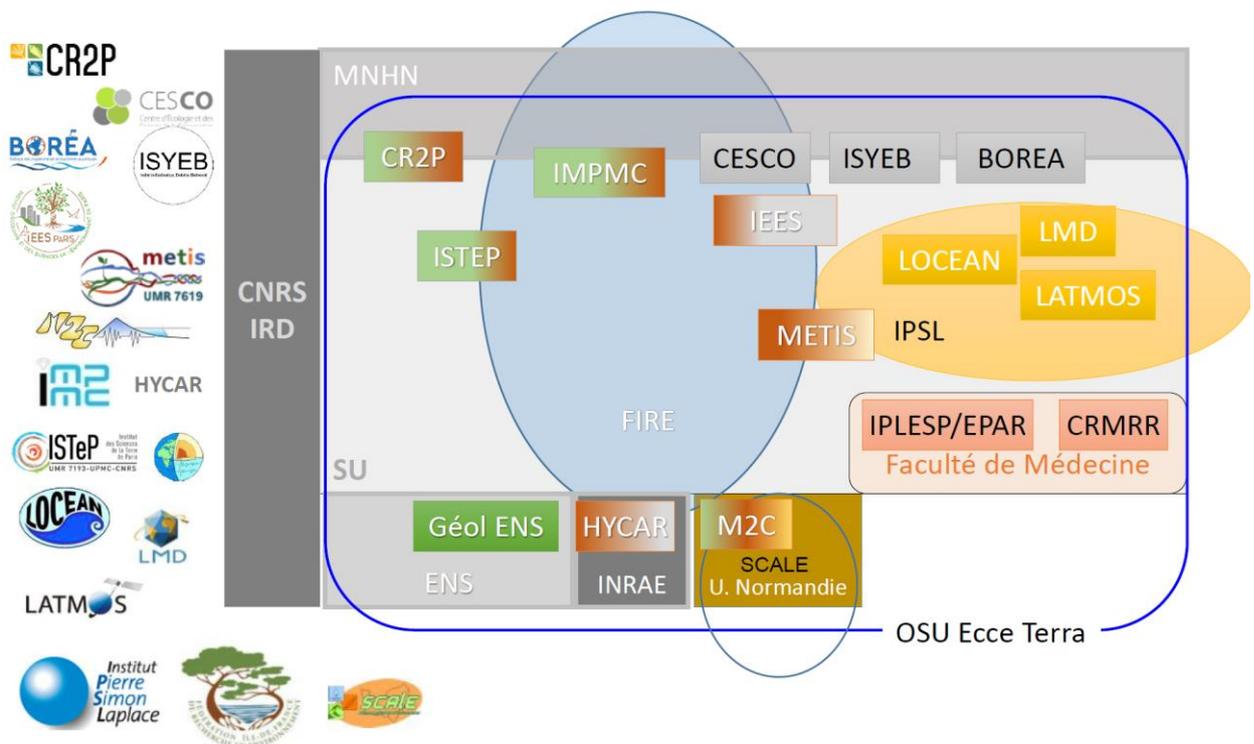
L'ISTeP est l'une des 72 UMRs qui composent la Faculté des Sciences et Ingénierie de Sorbonne Université. La construction récente de la Faculté a conduit à une recombinaison des unités de recherche non plus par pôle thématique (4 pôles existaient lors de l'ex UPMC) mais par 8 aires disciplinaires : chimie, électronique, informatique, mathématiques, mécanique, physique, Sciences du vivant et Terre-Environnement-Climat ; l'ISTeP est rattaché à cette dernière.

A l'échelle locale, l'ISTeP fait partie de l'UFR 918 Terre, Environnement, Biodiversité qui regroupe 11 laboratoires qui complètent les champs disciplinaires par les géosciences, les sciences du climat, de

l'océan, de l'atmosphère, l'environnement, la biologie des organismes et l'écologie. Ces mêmes unités appartiennent à un ensemble plus vaste, l'OSU Ecce Terra dont les tuelles principales sont Sorbonne Université et l'INSU-CNRS. Contrairement à d'autres politiques de sites universitaires, l'UFR TEB et l'OSU Ecce Terra n'ont pas fusionné et un fonctionnement conjoint a été privilégié, tout en respectant les prérogatives des deux entités.

Ainsi l'animation scientifique, les missions d'observations, l'animation des plateformes analytiques sont portés par l'OSU à travers une commission scientifique conjointes à l'UFR TEB et une commission des services (CoS) pour l'analyses des moyens des plateformes. Les moyens humains demandés auprès de Sorbonne Université sont pilotés par le CA de l'UFR TEB lors de la révision des effectifs. Les demandes d'EC et de IATSS exprimés par les laboratoires sont discutées en amont dans les CE, CS ou la COS.

L'ISTeP articule donc sa politique scientifique au sein des différents conseils et commissions de l'UFR et de l'OSU, en particulier pour le fonctionnement et le développement des plateformes d'analyses, la définition des priorités des profils de postes techniques et la révision des effectifs d'EC.



SU – CNRS – MNHN – IRD – ENS – INRAE

**Figure 34 : Environnement de recherche de l'ISTeP**

L'ISTeP est représenté au conseil de l'OSU, instance statutaire réunissant des membres élus issus des laboratoires et équipes associées, et des membres nommés extérieurs à l'OSU, représentant la recherche (3 personnalités), les tutelles et le monde économique. Le conseil de direction réunit les directeurs des laboratoires et équipes, des deux fédérations de recherche IPSL et FIRE et de l'UFR TEB avec la direction de l'OSU. C'est une instance de définition de la stratégie et d'échange d'informations. Le conseil

scientifique regroupe les membres de la Commission Recherche de l'UFR TEB, un membre désigné par le laboratoire de Géologie de l'ENS, un membre désigné par les deux équipes de médecine, trois représentants de la Commission des Services, la direction de l'OSU et les directeurs d'Unités. Le conseil contribue notamment à la politique scientifique de l'OSU par l'identification des priorités d'animation et de formation. La commission des services (COS) réunit des représentants des trois types de services AOC : plateformes analytiques (A), services d'observation (O), outils de calcul et de gestion de données (C). Les différents sites (ENS, MNHN, IRD/Bondy, Campus Pierre et Marie Curie) y sont représentés. Elle organise le fonctionnement des services, analyse les besoins et priorités de moyens et personnels.

L'UMS OSU Ecce Terra et la CoS ont pour objectifs de soutenir les plateformes en cas de problèmes et de pannes, mais également de permettre à ces dernières de se développer et de rester à la pointe technologique par des investissements lourds co-financés et des investissements plus modérés toujours co-financés. La plupart des équipements et instruments de ou impliquant les plateformes de l'ISTeP (Caractérisation et analyses pétrologiques, AMOS, Géophysique-SIG, Rhéolith-Calculs, ALIPP6, CAMPARIS) sont gérés financièrement un personnel administratif de l'UMS OSU Ecce Terra. Pour avoir une meilleure gestion des équipements et plateformes analytiques à l'échelle de l'ISTeP, un pôle regroupant toutes les plateformes a été créé et mis sous la responsabilité de la DU-adjointe Hélène Balcone. Elle est assistée d'un directeur technique (B. Caron, IR SU), qui assure la liaison avec les plateformes de l'OSU, le responsable des plateformes de SU et les services de l'INSU.

Les chercheurs de l'ISTeP sont impliqués à différents niveaux au sein de l'OSU Ecce Terra et de la Commission des Services (CoS) depuis leur création, et cet investissement perdure avec des membres au sein du Conseil Scientifique de l'OSU Ecce Terra et des membres élus dans chaque branche de la CoS AOC. L'ISTeP est très impliqué au sein de l'UFR 918 et de l'OSU ECCE TERRA, puisque Loïc Ségalen (PU ISTeP) est le directeur unique de ces 2 entités. Benoît Dubacq (CR CNRS) est le président de la CoS. L. Le Pourhiet (PU ISTeP) est membre de la COS pour le pôle Calcul. Par ailleurs, plusieurs collègues de l'ISTeP sont également membres des commissions de la recherche, commission des enseignements et conseil de l'UFR (**portfolio Unité**).

### Contribution à un champ de recherche

L'Alliance Sorbonne Université regroupe dix établissements couvrant tous les champs disciplinaires des lettres, de la médecine, des sciences et ingénierie, de la technologie et du management (Sorbonne Université, MNHN, Insead, UTC, PSPBB et France Education International, CNRS, Inserm, Inria et IRD. L'alliance SU s'est dotée d'Instituts et initiatives thématiques pluridisciplinaires. Associant plusieurs établissements, les instituts ont vocation à faire travailler ensemble plusieurs disciplines, s'affranchissant des divisions classiques, et permettant ainsi de donner aux chercheurs d'horizons différents l'opportunité de confronter leurs savoirs et leurs expériences. Ces instituts sont financés en partie par l>IDEX et en partie par des financements externes sur projet (ANR, Commission Européenne, partenaires industriels, etc.).

L'ISTeP contribue significativement à la recherche faite dans les Instituts de l'Alliance SU, ce qui se traduit par un soutien financier (financement de travaux et de thèses). Les interactions entre ISTeP et Instituts concernent notamment l'Institut de la Transition Environnementale ITE (via l'axe transverse Transition de l'ISTeP), l'Institut de Sciences des matériaux IMat, l'Institut de l'Océan et l'Institut des Sciences du Calcul et des Données (ISCD) (via les campagnes océanographiques, les projets STORY et ALBORAN, voir axes transverses Géosciences marines et Aléas, **portfolio PPB** et **portfolio Unité**), Sorbonne Center for Artificial Intelligence SCAI (via le projet SOUND.AI, **portfolio Unité**)

En terme de synergies scientifiques en champ proche, l'ISTeP a des collaborations, projets communs et/ou thèses co-encadrées avec les laboratoires adjacents, qu'ils soient sous tutelles SU, MNHN ou PSL (ENS) : IMPMC pour la minéralogie, CR2P pour les paléoenvironnement et paléoclimats, METIS pour la géophysique appliquée, la matière organique ou la géomorphologie, laboratoire de géologie de l'ENS pour l'expérimentation, la modélisation ou la géophysique marine, laboratoires rattachés aux SHS de la Faculté de Lettres de SU (géographie physique, UR Médiations, dynamique des populations) pour les implications sociétales des recherches sur les aléas et risques telluriques et sur les ressources minérales et énergétiques alternatives.

## Structures de valorisation

Le laboratoire est en relation étroite avec le pôle Environnement de la direction de la recherche et de la valorisation (DRV) de SU. La DRV est responsable de la valorisation et de la protection de l'innovation scientifique ; elle instruit les contrats de recherche dans le cadre de partenariats européens, publics ou privés, accompagne les structures dans le montage de leurs dossiers et assure le suivi de leurs besoins et moyens.

Le laboratoire bénéficie de l'appui du dispositif des chargés de suivi de la politique de recherche (CSPR), qui recouvre une variété d'actions à différents niveaux, allant des conseils sur les projets et sources de financement au suivi des contrats (publics, européens, internationaux ou industriels) et à leur valorisation. L'ISTeP bénéficie du travail de veille de ce dispositif pour informer les C et EC des montages et des AAP (PEPR et AMI CMA).

L'ISTeP peut aussi disposer d'un soutien aux projets d'envergure (programme 'APACHE') qui vise à aider à la conception, à la rédaction et à la soumission de projets ambitieux (ERC, Doctoral Networks, candidatures IUF et ANR JcJc) via des réunions d'information, des entretiens individuels, des relectures et l'organisation de pitch croisés et d'oraux blancs.

## **6- Prise en compte des recommandations du précédent rapport**

Les recommandations effectuées lors de la précédente évaluation sont listées *en noir* et les réponses apportées en violet.

### **\* Gouvernance**

« Concernant la gouvernance, il serait louable pour l'unité d'éviter la concentration des forces comme des pouvoirs »

Les effectifs des équipes ont été rééquilibrés et les membres de l'actuelle direction sont chacun dans une des 3 équipes

### **\* Equipes**

« Les recouvrements thématiques entre les activités de plusieurs équipes sont importants, rendant l'action difficile à suivre, nuisant à la cohérence d'ensemble, compliquent la communication interne. Il faudra une grande vigilance pour établir et faire perdurer des liens forts entre les 3 équipes de l'unité, aux tailles très différentes, et pour assurer un équilibre entre elles dans les capacités d'encadrement et la valorisation des travaux des doctorants. »

Les recouvrements thématiques nombreux entre LSD et DESIR d'une part et EMBS et BES d'autre part ont naturellement conduit à la fusion des anciennes équipes pour donner deux nouvelles équipes : DEMO et PPB. Cette fusion a résolu en grande partie le problème. La création des nouvelles équipes en 2022 va encore dans ce sens et minimise les recouvrements thématiques tout en maintenant des collaborations entre les chercheurs d'équipes différentes.

Les équipes ne sont pas vues comme des réservoirs étanches et n'empêchent en rien les collègues de proposer des sujets de thèse ou des projets inter-équipes. Le taux de collègues ayant leur HDR est proportionnel à la taille de l'équipe. 6 collègues identifiés comme pouvant passer leur HDR seront encouragés à le faire au cours du prochain mandat.

« Certaines activités (archives sédimentaires, base de données paléogéographiques) manquent de visibilité et pourraient être menacées. Certaines spécificités comme les approches de biominéralisation et d'études paléo-environnementales doivent perdurer et servir à la communauté. »

La création d'une nouvelle équipe « Terre-Mer : Structures et Archives » répond à cette préoccupation qui n'avait pas été totalement réglée.

« Si les champs thématiques généraux s'inscrivent clairement au coeur de métier de l'ISTeP, les travaux envisagés ne sont pas toujours bien identifiés, et certains chantiers sont vastes et/ou concentrent l'attention de nombreux autres groupes : il sera important de veiller à bien identifier le rôle original que compte jouer l'équipe. Une démarche trop opportuniste pourrait parfois conduire à une stratégie scientifique pouvant manquer de cohérence. »

Le rôle original d'une équipe est de placer ses membres dans un contexte plus local que le laboratoire. Le responsable d'équipe est au plus près de ses membres, et via son animation permet de soutenir la recherche, les évolutions des carrières, les échanges scientifiques, les constructions de projet à une échelle thématique plus focalisée qu'à l'échelle de l'Unité. Ceci n'empêche en rien ensuite d'associer des collègues des autres équipes pour leur savoir-faire. C'est également une oscillation entre recherche originale portée par un chercheur et recherche sur des thématiques, enjeux, projets qui regroupent plus de membres. Les équipes ont le pouvoir de lutter contre l'isolement des chercheurs dans leur pré-carré de manière plus directe qu'un DU.

*« L'équipe PGM2 a subi de nombreux départs non remplacés et plusieurs départs sont programmés dans les 5 années à venir. Ces départs risquent de faire passer l'équipe en-dessous de la masse critique s'il n'y a pas de recrutement(s), et de la priver totalement de PR et de DR. L'absence de responsable d'équipe identifié(e) fait qu'il n'y a pas encore de vrai projet d'animation d'équipe. Des solutions alternatives et/ou transitoires doivent absolument être envisagées pour que l'équipe puisse être représentée en comité de direction. »*

De 2019 à 2022, la responsabilité et l'animation de l'équipe ont été assurées par Hélène Balcone-Boissard. L'équipe a été enrichie par la venue de Benoît Dubacq et plus récemment par le recrutement d'une nouvelle MCU, Céline Baudouin. L'équipe a produit des résultats de premier ordre. De plus, la création récente d'une équipe PETRODYN dans laquelle PGM2 s'est fondue devrait logiquement résoudre le problème sans perte de compétences et de savoir-faire des ex-membres de PGM2.

Plus généralement, les modifications des équipes opérées au cours de la période évaluée ont résulté d'une démarche de type essai-erreur visant à optimiser le fonctionnement et la lisibilité tout en respectant les choix individuels ; deux types de contraintes pas toujours conciliables. La nouvelle direction a pleinement réalisé que les équipes étaient disproportionnées en terme de taille. PGM2 était de petite taille mais avait une activité lisible. La taille importante de DEMO, souhaitée au départ par tous les EC/C travaillant sur la tectonique au sens large pour préserver une identité scientifique forte et rester ainsi attractive pour les recrutements, s'est révélée être un frein aux échanges intra-équipes. Le découpage actuel devrait résoudre l'essentiel des problèmes identifiés en rééquilibrant les forces en présence et en améliorant la visibilité des recherches de l'Unité.

*« Vie et animation des équipes : les informations sont succinctes (manque de précisions sur les séminaires internes, la répartition des crédits, l'intégration et le suivi effectif des doctorants, la part prise par ceux-ci et par les post-doctorants dans la vie des équipes, etc.). »*

Le présent dossier aborde explicitement ces aspects sur la période évaluée :

-Les séminaires internes sont animés par 2 référents qui collectent les propositions et gèrent les aspects logistiques de la venue. Le laboratoire soutient cette initiative par le biais d'une participation financière couvrant les frais de mission des séminaristes quand il y a lieu.

-La répartition des crédits est clairement précisée au niveau du conseil d'UMR et lors des réunions d'équipes.

-Les effectifs des doctorants sont mis à jour par la responsable administrative, lors notamment de la signature du procès-verbal d'installation. Leur place au sein des équipes est explicitement précisée dans les organigrammes. A l'image des séminaires du laboratoire, les doctorants ont animé les DIM (Discussions Informelles du Mardi) devenus ensuite les DID-G (Discussions Informelles entre Doctorants- Géosciences), des séminaires mensuels ouverts principalement aux doctorants et post-doctorants, mais pouvant également être suivis par les permanents qui le souhaitent. Ces moments permettent un échange sur les travaux en cours. La direction actuelle a proposé une journée des doctorants afin que chacun puisse se présenter et présenter sa thématique de recherche. Cette rencontre est d'autant plus importante que les doctorants et post-doctorants ne débutent pas leur contrat tous au même moment.

#### *\*Chantiers d'étude et approches*

*« la grande diversité des chantiers d'étude et des approches est une source d'éparpillement des forces, et certaines dépendent fortement de quelques personnes »*

Cela reste inhérent à la diversité des thématiques de recherche des membres de l'Unité. Néanmoins, la création d'un chantier fédérateur Méditerranée a conduit à un recentrage fort des activités du laboratoire sans pour autant priver les chercheurs de leur playground historique et/ou favori.

La définition de profils de poste renforçant les approches ne reposant que sur quelques personnes est discuté en comité de pilotage puis en conseil de laboratoire lors de l'arbitrage des priorités remontées à l'UFR.

*« La dimension internationale des recherches, bien qu'évidente, n'est pas toujours assez valorisée »*

L'ISTeP souffrait peut-être d'un manque de visibilité. Les directions successives ont travaillé sur l'affichage de thématiques-phares à l'échelle des nouvelles équipes et notamment sur la valorisation de la thématique géodynamique à travers la présence des membres dans les comités de pilotage et instances nationaux et internationaux, et par une politique davantage volontariste d'animation de colloques nationaux et internationaux, de pilotage de sessions dans les congrès internationaux, comités éditoriaux de grandes revues et édition de volumes thématiques dans des journaux internationaux.

L'accueil de chercheurs étrangers a été encouragé et est clairement précisé dans le rapport actuel.

*« le projet faisait la part belle aux problématiques de déformations de la croûte et de la lithosphère au possible détriment des parties « Aléas », « Interactions tectonique-fluides » et encore plus « Ressources ». Les deux premières doivent naître des regroupements réalisés mais ne doivent pas servir d'alibi pour focaliser les travaux sur le thème classique de la lithosphère. Le projet apparaît en ce sens un peu déséquilibré au détriment de la partie « Ressources ».*

Bien que l'ISTeP ait plus ou moins toujours abordé ces thématiques à travers ses travaux propres ou ses collaborations, ces thématiques souffraient en effet d'un manque de visibilité. En réponse à ce questionnement, l'ISTeP a explicitement créé des axes transverses Aléas et Transition pour clairement afficher ces thématiques de recherches ancrées dans les enjeux sociétaux.

*« certains axes internes (notamment les géoressources, les aléas et les couplages fluides-déformation) sont pour l'instant plutôt « génériques » et leur succès dans le nouveau contrat dépendra beaucoup à la fois d'une politique de recrutement cohérente (besoin de renfort sur ces axes) et d'une démarche moins attentiste de recherche plus finalisée en relation avec le monde socioéconomique.*

Malgré les difficultés de recrutement, particulièrement criantes à SU, l'UMR affiche clairement dans ses priorités le recrutement de jeunes C et EC (CNRS, Université, CPJ, ...) dont les travaux pourraient irriguer ces thématiques.

*-certaines approches (tomographie, géotechnique par exemple) devraient être connectées plus précisément aux thématiques de recherche et positionnées au regard de programmes et projets nationaux et internationaux dans le cadre d'un projet à 5 ans.*

L'aspect géotechnique porté par S. Lafuerza fait maintenant partie intégrante de projets menés par l'ISTeP (ANR, Emergence).

#### *\*Communication, diffusion, valorisation des travaux*

*« Les actions de communication et de diffusion vers l'extérieur sont très inégalement réparties entre équipes, alors que certaines actions menées, quelle que soit l'équipe concernée, présentent un potentiel médiatique important. La stratégie de valorisation des résultats n'est pas mature et la communication vers le grand public est inégale et limitée. »*

L'unité a travaillé sur cet aspect et ses membres sont maintenant très impliqués dans la diffusion du savoir en dehors du cadre académique, à travers de multiples interventions, dans les médias, presse, ouvrages, interventions grand public ou dans les écoles.

#### *\*Doctorants*

*« De manière générale, il faudrait mieux valoriser l'implication des doctorants dans la production scientifique de l'unité, interactions des équipes en termes de co-encadrement doctoral, analyse plus fine du devenir professionnel des doctorants, intégration et suivi effectif des doctorants, la part prise par ceux-ci et par les post-doctorants dans la vie des équipes, etc »*

Ces points sont maintenant explicitement abordés dans le présent dossier.

## INTRODUCTION DU PORTFOLIO

**L'Unité** a choisi de mettre en avant trois projets qui reflètent ses compétences, pluridisciplinarité, dynamisme et positionnement national/international :

\***ALBORAN** : un ensemble de projets illustrant la synergie et le caractère intégré et fédérateur des recherches de l'ISTeP en Géosciences marines.

\***Un projet sur la séquestration du CO<sub>2</sub> dans les sols**, en lien avec la plateforme AMOS et illustrant la capacité de l'ISTeP à opérer des transferts d'expertise pour répondre aux enjeux de la transition environnementale.

\* **SOUND.AI** : un projet européen montrant le développement de la Science de la Donnée en lien avec les thématiques de recherche de l'ISTeP et la mise en place d'une nouvelle offre de formation.

\* Enfin, la direction met en exergue les multiples responsabilités assumées par ses membres dans le pilotage de la recherche et de la formation aux échelles locale, nationale et internationale.

**Les équipes** ont choisi de présenter, à côté de quelques publications-phares, des productions et réalisations montrant leur implication dans la formation ou l'inflexion assumée de leur recherche fondamentale vers les enjeux sociétaux. Les articles choisis illustrent les aspects fondamentaux en paléoclimatologie (PPB), en géochronologie et en modélisation géodynamique (DEMO) ou en minéralogie et pétrologie (PGM2). Les autres points portent sur les aléas hydro-climatiques et gravitaires (PPB), l'Art et la Science (PGM2) ou l'internationalisation de la formation (DEMO).

### **DEMO**

\***Projet pédagogique européen 4EU+ 'MOVE'** : le projet réunit les Master en Sciences de la Terre des universités de Prague, Heidelberg et SU **autour de l'organisation d'une excursion géo-scientifique**. L'excursion est réalisée sur le terrain, puis transformée par les étudiants en véritable excursion virtuelle.

\* **La géochronologie à l'honneur** : pour illustrer l'essor rapide de la géochronologie à l'ISTeP, l'équipe met en avant un développement méthodologique majeur réalisé par un doctorant sur la datation des minéraux les plus sensibles aux événements de déformation et recristallisation dynamique (micas). Le travail s'appuie sur la méthode de datation Rb/Sr in-situ de Zack and Hogmalm (2016), mais la technique est modifiée et améliorée (utilisation de NO<sub>2</sub> au lieu de O<sub>2</sub> comme gas permettant la séparation des isotopes <sup>87</sup>Sr et <sup>87</sup>Rb) et elle est développée entièrement sur ALIPP6.

**Gyomlai T., Agard P., Jolivet L., Larvet T., Bonnet G., Omrani J., Larson K., Caron B. & Noël J. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2022**

\* **La modélisation numérique thermo-mécanique 3D** : l'article met en valeur l'expertise de l'équipe dans la modélisation numérique thermo-mécanique 3D, développée et utilisée pour comprendre les processus physiques qui contrôlent l'évolution de structures tectoniques majeures, en lien avec un objet spécifique bien caractérisé et intégré dans son contexte régional (Mer de Chine).

**Le Pourhiet L., Chamot-Rooke N., Delescluse M., May D.A., Watremez L. & Pubellier M. *Nature Geoscience*, 2018**

### **PPB**

\***Un projet interdisciplinaire orienté vers l'aléa hydro-dynamique et gravitaire en lien avec les sciences humaines : STORY** : l'équipe présente le projet **STORY** (Risk to society in the Roya basin (Alpes-Maritimes, France): multi-temporal and transdisciplinary analysis) en lien avec les instituts de SU (Institut de l'Océan, ISCD, ITE).

\*Une expertise dans la reconstitution des climats passés : l'article présenté met en évidence une cyclicité de 35 Ma dans l'évolution du niveau marin résultant d'un couplage entre forçage externe provoqué par l'insolation et forçage interne provoqué par les processus de subduction et d'expansion océanique. L'étude est financée par l'ANR Astro-Meso et l'ERC Astro-Geo.

**Boulila S., Haq B.U., Hara N., Müller R.D., Galbrun B. & Charbonnier G. *Earth-Science Reviews*, 2021**

\*Une expertise du message paléoclimatique préservé dans les nannofossiles calcaires : une autre expertise liée au décryptage des archives sédimentaires et en particulier celle préservées dans les nanofossiles calcaires est mise à l'honneur au travers de l'article d'une doctorante montrant la confirmation par les données géochimiques mesurées sur les nannofossiles calcaires du lien unissant la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique et sa composante dissoute avec les fractionnements biologiques des biominéraux phytoplanctoniques et permettant d'évaluer avec fiabilité les pCO<sub>2</sub> atmosphériques tout au long du Cénozoïque.

**Godbillot C., Minoletti F., Bassinot F. & Hermoso M. *Climate of the Past*, 2022**

\*La valorisation des données acquises lors d'une campagne IODP : la limite Cénomanién-Turonien : l'article choisi aborde l'interlude froid au cours de l'événement anoxique de la limite Cénomanién-Turonien, connus aux hautes et moyennes latitudes. Cet épisode affecte le chimisme des eaux océaniques jusqu'aux latitudes équatoriales de l'époque.

**Riquier L., Cadeau. P., Danzelle J., Baudin F., Pucéat E. & Thomazo C. *Frontiers in Earth Sciences*, 2021**

## PGM2

\*Art et Science : l'équipe présentent trois aspects de ses collaborations avec le monde non-académique des artistes ou des conservateurs de musée.

*Toiles de maîtres : quand la science mène l'enquête* : la collaboration avec la société ARTANALYSIS a été entreprise afin de caractériser la composition chimique des palettes de certains peintres. Ce travail sera poursuivi en collaboration avec le Louvre.

*Art rupestre et origine des matières colorantes ferrugineuses* : l'objectif est de fournir, en lien avec ALIPP6, un ensemble unifié de données élémentaires sur les matières colorantes ferrugineuses, généralement appelées "ocre" en archéologie.

*Les roches aux origines de la couleur* : un projet en lien avec une artiste peintre-décoratrice en résidence à SU pour une réflexion sur la couleur, ses origines, son histoire et sa perception par l'œil humain, avec des expositions grand public, itinérantes et à la Collection de Minéraux de Jussieu.

\* Incorporation des éléments-traces dans les oxydes et les silicates. L'équipe met en avant une étude qui montre les manquements de l'approche classique (Lattice Strain Model, Blundy & Wood 1994) et propose une voie de modélisation adéquate.

**Dubacq B. & Plunder A., *Journal of Petrology*, 2018**

\*Une nouvelle approche de la surveillance des volcans ou l'Early Warning Petrological Clock : le travail d'une doctorante présenté ici démontre l'étroite corrélation entre les temps donnés par les chronomètres pétrologiques (diffusion dans les cristaux) et le suivi de la crise sismique avant l'éruption du Kizimen (Kamchatka, 2010-2013). Ces résultats ont des implications en terme de mitigation du risque volcanique pour les volcans français d'outre-mer monitorés mais dont aucune éruption n'a encore été suivie en direct. Cette étude a été réalisée dans le cadre de l'ANR V-CARE.

**Ostorero, L., Balcone-Boissard, H. et al. *Communications Earth & Environnement*, 2022**

<https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/nouvelles-avancees-sur-la-dynamique-pre-eruptive-des-reservoirs-magmatiques>

## AUTOÉVALUATION DU BILAN

### 3-1 Autoévaluation de l'unité

<b>Journaux</b>	Articles	740 (659 dans HAL)	<b>Communications à Congrès/colloques</b>	570 (302 dans HAL)
<b>Ouvrages</b>	Ouvrages	10	<b>Organisations Congrès/colloques/sessions</b>	47
	Chapitres d'ouvrage	26	<b>Campagnes en mer</b>	PI ISTE <sup>P</sup> 3
	Numéros spéciaux	5	Participation	7
	HDR	3 (2 dans HAL)	<b>Interactions avec les acteurs socio-économ.</b>	R&D 22
	Thèses soutenues	71 (61 dans HAL)	CIFRE	1
<b>Activités éditoriales</b>	Comités éditoriaux	9	EPIC	20
			<b>Développement instrumental/méthodologique</b>	oui
<b>Activités d'évaluation</b>	Responsabilités Instances	oui	<b>Produits et Outils Info.</b>	Logiciels
	Evaluation Articles	oui	Bases de données	1
	Evaluation Labo		<b>Produits d'activités didactiques</b>	Ouvrages 16
	Evaluation Projets	oui	moocs, e-learning	2
<b>Contrats de recherche</b>	Sorbonne Université	190 k€	<b>Indices de reconnaissance</b>	Prix 2
	Financement public	200 k€	Distinctions	5
	Projets nationaux (ANR, INSU...)	3044 k€	Nomination (IUF)	1
	Projet internationaux (Europe)	370 k€	Séjours invités	3
	Collaborations industrielles	3500 k€	Conférences invitées	30
			Resp./membres Sociétés Savantes	10
<b>Produits destinés au grand public (monde culturel)</b>	Emissions radio, TV, presse-écrite	>30	<p style="text-align: center;"><b>Figure 35 :</b>  <i>Bilan « at first glance » :  quelques données chiffrées sur la  période 2017-2022.</i></p>	
	Vulgarisation	6		
	Médiation scientifique	oui		
	Films	5		
	Expositions	2		

## Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'Unité

### Référence 1. L'unité s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents.

Les thématiques de recherche de l'ISTeP sont orientées vers la compréhension des processus géologiques qui contrôlent et/ou accompagnent la dynamique de la lithosphère depuis la surface (sédimentation, interactions avec les enveloppes externes-paléoclimats-paléoenvironnements, lien volcanisme-atmosphère, dynamique des failles, aléas volcanique-sismique-hydro-dynamique et gravitaire) jusqu'à la profondeur (tectonique profonde, métamorphisme, interactions avec la fusion partielle et la dynamique mantellique), et depuis des échelles de temps de la centaine de Ma (long terme) jusqu'à l'échelle de temps de la minute ou la seconde (séismes, ascension des magmas). Les objectifs de caractérisation et de quantification multi-échelles qu'ambitionne l'ISTeP reposent sur un champ d'expertises continu depuis le terrain jusqu'à la modélisation, en passant par l'acquisition et le traitement de données géologiques et géophysiques à terre et en mer, l'analyse pétrologique et géochimique haute résolution des matériaux et la datation.

Cette vision pluridisciplinaire et intégrée de l'ISTeP lui permet d'aborder non seulement les aspects les plus fondamentaux (modélisation ab initio et modèles d'activité, paléopiézo-métrie, rhéologie, formation des chaînes de montagnes, fonctionnement des zones de subduction) et de développer des approches analytiques et de modélisation de pointe, mais aussi d'avoir des préoccupations plus appliquées, avec une recherche progressivement réorientée vers les enjeux sociétaux via un transfert de son expertise (aléas, séquestration du CO<sub>2</sub>, ressources minérales et énergétiques non carbonées).

La politique scientifique de l'ISTeP est ainsi d'abord basée sur les projets de recherche fondamentale. Les produits de la recherche associés à cette politique sont des publications dans des revues internationales spécialisées ou généralistes des Géosciences. La recherche au sens strict représente une des principales activités de l'unité, avec la formation par la recherche. Sur la période écoulée (2017-2022), elle se concrétise en outre par la publication de 659 articles dits "de rang A" sur 6 ans dont ~100 co-signés par des collègues de plusieurs équipes. Ceci permet à l'ISTeP d'afficher un fort taux de publication (4,5 articles/ETPR/an).

## Référence 2. L'unité dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise.

Avec un budget moyen de 1,4 M€ par an (~8,5 M€ sur 6 ans), l'ISTeP dispose des moyens financiers nécessaires pour mener à bien sa politique de recherche. Les ressources totales se répartissent en 15% de dotation des tutelles et 85% de ressources propres. Sur ces 85%, 47% proviennent de partenariats non-académiques (soit 40% du total) et 53 % proviennent de financements obtenus suite au succès à des appels d'offre compétitifs (soit 45% du total). Les succès aux différents appels d'offres (22 ANR financées, 4 projets européens (2 ITN, 1 ERC, 1 co-fund), 12 projets Sorbonne Université, 3 projets LABEX-Matisse, 36 projets INSU, 1 EQUIPEX, ... et de nombreux contrats de collaborations recherche-industrie (21) ont permis d'avoir une activité scientifique riche.

### Ressources propres (en k€) pour les années 2017 à 2022

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ressources propres obtenues sur appels à projets régionaux et locaux (sommes issues de AAP Idex, I-site, CPER, collectivités territoriales, BQR, etc.)	38	3	57	120	97	72
Ressources propres obtenues sur financements publics ou associatifs nationaux (sommes obtenues du PIA, de l'ANR, de la FRM, de l'INCa, des organismes de recherche, du réseau des MSH etc.)	334	471	340	495	737	666
Ressources propres obtenues sur appels à projets internationaux	256	113				
Ressources issues de la valorisation, du transfert et de la collaboration industrielle (sommes obtenues grâce à des contrats, des brevets, des activités de service, des prestations, etc.)	567	747	683	721	520	229

### Total des ressources (en k€)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Dotations récurrentes (SU+CNRS)	215	215	189	188	203	210
Ressources propres	1 195	1 334	1 080	1 336	1 354	967
<b>Total des ressources de l'unité</b>	<b>1 410</b>	<b>1 549</b>	<b>1 269</b>	<b>1 524</b>	<b>1 557</b>	<b>1 177</b>

### Les Ressources Propres de l'ISTeP

(sur la période)

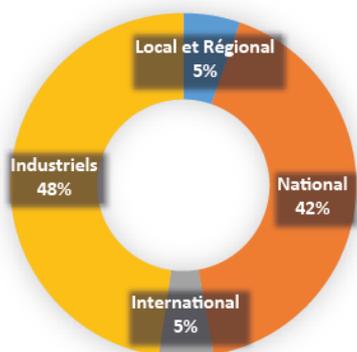


Figure 36 : Origine des ressources propres de l'ISTeP.

Le succès aux appels d'offres montre une reconnaissance certaine de la pertinence de la recherche que l'ISTeP mène sur les grands questionnements scientifiques actuels en Sciences de la Terre.

### Politique de mutualisation des ressources financières

Une partie significative du budget commun est consacrée chaque année au financement d'actions collectives. Le reste du budget commun (composé des subventions d'état et des préciputs sur contrats) est classiquement utilisé pour les dépenses liées (1) au fonctionnement de l'unité, (2) à l'entretien courant des locaux, (3) au matériel commun, reprographie et (4) aux dotations directes aux équipes.

Budget :	Recettes (€)			Dépenses (€)			
	2021	2022		2021	2022		
Dotation SORBONNE UNIVERSITE	136000	146000	Somme dotations 203 k€ à 210 k€	<b>Fonctionnement général</b>	60000	60000	
Dotation CNRS	67000	64000		services communs, reprographie, fournitures admin et informatiques, poste, téléphone,...			
Projets SORBONNE U	43395	20601		<b>Actions communes</b>	99627	76834	
Programmes CNRS INSU	93393	54600		séminaires, M2, coups de pouce, équipements, CDD admin			
			Dont Préciput 88 à 75 k€	<b>Equipes de Recherche</b>	357 718	227 142	
ANR	460881	433884		<b>Sous total dépenses communes</b>	517345	363976	
Financement public hors tutelles	236905	229480		<b>Contrats de Recherche</b>	1078484	682992	
Contrats de recherche industriels	519767	228891					
<b>Total</b>	<b>1557341</b>	<b>1177456</b>		<b>Total</b>	<b>1595829</b>	<b>1046968</b>	

Figure 37: Budget, recettes et dépenses pour les années 2021 et 2022 donnés à titre d'exemples

A côté de l'équipement visio des salles de réunion et de l'aménagement des salles de convivialité, l'UMR affiche sa politique d'animation et de soutien de la recherche en mutualisant une partie de ses ressources pour favoriser l'émergence de thématiques novatrices. Une partie du budget du laboratoire est ainsi allouée aux projets "coups de pouce", pépinière interne de projets d'abord inter-équipes et/ou impliquant des jeunes chercheurs, pour initier une collaboration, tester la faisabilité d'une nouvelle méthode avant la soumission à un guichet SU ou national. Pour inciter nos jeunes collègues à soumettre leurs projets aux guichets nationaux, et ce malgré le faible taux de réussite effective, les projets ANR ayant passé le stade du pré-projet sont prioritaires sur les projets coups de pouce de l'année suivante. Le montant dévolu est de l'ordre de 5 k€ maximum par projet pour un montant total annuel de 15 à 20 k€. Les porteurs de projets soutenus sont tenus de présenter leurs résultats au cours d'une journée ou d'un séminaire scientifique organisé l'année suivante.

Cette politique incitative permet de pousser plus loin la maturité des projets en y ajoutant quelques tests de faisabilité mais également d'en initier de nouveaux. Ainsi par exemple, la direction a soutenu des projets aussi divers que « Fusion partielle et initiation de la subduction : enregistrement des semelles métamorphiques des Dinarides » Plunder, 2018 ; « Caractérisation de la vallée messinienne du Rhône et connexion avec le système alpin en aval du Jura », Loget, 2018 ; « Géochimie des dépôts de la série de Cormeilles en Parisis, origine du gypse », Le Callonnec, 2018 ; « Analyse de la dynamique des bassins sédimentaires du Nord Sistan (Est Iran) », Do Couto, 2018 ; « GSSP Berriasien (limite Jurassique-Crétacé) sur la coupe de Tre Maroua (Sud-Est de la France) : analyse isotopique et cyclostratigraphique », Galbrun, 2020 ; « Les signaux géochimiques comme marqueurs de l'halocinèse », Homberg, 2022 ; « Impact des conditions paléoenvironnementales et paléoclimatiques sur la validation des enregistrements isotopiques par les foraminifères planctoniques au cours des 30 derniers milliers Ma en Méditerranée occidentale, Emmanuel, 2022 ; « Développement des datations in situ des grenats sur le LA-ICP-MS/MS de la plateforme ALIPP6 », Caron, 2022.

Par ailleurs, l'UMR finance généralement annuellement la gratification d'au-moins 1 stage de master 2 par équipe et lance annuellement un appel d'offre interne pour achat/réparation/jouissance de petits équipements (~15 k€ / an).

Les axes transverses ne sont pas financés de façon récurrente et systématique, mais bénéficient d'un support ponctuel pour participation à, ou organisation de, congrès, ou financement de stagiaires (priorité est donnée au financement de stages de M2 qui s'inscrivent dans les axes transverses que l'UMR souhaite développer) et de réunions à l'extérieur.

L'utilisation des ressources propres (contrats individuels, ANR, ...) se décline à l'échelle des équipes (voir auto-évaluation). A une échelle supra-équipe, le report possible d'une année à l'autre de ce type de ressources (contrairement à la dotation récurrente des tutelles) permet un pilotage à moyen terme des finances de l'Unité en permettant d'avoir une politique scientifique et d'envisager des achats conséquents. Ainsi, l'unité mobilise une partie des ressources (préciput sur contrats notamment) pour réaliser des montages de (co-) financement pour l'achat d'équipements (par exemple, Système EBSD Bruker CrystAlign400i, 71 k€ ; Platine analytique du ROCKEVAL7S, 56k€ ; Presse à Pastille PP 35 VERDER, 15k€ ; module électronique Soufre, 60k€ ; remplacement du laser ALIPP6, contribution IStEP, 35 k€ ; FEG Camparis : contribution IStEP, 15k€), pour l'aménagement de locaux (salle de broyage, carothèque) ou pour financer des contrats hors-équipe par exemple, CDD IR pour un développement méthodologique de géochronologie sur ALIPP6 (G. Bonnet), CDD Technicien en gestion administrative (L. Meddahi), stagiaires en informatique.

## Politique en matière de locaux et d'infrastructures scientifiques

L'UMR est répartie dans 5,5 couloirs distribués sur 4 étages. Dans chacun des couloirs, l'UMR met à disposition des locaux pour les équipements techniques et héberge les personnels techniques qui y sont rattachés, les C et EC et personnels d'appui à l'administration et à la recherche dans des bureaux généralement individuels et les étudiants et stagiaires dans des salles communes (2 à 5 places).

Les infrastructures techniques (plateformes) sont concentrées sur deux étages à proximité des C et EC les plus utilisateurs, constituant des environnements d'analyse complets et pratiques.

L'UMR engage en faisant appel aux services techniques de SU les travaux nécessaires au maintien et à l'aménagement de ses locaux tout en s'assurant de leur conformité aux règles d'hygiène et de sécurité (veille des assistants de prévention).

### Référence 3. Les pratiques de l'unité sont conformes aux règles et aux directives définies par ses tutelles en matière de gestion des ressources humaines, de sécurité, d'environnement, de protocoles éthiques et de protection des données ainsi que du patrimoine scientifique.

#### \*Politique de veille sur les conditions de travail, santé, sécurité des personnels

La direction de l'ISTeP a souhaité mettre la qualité de vie au travail ainsi que l'hygiène et la sécurité au centre de sa politique des ressources humaines et organisationnelle pour le bien-être et l'épanouissement de ses agents. Le souci de bien-être des collègues se concrétise par l'existence de salles de convivialité équipées pour les repas et les moments de pause et la présence de distributeurs de gel hydro-alcoolique pour l'hygiène.

Un registre de santé et de sécurité au travail est disponible dans la salle de convivialité principale. Ce registre permet à tout agent de signaler une situation qu'il juge anormale ou susceptible de porter atteinte à l'intégrité physique ou à la santé des personnes en informant ainsi les instances du laboratoire et la hiérarchie.

En ce qui concerne l'Hygiène, la Sécurité et l'Environnement (HSE), le pôle d'assistants de prévention (AP) comporte désormais trois agents dont le secrétaire général, qui combine la connaissance des spécificités des ressources humaines aux aspects prévention, sécurité et santé, et deux personnels techniques géochimistes laborantins, qui ajoutent une plus-value dans l'approche et la proximité avec les collègues de l'ISTeP. Les AP sont attentifs à toutes les questions HSE de l'unité. Ils jouent un rôle dans la prévention des dangers susceptibles de compromettre la santé et la sécurité du personnel mais aussi dans l'amélioration des méthodes et du milieu de travail. Ils assistent et conseillent la direction dans la mise en œuvre des règles HS, l'ergonomie au travail et tiennent à jour le registre de santé et de sécurité. Ils assurent la formation « Accueil Sécurité au Poste de Travail » de tous les nouveaux entrants permanents et temporaires, qui permet aux agents de connaître les consignes de sécurité et de travailler dans des conditions réglementaires de sûreté. Les AP sont essentiels pour la formation des personnels durant leur carrière en approfondissant leurs connaissances des problèmes de sécurité et des techniques propres à les résoudre. Ils servent aussi d'intermédiaires entre les personnels qui expriment le besoin et SU qui proposent des formations premiers secours.

La mise à disposition de téléphones satellitaires pour les missionnaires et de trousse de 1<sup>er</sup> secours, souligne la prise en compte par la direction de la sécurité et du bien-être des agents lors de leurs déplacements.

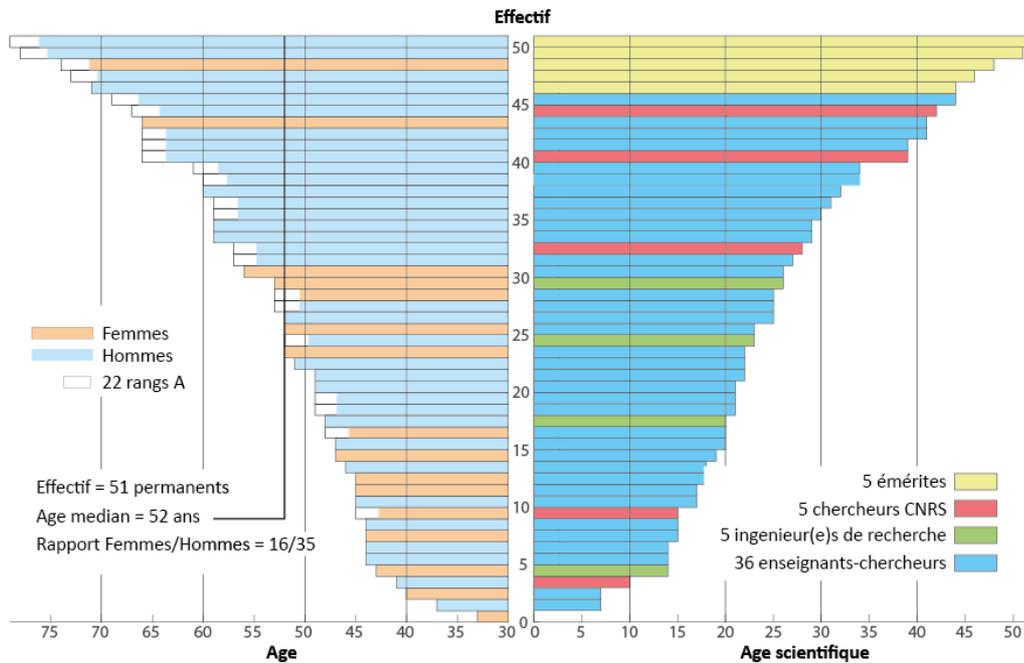
La mise à jour annuelle du Document Unique d'Evaluation des Risques pour le laboratoire permet d'identifier et d'estimer les risques, de les signaler et d'élaborer un programme d'action pour diminuer les dangers et améliorer les conditions de travail et de sécurité dans l'Unité.

La personne compétente en radioprotection (L. Riquier, MCU) prend en charge aussi bien la formation des personnes que le signalement des problèmes liés à la maintenance des appareils émettant des rayonnements. Des agents serre-files présents dans l'ensemble des couloirs de l'unité assurent les évacuations des locaux lors du déclenchement de l'alarme incendie et veillent avec les AP à l'affichage systématique des consignes de sécurité et des numéros de téléphone d'urgence sur l'ensemble des issues.

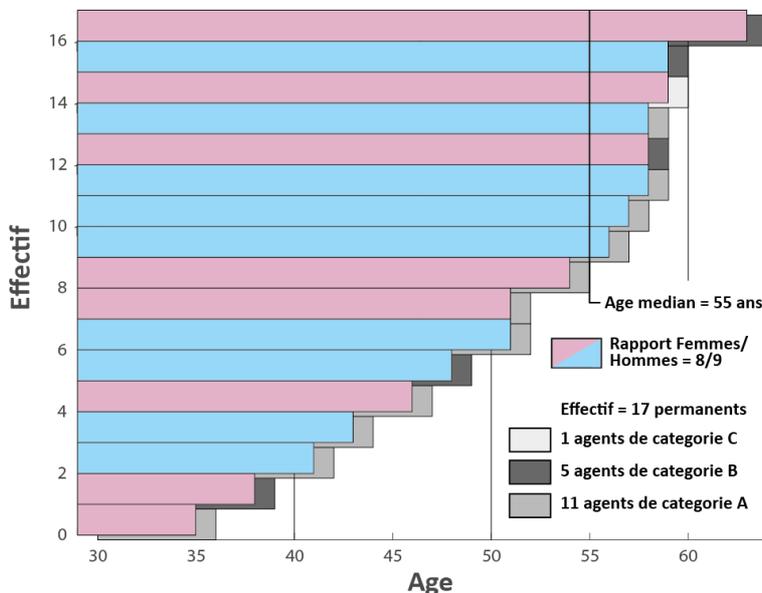
Par ailleurs, l'ISTeP dispose d'une référente en charge des aspects Egalité, Parité, Risques-psychosociaux (A. Verlaguet, MCU SU) dont le rôle est de conseiller la direction et de permettre de prévenir les problèmes ou de repérer les situations sensibles et faire le nécessaire pour les résorber. Ce volet sera explicitement présent en annexe du nouveau règlement intérieur en fin d'élaboration, dont le modèle vient enfin d'être validé par les deux tutelles (CNRS et SU). Cette référente veillera à ce que l'égalité entre sexes soit envisagée dans les critères de décision à l'échelle du laboratoire. Il en sera de même pour les aspects Ethique, Déontologie, Intégrité scientifique (voir plus bas).

**\*Parité**

L'UMR n'a pas la main sur ses recrutements, qui sont gérés par l'UFR et les comités de sélection, mais elle peut néanmoins faire valoir l'équité entre hommes et femmes dans sa répartition des tâches et des responsabilités, qui peuvent aider les collègues dans leur carrière.



**Figure 38 :** Distribution au 01/01/2022 des C et EC selon leur genre et en fonction de leur âge (à gauche) et selon leur statut en fonction de leur âge scientifique = à partir de la date de soutenance de leur thèse de doctorat ou de leur première citation (à droite). Chaque barre horizontale correspond à un individu



**Figure 39 :** Distribution au 01/01/2022 des personnels de soutien à la recherche ITA-BIATSS en fonction de l'âge (chaque barre horizontale correspond à un individu).

Les recrutements d'EC s'avèrent être en majorité des femmes depuis quelques années. Une des 3 équipes évaluée a été dirigée par une femme et la nouvelle équipe de direction est à majorité féminine.

Hormis pour les postes de professeurs, le ratio F/H dans les équipes scientifiques, les équipes techniques et les fonctions à responsabilité est plutôt bon :

Personnels : 12 PU : **2F/10H** (2H partis en cours de mandat) ; 21 MCU : **9F/12H** (1H parti en cours de mandat) ; 2 DR CNRS : **1F/1H** ; 2 CR CNRS : **1F/1H** (1F partie en cours de mandat) ; 17 ITA-BIATSS :

**8F/8H + (1H 25% + 1H 50%) (2F et 3H partis en cours de mandat) ; 17 collaborateurs bénévoles / émérites (6F/11H)**

**Fonctions : Direction : 2F/1H ; Equipe de direction (RH/finances) : 2F/1H ; Direction d'équipe : 1F/2H Assistants de prévention : 1F/2H ; Référents : 6F/4H**

**\*Politique vis-à-vis des actes de violence, discrimination, harcèlement moral ou sexuel, agissements sexistes au travail**

Que ce soit dans le règlement intérieur, les messages de la direction ou les campagnes d'information (affiches et autres), le laboratoire s'est résolument positionné face aux actes de violence, discrimination, harcèlement moral ou sexuel et agissements sexistes au travail. Il est établi que le laboratoire doit être un lieu d'égalité et de respect des droits, des personnes et de leurs différences. Aucune forme de violence, discrimination ou harcèlement ne sera tolérée au sein du laboratoire. La direction a rappelé que toute personne victime ou témoin d'une situation de violence, discrimination, agissement sexiste, harcèlement moral ou sexuel devait le signaler (au CNRS ou à SU selon l'affiliation de la victime) pour mettre fin à cette situation le plus rapidement possible. La direction et la référente Egalité, Parité, Risques Psycho-Sociaux sont à l'écoute concernant ces problèmes majeurs, et à la disposition de toutes et tous pour toute question.

**\*Protection du patrimoine scientifique et des systèmes informatiques**

L'ISTeP est particulièrement sensible au PPST. L'accès aux locaux ne peut se faire que pendant les heures ouvrables de l'Unité qui ont été définies par la direction et spécifiées dans le RI. L'accès aux locaux en dehors des heures ouvrables doit expressément et nommément être autorisé par le DU. La protection renforcée de l'Unité et de ses thématiques est assurée par les règles du RI relatives à l'accès aux locaux, à la confidentialité, aux publications et à la communication, à la propriété intellectuelle, à l'utilisation des moyens informatiques et la SSI. Ces aspects sont d'autant plus importants que l'ISTeP est une unité protégée (niveau 3 : risque de captation : 2, risque de prolifération : 1). L'hébergement de stagiaires et de visiteurs pour une durée supérieure à 1 mois, tout comme le recrutement de thésards en provenance de pays hors UE, sont soumis à l'approbation du FSD de SU et encadrés par une convention d'accueil où sont spécifiés les principes et procédures en vigueur dans l'Unité.

Les conditions d'accès aux, et l'utilisation des, moyens informatiques de l'Unité sont par ailleurs conformes à la Charte SSI de SU, en cohérence avec celle du CNRS. L'ISTeP est doté d'un chargé de sécurité des systèmes d'information (CSSI, P. Ressayot, AI CNRS), qui assiste et conseille le DU dans l'élaboration de la PSSI opérationnelle et du plan d'action de mise en œuvre et de son suivi. Il est en charge de l'information et la sensibilisation des agents pour la mise en œuvre des consignes de sécurité des systèmes d'information, pour les personnels permanents comme non permanents. Il est le point de contact pour la signalisation des incidents de sécurité des SI qui concernent le personnel et les systèmes d'information de l'UMR et remonte les incidents à la chaîne fonctionnelle SSI de SU.

Seules les personnes qui participent aux activités de l'Unité et qui sont autorisées par le DU ont accès aux systèmes d'information après avoir pris connaissance de la Charte SSI en vigueur au sein de l'Unité et de celle de leur employeur. Au sein de l'ISTeP plusieurs procédures sont mises en place afin de protéger le patrimoine scientifique et technique ainsi que les systèmes informatiques :

-Des stratégies de sauvegarde régulière des données et résultats de recherche (serveurs de stockage NAS pour les données, systèmes de fichiers redondants de type RAID pour les résultats de calcul).

-Des pare-feu et des logiciels antivirus qui aident à protéger les systèmes informatiques contre les logiciels malveillants et les attaques réseau.

-Des politiques de sécurité pour gérer les accès aux données. Les protocoles de cryptage tels que HTTPS et VPN, appliqués à l'ISTeP, permettent de protéger les données sensibles lorsqu'elles sont transmises sur un réseau ou stockées sur les NAS de l'ISTeP.

-Des politiques de sécurité pour gérer les accès aux équipements sensibles (Passerelle SSH). Ces procédures sont mises en place pour gérer les violations de sécurité.

-Des contrôles d'accès physique. Il est important de limiter l'accès physique aux locaux du laboratoire et aux équipements sensibles. Les membres du laboratoire sont sensibilisés afin qu'ils soient vigilants sur la surveillance, les allées et venues d'inconnus, ...

-Des protocoles de sécurité spécifiques à la recherche et à l'expérimentation sont appliqués à l'ISTeP pour éviter les accidents et les incidents de sécurité.

-Le service informatique sensibilise et forme les utilisateurs sur les risques de vol de propriété intellectuelle et les informe sur les bonnes pratiques de sécurité. Il est demandé d'utiliser des mots de passe forts et uniques,

assez longs et complexes pour éviter les tentatives de piratage. L'utilisation des questionnaires de mots de passe est fortement conseillée pour générer et stocker des mots de passe uniques pour chaque compte (Keepass).

Lors de l'arrivée d'un nouveau membre à l'ISTeP toutes ces procédures et protocoles lui sont présentées. L'ordinateur qu'il reçoit est formaté par le service informatique pour respecter à la lettre toutes ces contraintes et le nouvel utilisateur travaille sous un compte non administrateur. Ces procédures et protocoles sont envoyées régulièrement par email aux membres de l'ISTeP.

Un site Intranet est à la disposition de tous les utilisateurs ou ils peuvent (1) retrouver les logiciels nécessaires (aucun téléchargement de logiciels n'est ainsi nécessaire sur d'autres sites) et (2) consulter les procédures et les consignes de sécurité régulièrement mises à jour par le CSSI. De plus le CSSI est en possession d'une liste d'emails pour avertir les utilisateurs des dernières informations, alertes et instructions et ainsi maintenir la sécurité des postes de travail.

### **\*Prévention des risques environnementaux et poursuite des objectifs de développement durable**

L'ISTeP dispose d'un référent en charge des aspects Développement Durable (Damien Do Couto, MCU SU) qui coordonne, en lien avec la direction, les actions en faveur de la réduction de l'empreinte carbone de la recherche du laboratoire. L'ISTeP héberge les membres du bureau du Labos1.5, un GDR dont l'objectif est de mieux comprendre et réduire l'empreinte carbone des activités de recherche. Une étudiante de Master 2 co-encadrés par ses membres et la direction effectue un stage dans le laboratoire visant à établir un premier bilan carbone du laboratoire (bâtiments, déplacements professionnels et domicile-travail, numérique et achats) qui servira de base à une réflexion collective sur l'empreinte carbone des activités. Une des volontés du laboratoire est (1) de quantifier l'impact environnemental engendré par son activité de recherche, (2) de discuter de la cohérence et de la conciliation des pratiques de recherche avec la volonté de réduire l'émission de gaz à effet de serre, (3) d'identifier des leviers d'amélioration sur les émissions carbone et (4) de mettre en place un plan d'actions visant à réduire l'impact des activités de l'UMR. Une première réflexion sur les déplacements pour congrès à l'étranger (train vs avion vs marchés SU) est en cours, en lien avec d'autres laboratoires de SU (IPSL).

L'ISTeP est conscient qu'une recherche scientifique « responsable » se caractérise par des objectifs généraux en lien avec les objectifs stratégiques d'un établissement (ouvrant à priorisation thématiques et répondant aux impératifs nationaux et internationaux, qu'il convient d'interroger), ainsi que par le développement d'une recherche participative – au sens de co-construction de connaissances dans le cadre de collectifs. Les axes transversaux de recherche répondent ainsi à de grands sujets sociétaux, porteurs potentiels de valorisation. Les prochaines années verront l'ISTeP faire les efforts qui s'imposent pour se mettre en cohérence avec les préconisations du GIEC qui visent à réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030.

### **\*Plan de continuité d'activité et anticipation des situations d'urgence**

Avec la crise du COVID de 2020 et 2021, le laboratoire a mis en place un Plan de Continuité des Activités pour que les recherches puissent s'effectuer dans les meilleures conditions possibles. Ce PCA s'est construit selon les directives des deux tutelles et plus particulièrement de l'hébergeur SU, et concernait la fréquentation raisonnée et réglementée des locaux et la priorisation des activités. Cette situation a ainsi conduit la direction à mettre en place un dispositif opérationnel adapté et sécurisé et à réfléchir à la manière de ne pas être prise au dépourvu en cas de problème ultérieur. Ainsi, une cellule de crise comprenant la direction, les AP, les informaticiens et les responsables d'équipe assure la continuité des activités de l'unité.

Au-delà des documents sur la sécurité des agents dans le lieu de travail mis sur l'intranet du laboratoire et les formations dispensées par les AP, l'efficacité de cette cellule de crise réside dans l'identification des risques, la mobilisation des personnes pouvant aider, la rapidité d'alerter les secours et de donner une première aide à la personne en difficulté ou une réponse adéquate à la situation.

Les situations d'urgences répertoriées dans l'Unité sont :

- Incendie, malaise d'un agent, blessure et urgence hors horaires de bureau : services sécurité incendie (pompiers) de SU, AP, serre-files, secouristes de l'unité ;
- Urgences techniques (inondation, risques électrique, émanation de gaz) : plateforme technique de SU
- Aggression, intrusion, vol, dégradation : services sécurité de SU

- Défaillance des serveurs informatiques : informaticiens du laboratoire qui ont des autorisations d'accès 24h/24h et 7 jours sur 7.
- Toute autre situation d'urgence est signalée à la cellule de crise qui décide des suites à donner en lien avec les autorités compétentes des deux tutelles.

## Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 1

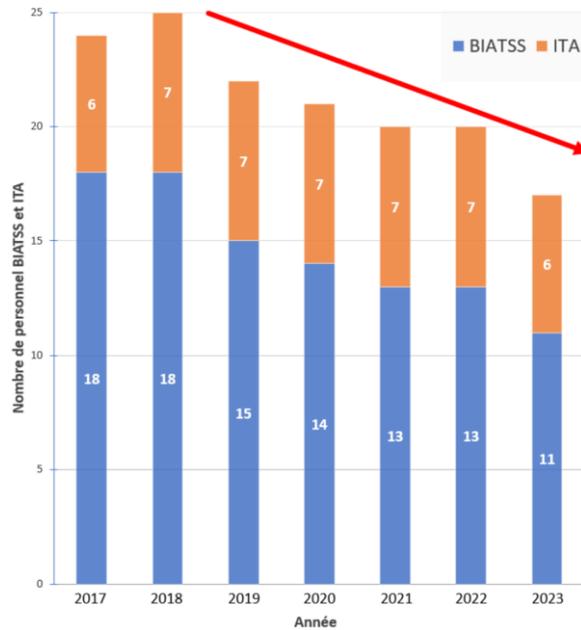
Les objectifs de recherche que s'est fixé l'ISTeP semblent pertinents à la vue des questionnements scientifiques actuels et des retombées que la société est en droit d'attendre des laboratoires dont les personnels sont financés par les fonds publics.

En terme de financements, à côté de la dotation des tutelles, l'ISTeP a su mobiliser ses forces pour répondre efficacement aux appels d'offres régionaux, nationaux et internationaux tout en conservant d'importants partenariats avec les entreprises. Néanmoins, la pérennisation du niveau de ressources requis pour maintenir la position scientifique de l'ISTeP passe nécessairement par une diversification des guichets car la fermeture de la R&D de TOTAL avec qui l'Unité avait de nombreux contrats de partenariat va indéniablement porter préjudice à nos ressources. Il est impératif de rechercher des sources de financement alternatives, en se tournant encore davantage vers les projets nationaux type ANR (et pas uniquement dans l'axe A.1, Terre solide et enveloppes fluides, mais élargir à des axes comme Axe D.7 : Sociétés et territoires en transition ou l'axe transversal H.1, science de la durabilité), vers les financements européens ou de nouveaux partenariats sur les ressources et énergies nouvelles. La participation aux PEPR FAIRCARBON, Sous-sol, IRIMA, Grands Fonds fournit une importante opportunité de financement de nos travaux qu'il ne faut pas rater et vers lesquels nous incitons vivement les C et EC de l'ISTeP à aller. L'ISTeP doit se montrer plus offensif dans les candidatures à des financements européens de type ERC ou ITN-Doctoral Networks (2 se sont terminés au début de la période évaluée).

Départs			Arrivées			
	service/plateforme/équipe	motif		service/plateforme/équipe		
<b>Mouvements Personnel Technique</b>						
2018	DEVAUX Didier (TCH)	Litholamelleur	Retraite	LAMMOUCHI Deborah (TCH)	Plateformes	2017
	LAMROUS Hayat (TCH)	Analyses Chimique	MNHN	LETHIERS Alexandre (TCH, 50%ISTeP)	Cartographie	
	LAMMOUCHI Deborah (TCH)	Plateformes	Démission	BASSAVA Subbarao (IR CNRS)	Secrétaire général	2018
2019	DELBES Frederic (TCH)	Litholamelleur	Décès	DUMESNIL Nicolas (AI, 25% ISTeP)	Plateformes	2020
	LABOURDETTE Nathalie (IE)	Analyses Chimique	Mutation	GUITTET Amélie (TCH)	Analyses Sédim.	
	MORGANT Isabelle (TCH)	Informatique	Mutation	BENDJEBLA Yamina (TCH CNRS)	Gestion adm.	2022
2020	BRUNEAUX Marc (AJT)	Gestion adm.	Retraite	PICARRETTA Guillaume (AI CNRS)	Pole informatique	
2021	NANTET Véronique (AJT)	Gestion adm. fin.	Retraite	ROJAS Virginia (IE)	Analyses Chimique	
	QUEYROY Marie-José (TCH CNRS)	Gestion adm.	Retraite			
2022	DOLLIN Gitane (AJT)	Gestion adm. fin.	Retraite			
	MORONI Marc (AJT)	Gestion adm.	Retraite			
	PICARRETTA Guillaume (AI CNRS)	Pole informatique	Démission			
	RAGU Alain (IE CNRS)	Analyses matériaux	Retraite			
<b>Mouvements Chercheurs</b>						
2017	MORENO Eva (MC)	PPB	LOCEAN	DO COUTO Damien (MC)	PPB	2017
	PERSON Alain (MC)	PPB	Retraite	JOLIVET Laurent (PR)	DEMO	
	VILLEMANT Benoît (PR)	PGM2	Retraite	THOMAS Marion (CR)	DEMO	2018
	WAGNER Christiane (MC)	PGM2	Retraite	BAUDOUIN Céline (MC)	PGM2	2022
2018	BOSCHI Lapo (MC)	DEMO	Détachement			
	PASCAL Marie-Lola (CR)	PGM2	Retraite			
	QUILHAC Alexandra (MC)	PPB	CR2P			
2019	BARRIER Eric (CR1)	PPB	Retraite			
	CUBO Jorge (PR)	PPB	CR2P			
	SANLOUP Chrystèle (PR)	PGM2	IMPMC			
	ZUDDAS PierPaolo (PR)	PPB	METIS			
2021	HUCHON Philippe (PR)	DEMO	Retraite			
	LYBERIS Nykos (MC)	DEMO	Retraite			
2022	BRUNET Marie-Françoise (CR)	DEMO	Retraite			
	JOLIVET Laurent (PR)	DEMO	Retraite			
2023	D'ARCO Philippe (PR)	PETRODYN	Retraite			
	SEGALEN Loïc (PR)	TERRE-MER	Mutation			
2025	GALBRUN Bruno (DR)	TERRE-MER	Retraite			
2026	MEYER Bertrand (PR)	TECTO	Retraite			

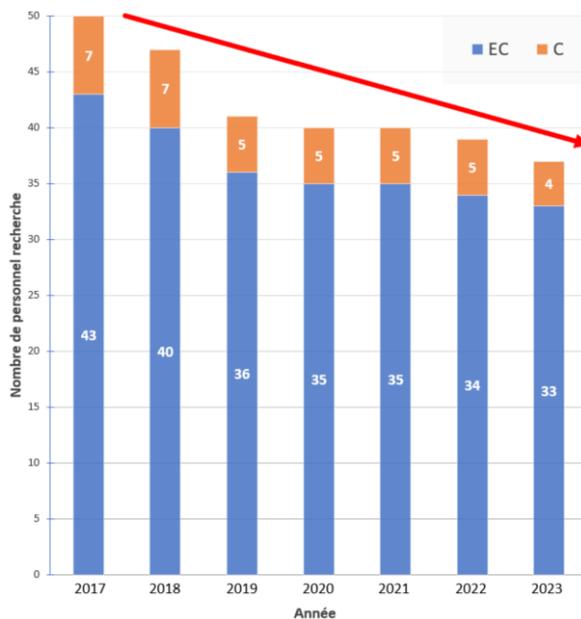
**Figure 40:** Bilan des mouvements du personnel technique (ITA-BIATSS) et des C et EC au cours de la période 2017-2022. Projection des départs jusqu'à 2026 pour les chercheurs.

En terme de ressources humaines, le nombre de départs (depuis 2017) de personnels supports à la recherche, pour retraite essentiellement, est considérable et va encore s'accroître dans les années à venir. L'Unité a perdu 5 BIATSS de 2018 à 2022 sur un total de 25 agents (= - 20%). Depuis 2022, l'Unité a encore perdu 1 ITA et 2 BIATSS (= -32% au total).



**Figure 41** : Evolution du nombre de personnels BIATSS et ITA sur la période évaluée. La flèche souligne l'érosion des effectifs

Comme pour le personnel administratif, le nombre de départs récents de C et d'EC, notamment professeurs, pour retraite essentiellement, est considérable et va malheureusement encore s'accroître dans les années à venir. L'Unité a ainsi perdu, de 2017 à 2023, 3 C CNRS et 10 EC, soit depuis 2017, 13 chercheurs (= 8 ETPR) sur un total de 50 (= - 26%). Le laboratoire perd notamment ses cadres de rang A, les départs de professeurs au cours des 5 dernières années n'ayant été compensés que par 2 promotions 46-3 qui par essence n'apportent pas directement du sang-neuf. Le recrutement d'un rang A supplémentaire dans l'unité est donc vital pour son bon fonctionnement, pour le bon déroulé de la carrière des collègues plus jeunes qui doivent passer leur HDR sans être surchargés de tâches d'encadrement et de responsabilités, et pour le renforcement de l'expertise de l'ISTeP dans les thématiques autour desquelles il est structuré et reconnu.



**Figure 42** : Evolution du nombre de C et EC sur la période évaluée. La flèche souligne l'érosion des effectifs

En 2020-2021 par exemple, le sur-service des enseignants permanents de l'ISTeP s'élevait à 619 heures supplémentaires soit environ 3,22 enseignants temps plein. De surcroît, ces chiffres n'intègrent ni les heures effectuées par les professeurs et le maître de conférence partis en retraite en 2021-2022, ni les récentes (2022) décharges d'enseignement de Philippe Agard (PU, vice-doyen Recherche, Innovation et International) et de l'équipe de direction de l'ISTeP constituée exclusivement d'EC [Olivier Lacombe (PU), Elia d'Acremont

(PU) et Hélène Balcone-Boissard (MCU)]. Les perspectives de recrutement d'EC dans les années à venir à SU sont sombres.

L'augmentation des coûts liés au GVT et aux choix orchestrés à l'échelle universitaire d'orienter l'essentiel des crédits IDEX vers la création et le financement des Instituts et Initiatives pluridisciplinaires et le projet de bâtiment incubateur Paris-Parc vont certes être un levier supplémentaire de collaborations avec les milieux socio-économiques, mais sont autant de ressources qui ne sont pas orientées vers le remplacement même partiel des départs au sein des unités des facultés, notamment la FSI.

<b>DOMAINE 1</b> <b>PROFIL, RESSOURCES</b> <b>ET ORGANISATION DE</b> <b>L'UNITE</b>	<b>FORCES*</b>	<b>FAIBLESSES**</b>
	Actions mises en place pour atteindre les objectifs du mandat 2017-2022	Difficultés de mise en place des actions Retard, déceptions ou échecs et leurs raisons
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Identité IStEP renforcée au cours du contrat présent</li> <li>● Equipe administrative et de gestion structurée et volontaire, renforcée par l'arrivée d'un secrétaire général</li> <li>● Equipe de direction collégiale</li> <li>● Forte connexion avec la FSI, SU et le CNRS (membres nommés ou élus dans les conseils)</li> <li>● Augmentation sensible du nombre de projets soumis et financés (ANR, Emergence Ville de Paris)             <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pression constante et rentable sur les AO INSU</li> <li>● Bonne intégration dans le paysage local (Labex Matisse, Instituts SU, collab. avec MNHN, IPGP, ENS)</li> <li>● Déséquilibre Homme/Femme en cours de résorption</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Manque de femmes corps A</li> <li>● Déséquilibres rapides des forces au sein du labo selon les arrivées et les départs</li> <li>● Personnel administratif et d'appui recherche en érosion malgré le soutien du CNRS pour le secrétariat et pour l'informatique</li> <li>● Accès difficile aux appels d'offres ciblés de l'ANR et de l'ERC (thèmes hors des thématiques de l'IStEP et forte sélection)</li> <li>● Nombre insuffisant de contrats post-doctoraux</li> <li>● Faible nombre de chercheurs à temps plein</li> <li>● Sur-service chronique des EC</li> <li>● Difficulté des transferts de compétences lors des départs en retraite</li> </ul>
	<b>OPPORTUNITES*</b>	<b>MENACES**</b>
Amélioration d'un contexte interne ou externe pouvant avoir un impact positif	Contraintes externes futures ou changements internes à venir pouvant limiter les actions	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Politique volontariste de recrutement</li> <li>● Partage des outils et des compétences (politique de plateformes mutualisées) au sein de l'OSU « Ecce Terra »</li> <li>● Création d'axes transverses orientés vers la transition environnementale et le monde socio-économique</li> <li>● Réorganisation des équipes</li> <li>● Opportunité d'intégration de l'EA GEC de CYU à l'horizon 2025</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Nombre élevé de départs en retraite non compensés</li> <li>● Manque de perspective de recrutement de C et EC spécialement de rang A</li> <li>● Tarissement des financements contractuels jusqu'alors prépondérants sur les financements récurrents (impact sur la possibilité d'une politique de recherche)</li> <li>● Complexité possible d'une géographie multi-sites Paris-Cergy</li> <li>● Energie considérable dépensée à chercher des financements</li> <li>● Difficulté à conserver une activité de recherche pour la direction !!!</li> </ul>	

L'IStEP maintient néanmoins sa politique volontariste de recrutement, en présentant chaque année d'excellents candidats au CNRS et ou faisant remonter des demandes de postes largement argumentées par des considérations de recherche et d'enseignement. Sur la période évaluée, il y a eu seulement 3 recrutements d'EC (Jolivet, Do Couto, Baudouin) et d'une CR CNRS mais qui demandera sa mutation pour raison

personnelle en 2024. Pour pallier cette hémorragie et maintenir son potentiel d'expertise, l'ISTeP a dû se résoudre à demander une CPJ dont l'attribution est loin d'être garantie.

Le déséquilibre hommes/femmes chez les statutaires est en train de se résorber, les responsabilités confiées aux femmes sont maintenant très significatives dans l'unité, à hauteur de celles confiées aux hommes. L'UMR sera attentive à la promotion des collègues femmes aux postes de professeurs.

## Domaine 2. Attractivité

### Référence 1. L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen/international de la recherche.

Malgré les difficultés de financement que connaît la recherche académique, l'activité des chercheurs de l'ISTeP a été soutenue (1) par de nombreuses ANRs, (2) par des campagnes à la mer (10 dont 3 portées par l'ISTeP), (3) par des financements INSU (Syster, Marges, Cessur, Aleas, Intervie), (4) par Sorbonne Université, (5) par la région (Emergence Ville de Paris) et (6) par l'Europe (ITN Waves et ZIP terminés au début de la période d'évaluation, ERC Astro-Geo en cours, co-fund SOUND.AI). Par ailleurs, plus de 45 % des articles des chercheurs de l'ISTeP sont publiés en collaboration avec un autre laboratoire. Parmi les co-auteurs des publications en collaboration, au moins l'un d'entre eux est issu d'un laboratoire étranger. Cela reflète le positionnement non seulement au plan national, mais également à l'international, avec de multiples collaborations : Iran, Norvège (Oslo), Espagne (Barcelone, Madrid, Grenade), Portugal (Lisbonne), Allemagne (Kiel, Bochum, Berlin, Fribourg), Pays-Bas (Utrecht), Italie (Milan, Padoue, Bologne, Turin, Pise, Naples, Palerme, Perugia), Suisse (Bern, Zürich, Genève), Angleterre (Oxford, Leeds, Londres, Southampton), Russie (Novosibirsk, Petropavlosk, Moscou), Maroc (Casablanca), Brésil (Rio de Janeiro, Sao Paulo), Grèce (Athènes), Haïti, USA (Dallas, New-York), Canada (Montréal, Québec).

La reconnaissance et le rayonnement des membres de l'ISTeP sont ainsi avérés par les participations à de multiples projets nationaux et internationaux, mais également par :

- les participations à de nombreuses instances de pilotage de la recherche (**portfolio Unité**)
- les activités éditoriales dans de nombreux journaux internationaux et édition de volumes thématiques
- l'organisation de sessions dans les congrès (EGU, AGU, Goldschmidt) et de conférences en France et à l'étranger (GeoMod, Transdisciplinary Research on Geology, Geodynamics, Earthquakes and Resources, Iran ; Subduction Interface Processes, Espagne ...)
- les participations aux comités nationaux (INSU, CoNRS, CNU) et internationaux (EGU, ...)(**portfolio Unité**)
- les nouvelles distinctions et "fellowships" des membres du laboratoire, parmi lesquels :

- \* Prix SGF : Prix Fontannes 2019 (S. Boulila), Prix Prestwich 2019 (B. Haq, collaborateur bénévole), Prix de Lamothe 2017 (J.P. Suc (DR CNRS émérite)
- \* AAPG Robert Berg Outstanding Research Award 2020 (M.F. Brunet et E. Barrier)
- \* Médaille André Dumont Geologica Belgica 2017 (F. Baudin)
- \* Médaille Arthur Holmes 2021, EGU (L. Jolivet)
- \* Membre de l'Academia Europaea (L. Jolivet, P. Agard)
- \* von Humboldt research grant au GFZ 2021, Potsdam (L. Jolivet)
- \* Membre Senior de l'Institut Universitaire de France 2022, (P. Agard)
- \* Palmes académiques 2021 (S. Bassava)
- \* Légion d'honneur 2021 (A.-M. Lejeune)

Ces éléments sont présentés en détail dans l'auto-évaluation des équipes, le **portfolio Unité** et dans les tableaux de caractérisation.

### Référence 2. L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.

La politique des ressources humaines de l'ISTeP prend en compte plusieurs aspects essentiels pour un bon accueil, un bon accompagnement et une bonne qualité de vie au travail des personnels du laboratoire.

### **\*Politique d'accompagnement des personnels**

Afin d'assurer une bonne organisation générale de l'unité, un poste de secrétaire général a été créé et un IR BAP J du CNRS a été recruté en 2018. En relation avec la direction, sa mission est d'assurer la coordination et la supervision de la gestion de l'ensemble des services de l'unité en application de la politique des ressources humaines des établissements tutelles.

Depuis son arrivée, une vraie cohésion d'équipe, absolument nécessaire pour le bon fonctionnement d'une structure de recherche, a été mise en place avec l'instauration d'une démarche d'amélioration continue qui permet la formalisation des procédures, la traçabilité des actes tout en impliquant et en responsabilisant les agents dans la vie de l'unité grâce à une démarche participative.

Pour la formation professionnelle continue, la référente Formations des personnels (Y. Bendjebla) centralise l'offre de formation des tutelles qui est diffusée à l'ensemble de l'ISTeP aussi bien via la Newsletter hebdomadaire que par messagerie. Cette information permet aux agents de connaître, de suivre les formations et d'acquérir des connaissances utiles pour le service, ce qui est essentiel à leur reconnaissance professionnelle et à leur épanouissement personnel.

Les besoins de formation sont liés aux évolutions des thématiques et aux avancées technologiques pour permettre aux C, EC et BIATSS de mener à bien leurs activités. Les principaux domaines de formation sont centrés sur l'acquisition de techniques spécifiques, de connaissances scientifiques, en informatique et dans le domaine de l'administration et de l'Hygiène et Sécurité. Des besoins en apprentissage de la langue, notamment en anglais et français pour les doctorants venant de pays étrangers, sont également présents.

49 personnes (20 C-EC, 20 BIATSS et 9 doctorants) ont suivi des formations variées de 2017 à 2022 aussi bien dans les domaines techniques qu'administratifs. Ces formations avaient pour vocation le développement ou l'acquisition de nouvelles qualifications, l'adaptation au poste de travail, l'adaptation à l'évolution prévisible du métier ou la santé et sécurité des locaux. De façon non exhaustive, on citera des formations aussi diverses que Maîtrise du temps et gestion des priorités, Laïcité – pourquoi elle nous concerne ?, Scientific writing in English, Français langue étrangère (FLE) niveau intermédiaire fort, Langage PHP Missions dans les pays à risque, Formation "RESEDA", Formation d'assistant de prévention, Manipulation d'extincteurs, Premiers secours PSC1, Module de traitement de la donnée LiDAR de Global Mapper ou encore Magnétomètre marin. Une formation diplômante (Licence de télépilote professionnel de drones) soutenue financièrement par SU a été suivie et validée par 3 permanents et 5 thésards et post-docs de l'ISTeP.

### **\*Politique de suivi d'évolution des carrières des personnels**

Essentielle dans la carrière des agents pour valoriser leur travail, les compétences acquises et leur expérience, l'évolution de carrière est pour eux une reconnaissance. Les différents types de promotions pour les ITA, BIATSS, EC et C offerts par les tutelles est une chance pour eux de se valoriser.

L'accompagnement des agents du laboratoire est mené aussi bien par l'équipe de direction que par les responsables d'équipes. Ces derniers assurent, dès la prise de poste, un suivi du développement professionnel des agents, qui se poursuivra tout au long de leur carrière par le conseil et l'aide dans les étapes de leur vie professionnelle.

Le secrétaire général informe les ITA et BIATSS des différentes sessions organisées ainsi qu'en effectuant les entretiens annuels puis en les aidant à rédiger leur rapport d'activité pour le dossier annuel ou pour les concours internes La direction de l'ISTeP quant à elle se focalise pour l'aide aux personnels scientifiques. Globalement, l'ensemble des personnels de direction se mobilise et participe à la constitution du dossier, à la relecture et à la correction des rapports, et aux oraux blancs.

Pour ce qui concerne la mobilité, l'unité diffuse auprès du personnel, soit par mails soit via la newsletter, les informations sur les différentes sessions de mobilité offerts aux agents (exemple NOEMI ou FSEP au CNRS) ou session de mobilité inter-académique pour les BIATSS. Pour ce qui concerne la mobilité rentrante et pour respecter l'égalité de traitement entre individus et la parité, toutes les offres d'emplois susceptibles d'être vacants suivent les recommandations des tutelles, qui ont tous les deux le label « HR Excellence in Research » en respectant particulièrement la rédaction des offres d'emploi, en assurant une large publicité, dans la sélection des candidats et dans la traçabilité du processus de sélection.

Pour les EC, la politique de l'ISTeP, en lien avec l'UFR, est de demander régulièrement des postes 46-3 en 35<sup>e</sup> et 36<sup>e</sup> sections CNU pour la promotion des MCU de l'Unité. Lors de la période 2017-2022, plusieurs agents ont été promus : promotions de grades [S. Bassava (IR2 à IR1), P. Agard (PUEx1 à PUEx2), C. Gorini (PU1 à PUEx1), L. Labrousse, L. Segalen et M. Fournier (PU2 à PU1), L. Emmanuel (MCU-HC à MCU-HCEX), N. Bellahsen (MCU-CN à MCU-HC). M.F. Brunet (CR-CN à CR-HC)] et promotion de corps [Le Pourhiet et E. d'Acremont, MCU-CN à PU2].

### **\*Politique d'accueil des nouveaux personnels.**

La direction de l'ISTeP accorde une grande importance à l'accueil des collègues permanents et non permanents aussi bien des chercheurs que des personnels d'appui à la recherche. Pour permettre la meilleure intégration possible des procédures sont mises en place avec à l'appui des documents et des formations.

Toute nouvelle arrivante ou nouvel arrivant est pris en charge par le responsable direct ainsi que par les collègues du secrétariat général. Un protocole précis est mis en place pour son accueil.

En prévision de l'arrivée d'un collaborateur, le secrétaire général et la responsable administrative contactent la personne pour préparer sa venue. Du point de vue logistique et matériel, le processus pour l'attribution, du badge d'accès aux locaux, d'un bureau, du numéro de téléphone et la création du mail sont lancés avant l'arrivée. Le jour de son arrivée, le responsable hiérarchique de l'agent la/le présente à l'équipe de direction ainsi qu'à l'ensemble des collaborateurs qui concourent à l'organisation générale de de l'unité (secrétaire général, responsable administrative, responsable financière, responsable informatique, responsable communication). Il lui fait visiter le laboratoire.

Pour une bonne connaissance des personnes référentes de l'unité, des procédures en vigueur et des informations générales sur la vie du laboratoire, un livret d'accueil est remis à l'arrivant. Le livret d'accueil, rédigé en langue française et anglaise, a pour objectif de faciliter l'intégration de tout nouvel entrant en lui apportant des informations sur le laboratoire, son fonctionnement et en lui fournissant des renseignements sur les procédures et contacts pour l'ensemble de ses démarches.

Tout nouveau EC se voit attribuer un budget annuel pour mener à bien ses recherches et reçoit de la FSI une dotation qu'il peut utiliser à sa guise pour son installation, l'achat de matériel informatique ou autre, d'un montant de 10 k€. En outre, le nouvel EC se voit octroyer par l'UFR une décharge d'enseignement pour sa première année de prise de fonction.

L'ensemble des procédures mises en place pour les nouveaux arrivants a permis d'assurer un accueil de qualité et une installation dans les meilleures conditions pour une prise de fonction la plus sereine possible.

### **\*Animation et communication**

Mise en place en 2020, la Newsletter (Annexe 3) contribue à la transmission d'informations internes et externes et participe à la cohésion de l'Unité. Préparée par la référente Communication en lien avec le secrétaire général et la direction, cette lettre permet de maintenir les collègues informés du travail et des actualités (administratives, scientifiques, ...) de manière hebdomadaire. Ce moyen de communication interne permet aussi de légitimer les actions et promouvoir le travail accompli, annoncer des changements ou des arrivées. C'est aussi un moyen supplémentaire de faire participer les collaborateurs à la vie du laboratoire.

L'animation scientifique est complétée par des séminaires hebdomadaires (missions financées par l'unité), dont la liste figure sur le site web du labo (mis à jour régulièrement) et par une ou plusieurs journée(s) scientifique(s) annuelle(s), quelquefois associée à l'AG de l'unité. Par ailleurs, chaque équipe organise librement son animation interne (réunions de projets, retours de missions, mini-séminaires...).

Les doctorants sont aussi à l'origine de séminaires, appelés les DIM (Discussions Informelles du Mardi), pendant lesquels chaque doctorant présente sa recherche en cours et la discute avec les membres présents. A partir de 2017, ces DIM ont fait partie intégrante de la formation de l'ED GRNE 398.

### **\*Ethique, Déontologie, Intégrité scientifique**

L'ISTeP s'est doté d'un référent Ethique, Déontologie, Intégrité scientifique (C. Gorini, PR SU), qui exerce son rôle en lien avec la FSI et SU. L'intégrité scientifique (IS) concerne la façon de conduire ses recherches et de les rendre publiques. Il n'y a qu'un seul Référent Intégrité Scientifique (RIS) par établissement. Le RIS promeut la culture de l'intégrité scientifique à l'échelle de l'université (Unités, ED et UFR), et, en lien avec le référent laboratoire, dialogue avec la direction et propose des actions de formation initiale et continue pour la sensibilisation de tout le personnel. Il y a par ailleurs à SU un Comité d'Ethique de la Recherche, avec un comité de protection des personnes (CPP) agréé par le Ministère de la Santé qui s'occupe de rendre un avis sur les protocoles de recherche interventionnelle impliquant des personnes humaines. Le référent assure le relais vers le CER et une sensibilisation des personnels. Enfin la déontologie des fonctionnaires correspond aux droits et devoirs des fonctionnaires. A SU, le déontologue est un magistrat. Le référent assure le relais auprès du déontologue, et une sensibilisation des personnels de l'Unité.

Pour une présentation du fonctionnement et des instances au niveau universitaire de SU sur : <https://www.sorbonne-universite.fr/universite/nos-engagements/les-dispositifs-dintegrite-deontologie-et-ethique>

### \*Place et implication des doctorants et post-doctorants dans la vie du laboratoire

Les doctorants et post-doctorants font partie intégrante du laboratoire, et en constituent les forces vives. Ils sont invités aux réunions des équipes de rattachement hors celles dédiées à l'utilisation des crédits et sont statutairement représentés au conseil d'UMR. Ils participent aux manifestations scientifiques de, et organisées par, l'ISTeP, mais aussi largement à la Fête de la Science, par exemple. Ils assistent aux séminaires du laboratoire en plus d'organiser eux-mêmes leurs DIM. Ils disposent du matériel nécessaire à leur travail dans des locaux communs (2 à 5 par salle) et peuvent accéder aux outils et plateformes techniques dans le respect des règles s'appliquant au personnel non permanent. Tout comme les personnels permanents, les stagiaires, doctorants et post-doctorants ont libre accès aux salles de convivialité et de repos.

Les doctorants ont accès pour leurs travaux aux financements du laboratoire, tant au niveau des équipes que via l'environnement de leur contrat doctoral. Master et doctorants participent pleinement aux missions et projets des équipes. Plusieurs doctorants sont en commun entre deux équipes et leur co-encadrement est souvent très propice à leur appréhension de la façon dont se fait la recherche. Ils se déplacent et séjournent aussi dans les instituts avec lesquels l'ISTeP collabore.

Dans le cadre des pratiques de l'ED, chaque doctorant fait l'objet d'un suivi individuel annuel avec un membre interne et un rapporteur externe pour s'assurer du bon déroulement du travail de thèse. Lors de la prise de fonction de la nouvelle direction, ils ont tous été conviés à une présentation de leurs thématiques de travaux de thèse. Les doctorants savent que la porte de la direction leur est ouverte au même titre qu'au personnel permanent, et qu'ils peuvent venir faire part de leurs difficultés et problèmes éventuels.

Les doctorants sont largement encouragés voire poussés à, et aidés pour, valoriser leurs résultats : participation à des workshops ou congrès nationaux et internationaux, rédaction d'articles en premier auteur. Ils sont sur demande assistés par des formations dédiées dispensées dans le cadre de l'Ecole Doctorale et évidemment par l'équipe d'encadrement de leur thèse.

### Référence 3. L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

La politique du laboratoire est d'encourager et d'accompagner tous les collègues qui le désirent à déposer des projets aux différents guichets. La newsletter de l'ISTeP et les mails de la direction informent régulièrement les personnels des opportunités de financement et les incitent à déposer des projets. Les collègues sont accompagnés par de multiples entretiens et conseils, relectures du projet, répétition pour les oraux, ....

Le laboratoire est en relation étroite avec le pôle Environnement de la direction de la recherche et de la valorisation (DRV) qui accompagne les personnels et les structures dans le montage de leurs dossiers et assure le suivi de leurs besoins et moyens. Les membres du laboratoire bénéficient également du dispositif des chargés de suivi de la politique de recherche (CSPR), qui recouvre une variété d'actions à différents niveaux, allant des conseils sur les projets et sources de financement au suivi des contrats (publics, européens, internationaux ou industriels) et à leur valorisation. Le dispositif 'APACHE' de la FSI aide à la conception, à la rédaction et à la soumission de projets ERC, Doctoral Networks, candidatures IUF et ANR JcJc via des réunions d'information, des entretiens individuels, des relectures et l'organisation de pitch croisés et d'oraux blancs.

Comme mentionné précédemment, les ressources propres représentent 85% des ressources totales de l'Unité, avec 47% de ces ressources propres provenant de partenariats non-académiques et 53 % du succès aux appels d'offres de financements publics. Ainsi, avec ses 22 ANR, 4 projets européens (2 ITN, 1 ERC, 1 co-fund), 12 projets Sorbonne Université, 36 projets INSU, 3 projets LABEX-Matisse, 1 EQUIPEX, 1 projet Emergence Ville de Paris, un projet SESAME (FEG Camparis porté par B. Dubacq) et de nombreux contrats de collaborations recherche-industrie (21), l'ISTeP apparaît comme une unité attractive.

Les succès de l'Unité aux appels d'offres compétitifs sont détaillés dans l'auto-évaluation des équipes et ne seront pas répétés ici. Le taux de succès est difficile à évaluer, mais est globalement très bon, sauf pour les financements européens. Le succès aux ITN / Doctoral Networks du mandat précédent n'a pas pu être reproduit comme espéré. Malgré la poursuite de l'ERC Astro-Geo (PI J. Laskar, ; S. Boulila pour l'ISTeP) et le succès du projet co-fund SOUND.AI, l'ISTeP déplore que les candidatures aux financements ERC de ses membres Advanced (Agard), Synergy (Jolivet) et Starting (Thomas, admissible) n'aient pas été couronnées de succès.

Sur ses ressources propres provenant de partenariats avec des EPIC, LABEX et des projets (ANR, ...), l'Unité via ses équipes a financé plusieurs post-docs (contrats ERC et ANR : G. Charbonnier ; LABEX Matisse : M. Hermoso, ...) et CDD (ANR V-Care : O. Phelip). Les contrats doctoraux financés sur fonds publics (EPICS) et projets compétitifs nationaux (ANR, ...) ou sur projets européens représentent respectivement 16% et 6% des 96 thèses soutenues sur la période évaluée ou en cours, soit 22%.

#### Référence 4. L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.

Le pôle « Equipements et plateformes instrumentales » de l'ISTeP héberge des moyens de calcul puissants et des installations analytiques (6 entités) de dernière génération.

La proximité de ces plateformes d'analyses et les laboratoires de préparations géochimiques associés permettent aux agents de l'ISTeP (C, EC, I et T) de mieux interagir et d'être à la pointe dans leur recherche. Par exemple, la géochronologie se développe rapidement à l'ISTeP en collaboration avec la plateforme ALIPP6. Une thèse avec une partie dominante sur de nouvelles méthodologies de datation Rb/Sr a été soutenue en décembre 2022 (**portfolio DEMO**), constituant une avancée de 1<sup>er</sup> ordre pour les études tectoniques à venir.

Ce pôle est en constante réflexion pour coller au mieux à l'évolution des recherches effectuées dans l'Unité. Ainsi, un microscope RAMAN est sur la liste des possibles achats à venir.

#### Articulation avec les plateformes de l'OSU

Les chercheurs de l'ISTeP se sont impliqués à différents niveaux au sein de l'OSU Ecce Terra et de la Commission des Services (CoS) depuis leur création, et cet investissement perdure avec des membres au sein du Conseil Scientifique de l'OSU Ecce Terra et des membres élus dans chaque branche de la CoS AOC (Analyses, Calcul et Observations, respectivement).

L'UMS OSU Ecce Terra et la CoS ont pour objectifs de soutenir les plateformes en cas de problèmes et de pannes, mais également de leur permettre de se développer et de rester à la pointe technologique par des investissements co-financés lourds ou modérés. UMS et COS soutiennent également les plateformes à travers le recrutement d'ingénieurs et de techniciens, éventuellement mutualisés entre plusieurs plateformes.

Trois plateformes (CAMPARIS, MEB et ALIPP6) ont une gestion financière faite par un personnel administratif de l'UMS OSU Ecce Terra. Cette gestion a été généralisée à presque toutes les plateformes, ce qui a permis de décharger le personnel administratif de l'ISTeP. Les chercheurs et les instruments de l'ISTeP sont également impliqués dans les réseaux nationaux et internationaux comme Isotraces, SFIS, GeoChem, REGEF, Thermonet. Pour une meilleure gestion des équipements et plateformes analytiques à l'échelle de l'ISTeP, un pôle regroupant toutes les plateformes a été créé et mis sous la responsabilité de la DU-adjointe Hélène Balcone. Elle est assistée d'un directeur technique (B. Caron, IR SU), qui assure la liaison avec les plateformes de l'OSU, le responsable des plateformes de SU et les services de l'INSU.

Les différentes plateformes analytiques de l'Unité sont listées ci-dessous et présentées en détail en Annexe 2 :

\***Plateforme Rhéolith – calculs** (calculateurs, GPU et codes numériques)

\***Plateforme Géophysique – SIG** (instruments de sismologie et GPS permanents, sondes, conductivimètre, drone Lidar, carothèque, stations de traitement de données géophysiques et SIG)

\***Plateforme Sédimentologie et géochimie isotopique des carbonates** (spectromètre de masse)

\***Plateforme AMOS - Analyse des Matières Organiques Sédimentaires** (analyseur élémentaire et 2 appareils Rock-Eval)

<https://www.sorbonne-universite.fr/plateformes-techniques/plateforme-georg>

\***Plateforme Caractérisation et analyse pétrologiques** (MEB, EBSD, Fluo X, platine microthermométrique, dispositif de cathodoluminescence, DRX, microscopes optiques et salles de préparation)

[http://ecceterra.sorbonne-universite.fr/fr/les\\_services\\_aoc/les\\_plateformes\\_analytiques2/meb.html](http://ecceterra.sorbonne-universite.fr/fr/les_services_aoc/les_plateformes_analytiques2/meb.html)

\***Plateforme ALIPP6** (ICP-OES, ICP-M/MS triple quadrupôle et Laser Excimer 193 nm).

[http://ecceterra.sorbonne-universite.fr/fr/les\\_services\\_aoc/les\\_plateformes\\_analytiques2/plateforme-allip6.html](http://ecceterra.sorbonne-universite.fr/fr/les_services_aoc/les_plateformes_analytiques2/plateforme-allip6.html)

\***Plateforme CAMPARIS** (2 microsondes électroniques SX100 et SXFive).

[http://ecceterra.sorbonne-universite.fr/fr/les\\_services\\_aoc/les\\_plateformes\\_analytiques2/plateforme\\_men.html](http://ecceterra.sorbonne-universite.fr/fr/les_services_aoc/les_plateformes_analytiques2/plateforme_men.html)

L'ISTeP dispose enfin d'un atelier complet de litholamellage sous la responsabilité d'E. Delairis (T, SU).

## Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 2

<b>DOMAINE 2</b> <b>ATTRACTIVITE</b>	<b>FORCES*</b>	<b>FAIBLESSES**</b>
	Actions mises en place pour atteindre les objectifs du mandat 2017-2022	Difficultés de mise en place des actions Retard, déceptions ou échecs et leurs raisons
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Nombreuses collaborations à l'international et au national</li> <li>● Qualité des parcs analytique, calculatoire et instrumental ; amélioration et maintien constant de ces outils ; création d'une carothèque</li> <li>● Nombreux projets et articles basés sur le potentiel des outils</li> <li>● Qualité de la politique d'accompagnement des personnels</li> <li>● Bonne réussite aux AO nationaux</li> <li>● Important rayonnement scientifique de certains membres de l'Unité</li> <li>● Approche intégrée terrain/analyse/modélisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Manque de personnel technique de préparation des échantillons</li> <li>● Manque de personnel technique pour le plan de management des données</li> <li>● Faible succès aux AO européens (3 échecs Starting, Advanced et Synergy)</li> </ul>
	<b>OPPORTUNITES*</b>	<b>MENACES**</b>
Amélioration d'un contexte interne ou externe pouvant avoir un impact positif	Contraintes externes futures ou changements internes à venir pouvant limiter les actions	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Formation du personnel aux techniques de pointe</li> <li>● Diversité des sources de financement et des projets scientifiques avec l'intégration future du GEC</li> <li>● Ouverture vers le monde socio-économique non pétrolier</li> <li>● Collaboration au sein de l'alliance, avec les Instituts et Initiatives de SU (financement, visibilité)</li> <li>● Soutien de la FSI pour les projets</li> <li>● Mise en place de plan de gestion des données</li> <li>● Ouverture de l'ISTeP à la science des données (SOUND-AI, SCAI SU)</li> <li>● Relations et projets avec les SHS en augmentation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aucune candidature sur les postes informatiques</li> <li>● Non compensation des départs en retraite ou mutation et donc disparition de savoir-faire et de thématiques</li> </ul>	

L'ISTeP offre à son personnel un excellent soutien analytique et calculatoire ainsi qu'un parc instrumental de géophysique pour mener à bien ses recherches. De nombreux projets sont basés sur le potentiel

de ses outils, comme le soulignent les publications en lien avec les plateformes et les développements récents en géochronologie par exemple (**portfolio DEMO**).

L'ensemble de l'instrumentation géophysique (souvent complété par des outils d'acquisition associés aux navires) et les stations de traitement permettent l'acquisition et l'analyse des données acoustiques marines et terrestres d'un large spectre (sondeurs bathymétriques multifaisceaux, sondeur de sédiments haute résolution, sismique réflexion multi-traces, OBS et stations sismologiques, topographie très haute résolution). Ceci est directement profitable à la composante Géosciences marines du laboratoire. L'analyse de la matière organique par la méthode Rock-Eval® fait aussi partie des points forts du laboratoire régulièrement sollicitée lors des appels à projets. Les instruments font partie des plateformes de l'OSU ce qui leur confère un soutien en cas de panne importante et une aide à la facturation des analyses. Le laboratoire veille au maintien des locaux (par exemple, aménagement de la salle de broyage et de sciage), à l'amélioration constante de son parc analytique (EBSD, table à secousse, ...), avec en particulier une dynamique de jeunesse continue et participe à l'achat de matériel plus performant (FEG Camparis, laser ALIPP6, ...). Des projets d'achat (Raman) sont à l'étude.

Le laboratoire forme son personnel aux techniques de pointe en plein essor comme l'utilisation des drones. On peut regretter le manque de personnel technique de préparation des échantillons en amont des analyses qui est pourtant une étape cruciale pour obtenir des données de qualité. Il y a également un fort besoin d'un ingénieur traitement des données géophysiques (sismiques, données complexes et très volumineuses) pour développer des outils de formatage des données, leur traitement mais également pour leur post-traitement et archivage (stratégie du Numérique, Open Data et protocole FAIR).

Un point d'amélioration à apporter est celui du stockage des données et de leur intégration dans une banque nationale ; le soutien du réseau RéGEF/GEOF devrait aider à concrétiser ce point.

## Domaine 3. Production scientifique

### Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.

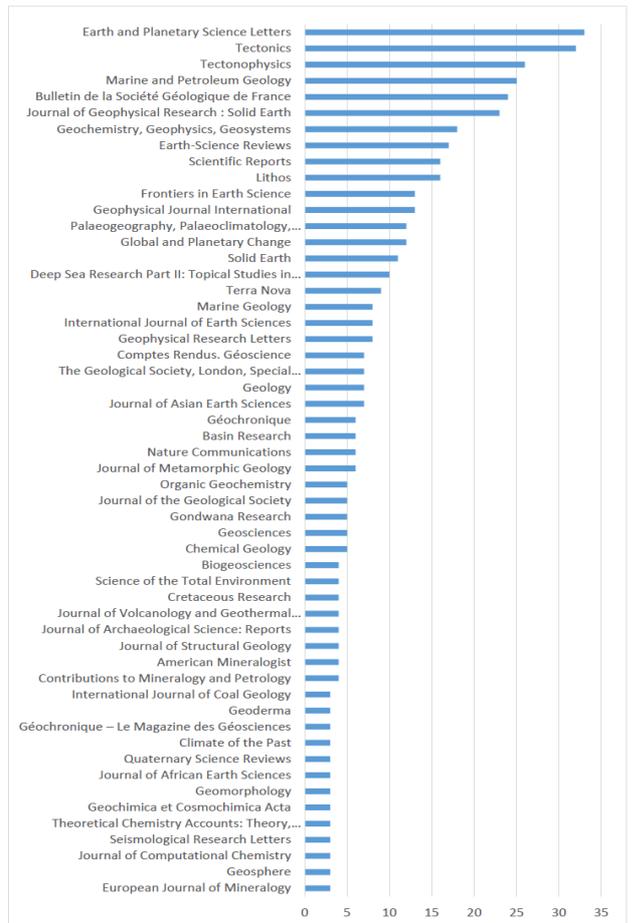
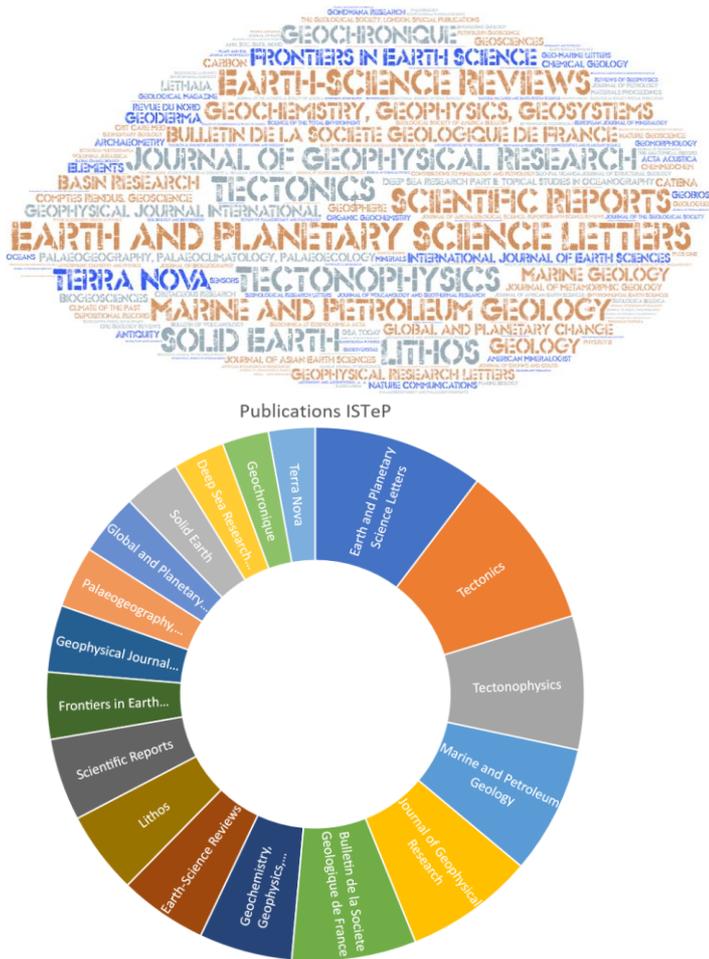
Les multiples productions de l'ISTeP reflètent sa contribution significative à la compréhension, caractérisation et quantification des processus géologiques qui contrôlent et/ou accompagnent la dynamique de la lithosphère depuis la surface (sédimentation, interactions avec les enveloppes externes-paléoclimats, lien volcanisme-atmosphère, aléas volcanique-sismique-hydro-dynamique et gravitaire) jusqu'à la profondeur (tectonique profonde, métamorphisme, interactions avec la fusion partielle et la dynamique mantellique, ressources), et depuis des échelles de temps de la centaine de Ma jusqu'à l'échelle de temps du cycle sismique. Grâce à son approche pluridisciplinaire (terrain-analyse-modélisation), l'ISTeP publie de nombreux articles originaux, tant en imagerie sismique qu'en résultats analytiques de premier ordre (géochronologie, horloge volcanique, cyclicité astronomique) ou de modélisation (théorique ab initio, modélisation thermo-mécanique 3D) ou en modèles conceptuels novateurs (formation des slabs dans les zones de subduction, dynamique des marges et des chaînes de montagnes from top to bottom).

L'activité de publication des personnels de l'ISTeP sur la période est soutenue. Le nombre d'articles dans HAL sur la période 2017-2022 est de 659. A titre indicatif, le total obtenu par sommation des déclarations individuelles des personnels sollicitées par la direction est, après retrait des doublons, de 740, soit ~120 articles/an. Le différentiel correspond pour l'essentiel aux articles non rentrés ou mal référencés sous HAL. Considérant néanmoins que le bilan HAL a valeur de preuve, la base de calcul utilisée par la suite sera celle de 659 articles de rang A, soit une production de ~110 articles/an. Une centaine d'articles sont cosignés par des collègues de plusieurs équipes. Avec en moyenne 24,5 ETPR « permanents » à l'ISTeP sur la période évaluée, cela correspond à un taux de publication moyen de 4,5 articles/ETPR « permanent »/an. Si on souhaite prendre en compte les 4 DR CNRS émérites (Suc, Bergerat, Sébrier, Bourgois), les 2 PU émérites (Huchon, Villemant) et la MCU émérite (Wagner), à raison par exemple de 0,5 ETPR chacun, le taux de publication devient 3,9 articles/ETPR/an. A titre de comparaison, lors du précédent mandat, le nombre d'articles publiés sur 5 ans était de 620 pour 35 ETPR, soit ~120 articles /an et 3,5 articles/ETPR/an.

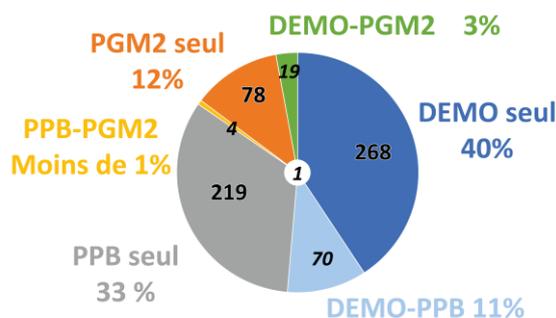
Les productions, appuyées sur le savoir-faire des personnels de l'UMR, sont diverses, originales et de premier plan à l'international tant sur les aspects méthodologique (développement en géochronologie, de standards géochimiques), technique (analyse de la matière organique, des halogènes) et scientifique. L'ISTeP

est ainsi reconnu pour ses travaux dans les domaines de la tectonique et de la géodynamique, de la modélisation numérique, de la pétrologie métamorphique, en volcanologie et en paléoclimats/paléoproxies (voir thématiques scientifiques et **portfolio**).

Les revues dans lesquelles les chercheurs de l'ISTeP publient le plus reflètent le profil d'activité de l'unité avec : (1) celles spécialisées dans les domaines de la géochimie et pétrologie, de la tectonique, de la sédimentologie, de la géophysique et de la modélisation numérique et (2) celles qui permettent la publication d'études intégrées depuis la géologie régionale jusqu'à la quantification des processus. On compte ainsi de nombreuses publications dans des revues à fort impact (même si l'Open Access a largement tendance à diminuer l'importance de ce critère sur la diffusion et les citations des articles). On notera que 80% des articles de l'ISTeP sont publiés en open-access.



**Figure 43 :** A gauche : Principaux journaux dans lesquels l'ISTeP a publié au moins 9 articles, sur un total de 184 journaux. A droite : nombre de publications dans les journaux dans lesquels l'ISTeP a publié 3 articles ou plus.



**Figure 44 :** Activité de publication par équipe et inter-équipe sur la base du nombre total d'articles sur la période (659).

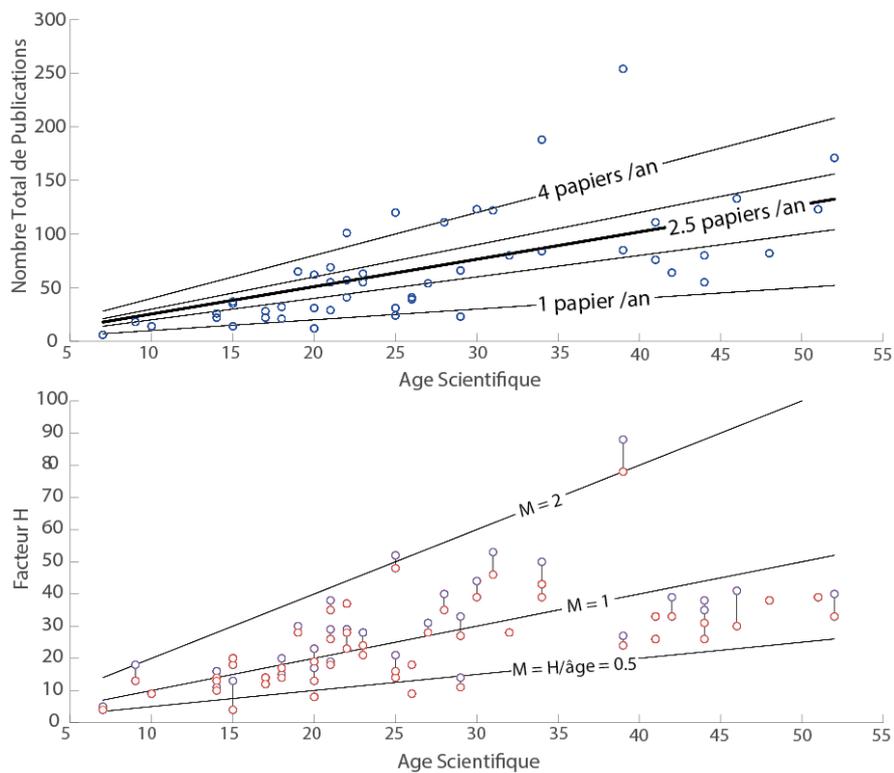
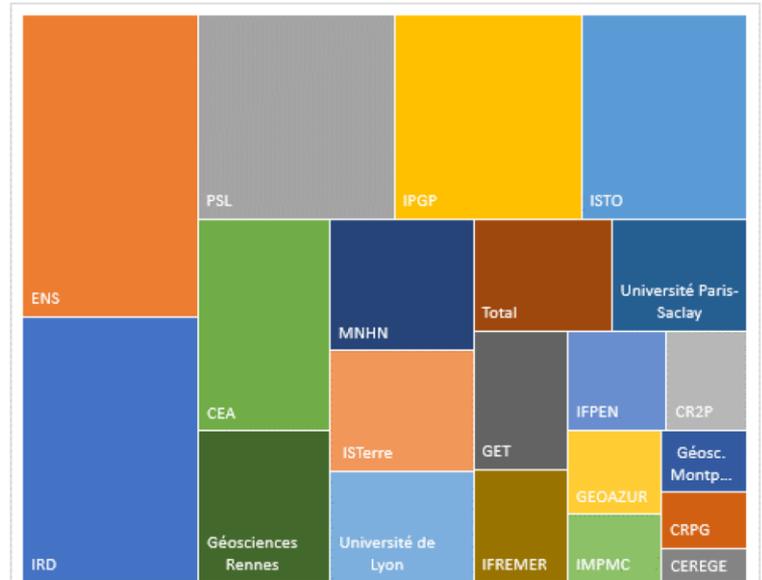
Sur cette période, DEMO a un taux moyen de publication de 5 articles/ETPR « permanents »/an, PPB de 6,5 et PGM2 de 4,2 (voir détail dans l'auto-évaluation des équipes).



**Figure 45 :** Bilan de publication des équipes et de leur poids respectif en moyens humains. Pour PGM2, Y. Noël (directeur à temps plein de CAPSULE) et A.-M. Lejeune (en détachement sur 80% de la période) ne sont pas comptabilisés en ETPR

L'ISTeP co-signe également avec un éventail de collègues de laboratoires nationaux dont le panel s'est diversifié par rapport au mandat précédent.

**Figure 46 :** Proportions des publications en collaboration avec les établissements, organismes ou laboratoires nationaux. La surface du cadre est proportionnelle au pourcentage d'articles co-



**Figure 47 :** Statistiques individuelles de publication pour les C et EC de l'ISTeP présents sur la période, en fonction de leur âge scientifique, i.e. le temps écoulé depuis leur soutenance de thèse de doctorat ou leur première publication. Le taux moyen de publication est de 2,5 articles par an et par personne. Le facteur H est tiré de la base WOS Clarivate (rouge) et Google Scholar (bleu).

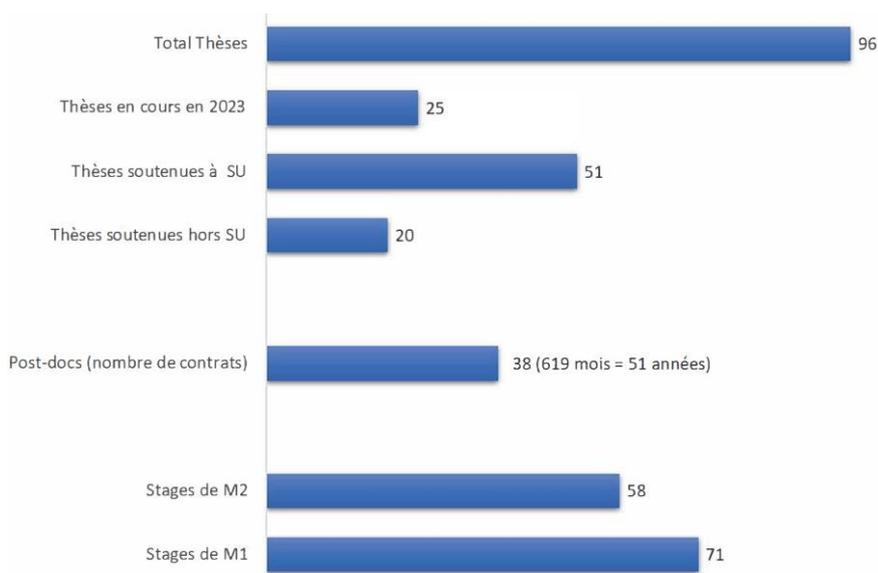
S'y ajoute le grand nombre de collègues éditeurs, éditeurs associés, présidents d'organisations et de commissions, organisateurs de conférences ou de sessions, membres de comités et de jurys nationaux et internationaux, responsables de projets nationaux et internationaux.

## Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.

Le taux moyen de publication de 4,5 articles/ETPR/an est élevé, ce qui signifie que les EC qui constituent l'essentiel des personnels de recherche à l'ISTeP (79% en tout, 29% PU et 50% MCU) publient abondamment malgré les charges d'enseignement souvent excédentaires qu'ils assurent.

La production d'articles scientifiques de l'UMR apparaît tout à fait proportionnée à son potentiel, et va même au-delà. A l'exception de 2 collègues non-publants (dont un est parti à la retraite en 2021), cette production est répartie également entre les équipes au pro rata du nombre de membres. Les personnels d'appui à la recherche, IR et IE, sont impliqués dans la valorisation des travaux en étant co-auteurs des articles. Pour les IR, J. Poort (h-index de 21) ou B. Caron (h-index de 15) sont régulièrement co-auteurs de publications ; O. Boudouma est tout aussi actif bien que n'apparaissant pas dans les publications. La production des personnels chercheurs débutants est très bonne : D. do Couto (recruté en 2017) a un taux de publication moyen de 2,5 articles/an (dont 4 en 1<sup>er</sup> auteur) et M. Thomas (recrutée en 2018) a un taux de publication de 1,2 article/an (dont 2 en 1<sup>er</sup> auteur). Ils sont également auteurs de chapitres d'ouvrage (respectivement 2 et 1).

En termes d'encadrement doctoral, 71 thèses ont été soutenues pendant la période évaluée et 25 sont encore en cours.



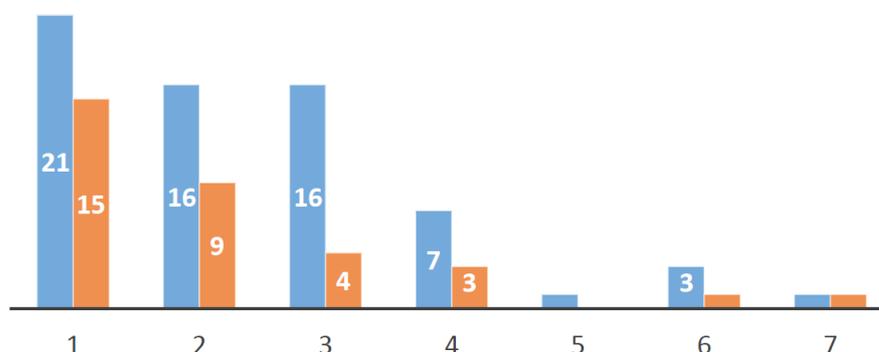
**Figure 48:** Activité de formation par la recherche à ou par l'ISTeP sur la période 2017-2022

La répartition des thèses soutenues est variable d'une équipe à l'autre, et en relation directe avec le nombre de personnel HDR dans ces équipes.



**Figure 49 :** A : répartition par équipe des thèses soutenues pendant la période évaluée (47 dans DEMO, 16 dans PPB, 8 dans PGM2). B : répartition des HDR par équipe pendant la même période (24 HDR en tout, 15 dans DEMO, 6 dans PPB, 3 dans PGM2)

Les doctorants assurent une part significative de la production scientifique de l'unité : parmi les 659 articles produits par l'ISTeP, 26% (= 173) impliquent au-moins un doctorant. 30% des doctorants ont un article soumis de leur thèse (85% en premier auteur) et 40% en ont entre 2 et 3 ; 6% en ont plus de 5 alors que 14% des doctorants soutiennent leur thèse sans article publié dans HAL. Il est à souligner que parmi les 6% ayant plus de 5 articles la quasi-totalité a publié en premier auteur.



**Figure 50** : Statistique de publication des doctorants. Nombre de doctorants ayant X publications (bleu) et ayant Y publications en premier auteur (orange)

La même politique de soutien à la valorisation des travaux est appliquée aux post-doctorants du laboratoire. Sur la période évaluée, les 38 post-doc ont produit 72 articles, mais 15% d'entre eux ne sont pas publiants.

**Référence 3. La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.**

#### Science ouverte : ISTeP et SU

L'ISTeP dispose d'une référente Diffusion, Communication, Science Ouverte (A.-C. Laurent-Morillon, IE CNRS), qui exerce son rôle en lien avec la FSI et SU. Cette référente est en charge de la communication au sein de l'ISTeP qui se fait, outre les messages de la direction, par une newsletter hebdomadaire. Elle est également en charge de l'appui à l'organisation des congrès, de la communication d'information sur les réseaux sociaux et de la diffusion des résultats de la recherche de l'ISTeP auprès de la communauté (e.g., brèves de l'INSU) mais également auprès du grand public via la didactisation de certains articles. Enfin, cette référente est en charge du suivi de la politique de Science Ouverte de SU et du CNRS et du suivi de la mise en ligne sur HAL SU des travaux des C et EC de l'ISTeP.

SU et ses laboratoires se sont engagés à mettre en œuvre la diffusion sans entrave des résultats de la recherche en vue de leur réutilisation – tels que les articles, les thèses, les données de recherche et les codes de logiciels scientifiques. Cet engagement s'est notamment traduit par le vote d'une Charte pour le libre accès aux publications, en mars 2019, qui invite l'ensemble des personnels de recherche et des doctorantes et doctorants à déposer le texte intégral de leurs articles sur le portail HAL SU. Elle engage également l'établissement à fournir à la communauté universitaire les moyens de se former à la science ouverte. Dès sa création, l'Alliance SU a également fait le choix de s'engager pleinement dans le mouvement de la science ouverte permettant l'accès de tous au savoir. C'est dans cet objectif qu'elle s'attache à ouvrir les résultats de la recherche produite au sein de ses établissements et à en promouvoir la dissémination, afin de partager avec les citoyens les fruits de leur contribution à la recherche publique et de développer une science de confiance.

Les C, EC, IR et doctorants de SU, et donc de l'ISTeP, se sont engagés à respecter, d'un commun accord, une charte concernant le libre accès aux publications. En déposant le texte intégral de tout article dans l'archive ouverte HAL SU dès sa date de publication, et en référençant leurs autres types de publications, ils contribuent à la diffusion en libre accès de leurs publications. L'engagement porte sur :

- Agir en faveur de la science ouverte et du libre accès aux publications dans l'exercice de leurs différentes responsabilités
- Vérifier l'adéquation des contrats d'édition avec la politique de SU en matière de libre accès
- Privilégier la publication en libre accès plutôt que dans une revue hybride lorsqu'un article fait l'objet de frais de publication

- Créer et utiliser les identifiants IdHAL et ORCID leur permettant de s'identifier de manière univoque comme auteurs de leurs publications et de favoriser la visibilité de leur production scientifique.

SU a organisé en 2020 le Research Data Rights Summit qui a réuni 9 réseaux représentant plus de 160 des principales universités de recherche intensive dans le monde. Le document-cadre « Déclaration de la Sorbonne » qui y a été signé est destiné à promouvoir le partage et le bon usage des données et appelle la communauté de la recherche publique et privée à s'associer à cet engagement. En ligne avec cette politique, SU est également signataire de la Déclaration de San Francisco sur l'évaluation de la recherche (DORA) dont elle s'engage à appliquer les principes pour améliorer les méthodes d'évaluation.

Cette politique de science ouverte se développe selon l'approche FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) pour l'ensemble des données de terrain (à terre ou en mer ou par drone), d'analyse de données (géochimique, géophysique), afin de faire des principes de FAIR une réalité dans l'Unité.

### Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 3

L'ISTeP a augmenté son taux de publication par rapport au mandat précédent, essentiellement basé sur des la production par des EC (79% des personnels de recherche) et avec une quantité négligeable de non publiants. Les doctorants et post-doctorant sont associés à cette dynamique de publication. Les publications révèlent des collaborations internes à l'unité, mais également une ouverture vers les laboratoires nationaux et internationaux. Les journaux dans lesquels l'ISTeP publie sont à la fois très thématiques mais également très généralistes, avec des impact factor notables, reflétant le savoir-faire particulier des équipes et les avancées reconnues. L'ensemble de la politique de publication de l'unité repose sur l'application de la politique de science ouverte. L'activité de formation à la recherche et par la recherche est une des forces du laboratoire. La répartition des thèses soutenues est variable d'une équipe à l'autre, et est en relation directe avec le nombre de personnel HDR dans ces équipes. Ce déséquilibre devrait être résorbé dans la nouvelle configuration des équipes envisagée (voir trajectoire).

<b>DOMAINE 3</b>  <b>PRODUCTION SCIENTIFIQUE</b>	<b>FORCES*</b>	<b>FAIBLESSES**</b>
	Actions mises en place pour atteindre les objectifs du mandat 2017-2022 <ul style="list-style-type: none"> <li>● Une production scientifique significative ramené au ratio EC/C: &gt; 110/an</li> <li>● Un dépôt organisé dans HAL, avec une référente Science Ouverte</li> <li>● Un référent éthique, déont., intégrité</li> <li>● Bonne intégration des doctorants dans la production</li> <li>● Large activité éditoriale</li> </ul>	Difficultés de mise en place des actions Retard, déceptions ou échecs et leurs raisons <ul style="list-style-type: none"> <li>● Faible accès aux journaux Nature, Science, ... inhérent à nos thématiques</li> </ul>
	<b>OPPORTUNITES*</b>	<b>MENACES**</b>
	Amélioration d'un contexte interne ou externe pouvant avoir un impact positif <ul style="list-style-type: none"> <li>● Diversification des thématiques de recherche et donc d'opportunité de cibles de journaux</li> <li>● Une réflexion par équipe et un soutien aux collègues éligibles (ANR JCJC, ERC starting ...)</li> <li>● Une position charnière entre les futurs instituts de SU avec des projets interdisciplinaires</li> </ul>	Contraintes externes futures ou changements internes à venir pouvant limiter les actions <ul style="list-style-type: none"> <li>● Malgré une bonne production, pas de nouveau recrutement CNRS</li> <li>● Risque de perte de compétitivité avec un faible ratio C/EC</li> </ul>

## Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

### Référence 1. L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

L'activité de recherche à l'ISTeP est significativement financée par les appels d'offres des organismes de recherche en France et en Europe, ou les collectivités régionales. Tout en restant fondamentale, la recherche de l'ISTeP intéresse aussi les industriels : les nombreux contrats de recherche font vivre l'UMR et ont permis la réalisation de projets importants à son échelle. Sur la période évaluée, les ressources issues de conventions, contrats et partenariats avec le monde non-académique représentent ~47% des ressources propres de l'UMR, et 40% des ressources totales. Ces partenariats se déclinent sous forme de collaborations de recherche avec les équipes R&D et Exploration de Total notamment (PAMELA, OROGEN, GRI Téthys Nord, GRI Méditerranée,...) avec un total cumulé des contrats > plusieurs M€, mais également avec ENGIE, AREVA, Vinci Technologies, avec des EPICS : BRGM, IFREMER, IFPEN, ANDRA, IRSN, et plus récemment avec l'ADEME, St Gobain, 45.8 energy, Lithium de France, CGG. A titre d'exemple, un stage financé par St Gobain portera sur une analyse de textures de laine de roche, pour en comprendre les propriétés mécaniques. Les compétences de l'ISTeP seront mises en oeuvre pour une amélioration de la production industrielle de matériaux d'isolation.

Sur ses ressources propres provenant de partenariats industriels ou avec des EPIC, l'Unité via ses équipes a financé plusieurs thèses (BRGM : K. Mendes, A. Faure, B. Huet, Q. Brunsmann ; AREVA-ORANO : A. Grare ; TOTAL : B. Bah; IFPEN : C. Parlangeau ; ANR : E. Kanari, J. Flores-Cuba, M. Mohammadian Sarvandani, C. Masquelet, S. Gommery), post-docs (TOTAL : JB Girault, F. Korostelev, V. Roche, S. Pajang, P. Perron ; ANR : L. Jeandet, T. François) et CDD (TOTAL : V. Cabiativa; G. Bonnet; E. Bessière; Vinci-Technologie -qui commercialise le Rock-Eval® -: A. Wattripont).

Les sources de financement des thèses de l'ISTeP  
(2017 - 2022)

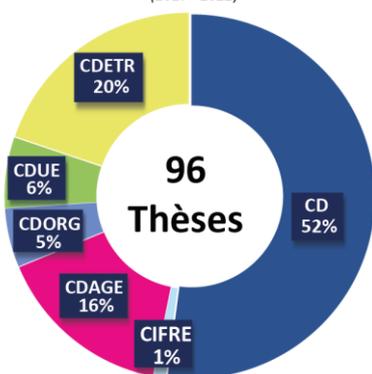


Figure 51 : Sources de financement des thèses

CD Financement d'État  
 CIFRE Conventions CIFRE  
 CDAGE Agences françaises de financements publics de la recherche  
 CDORG Financements privés d'organisations implantées en France  
 CDUE Financements de la commission européenne  
 CDETR Financements étrangers

Les partenariats de longue date avec l'IRSN, et ceux plus récents avec l'ADEME, St Gobain, 45.8 energy (H<sub>2</sub>), Lithium de France, mais également avec le Musée du Louvre montrent que l'unité se saisit de sujets tant à valeur scientifique que sociétale (ressources énergétiques non carbonées, minerais stratégiques, aléas telluriques, matériaux) et culturelle (Art et Science, Patrimoine) en cohérence avec sa politique de recherche. Ces partenariats renforceront sa capacité à relever les défis environnementaux et sociétaux actuels. Un membre de l'ISTeP est élu depuis 2022 au CA de l'Association Française des Professionnels de la Géothermie.

### Référence 2. L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

Bien que l'ISTeP ne développe pas directement de produits spécifiquement destinés au monde culturel, économique ou social, les recherches menées au sein de l'institut et la formation dispensée par ses membres ont des retombées dans ces domaines.

Ainsi par exemple, A. Rabaute (PAST IStEP) est gérant de la société de prestations R&D GEOSUBSIGHT qui fournit des solutions à destination des entreprises et organismes scientifiques pour la cartographie numérique, la création de bases de données scientifiques, et la R&D pour l'aléa géologique et la caractérisation des formations géologiques pour le stockage en profondeur et l'exploration des ressources naturelles. A. Rabaute crée également des solutions innovantes pour l'exploration des ressources en hydrogène blanc, ainsi que pour la géothermie haute température, en utilisant les données satellitaires multispectrales. Il est le cofondateur de la start-up KALYOSPHERE, qui souhaite devenir un acteur important de la géothermie profonde électrogène en utilisant des solutions d'exploration originales, conjugant travail de terrain, bases de données, modélisation numérique et machine learning (**portfolio Unité**).

Dans le monde de la culture, l'ISTeP contribue à la compréhension et à la diffusion de la connaissance géoscientifique en organisant des conférences, des expositions et des événements destinés à un large public, qui permettent de mieux comprendre les enjeux liés aux sciences de la Terre. Cela contribue à sensibiliser le public aux enjeux environnementaux et à encourager une prise de conscience collective sur l'importance de préserver notre planète. Par exemple, les connaissances scientifiques des membres de l'ISTeP sont utilisées pour mieux (faire) comprendre les phénomènes naturels tels que les séismes, les éruptions volcaniques ou les changements climatiques, et ainsi contribuer à la prévention des risques naturels. De même, les recherches menées en géochimie et en géologie ont des applications dans les domaines de l'industrie, de l'énergie et de l'environnement.

L'ISTeP collabore également avec d'autres institutions de recherche et de culture pour mener des projets interdisciplinaires, tels que des expositions scientifiques, des documentaires et des publications qui mettent en avant les recherches menées en Géosciences.

Enfin l'ISTeP est largement impliqué dans la formation à et par la recherche de la nouvelle génération de futurs chercheurs en Géosciences, en proposant des formations de niveau master et doctorat.

### Référence 3. L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

L'ISTeP participe activement à la valorisation et la diffusion de ses activités auprès du Grand Public et plus particulièrement auprès du monde scolaire et étudiant. La rubrique ci-après présente quelques réalisations et pratiques de vulgarisation à l'échelle de l'Unité. De nombreuses autres interventions sont présentées dans le bilan des équipes.

#### \**Organisation d'expositions grand public :*

-Expositions réalisées à l'UPMC en 2017 pour la cloture du projet ITN ZIP (Zooming Into Plates) et du projet ENVEXX (projet sur le climat – environnements extrêmes dans le cadre de la Licence de Sciences de la Terre) pilotés par P. Agard. Ces expositions ont réuni quelques 2000 visiteurs en 1 semaine.

<https://www.visite-virtuelle360.fr/visite-virtuelle/171110-UPMC/>

- Exposition et conférences au Palais de la Découverte (2019) : une équipe de chercheurs de l'ISTeP a monté une exposition sur les zones de subduction intitulée « *la fabrique des montagnes* » dans le cadre du projet « un chercheur, une manip (1c1m) » du Palais de la découverte. La préparation de l'exposition s'est déroulée sur 1 an. Après des réunions scientifiques et techniques avec le médiateur scientifique, le vidéaste, le responsable technique et les personnels de l'ISTeP ont élaboré les panneaux et les vitrines d'exposition, conçu le scénario d'un film qui a ensuite été tourné au laboratoire et sur le terrain, préparé les exposés scientifiques et construit une boîte à sable pour une expérience analogique qui tournait pendant les exposés. L'exposition s'est déroulée sur 3 mois, au cours desquels l'ISTeP a assuré des exposés scientifiques grand public, à raison de 2 exposés chaque mercredi, samedi, dimanche.

<https://www.palais-decouverte.fr/fr/ressources/les-themes-1c1m/la-fabrique-des-montagnes>

<http://istep.upmc.fr/fr/les-manifestations/palais-de-la-decouverte/la-fabrique-des-montagnes.html>

Une deuxième exposition « Séismes, avalanches et sédiments marins » impliquant l'ISTeP a été également réalisée dans le cadre 1c1m

<http://istep.upmc.fr/fr/les-manifestations/palais-de-la-decouverte/seismes-avalanches-et-sediments-marins.html>

\*Interventions dans les écoles / conférences:

Plusieurs membres de l'ISTeP sont investis auprès des scolaires via des interventions dans les écoles primaires ou classes préparatoires aux grandes écoles. Certains sont invités pour des conférences grand public ou des articles de vulgarisation :

<https://www.letelegramme.fr/finistere/concarneau/conference-volcans-et-climat-avec-erwan-martin-08-01-2018-11805124.php>

<https://theconversation.com/seisme-en-mer-egée-que-savent-les-scientifiques-apres-quelques-jours-de-travail-149246>

\*Fête de la Science : cet événement est géré au niveau SU qui fait un appel à manifestation d'intérêt sur le thème choisi nationalement. Cet événement donne lieu à la création d'un groupe de travail alliant tous les membres intéressés par l'événement (C, EC, BIATSS et étudiants). L'ISTeP partage ainsi ses activités de recherche la semaine avec les groupes scolaires et le week-end avec un public plus familial. Fort du soutien logistique de SU, l'ISTeP avait préparé deux séries d'ateliers, pour les scolaires dans les locaux du laboratoire, et pour les scolaires et le grand public, en extérieur dans le "village des Sciences" du campus Pierre et Marie Curie de SU. Le laboratoire a ainsi proposé des démonstrations analogiques sur les risques naturels et réalisé deux petits films de présentation des expériences qui ont été présentés en continu en fond de stand pendant tout le week-end. Une série de photos est également disponible sur le site de l'ISTeP.

<http://istep.upmc.fr/fr/les-manifestations/fete-de-la-science/fete-de-la-science-2022.html>

Certains membres sont également associés à d'autres laboratoires sur des thématiques précises pour créer l'événement. Par exemple, en 2022, l'année de la minéralogie, l'équipe PGM2 a participé aux côtés de l'IMPMC à l'un des trois focus de SU : « Verres et Minéraux, un coup de projecteur ». <https://www.youtube.com/watch?v=SxAG-Reu-0>

\*Stages de 3<sup>ème</sup> à l'ISTeP : depuis 2019, le Secrétaire général a institutionnalisé l'accueil des stagiaires de classe de troisième. Entre 2018 et février 2023, l'ISTeP a accueilli 19 collégiens. Si le stage de 3<sup>ème</sup> est l'occasion pour les élèves de découvrir le monde du travail, partager le quotidien de professionnels et bénéficier d'une expérience concrète, il est un moyen pour l'unité de vulgariser la science et de faire découvrir les recherches qui y sont effectuées et de faire naître les vocations scientifiques. Un programme complet qui fait intervenir un panel varié de personnels de l'ISTeP est offert aux collégiens. Ils rencontrent des personnels administratifs, des personnels techniques (un informaticien, un cartographe, un litholamelleur, le photographe), un doctorant et un C ou un EC. Chacun présente son parcours professionnel et ses activités au sein du laboratoire. Les collégiens sont initiés aux bases de la cartographie, découvrent les fonctionnalités d'un spectromètre, d'un microscope à balayage, découvrent comment les pierres sont réduites en lames minces et font de petites manipulations et des analyses en sédimentologie. Une visite de la collection des pierres précieuses du Campus de Jussieu est également organisée.

\*Enfin, un exemple particulier concerne les actions d'information au grand public, collectivités locales et politiques sur le risque volcanique effectuées par A.-M. Lejeune à son arrivée à la direction de l'OVSM (Observatoire Volcanologique et Sismologique de Martinique). En Martinique, la Montagne Pelée était considérée par beaucoup comme un volcan sur lequel rien ne se passait depuis plusieurs années et sur lequel rien ne se passerait avant longtemps. Une idée reçue, notamment chez des édiles et des haut-fonctionnaires, promulguait l'existence d'une cyclicité de 450 ans dans l'activité volcanique bien que les études scientifiques publiées sur l'histoire éruptive passée aussi bien de la Montagne Pelée que d'autres volcans d'arc contredisent l'existence de cycles, d'où l'importance de former et d'informer en amont les populations et les décideurs lors d'actions de sensibilisation et d'éducation aux aléas. Les actions engagées auprès des autorités ont visé à rétablir et renforcer les liens de confiance et de travail entre les scientifiques de l'OVSM et les différents acteurs-décideurs (Préfecture, Sous-Préfectures, EMIZA, SIDPC, Collectivité Territoriale de Martinique, élus des communes du Nord Martinique, DEAL, CESECEM) mais aussi avec les médias locaux (Martinique la 1<sup>ère</sup>, via ATV, RCI, Nord-FM Radio, France-Antilles) qui servent de relais de l'information scientifique auprès des populations. Ces actions ont consisté en la mise en place de séances de formation et d'information sur les différents aléas telluriques, l'objectif étant de donner à chacun des clés de bonne compréhension de ces aléas, chasser les idées reçues et contribuer ainsi, de manière indirecte, à une meilleure évaluation des risques conduisant à une réflexion sur l'aménagement du territoire et de ce fait une meilleure protection des

populations. Des actions ont été aussi réalisées dans les écoles et la participation, par le biais de conférences grand public et d'émissions radio, aux journées de prévention (REPLIK, CARIBE-WAVE, Fête de la Science).

<https://antilla-martinique.com/anne-marie-lejeune-volcanologue/>

<https://www.martinique.franceantilles.fr/divers/anne-marie-lejeune-directrice-de-lovsm-dans-les-petites-antilles-la-terre-tremble-tous-les-jours-230321.php>

<https://la1ere.francetvinfo.fr/martinique/ce-n-est-pas-parce-qu-un-volcan-de-la-caraibe-rentre-en-eruption-qu-un-volcan-voisin-va-lui-aussi-rentre-en-eruption-980221.html>

<https://www.dna.fr/environnement/2021/04/10/apres-l-eruption-de-la-soufriere-la-montagne-pelee-peut-elle-se-reveiller>

## Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 4

<b>DOMAINE 4</b> <b>INSCRIPTION DES</b> <b>ACTIVITES DE</b> <b>RECHERCHE DANS LA</b> <b>SOCIETE</b>	<b>FORCES*</b>	<b>FAIBLESSES**</b>
	Actions mises en place pour atteindre les objectifs du mandat 2017-2022	Difficultés de mise en place des actions Retard, déceptions ou échecs et leurs raisons
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Des relations privilégiées avec des entreprises (TOTAL, 45.8 Energy, Vinci Technologies, ...) et des EPIC (BRGM, IFPEN,...) : nombreux contrats et conventions de recherche</li> <li>● Des collègues collaborateurs bénévoles issus de ces entreprises</li> <li>● Un PAST complètement intégré au labo (recherche et enseignement)</li> <li>● Développement d'axes transverses liés aux enjeux sociétaux, transfert d'expertise</li> <li>● Nombreuses actions de vulgarisation</li> <li>● Nombreuses responsabilités dans les instances</li> <li>● Science, Art et Patrimoine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Peu (pas) de transfert de technologie, absence de brevet</li> <li>● Liens encore insuffisants avec les entreprises et collectivités locales</li> </ul>
	<b>OPPORTUNITES*</b>	<b>MENACES**</b>
Amélioration d'un contexte interne ou externe pouvant avoir un impact positif	Contraintes externes futures ou changements internes à venir pouvant limiter les actions	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Renforcement de la recherche liée aux enjeux sociétaux, ressources non carbonées, aléas, patrimoine. Intégration future du GEC</li> <li>● Diversification des projets interdisciplinaires liés aux SHS</li> <li>● Possibilités émergentes de transferts de technologie sur les aspects matériaux</li> <li>● Prise de conscience et réflexion sur l'empreinte carbone du labo (hébergement du Labos1.5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tarissement des financements Total, nécessité de réussir l'inflexion des recherches fondamentales vers la transition environnementale</li> </ul>	

## 3-2 Autoévaluation des équipes

### 3.2.1 Auto-évaluation DEMO

## Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'équipe

### Référence 1. L'équipe s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents.

La gamme de thématiques de recherche est vaste, tout en gardant un dénominateur commun: la **Dynamique et Evolution des Marges et des Orogènes**. Plus spécifiquement les travaux de l'équipe ont porté les volets suivants : (1) Mécanique des failles, mécanismes de déformation et rhéologie; (2) Processus de subduction; (3) Processus de collision; (4) Développement des marges et dorsales; (5) Aléas naturels (Sismicité et glissements gravitaires). Cette dernière thématique s'intègre elle aussi dans l'étude des marges (pour les glissements) et des orogènes (pour la sismicité).

Ces thématiques permettent à tous les chercheurs de DEMO de se reconnaître dans un domaine de recherche, de le développer et de réussir à obtenir des financements grâce à leurs compétences acquises dans le passé. Les membres de DEMO travaillent sur des sujets différents et leurs projets touchent souvent, en même temps, à la fois à des problèmes de processus et mécanismes tectoniques et des problèmes de tectonique régionale. Les projets interdisciplinaires sont nombreux, souvent réalisés grâce à des expertises complémentaires d'autres laboratoires (thermo-chronologie, géochronologie, sismologie, paléomagnétisme, modélisations analogiques), mais aussi en lien avec d'autres équipes de l'ISTeP.

#### Organisation et vie de l'équipe

L'animation scientifique de l'équipe se fait par des réunions mensuelles, au cours desquelles les membres de l'équipe présentent dans un cadre informel leurs missions, leurs projets en cours, leurs idées de projets, ou bien leurs travaux déjà terminés. Une grande place est réservée aux discussions qui suivent ces présentations. Elles représentent un échange scientifique et créent la possibilité de lancer de nouvelles idées et coopérations. Si le budget d'une année le permet des excursions sont organisées, permettant ainsi de se former sur des nouvelles thématiques et d'intensifier les échanges scientifiques au sein de l'équipe (Oman, 2018). Au cours des réunions d'équipe, les questions concernant des problèmes d'organisation générale à faire remonter à la direction ou vice-versa sont également discutées.

#### Impacts économiques et sociétaux des travaux

Tout en restant fidèle à sa vocation de recherche fondamentale, DEMO conduit des travaux à fort impact sociétal. L'équipe intègre les aléas sismiques qui dérivent naturellement des études mécaniques et cinématiques des marges actives, et les aléas liés aux glissements sous-marins à potentiel tsunamigénique, qui sont imagés dans les profils sismiques et les cartes bathymétriques des marges passives. De plus, les gisements de minerais souvent générés par les processus de subduction et collision, en lien avec la déformation, les interactions fluides-roches et la fusion partielle, sont étudiés dans certaines régions, d'où un possible impact économique (Li, Terres Rares).

### Référence 2. L'équipe dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise.

Equipe : DEMO	Chiffres en k€					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ressources propres obtenues sur appels à projets régionaux et locaux (sommes issues de AAP Idex, I-site, CPER, collectivités territoriales, BQR, etc.)	3	0	0	8	30	21
Ressources propres obtenues sur financements publics ou associatifs nationaux (sommes obtenues du PIA, de l'ANR, de la FRM, de l'INCa, des organismes de recherche, du réseau des MSH etc.)	147	212	210	340	539	489
Ressources propres obtenues sur appels à projets internationaux	255	113				
Ressources issues de la valorisation, du transfert et de la collaboration industrielle (sommes obtenues grâce à des contrats, des brevets, des activités de service, des prestations, etc.)	299	362	455	542	401	197
Dotations (SU + CNRS)	57	65	60	60	63	58
<b>Total</b>	<b>761</b>	<b>752</b>	<b>725</b>	<b>890</b>	<b>1 033</b>	<b>765</b>

L'équipe a une organisation financière collégiale. Le budget de l'équipe est utilisé pour financer des missions, des congrès, du matériel, ou pour des compléments à des projets en cours. Le budget n'est pas reparti de manière égalitaire, mais en fonction des besoins annuels des membres de l'équipe. Les investissements collectifs (supports à manifestation, achats de matériel informatique commun, ...) sont précisés en début d'exercice puis les demandes de financement personnels sont listées et discutées en réunions d'équipe. Le

financement récurrent d'une gratification de Master 2 sur les crédits de l'équipe est la règle. Un support particulier aux jeunes collègues candidats à des appels d'offres ambitieux est aussi privilégié.

Le nombre de financements obtenus sur projets par l'équipe DEMO a été très conséquent et a permis à ses membres de réaliser un grand nombre de recherches et de publications associées.

### Référence 3 :

non pertinente à l'échelle de l'équipe, voir auto-évaluation Unité

## Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 1

Les objectifs scientifiques de DEMO ont été tout à fait pertinents, par rapport au savoir-faire des membres, à leur capacité à trouver des financements permettant de les réaliser, à une cohérence thématique de l'équipe, et aux grands débats géodynamiques actuels. Les membres de DEMO ont trouvé de nouveaux chantiers afin de répondre à des nouveaux questionnements et ont noué de nouvelles coopérations, tout en restant liés à leurs expertises passées. Plusieurs de ces chantiers, notamment ceux liés aux aléas sismiques et aux aléas gravitaires ont des impacts sociétaux très significatifs. Le financement récent de grands projets sur ces thématiques montre qu'ils font désormais partie de la stratégie scientifique long terme de l'équipe.

## Domaine 2. Attractivité

### Référence 1. L'équipe est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen/international de la recherche.

Les membres de l'équipe ont un rayonnement à la fois national et international : responsabilités scientifiques, telles que l'organisation de congrès, le pilotage de projets, la participation au fonctionnement d'institutions scientifiques et bien évidemment les résultats scientifiques obtenus et publiés au cours des dernières années. De plus, les invitations des membres de DEMO à des congrès nationaux et internationaux ainsi qu'à tenir des séminaires dans d'autres universités sont régulières et fréquentes.

#### Organisation de manifestations scientifiques

- EGU: 25 sessions organisées (Lacombe, Bellahsen, Leroy, Cubas, Rosenberg)
- Journée Failles actives 2022 (Thomas, Cubas)
- Membre du CS des « E. Argand Alpine Workshop » 2019 (Sion) et 2022 (Ljubljana) (Rosenberg)
- Membre de la conférence GEOMOD 2020 (Utrecht) (Le Pourhiet)
- Membre (2018-2020) puis président (2020-2024) du Topical Events Committee (EGU) (Rosenberg)
- Président de la Section TSG de l'EGU (2018-2021: Rosenberg),
- 2017-2019 Organisation du meeting "Transdisciplinary Research on Geology, Geodynamics, Earthquakes and Resources", Iran: (2017 (2 jours, 270 p.), 2018 (4 jours, 300 p.), 2019 (3 jours, 130 p.) <https://trgr.ut.ac.ir>)
- 2017 : "Subduction Interface Processes", Espagne (4 jours, 100 p.)

#### Responsabilités éditoriales

- Editeur en chef de *Tectonophysics* (2015-2021 Agard) ; Editeur (Jolivet) et éditeurs associés (Leroy, Lacombe) de *Tectonics* ; Editeur *Geological Magazine* (Lacombe) ; Editeur-en-chef de la section "Tectonics and Structural Geology" de *Geosciences* (MDPI) (Lacombe) ; Rédacteur en chef du *BSGF-Earth Sciences Bull.* (Jolivet)
- Editrice *ISTE Sciences Encyclopédie* (2019-2023 ; Leroy): 14 ouvrages scientifiques en Français, Anglais, Italien, Chinois
- Editions de plusieurs volumes thématiques (*Tectonophysics*, *Geological Magazine*, *Geosciences*, *BSGF-Earth Science Bulletin* : Lacombe ; *Lithos* : Agard)

#### Distinctions et prix

- 2019 : GSA Distinguished Thompson Lectureship (L. Jolivet)
- 2021: Médaille Arthur Holmes, EGU (L. Jolivet)
- 2017 : Membre de l'Academia Europaea (L. Jolivet)
- 2022 : von Humboldt research grant au GFZ, Potsdam (L. Jolivet)
- 2020- : Membre de l'Academia Europaea (P. Agard)
- 2022- : Membre Senior de l'Institut Universitaire de France (P. Agard)

Participation à des instances de pilotage de la recherche (cette rubrique est abordée dans le **portfolio Unité**)

## Référence 2. L'équipe est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.

L'animation scientifique de l'équipe se fait par des réunions mensuelles, au cours desquelles les membres de l'équipe présentent dans un cadre informel leurs missions, projets en cours, leurs idées de projets, ou bien leurs travaux déjà terminés. Les doctorants et les post-doctorants sont intégrés à l'équipe et invités à ses réunions. Les jeunes collègues nouvellement recrutés sont accompagnés officiellement par un « parrain » choisi par la direction du laboratoire, mais l'expérience des dernières années a montré que l'intégration s'est faite très bien et très rapidement sans aucun besoin de modalités formelles. Les doctorants organisent un séminaire informel où ils présentent et discutent leurs résultats de la thèse en cours avec les membres permanents de l'équipe.

## Référence 3. L'équipe est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

L'équipe a répondu avec grand succès aux appels à projets, surtout de l'ANR, de l'INSU, BRGM (chantier RGF), mais également européen (SOUND.AI). Les Appels à projets FOF et les conventions avec TOTAL, AREVA-ORANO et IFPEN ont permis de financer d'importantes campagnes océanographiques ainsi que des bourses de thèse. Les projets ANR ont soutenu des projets dans des thématiques très variées, telles que le Lithium, les glissements sous-marins, la modélisation analogique et numérique de la rupture sismique, les dorsales océaniques. Les projets BRGM ont fourni l'environnement et pour certains même le salaire de 6 thésards (C. Herviou, A. Faure, Q. Brunsmann, M. Sonnet, K. Mendes et B. Huet). La dynamique de l'équipe a beaucoup profité de ces nombreux projets alpins, qui continuent à alimenter de fructueuses discussions intra-équipes, des avancées majeures sur les thèmes de la subduction et collision alpines, mais aussi des échanges avec les collègues géophysiciens de Grenoble impliqués dans le programme RGF. Cette collaboration se poursuit encore avec des résultats novateurs sur la structure profonde de la chaîne Alpine. Le programme OROGEN a financé plusieurs projets sur les Pyrénées qui ont donné lieu à de nombreuses publications de nouvelles données et de grandes synthèses.

### Projets financés

#### **ANR**

- MAGMAFAR : Processus de break up des rifts et marges magmatiques (240 k€; co6PI Bellahsen)
- DISRUPT : Co-lead Modélisation analogique (70 k€; Cubas)
- FLUID2SLIP : responsable Task Modélisation (Cubas)
- ALBANE0 : Partenaire responsable Task Modélisation (112k€ ; Cubas)
- JCJC MECHATHRUST (230 k€; Cubas)
- ALBANE0 : Active fault systems at an incipient plate boundary in the Alboran Sea (495 k€; d'Acremont)
- Glissements sous-marins, MITI-risque tsunami (315 k€ ; Lafuerza)
- COLLISEA : Initiation collision Taiwan (160 k€ ; Le Pourhiet)
- COYOTES: Comores and Mayotte (170 k€ :Leroy)
- ANR (170 k€); Ridge Factory Slow (S. Leroy)
- IDEAS Interdependent Dynamics of Earthquake-prone fault Systems ((292 k€); Thomas)
- SaTEllite Spatial and Temporal Evolution of On- vs Off-fault Deformation ((465 k€ : Thomas)
- CAST: Caribbean (900 k€ : Leroy)
- TRANSFAIR : 2021-2025; Lithium roche en charge WP2 (130 k€; Le Pourhiet)
- VARPEG : Lithium roche, task 3 (100 k€ ; Le Pourhiet)
- GLITER : Integrative multiscale investigation of heat and lithium source and pathways in Deep Geothermal System in a rift context: Focus on the Upper Rhine Graben. (760 k€; Co-PI : Homberg, Verlaguet)
- SQLX : analyse du Li à la microsonde (Verlaguet)

#### **PROGRAMMES CNRS**

- OROGEN (250k€ : Jolivet ; 360 k€ : Bellahsen)
- MARGES: Structure profonde des segments actifs Afar (80 k€ : Leroy)
- PAMELA (500 k€ : Leroy)

## INSU

- SIGALP (25 k€ Labrousse)
- ALEA (4k€ ; Cubas), CESSUR 2022 et 2023 : fluides-minéralisations-géothermie (16 k€ ; Verlaquet), Paléomagnétisme dans l'arc des Alpes occidentales (5 k€ ; Rosenberg), Datation des éclogites des Alpes orientales (5 k€ ; Rosenberg), ALBAS - TELLUS; Interplay between tectonics and sedimentary systems in context of oblique reactivation (5 k€; d'Acremont), ARTEMIS; datation 14C, carottes de la campagne SARAS, TELLUS (1,2 k€ ; d'Acremont)

## Flotte oceanographique française

- SISMAORE cruise; 2020-2021 (2000 k€ ; S. Leroy)
- ALBACORE; +/- 50k€/jour bateau + 18295€ de fond de soutien campagne '2021 - Chef de mission de la campagne de carottage Albacore en mer d'Alboran, octobre-novembre 2021 sur le N/O Pourquoi Pas ? (25 jours, 38 participants). (E. d'Acremont)

## RGF-BRGM

- Alpes (57 k€ ; Agard), Relations prisme/bassins Alpes de l'Ouest ; (90 k€ ; Bellahsen), Analyse source to sink des bassins ouest alpins (185 k€ ; Bellahsen), Formation de l'arc des Alpes occidentales (30 k€ ; Rosenberg)

## Agences/Projets internationaux

- Coordination du "International Research Network" du CNRS avec l'Iran, 'TRIGGER' (Trans-disciplinary Research on Iranian Geology, Geodynamics, Earthquakes and Resources (160 k€; Agard)
- NSF EPGFZ Respons – R/V Pelican (500 k€ ; Leroy)

## Partenaires industriels

- TOTAL, Imagerie profonde de l'Est de l'Afrique (190 k€ ; Leroy) ; Caractérisation structurale des marges de l'est Afrique (190 k€ ; Leroy) ; Marges du golfe de Gascogne (190 k€ ; Leroy) ; Mer Rouge (250 k€ ; Leroy) ; Field trip marge ouest de la Mer Rouge (55 k€ ; Leroy) ; Structure profonde des marges mozambicaines (300 k€ ; Leroy) ; Marge transformante caraïbe (1000 k€ ; Leroy) ; Numerical modelling of hydrothermal flux at passive margins (20 k€; Le Pourhiet), Introducing kinematics in numerical models (post doc: P. Perron). (170 k€; Le Pourhiet) ; Paléopiezométrie couplée macles de la calcite-stylolites, marges ouest-africaine (230 k€ ; Lacombe)
- ENGIE : Thermo-mechanical model of intra-continental basin subsidence (20 k€ ; L. Le Pourhiet)

## Sorbonne Université

- Institut de la mer de SU : Cartographie des enjeux sur le littoral méditerranéen du Maroc face au risque de tsunamis (140 k€; d'Acremont)
- Projet LARZAC : glissements de terrain lents au nord de Lodève (Homberg, Lafuerza ; financement ISTE P)
- Co-PI Projet STORY: potentiel érosif des écoulements de débris (« laves torrentielles ») dans la Vallée de la Roya (S. Lafuerza)(**portfolio PPB**)

## LABEX

- MATISSE Macles de la calcite IFPEN-Ecole Polytechnique-SU (30 k€ : Lacombe)

## OSU Ecce Terra

- Traitement de vieilles données sismiques. Implémentation d'une nouvelle station de traitement sismique (4k€ :Leroy)

## Autres sources

- NeB (Naturalia et Biologia): Data ISTE P - Stratégie du Numérique et de l'Open data (250 k€;Leroy)

## Référence 4. L'équipe est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.

### Voir Annexe 2

Une partie de l'équipe étudie les conditions P-T d'enfouissement d'unités tectoniques, à l'aide de modélisations pétrologiques, basées sur la composition des minéraux. Ces projets peuvent se réaliser à l'ISTeP grâce à la plateforme ALIPP6 pour les analyses de géochimie élémentaires (Annexe 2).

Une platine pour l'identification et l'homogénéisation des inclusions fluides est associée à un microscope et utilisée pour de nombreux projets visant à déterminer les paléo-T d'une roche. A. Verlaquet, avec une très longue expérience sur l'analyse des inclusions fluides, gère cet outil. Un laboratoire pour la séparation des minéraux avec un séparateur magnétique (Frantz), deux broyeurs à mâchoires et un broyeur à agate a été installé, afin de faciliter la tâche de nombreux thésards travaillant sur la thermo-chronologie en partenariat avec d'autres laboratoires (Grenoble, Nancy).

La plateforme Rheolith met à disposition des chercheurs de DEMO des calculateurs très puissants, des GPU et des codes numériques permettant de modéliser la déformation de la lithosphère et de la croûte, mais aussi de réaliser des cartes EBSD. Sylvie Wolf, IR calcul et membre de DEMO est la responsable technique de Rheolith. Sylvie Wolf est aussi en appui à l'équipe pour aider à installer et à optimiser les performances des codes numériques ou de traitement de données sur d'autres plateformes, notamment l'imagerie sismique.

L'équipement utile à l'équipe DEMO continue d'être développé. Ainsi, en 2020, le MEB a été équipé d'un EBSD, qui permet la détermination des textures des agrégats cristallins, très utilisé pour les études des mécanismes de déformation de roches déformées naturellement ou expérimentalement.

La géochronologie se développe rapidement à l'ISTeP en collaboration avec la plateforme ALIPP6. Une thèse en géochronologie avec une partie dominante sur de nouvelles méthodologies de datation Rb/Sr a été soutenue en décembre 2022 (**portfolio DEMO**). Un spectromètre RAMAN est sur la liste de souhaits de l'équipe.

## Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 2

L'équipe n'a pas consciemment mis en œuvre d'actions pour augmenter son attractivité. Malgré cela, plusieurs facteurs suggèrent que son mode opérationnel a garanti un rayonnement scientifique très satisfaisant. Les multiples invitations des membres de l'équipe dans des congrès, organisation de manifestations scientifiques, responsabilités éditoriales, participations à des instances de pilotage de la recherche, membres d'institutions, lauréats de prix et nombreux financements publics et industriels témoignent de l'attractivité de l'équipe.

## Domaine 3. Production scientifique

### Référence 1. La production scientifique de l'équipe satisfait à des critères de qualité.

Le portfolio de l'équipe DEMO et de l'Unité et les principaux résultats présentés dans la première partie du DAE dans les thématiques-phares (Rhéologie, mécanique des failles, mécanismes de déformation, ruptures sismiques et asismiques ; subduction ; collision ; rifting, marges dorsales ; aléas naturels) soulignent l'originalité et la qualité de la production scientifique de l'équipe et démontrent le positionnement national et international de ses recherches.

Sur la période 2017-2022, l'équipe DEMO a publié 358 articles de rang A, le plus souvent dans des journaux à fort impact. Avec 12 ETPR dans l'équipe, cela correspond à un taux de publication de 5 articles/ETPR « permanent »/an. Si on souhaite prendre en compte les 2 DR CNRS émérites (Sévrier, Bourgois) et le PU émérite (Huchon) de l'équipe, à raison par exemple de 0,5 ETPR chacun, le taux de publication devient 4,4 articles/ETPR/an.

### Référence 2. La production scientifique de l'équipe est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.

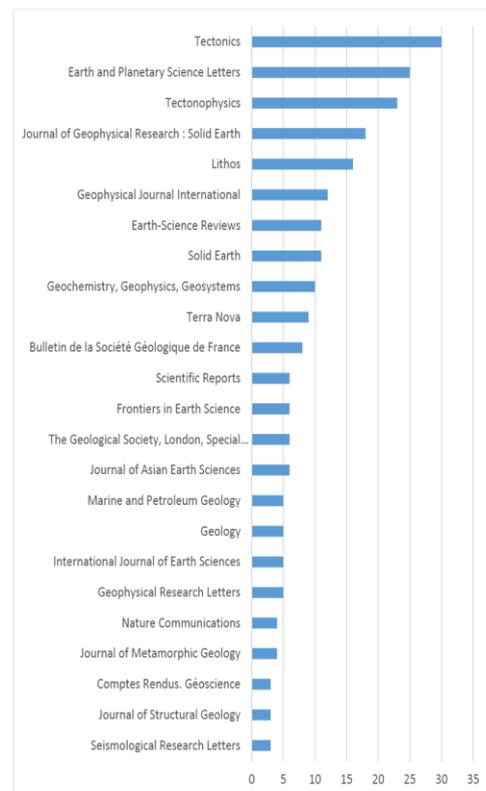
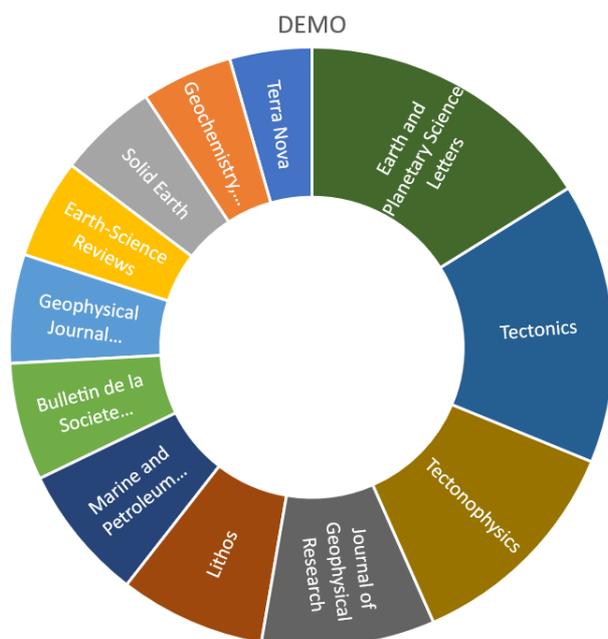
La production scientifique de l'équipe est globalement très vaste. Bien entendu, de grandes différences dans le nombre de publications entre les différents chercheurs existent, mais elles ne reflètent d'aucune manière un malaise parmi les chercheurs. Tous les membres de l'équipe ont un taux de de publication pleinement satisfaisant. Les fortes différences se font entre des taux de publications tout à fait exceptionnels et d'autres tout à fait satisfaisants. Par conséquent aucun dispositif particulier n'a dû être mis en œuvre. La liste de publications montre que chacun des membres de l'équipe co-signe une partie de ses papiers avec d'autres membres de l'équipe.

La liste de publications et de projets de nos plus jeunes recrutées (Cubas et Thomas) montrent bien que leur parcours scientifique des dernières années est très bien réussi. L'épanouissement scientifique de Marion Thomas, la dernière (2019) et plus jeune recrutée de l'équipe au cours du dernier quinquennat, et son succès aux AO de l'ANR (par exemple, IDEAS *Inter-dependent Dynamics of Earthquake-prone fault Systems* est donc particulièrement important et révélateur du bon fonctionnement de la vie de l'équipe.

Enfin, en lien avec le grand nombre de collègues HDR (15 sur un total de 24 pour l'Unité), l'équipe a été très productive en terme de thèses soutenues (47). La plupart des doctorants ont valorisé leur travail de thèse par une ou plusieurs publications en premier auteur (voir statistiques à l'échelle de l'Unité). La collaboration avec les deux autres équipes de l'ISTeP se traduit par des publications co-signées avec des membres de PGM2 et PPB (3% et 11% des articles, resp.) et par des co-encadrements de doctorants.

### Politique vis-à-vis des non-publiants

Un collègue de l'équipe était non-publiant au cours du dernier quinquennat. Nous n'avons pas réussi à modifier son attitude vis-à-vis de la recherche, ni vis-à-vis de la participation active à la vie de l'équipe, mais étant un cas unique et proche de la retraite (départ 2021) son comportement n'a pas beaucoup pesé sur la vie de l'équipe.



**Figure 52:** A gauche : Principaux journaux dans lesquels DEMO a publié au moins 9 articles, sur un total de 86 journaux. A droite : nombre de publications dans les journaux dans lesquels DEMO a publié 3 articles ou plus.

### Référence 3

voir auto-évaluation à l'échelle de l'Unité

### Synthèse de l'auto-évaluation sur le domaine 3

Du point de vue quantitatif, le nombre de publications DEMO par EC et ou C est très élevé. Il témoigne d'une grande dynamique scientifique. Les articles, quasiment tous publiés dans des revues internationales, ont des cibles scientifiques différentes. Certains portent sur des fondements théoriques et développements méthodologiques. Ceci est le cas surtout pour les modélisations numériques, mais aussi pour la paléopiezométrie et la géochronologie. D'autres portent sur des méthodes déjà établies, mais qui sont appliquées à des nouveaux objets afin d'apporter de nouvelles connaissances sur les fondements des processus géodynamiques. Dans ces publications l'aspect novateur n'est pas dans la méthode, mais dans le questionnement, la description et l'interprétation des processus.

## Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

### Référence 1. L'équipe se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

Les liens avec le monde économique/industriel sont forts. L'essentiel des financements de DEMO provient de contrats non-académiques (voir la liste des projets financés). TOTAL a été notre partenaire le plus important (> 2200 k€), mais des contrats ont été signés aussi avec ENGIE, IFPEN et une bourse de thèse a été financée par AREVA-ORANO. Les contrats de Total ont permis de financer plusieurs thèses de doctorat, des stages (Dacosta) et des post-docs (Perron, Grasseau, Tugend, Janowski, Gillard, Roche, ...) et leurs environnements. La préparation d'un stage financé par ST Gobain s'est faite l'année passée (Labrousse). Ce stage portera sur une analyse de textures de laine de roche, pour en comprendre ses propriétés mécaniques. Les outils classiques de la géologie structurale, qui font partie des compétences de DEMO seront mis en oeuvre pour une amélioration de la production industrielle de matériaux d'isolation.

Un membre de DEMO est élu depuis 2022 au CA de l'Association Française des Professionnels de la Géothermie (Bellahsen). Les compétences de plusieurs collègues de l'équipe DEMO sont très demandées dans ce domaine de grande actualité économique et sociétale. Ainsi, A. Verlaguet est co-PI d'une ANR sur l'exploitation géothermique.

De nombreux projets de l'équipe portent sur le Lithium, qui est devenu d'importance fondamentale économique et technologique. Certains de ces projets visent les pegmatites varisques de France, désormais considérées comme des cibles pour l'approvisionnement en Li et Terres Rares des pays européens.

Un membre de l'équipe (Rolandone) participe à un projet sur les défis de prévention - MITI-CNRS (Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires, Événements rares) (PI J. Rebotier, CNRS) DePreDEVRA Les défis de la prévention des désastres liés aux événements rares. Contributions épistémologiques et méthodologiques. F. Rolandone est aussi membre de la cellule nationale d'intervention post-sismique 2009-présent.

### Référence 2. L'équipe développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

Les interactions avec le monde culturel se font essentiellement par les nombreuses conférences des membres de DEMO, leurs interventions (plus rares) sur des chaînes de radio, mais aussi par des activités dans les institutions, telles la participation de L. Jolivet au CS du Palais de la Découverte

Au niveau de SU, le projet ITN – Subduction (P. Agard) a donné lieu à une exposition sur le campus Pierre et Marie Curie. D'autres projets, comme ENVEXX Environnements extrêmes, monté avec des étudiants de Licence porte sur le climat (P. Agard, A. Rabaute, 2017). Une visite virtuelle est disponible : <https://www.visite-virtuelle360.fr/visite-virtuelle/171110-UPMC/>

### Référence 3. L'équipe partage ses connaissances avec le grand public

Plusieurs membres de l'équipe sont actifs dans le partage des connaissances avec le grand public. On notera par exemple le projet développé et animé par 6 membres de l'équipe DEMO, qui a consisté en une série de présentations courtes au Palais de la Découverte, répétées plusieurs fois par jour au cours d'une période de deux mois à la fin de 2019. Ces présentations, rattachées à la manifestation « Un chercheur une manip », avaient pour but de rapprocher les sujets de recherche de l'ISTeP du grand public.

<https://www.palais-decouverte.fr/fr/ressources/les-themes-1c1m/la-fabrique-des-montagnes>

<http://istep.upmc.fr/fr/les-manifestations/palais-de-la-decouverte/la-fabrique-des-montagnes.html>

#### Initiatives à destination du grand public et des écoles :

- Projets "fossiles" et "volcans" en maternelle et primaire (2017, Verlaguet)
- Atelier à l'école élémentaire (Rueil Malmaison). Intervention sur les climats passés et les méthodes pour étudier les fonds marins (Lafuerza)
- Conférence de 1h/an sur la géophysique marine et les métiers de la recherche en BCPST1 à l'Ecole Nationale de Physique et Biologie ; Lycée Hoche, Versailles (d'Acremont)
- *Géochronique* : Les Rifts et Les Sciences de la Terre pour les lycéens (2018, Leroy)
- « IRD Le Mag »: Mieux anticiper l'extension spatiale des séismes (2018, Rolandone)
- Emission "La Méthode scientifique" sur France-Culture (2019, Jolivet)

- Interview et article du Point sur les chaînes de montagnes (2021, Jolivet)
- Conférences à l'UIAD (Université Inter-ages du Dauphiné à Grenoble) sur la Méditerranée et le moteur de la tectonique des plaques (2018, 2020, 2021, 2022, Jolivet)
- Article dans Géochronique : Les Sciences de la Terre pour les lycéens (2020, Leroy)
- « L'Humanité Dimanche » article sur le rift Est Africain (S. Leroy)
- Journal La Réunion – Campagne SISMAORE, à bord du Pourquoi Pas ? (Leroy)
- Festives Institut de l'Océan : interview par les étudiants de journalisme du CELSA sur le potentiel tsunamigénique des glissements sous-marins en mer d'Alboran (2021, Lafuerza) et sur les « Aléas géologiques en domaine marin » (2021, Rabaute)
- Conférence sur l'histoire des coupes géologiques, diffusée sur youtube par le Cofrhigéo (2022, Rosenberg) <https://www.youtube.com/watch?v=ZXv2U27O6Rs>

#### Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 4

L'équipe DEMO a de nombreuses interactions avec le monde socio-économique, tant par le nombre de ses contrats industriels et conventions de recherche que par les implications de ses recherches sur les aléas telluriques et les processus géologiques qui contrôlent la mise en place des gisements de ressources énergétiques et minérales. L'équipe a également un fort investissement dans la dissémination de la connaissance vers le grand public et les écoles.

#### BILAN DE L'AUTO-EVALUATION DE DEMO

<u>Forces</u>	<u>Faiblesses</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Financement de très nombreux projets et certains de grande envergure</li> <li>*Importante production scientifique</li> <li>*Très bonne visibilité des membres</li> <li>*Bonne dynamique interne et coopération scientifique</li> <li>*Promotions de 2 MCU à PU</li> <li>*Grand nombre de thèses en cours et soutenues</li> <li>*Fortes relations avec laboratoires externes pour des coopérations liées à des outils et techniques non existantes à l'ISTeP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Pas de succès sur les demandes de financement européen (Advanced, Synergy, Starting)</li> <li>* Rapport EC/C très déséquilibré.</li> <li>*Difficulté/impossibilité de remplacer le détachement de membres de l'équipe avec des compétences spécifiques, précieuses pour l'équipe (L. Boschi en 2019)</li> <li>*Echec de toute tentative d'activer un membre d'équipe non-publiant (parti à la retraite en 2021)</li> </ul>
<u>Opportunités</u>	<u>Menaces</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Recrutement d'une jeune chercheuse (CNRS) en 2019</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Forts taux de responsabilité des membres en sus de leur service d'enseignement surchargé</li> </ul>

### 3.2.2 Auto-évaluation de l'équipe PPB

#### Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'équipe

##### Référence 1. L'équipe s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents.

L'équipe PPB regroupe l'essentiel des compétences et du potentiel analytique en géologie sédimentaire à SU et a orienté ses recherches autour de trois thématiques complémentaires : (1) les perturbations paléo-environnementales extrêmes, (2) les variations paléoclimatiques-paléoenvironnementales cycliques et (3) les forçages eustatiques, climatiques et tectoniques de l'évolution des bassins sédimentaires. Ces thématiques concernent les interactions entre les enveloppes superficielles et les mécanismes internes ou externes au système tellurique. Elles sont en phase avec les orientations scientifiques nationales et internationales dans le domaine mais aussi avec les problématiques d'acteurs économiques qui cherchent à mieux comprendre et à prédire la nature, la dynamique et l'architecture sédimentaire à l'échelle des bassins. L'équipe a également contribué au développement d'outils pour la reconstitution des paléoenvironnements et

des paléoclimats, qu'il s'agisse de marqueurs géochimiques ou de la quantification du contenu des sédiments par analyse d'image ou de la détermination de la proportion de C stable par analyse Rock-Eval.

### Organisation et vie de l'équipe :

L'équipe PPB (y compris les personnels d'appui à la recherche et les collaborateurs bénévoles) s'est réunie mensuellement jusqu'à la perturbation engendrée par la pandémie de la COVID-19. Ces rencontres permettent l'accueil des nouveaux membres (post-docs, ATER, doctorants et stagiaires de M2), des discussions sur les projets en cours, le suivi des appels d'offres, les demandes d'équipement, etc. A chaque rencontre, un membre de l'équipe présente les résultats de ses recherches ou le montage d'un projet.

### Prise en compte des impacts économiques et sociétaux de la politique scientifique

L'équipe a su faire évoluer certaines de ses thématiques de recherche pour répondre aux attentes sociétales (énergies décarbonées [géothermie, hydrogène], stockage du CO<sub>2</sub>, évaluation des risques/impacts climatiques) et a eu du succès dans des appels d'offres nationaux et européens sur ces aspects, comme par exemple les projets ANR/StoreSoilC et EJP Soil/FREACS sur le stockage pédologique du carbone, le projet 'Story' sur les risques dans le bassin de la Roya suite à la tempête Alex en octobre 2020. Par ailleurs, l'équipe a pris part aux groupes de travail et ateliers de prospective de l'INSU, notamment sur la thématique des 'Paléoclimats'.

## **Référence 2. L'équipe dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise.**

### **Ressources financières**

Equipe : PPB	Chiffres en k€					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ressources propres obtenues sur appels à projets régionaux et locaux (sommes issues de AAP)	35	3	3	11	19	4
Ressources propres obtenues sur financements publics ou associatifs nationaux (sommes)	157	227	54	97	140	143
Ressources propres obtenues sur appels à projets internationaux						
Ressources issues de la valorisation, du transfert et de la collaboration industrielle (sommes obtenues grâce à des contrats, des brevets, des activités de service, des prestations, etc.)	268	385	228	179	119	32
Dotations (SU + CNRS)	59	77	38	38	33	41
<b>Total</b>	<b>519</b>	<b>692</b>	<b>323</b>	<b>287</b>	<b>311</b>	<b>220</b>

Le budget récurrent de l'équipe, dont la répartition est discutée en commun, a permis un soutien minimal au fonctionnement des équipements analytiques gérés par PPB, de financer des missions de terrain en France et des participations à congrès, de contribuer aux dépenses liées aux soutenances de thèse (déplacement du jury, ...).

En termes de ressources humaines, la composition de l'équipe PPB n'a pas évolué au cours du quinquennal au niveau des permanents. Au 31/05/2022, elle comptait 10 EC, 2 C et un IR ; soit 7,5 ETPR. Le nombre de non-permanents est significatif, avec 15 thèses soutenues sur la période 2018-2022 (soit 3/an), 12 post-doctorants et ATER accueillis pour un total cumulé de 156 mois ETPR. Dix collaborateurs bénévoles ou chercheurs émérites participent aux activités de l'équipe. Chaque année, l'équipe a encadré ou co-encadré une dizaine de stages en M1 et en M2. Quatre des post-doctorants passés par PPB poursuivent aujourd'hui une carrière académique en France sur des postes permanents : deux comme MCU (à Cergy et à l'IMPMP), une comme C à l'IFREMER et un comme PU à l'Université du Littoral-Côte d'Opale.

### **Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 1**

En dépit des fortes perturbations liées à la pandémie de la COVID-19, l'équipe PPB a conduit des recherches originales et a su obtenir des financements tant publics que privés pour les mener à bien. Alors qu'au début du quinquennal, plusieurs EC avaient le dossier suffisant pour présenter leur HDR, aucun ne l'a soutenue en fin de contrat ; ce qui n'est pas sans lien avec la diminution constatée du nombre de doctorants. En cinq ans, si l'équipe a soutenu trois candidats au concours CR CNRS, aucun d'entre eux n'a été classé. Avec 1 IE et 2T, les personnels d'appui et de soutien aux charges et missions analytiques sont trop peu

nombreux dans l'équipe, compte-tenu de la diversité des appareillages analytiques et du nombre d'échantillons à préparer (broyage, tri, séparation argiles et nannofossiles, microprélèvement, ...).

Le nombre de doctorants en formation dans l'équipe a diminué au cours du quinquennal (5 thèses actuellement en cours) et on regrettera que la pandémie ait cassé la dynamique de préparation d'HDR, désormais attendues pour faire remonter le nombre de doctorants. L'équipe a peiné à recruter de nouveaux permanents. En cinq ans, si l'équipe a soutenu sans succès trois candidats au concours CR CNRS.

## Domaine 2. Attractivité

### Référence 1 : L'équipe est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen/international de la recherche.

Les collaborations nationales et internationales, les succès à l'ANR et l'ERC, les nombreux contrats de recherche publics ou privés dans lesquels l'équipe est impliquée, ainsi que le nombre de doctorants et de post-doctorants qui ont fait partie de l'équipe au cours du quinquennal témoignent de notre attractivité.

#### Organisation de manifestations scientifiques :

- "Gas emission in Lake Baikal" Paris (Poort, 2018)
- "Eastern and western Mediterranean salinity crisis: comparing scenarios and propositions" : webinaire international organisé avec la SG italienne (Gorini)
- Co-président du comité d'organisation 26ème RST Lyon (Baudin)
- Organisation de sessions à IAS, EGU, RST, etc ... (Minoletti, Gorini, Poort, Baudin, Riquier, Galbrun, Ségalen, Schnyder).

#### Responsabilités éditoriales

- Comité éditorial de Nature Geosciences (Boulila), Marine & Petroleum Geology (Do Couto), C.R. Palevol (Ségalen).
- Responsable de la thématique 'Terre externe' du domaine Géosciences de l'Encyclopédie des Sciences chez ISTE-Wiley (Baudin)
- Editeur-associé C.R. Geosciences n° en hommage à Jean Dercourt (Baudin)

#### Distinctions et prix :

- Prix SGF Fontannes 2019 pour S. Boulila, Prix Prestwich 2019 pour B. Haq (collaborateur bénévole), Prix de Lamothe 2017 pour J.P. Suc (DR émérite).
- AAPG Robert Berg Outstanding Research Award 2020 pour M.F. Brunet et E. Barrier
- Médaille André Dumont Geologica Belgica 2017 pour F. Baudin.

Participation à des instances de pilotage de la recherche (cette rubrique est abordée dans le **portfolio Unité**)

### Référence 2. L'équipe est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.

Les réunions d'équipe permettent l'accueil et l'accompagnement des nouveaux membres, des discussions sur les projets en cours, le suivi des appels d'offres, les demandes d'équipement, etc.

### Référence 3. L'équipe est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

L'équipe a obtenu de nombreux succès dans des appels d'offres locaux, nationaux et internationaux.

#### **Appel d'offres de Sorbonne Université**

- FSI-SU - Tremplin nouveaux entrants: NATHYGEOF (Do Couto, 10,8 k€)
- Inst. Océan SU - Masters & post-doc : STORY (Gorini, 38 k€)
- LABEX-Matisse
  - o CoccoSr (Minoletti, 100 k€), CDD M. Hermoso

- Apatite (Segalen, 130 k€), Contrat doctoral J. Aufort

### **Appel d'offres Ile de France**

- DIM IdF : CORPUSTIM (Emmanuel, 6 k€)

### **INSU**

#### **SYSTER**

- TOPCAPI (Minoletti, 12 k€)
- GOMINAS (Riquier, 17,9 k€)
- CO2A (Riquier, 8 k€)

#### **INTERRVIE**

- MICROCODIUM (Emmanuel, 5 k€)
- INVISITE (Emmanuel, 21 k€)
- PRO-KIEC (Minoletti, 6 k€)
- HOMIN-UGANDA (Segalen, 6,5 k€)
- CHASSIRON (Schnyder, 6k€)

#### **MITI**

- IMMORTAL (Baudin, 36,9 k€)
- ALARM (Gorini, 70 k€)
- COCCOTOPE (Minoletti, 50 k€)

### **RIFT**

- Ségalen, 40 k€

### **IODP – France**

Riquier, 30 k€

### **ANR**

PCR- Russie : SHY@BAIKAL, J. Poort (18 k€)

#### **AAPG**

- Astro-Meso : 217 k€, Boulila (CDD G. Charbonnier)
- COYOTE : 656 k€, Poort (Campagne en mer SISMAORE)
- BLAME : 296 k€, Poort (Campagne en mer GASH-2)
- StoreSoilC : 145 k€, Baudin (Contrat doctoral E. Kanari)

#### **ANR-JCJC**

- ALBAMAR : 30 k€, Emmanuel et Gorini

### **EQUIPEX**

- DEEPSEA'NNOVATION : 186 k€, Poort

### **Commission Nationale de la Flotte Hauturière (CNFH)**

- WESTMEDFLUX-2 : 400 k€, Poort
- ALBACORE : 1500 k€, Emmanuel et Gorini (Campagne en mer)

### **EJP-Soil**

- FREACS (40 k€, Baudin)

### **ERC**

- AstroGeo : 185 k€, Boulila (CDD G. Charbonnier)

## **Référence 4. L'équipe est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques**

## Voir Annexe 2

L'équipe PPB est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences en sédimentologie, géochimie sédimentaire inorganique et organique, magnétisme des roches, minéraux argileux ; domaine où nous sommes reconnus nationalement, voire internationalement pour certains aspects. Les moyens analytiques directement gérés par l'équipe dans le cadre des plates-formes de l'OSU Ecce-Terra sont variés : spectromètre de masse, spectromètre FluoX, DRX, Rock-Eval®, analyseur élémentaire, granulomètres (laser et morphogranulomètre), cathodoluminescence. On notera que ce potentiel analytique a augmenté au cours du contrat avec l'acquisition d'un granulomètre laser Beckman-Coulter LS 13-320XR et d'un Rock-Eval® 7 Soufre, ce qui représente plus de 250 k€ d'investissement.

### Développement de nouveaux outils

Au cours du quinquennal, plusieurs chantiers centrés sur le développement de nouveaux outils de reconstitutions paléoenvironnementales ont été menés à bien et notamment la calibration en environnement naturel d'un nouveau paléobaromètre CO<sub>2</sub>. L'analyse isotopique ( $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^{13}\text{C}$ ) de l'archive coccolithe est une des spécificités de l'équipe PPB qui a fait l'objet d'un *Opinion article* dans la revue *Frontiers in Earth Sciences* (Hermoso et al., 2020) et a été appliquée dans différents contextes et périodes (Hermoso et al. 2020 ; Godbillot et al., 2022 ; Tremblin et al., in prep). Elle est basée sur la capacité d'isoler ces particules micrométriques à partir des sédiments et la compréhension du fonctionnement cellulaire des organismes producteurs qui induit des fractionnements biologiques, ou effets vitaux. Les données de cultures en milieu contrôlé ont montré un lien entre la concentration en CO<sub>2</sub> aqueux du milieu, qui dépend de la pCO<sub>2</sub> atmosphérique, et le degré de limitation en carbone des cellules. Cette limitation induit des différentiels isotopiques entre la calcite des coccolithes de petite dimension (produits par des petites cellules non limitées en carbone) et celle des coccolithes de grande dimension (produit par des grandes cellules potentiellement limitées en carbone). Ce nouveau paléobaromètre applicable aux périodes où la pCO<sub>2</sub> atmosphérique est inférieure à 600 ppmv (intervalle Pliocène – Actuel) a été calibré en environnement naturel dans le cadre de la thèse de C. Godbillot. Ce travail s'est focalisé sur l'analyse isotopique des coccolithes au cours d'un cycle glaciaire (terminaison II) et la comparaison avec l'enregistrement de pCO<sub>2</sub> des glaces de Vostok. La relation linéaire entre pCO<sub>2</sub> atmosphérique et effets vitaux différentiels a été appliquée à la transition du Pléistocène moyen et a permis d'identifier la cyclicité de la pCO<sub>2</sub> atmosphérique au-delà de l'enregistrement des glaces (Godbillot et al., in prep). Ces travaux ont fait l'objet de l'encadrement de deux thèses (C. Godbillot et G. Le Guevel) et de trois stages de niveau master. Ils ont été soutenus par l'ANR CARCLIM (ANR-17-CE01-0004, PI : M. Hermoso, <https://anr.fr/Projet-ANR-17-CE01-0004>), un financement INSU-Tellus-Interrvie (Projet PRO-KIEC, PI : F. Minoletti), un financement INSU-Tellus-Syster (Projet TOPCAPI, PI : F. Minoletti) et un financement INSU-MITI (Projet COCCOTOPE, PI : Minoletti).

L'analyse thermique Rock-Eval des matières organiques des sols permet désormais de quantifier la fraction stable (pour plus de 100 ans) grâce à un modèle statistique de partitionnement du carbone pédologique à partir des 5 thermogrammes fournis par cet appareil (Cécillon et al., 2018, 2021 ; Kanari et al., 2021). Ces travaux ont fait l'objet de l'encadrement d'une thèse (E. Kanari, 2022) et de deux stages de master. Ils ont été financés par l'ANR StoreSoilC (ANR-17-CE32-0005, PI : C. Chenu, <https://anr.fr/Projet-ANR-17-CE32-0005>), des soutiens de l'ADEME (Projet RMQS, PI : L. Cécillon et 1/2 contrat doctoral E. Kanari, PI : Baudin), un financement INSU-MITI (Projet IMMORTAL, PI : Baudin) et un financement européen EJP-Soil (Projet FREACS, PI : P. Barré, F. Baudin, partenaire).

## **Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 2**

L'équipe PPB a conduit des recherches originales et a su obtenir des financements tant publics que privés pour les mener à bien. Plusieurs collègues de PPB ont été distingués par des prix nationaux ou internationaux. Le potentiel analytique de l'équipe s'est renforcé, avec notamment l'acquisition d'un Rock-Eval 7 Soufre et d'un granulomètre laser.

## **Domaine 3. Production scientifique**

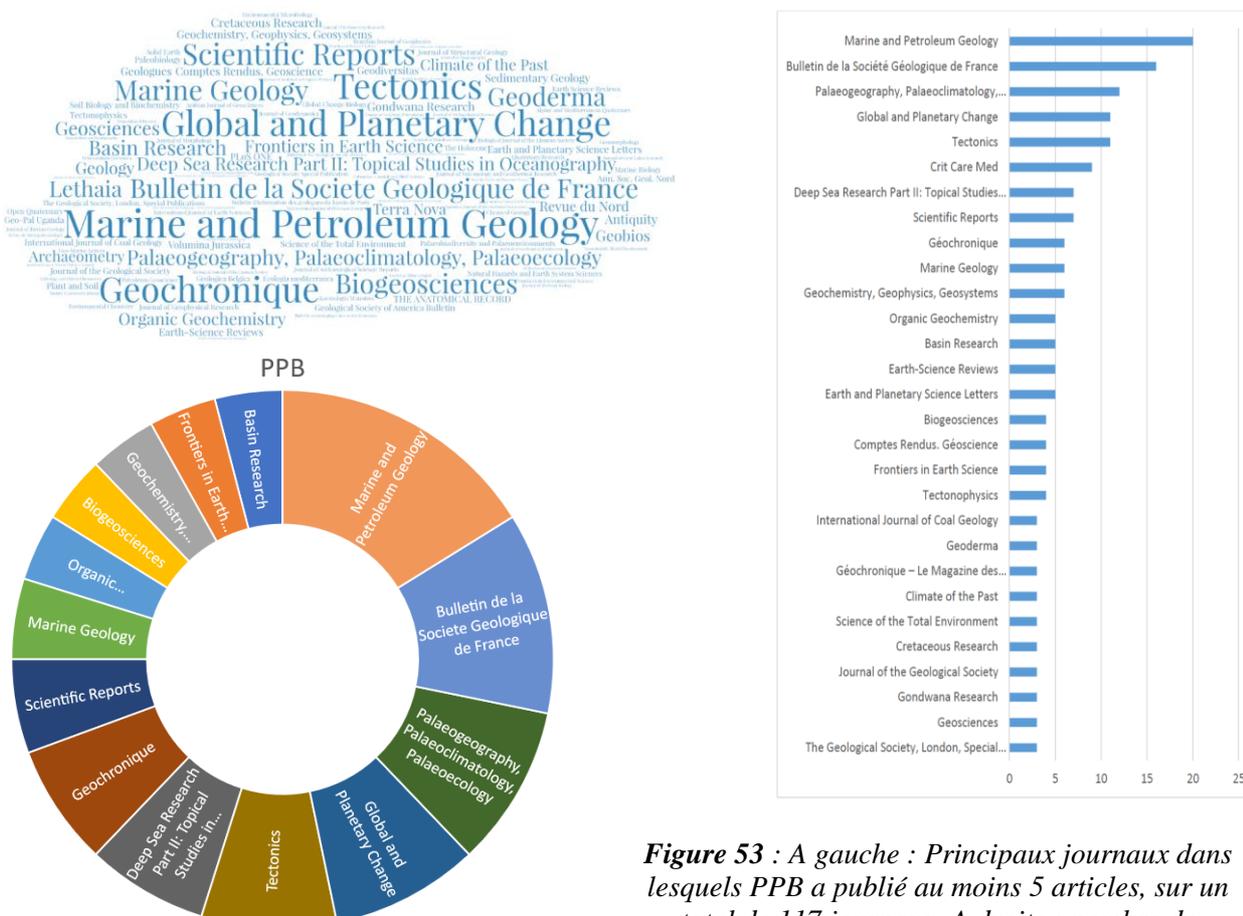
### **Référence 1. La production scientifique de l'équipe satisfait à des critères de qualité.**

Le portfolio de l'équipe PPB et de l'Unité et les principaux résultats présentés dans la première partie du DAE pour ses thématiques-phares (perturbations paléo-environnementales extrêmes, variations paléoclimatiques-paléoenvironnementales cycliques et forçages eustatiques, climatiques et tectoniques de l'évolution des bassins sédimentaires) soulignent l'originalité et la qualité de la production scientifique de l'équipe et le positionnement national et international de ses recherches.

Sur la période 2017-2022, l'équipe PPB a publié 294 articles de rang A, le plus souvent dans des journaux à fort impact, avec quelques revues à IF>10 (*Nature Communications*, *PLoS One*). Avec 7,5 ETPR dans l'équipe, cela correspond à un taux de publication de 6,5 articles/ETPR « permanent »/an. Si on souhaite prendre en compte les 2 DR CNRS émérites (Suc, Bergerat) de l'équipe, à raison par exemple de 0,5 ETPR chacun, le taux de publication devient 5,7 articles/ETPR/an.

**Référence 2. La production scientifique de l'équipe est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.**

La production individuelle moyenne des C et EC permanents varie entre 1,1 et 10 articles/an. Tous les permanents de l'équipe sont désormais 'publiants' (≥ 1 article/an), et tous ont publié au moins un article en premier auteur ou derrière un doctorant au cours du contrat, ce qui n'était pas le cas sur l'exercice précédent. Les docteurs formés par l'équipe sont auteurs ou co-auteurs de ~25 % des publications de l'équipe et tous ont au moins un article en premier auteur sur leur thèse.



**Figure 53 :** A gauche : Principaux journaux dans lesquels PPB a publié au moins 5 articles, sur un total de 117 journaux. A droite : nombre de publications dans les journaux dans lesquels PPB a publié 3 articles ou plus.

De même, tous les post-doctorants et ATER ont publié en premier auteur lors de leur séjour dans l'équipe, contribuant par leurs travaux à ~10 % des publications de l'équipe. Les émérites et bénévoles ne sont pas en reste. A une exception près, tous ont co-signé des articles avec des membres de l'équipe. Enfin, on note que 8 articles sont également co-signés par les personnels d'appui à la recherche (T ou IE), qui sont invités à

prendre une part de plus en plus active dans la diffusion des résultats scientifiques qu'ils ont contribué à faire émerger. La collaboration avec les deux autres équipes de l'ISTeP se traduit par des publications co-signées avec des membres de PGM2 et DEMO (1% et 11% des articles, resp.) et par des co-encadrements de doctorants. L'équipe collabore aussi avec des collègues des UMR voisines (CR2P, IMPMC, METIS, ENS) avec lesquels elle co-signe de nombreux articles.

### Référence 3

non pertinente à l'échelle de l'équipe, voir auto-évaluation à l'échelle de l'Unité

### Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 3

L'équipe a publié 294 articles de rang A et tous les membres de l'équipe sont 'publiants'. Les collaborations sont multiples.

## Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

### Référence 1. L'équipe se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

L'équipe PPB a noué de longue date des relations avec les EPICs (IFPEN, BRGM, ANDRA, ...) et le monde industriel, bénéficiant ainsi d'importants soutiens. On retiendra notamment les conventions 'Groupement Recherche Industrie' avec Total Energies qui ont permis de financer les projets GRI Téthys Nord, GRI Méditerranée et le post-doc d'E. Bessière. Un des produits phares du GRI Méditerranée est l'atlas des marqueurs stratigraphiques en Méditerranée occidentale paru en 2019 (<https://ccgm.org/en/product/atlas-of-the-stratigraphic-markers-in-the-western-mediterranean-the-gulf-of-lion>). L'équipe a aussi initié une collaboration sur le long terme au travers de multiples projets de recherche avec Vinci-Technologies, société qui commercialise le Rock-Eval®. Dans ce cadre, l'ISTeP a recruté sur contrat pendant 3 ans un assistant-ingénieur (A. Wattripont), lequel a depuis intégré cette société comme ingénieur de projet.

**ADEME** : ½ contrat doctoral (80 k€, Baudin)

**IFPEN** : contrats (2014-2017, 45 k€ ; 2015-2018, 45 k€, Gorini)

**Musée du Louvre** : contrat (2016-2019 ; 17 k€, Le Callonnec)

#### Total Energies

- GRI Méditerranée : 1 082,7k€ ; 2013-2018 - Gorini (+CDD E. Leroux & R. Leprêtre)
- GRI Téthys Nord : 801,1 k€ ; 2013-2019, Barrier
- 2017-2018 : 44,3 k€, Poort
- 2017-2019 : 321,5 k€, Gorini
- 2017-2020 : 155,6 k€, Gorini
- 2019-2022 : 166,9 k€, Poort (CDD E. Bessière)

**Vinci-Technologies** : 2017-2019 – 211 k€, Baudin (CDD A. Wattripont)

### Référence 2. L'équipe développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

Quelques membres de l'équipe (Le Callonnec, Bergerat) sont actifs au sein de la Commission Régionale du Patrimoine Géologique (CRPG) et du Conseil scientifique régional du patrimoine naturel (CRSNP) d'Ile-de-France. J. Schnyder est membre du Conseil Scientifique de la Réserve Géologique du Lot et L. Le Callonnec conseillère auprès de la Maison de la Pierre à Saint-Maximin.

### Référence 3. Partage des connaissances avec le grand public et intervention dans des débats de société.

La plupart des membres de l'équipe participe régulièrement aux manifestations grand public (Fête de la Science, Journées Portes Ouvertes, Journées Nationales de la Géologie). Plusieurs sont actifs en ce qui concerne les interventions médias (presse écrite, par ex. interview L. Ségalen dans *Humanité Dimanche*, de C. Gorini dans *Le Monde* et *Libération* ou radio avec F. Minoletti à *France Culture*) et la communication grand

public (conférences, revue vulgarisation, par ex. Conférence de L. Le Callonnec à Villers-sur-Mer sur « *les roches sédimentaires : témoins des climats et de la vie du passé* » ; intervention de C. Gorini dans le cadre du festival des passeurs d'humanité <https://passeursdhumanite.com/2021/06/07/12-juillet-breil-sur-roya/>). Les C et EC de PPB accueillent aussi régulièrement des scolaires pour des stages de 3<sup>ème</sup>, ou TPE sur des thématiques liés aux paléoclimats.

### Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 4

Les recherches de l'équipe PPB sont largement ouvertes sur le monde socio-économique, ce dont témoignent les multiples contrats avec les EPICS et les entreprises et les transferts d'expertise (comme par exemple les travaux sur les sols et la séquestration du CO<sub>2</sub>, **portfolio Unité**)

### BILAN DE L'AUTO-EVALUATION DE PPB

<u>Forces</u>	<u>Faiblesses</u>
*Financement de projets moteurs ( <i>INSU, ANR, ERC, EJP, ...</i> ) *Collaboration avec industrie ( <i>Total, Vinci Technologies, ...</i> ) *Visibilité de ses membres *Fort potentiel analytique	*Ratio EC/C très déséquilibré *Ratio HDR/EC améliorable *Trop faible soutien technique compte tenu du parc analytique géré par PPB
<u>Opportunités</u>	<u>Menaces</u>
*Soutenances HDR à venir *Nouvelles thématiques en lien avec la transition énergétique/écologique	*Vieillessement de l'équipe

### 3.2.3 Auto-évaluation de l'équipe PGM2

#### Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'équipe

##### Référence 1. L'équipe s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents.

L'équipe PGM2 travaille sur les thématiques de pétrologie endogène au sens large et à toutes les échelles d'espace, i.e. depuis l'atome (éléments, isotopes) jusqu'aux planètes telluriques et leur rôle en termes de ressources et d'impact sur les enveloppes terrestres, et sur toutes les échelles de temps, i.e. de celles des temps géologiques jusqu'à celle de la seconde. Elle fédère ainsi des C, EC et IR sur les processus crustaux et mantelliques ayant potentiellement des impacts sur les enveloppes fluides, avec des thématiques portant sur la pétrologie de la croûte et du manteau, les interactions fluides-roches, le comportement des éléments volatils en contexte magmatique et métamorphique, et leurs implications en termes de ressources ou d'interactions avec l'atmosphère.

Ainsi, à l'échelle locale comme nationale, la spécificité de PGM2 est d'étudier les matériaux naturels entre surface et réservoirs profonds, là où se font les transferts majeurs de matière vers l'atmosphère et notre environnement, et les concentrations d'intérêt économique. En effet, la pétrologie moderne a connu une véritable révolution avec le développement d'analyses ponctuelles de haute résolution (spatiales et analytiques) élargissant les domaines d'applications à des échelles variées allant du terrain jusqu'à l'atome. Ainsi il est désormais possible de décrire et modéliser le comportement des éléments chimiques lors des processus pétrologiques au travers d'une analyse géochimique de pointe des roches naturelles allant jusqu'aux échelles nanométriques. La compréhension des comportements des éléments à l'échelle atomique permet de contraindre l'origine et l'histoire des roches, de suivre la mobilité des éléments chimiques réactifs et leurs interactions (transports d'éléments d'intérêts économiques, ou à fort impact environnemental), de retracer les conditions passées de leur formation (climats anciens avec effet sur les pierres de construction) ou de donner

des contraintes sur les échelles temporelles des processus opérant dans la croûte. Au sein de l'équipe la mobilité et l'impact des halogènes est une thématique fédératrice.

### Enjeux sociétaux

De nouveaux champs d'application sont ainsi apparus à l'interface des Sciences de la Terre, des sciences de l'environnement, sciences des matériaux ainsi que des sciences humaines.

### Vie de l'équipe

L'équipe PGM2 avait été mise en place lors du quinquennal précédent. Benoît Dubacq a rejoint l'équipe en 2017, ce qui a permis de nouvelles interactions au sein de l'équipe, et de « pallier » les départs en retraite de collègues (A. Jambon, D. Badia, B. Villemant, ML Pascal, C. Wagner). C. Sanloup a quitté l'équipe et l'ISTeP pour rejoindre l'IMPMC toujours au sein de SU.

Au cours du dernier mandat, le pilotage de l'équipe s'est fait via des réunions se tenant tous les 2 à 3 mois, auxquelles étaient invités tous les membres (C, EC, IR, doctorants). Ces réunions sont l'occasion de discuter scientifiquement sur la base de présentations effectuées par un ou des membres de l'équipe (projet en cours, papier accepté, nouvel arrivant, chercheur invité), mais également de faire le point sur les questions administratives et financières (tour de table des besoins collectifs et individuels). Une newsletter des faits marquants de l'équipe a été mise en place (mission, workshop, publications, financements...).

## Référence 2. L'équipe dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise

Equipe : PGM2    Chiffres en k€	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ressources propres obtenues sur appels à projets régionaux et locaux (sommes issues de AAP Idex, I-site, CPER, collectivités territoriales, BQR, etc.)			54	101	48	48
Ressources propres obtenues sur financements publics ou associatifs nationaux (sommes obtenues du PIA, de l'ANR, de la FRM, de l'INCa, des organismes de recherche, du réseau des MSH etc.)	30	31	76	58	58	35
Ressources propres obtenues sur appels à projets internationaux						
Ressources issues de la valorisation, du transfert et de la collaboration industrielle (sommes obtenues grâce à des contrats, des brevets, des activités de service, des prestations, etc.)						
Dotations (SU + CNRS)	34	31	22	22	25	40
<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>62</b>	<b>152</b>	<b>181</b>	<b>131</b>	<b>123</b>

La répartition des ressources est discutée collégialement lors des réunions d'équipe. Pour soutenir les activités collectives de recherche, en particulier celle des doctorants encadrés par les membres de l'équipe, une partie des crédits est allouée aux docteurs. Au travers de la thèse de S. Figowy, B. Dubacq a ainsi travaillé avec P. D'Arco, sur les aspects liés à la minéralogie théorique, ce qui a maintenu cette discipline. Mais avec le départ à la retraite de P. d'Arco en 2023, il y a un risque que celle-ci disparaisse. T. D'Augustin a également bénéficié du support analytique et financier pour mener à bien ses recherches sur les halogènes. En amont l'équipe avait bénéficié du soutien de l'UMR pour soutenir financièrement les M2 de ces 2 étudiants, ce qui a permis de les présenter au concours de l'école doctorale et de les pénétrer dans l'équipe en thèse.

L'équipe réfléchit et soutient des chantiers communs de recherche. Elle a en effet soutenu le déplacement de certains membres sur Santorin, comme nouveau site d'étude pour les aspects liés au comportement des éléments volatils dans les magmas (A. Aroskay, M. de Dinechin et C. Honthaas, lors d'un déplacement pour les enseignements de E. Martin et H. Balcone-Boissard).

## Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 1

L'équipe PGM2 est une équipe dont les thématiques multi-échelles sont ancrées dans les enjeux sociétaux actuels (climats passés, préservation du patrimoine, risques naturels) ou les grandes questions scientifiques

(origines de la vie, perturbations actuelles du climat par des sources naturelles non anthropogéniques). Son savoir-faire est malheureusement basé parfois sur un petit nombre de personne (approche ab initio).

## Domaine 2. Attractivité

### Référence 1. L'équipe est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche.

Certaines thématiques comme les halogènes sont reconnues à l'échelle internationale et participent au rayonnement de l'équipe. Sur cette thématique, soutenue par l'équipe, le laboratoire et l'OSU, une journée scientifique intitulée "Halogènes, du manteau vers la surface" est organisée depuis 2019 tous les 2 ans. Cette manifestation, organisée H. Balcone-Boissard et E. Martin, regroupe autour de 50 participants dont des chercheurs étrangers (Allemagne, Italie, Angleterre, Québec). Elle est également le fruit d'une collaboration sur le campus Pierre et Marie Curie avec H. Bureau (IMPMC) et S. Bekki (LATMOS). [http://istep.upmc.fr/fr/les-manifestations/journees\\_scientifiques/journee-scientifique-halogenes-2021.html](http://istep.upmc.fr/fr/les-manifestations/journees_scientifiques/journee-scientifique-halogenes-2021.html)

L'équipe travaille également à toutes les échelles, dont celle des éléments et des minéraux. Certains membres de l'équipe (E. Martin, H. Balcone-Boissard) ont participé à une journée « Valorisation des collections », afin de faire connaître les collections hébergées à SU et de mettre en relation les responsables de ces collections avec les chercheurs. Sur l'initiative de P. Giura (IMPMC), cette journée s'est déroulée le 29/11/2021 à SU et a rassemblé les collections de minéraux de SU, du MNHN et de l'Ecole des Mines. <http://impmc.sorbonne-universite.fr/fr/evenements/manifestations/journee-d-echange-autour-des-collections-d-interet-pour-les-geosciences.html>

L'équipe accueille des chercheurs étrangers : en 2018, l'équipe a accueilli K. Lakroud (Université de Casablanca) pendant 3 mois et, entre 2021 et 2022, F. Pasquetti de l'université de Pise (3 mois).

Ses membres sont actifs et ancrés dans les congrès internationaux, notamment européens. Ainsi, O. Boudouma (IR) et B. Caron (IR) ont participé à l'EGU en tenant un stand académique en compagnie des ingénieurs de l'OSU Ecce Terra. Le but était de mettre en valeur les techniques et les travaux réalisés au sein des plateformes d'analyses géochimiques (ALIPP6) et d'observations (MEB-EBSD). Ses membres sont invités également dans des congrès européens, par exemple sur la question du dégazage magmatique, comme H. Balcone-Boissard lors du workshop intitulé "Outgassing processes" à Villefranche sur mer (Mai 2019) <https://www.oca.eu/en/research-oca/2186-outgassing-processes-workshop>

Les membres de l'équipe sont également des membres actifs de sociétés savantes : IAVCEI (Balcone-Boissard, Caron), Goldschmidt (Caron), SFMC (Dubacq).

Participation à des instances de pilotage de la recherche (cette rubrique est abordée dans le **portfolio Unité**)

### Référence 2. L'équipe est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.

L'équipe prend soin des ses doctorants, qui dynamisent les échanges. Les doctorants sont régulièrement invités à présenter leur travail lors de réunion d'équipe, de la journée de rentrée afin de préparer un congrès, et à faire le point sur leurs avancées.

En interne, les réunions de l'équipe avec présentation des recherches en cours, publiées ou des projets permettent une bonne diffusion des connaissances et de la recherche en cours. L'accent est particulièrement mis sur les doctorants pour les habituer à présenter leurs travaux et répondre aux questions. Les nouveaux collègues entrants sont incités à encadrer des stagiaires de L (stage laboratoire), ou M (M1, M2). Par exemple, dès son arrivée, C. Baudouin est co-encadrante de stages de M1 et M2 afin de promouvoir les interactions avec les membres de l'équipe. Elle a été encouragée et soutenue (relecture) dans le dépôt de projet interne à SU (Emergence SU).

Le personnel d'appui à la recherche, soit deux IR pour PGM2, fait partie intégrante des discussions de l'équipe. Ils sont également sources de projets de recherche. Les ingénieurs des plateformes ALIPP6 et CAMPARIS, affectés à l'OSU, sont invités aux réunions de l'équipe pour plus d'interactions scientifiques.

L'équipe essaie également de stimuler les membres moins actifs en les associant par exemple à un nouveau chantier d'étude (Santorin pour C. Honthaas) en proposant son aide dans la relecture d'articles.

### Référence 3. L'équipe est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

PGM2 a un bon taux de succès sur les appels à projet qu'ils soient locaux ou nationaux.

#### Projets nationaux

##### **Emergence Ville de Paris :**

(2017-2021, 180 k€), H. Balcone-Boissard) : Halogènes – Volcans – Climat

##### **ANR :**

- ANRV-Care (2018-2023, 300 keuros pour partenaire ISTeP, H. Balcone-Boissard) – Mise en place d'horloge pré-éruptive dans la gestion des risques volcaniques
- ANR CASPA (2020-2024, 559keuros pour partenaire E. Martin). Etude des aérosols liés à la pollution anthropique dans un climat arctique.
- ANR Carquakes (2018-2023, 546 k€, PI N. Feuillet IPGP, co-PI B. Caron). Cette ANR avait pour but d'exploiter les enregistrements sédimentaires acquis lors de la campagne océanographique CASEIS pour y retrouver les paléo-séismes et l'activité volcanique des Petites Antilles.
- ANR Color Sources (2021-2025, 445 k€, PI M. Lebon MNHN, Musée de l'Homme). Ce projet permettra d'identifier les sources géologiques des arts rupestres (France, Namibie) via les données géochimiques des matières colorantes.

##### **INSU :**

#### Tellus

- 2022 : « Li dans les magmas » – M. Dupont de Dinechin/H. Balcone-Boissard en collaboration avec ISTO (C. Martel)
- 2021 : « Constraining the eruptive history of the Mayotte Island from tephrochronology and isotopic chronostratigraphic studies of tephra-bearing sediment cores », E. Lebas (IPGP), B. Caron (ISTeP-SU).
- 2020 : « Effets de la super-éruption de Toba sur l'océan et la biocalcification (ETOB) » A. Bartolini (CR2P-MNHN), B. Caron (ISTeP).

#### Syster

- 2022 : A. Aroskay, "The Role Of Volcanic Lightning In N-fixation",
- 2022 : Cookéite, sudoïte et chamosite des Aravis : métamorphisme et diagramme de phase basse-température des chlorites. G. Bonnet, B. Dubacq.
- 2018 : Déshydratation des roches métamorphiques en zone de subduction : libération de fluides, échelle de migration et transferts de matière associés. B. Dubacq, B. Lefeuvre, A. Verlaguet, P. Agard.

#### LEFFE

- 2022 : A. Aroskay, "Black crusts As Tracers of Ozone Concentration"
- 2018 : "ITALiANO" C. Ridame (LOCEAN), B. Caron (ISTeP).

#### Appel à projets locaux

- FEG CAMPARIS : de nouvelles capacités en Île-de-France pour l'analyse chimique inframicrométrique des minéraux, verres et matériaux. B. Dubacq & N. Rividi pour la plateforme CAMPARIS. Projet financé par la région Île de France (SESAME 2022), Sorbonne Université, le CNRS-INSU, l'IPGP, l'ISTeP, l'IMPIC, GEOPS et le LCPMR 1,125 M€
- IPSL : L'éruption de Toba a-t-elle eu un impact sur la mousson ? (2020) E. Moreno (LOCEAN CR2P), B. Caron (ISTeP).
- OPUS Apanam 2017 M. Lebon (Musée de L'Homme, MNHN, B. Caron (ISTeP).
- Emergence SU (71 k€, Martin): projet black crusts : a new window on the oxidising capacity evolution of the troposphere during its anthropization

## Référence 4. L'équipe est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.

### Voir Annexe 2

Les approches suivies par les membres de l'équipe sont celles basées sur l'utilisation de techniques avancées d'étude des géomatériaux naturels des plateformes de SU ou via les instruments nationaux et grands instruments (microscopies électroniques, ICP-MS ablation laser, rayonnement synchrotron, SIMS, etc.), ainsi qu'une approche calculatoire théorique *ab initio*.

Les thématiques développées pendant ce plan quinquennal balaient différentes échelles, de l'élément aux cristaux dans les magmas, émis lors d'éruptions volcaniques étudiées pour leurs styles éruptifs, les risques associés et les impacts atmosphériques ou sur l'origine de la vie. Pour les mener à bien, il s'agit d'utiliser en plus des techniques d'analyse globales celles ponctuelles qui permettent de préciser le message pétrologique (microscopie électronique, ICP-MS ablation laser, rayonnement synchrotron, Raman, SIMS, etc.).

L'équipe suit principalement deux types d'approches : une approche analytique (géochimique et pétrologique) et une approche théorique (calculs *ab initio* sur la structure des minéraux). Concernant l'approche analytique, la nouvelle plateforme ALIPP6 (LA, ICP-MS/MS, ICP-OES, gérée par B. Caron, IR PGM2) permet de faire à la fois des analyses en roche totale et des mesures *in situ* grâce par ablation laser, i.e. sans préparation chimique préalable. Cette plateforme jouxte la plateforme de microscopie électronique (gérée par O. Boudouma, IR dans l'équipe), ainsi que la plateforme de microsondes électroniques CAMPARIS, ce qui permet à l'équipe d'avoir accès à une plateforme d'analyses complète (chimie et imagerie).

L'équipe a ainsi des compétences techniques qu'elle entretient via le renouvellement de matériel. Elle a soutenu financièrement l'achat du Microscope Numérique Motorisé Keyence VHX 7000.

## Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 2

L'équipe PGM2 est attractive pour ses thématiques de recherche, tant sur le plan local que national et international, comme l'atteste le rayonnement scientifique de ses membres. La thématique des halogènes en est un bon exemple. La réussite aux appels à projets, doublant ou triplant les moyens financiers de l'équipe par rapport au soutien de base est à noter. Elle bénéficie d'un environnement analytique à la pointe dans les locaux de l'ISTeP. Tout ceci crée des conditions favorables de travail dont l'équipe s'attache à faire bénéficier tous ses membres.

## Domaine 3. Production scientifique

### Référence 1. La production scientifique de l'équipe satisfait à des critères de qualité.

Sur la période évaluée, l'équipe a obtenu des résultats marquants tant d'un point de vue minéralogique, avec les travaux portant sur les halogènes et leurs coefficients de partage, que d'un point de vue plus large sur l'impact des émissions volcaniques, notamment celles d'halogènes, sur la chimie de l'atmosphère, avec les premiers bilans quantifiés. L'équipe a ainsi renforcé son rôle dans l'identification des impacts entre les émissions volcaniques et le climat, avec également les avancées sur la chimie du soufre. L'équipe a également continué son ouverture vers le monde culturel en collaborant avec différents laboratoires ou musées pour retracer les climats passés ou identifier les pigments de toiles de maîtres.

Sur la période 2017-2022, l'équipe PGM2 a publié 102 articles de rang A, le plus souvent dans des journaux à fort impact. Avec 5 ETPR dans l'équipe mais dont 1 (= 2 MCU en détachement) était de fait statutairement non publiant sur la majeure partie de la période évaluée, cela correspond à un taux de publication de 4,2 articles/ETPR « permanent »/an. Si on souhaite prendre en compte les 2 EC émérites (Villemant, Wagner) de l'équipe, à raison par exemple de 0,5 ETPR chacun, le taux de publication devient 3,4 articles/ETPR/an.

### Référence 2. La production scientifique de l'équipe est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.

Seul un permanent de l'équipe est considéré comme 'non publiant' (dernière publication en 2015 ; h-index de 6), ce qui est pris au sérieux par l'équipe pour l'aider. La quasi-totalité des docteurs formés par l'équipe sont auteurs d'au-moins un article en premier auteur sur leur thèse, parfois dans des revues de type Nature.

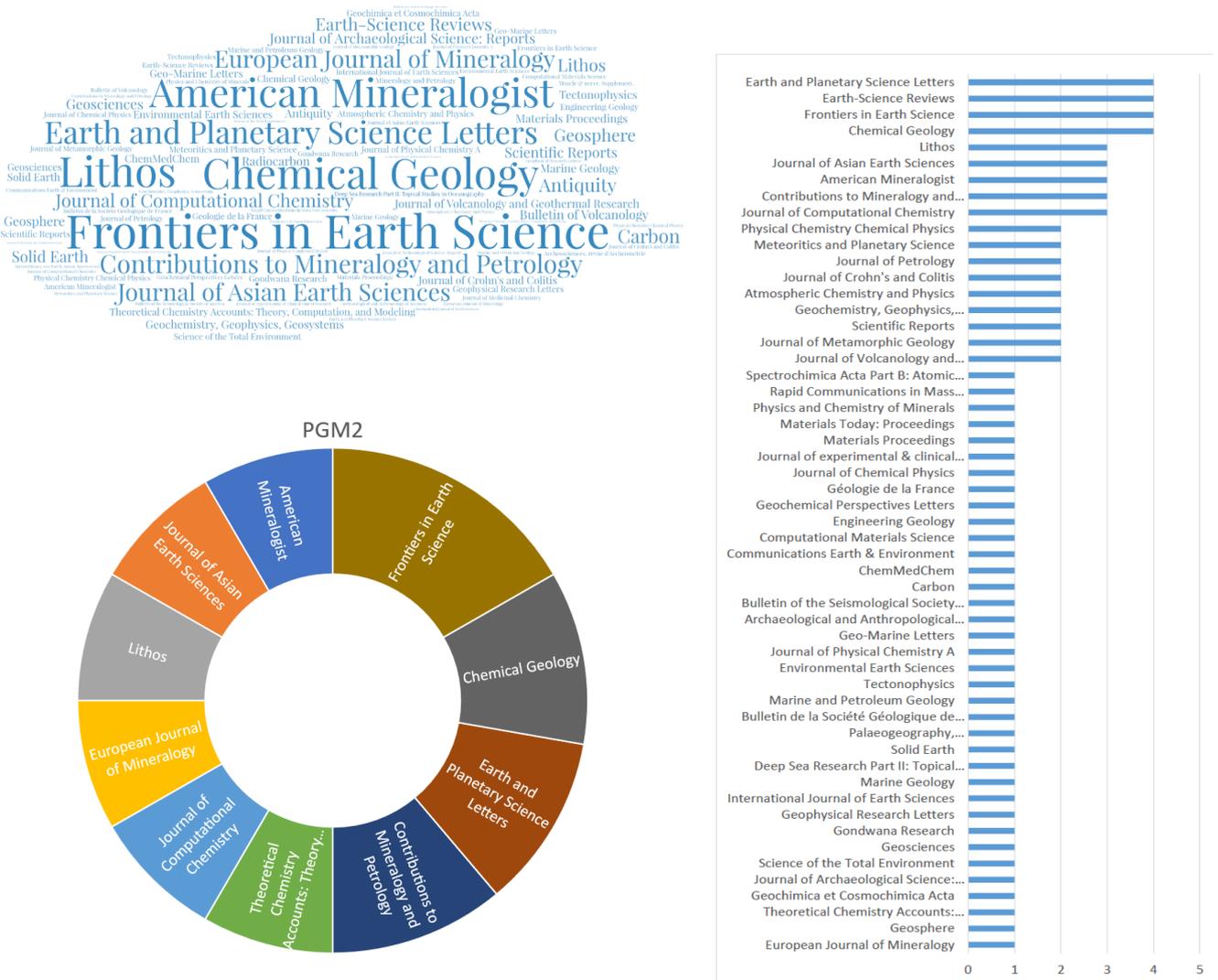


Figure 54: A gauche : Principaux journaux dans lesquels PGM2 a publié au moins 3 articles, sur un total de 60 journaux. A droite : nombre de publications dans les journaux dans lesquels PGM2 a publié.

Les émérites et bénévoles participent également à la dynamique de publication ou d'avancée analytique. Enfin, les personnels d'appui à la recherche (2 IR) ont une part de plus en plus active dans la diffusion des résultats scientifiques qu'ils ont contribué à faire émerger (4 publications de B. Caron) ; B. Caron est également co-encadrant de thèses ou de stages de M2. La collaboration avec les deux autres équipes de l'ISTeP est variable et se traduit par entre 1 à 3% des publications co-signées avec des membres de PPB et DEMO. L'équipe collabore aussi avec des collègues des UMR voisines (LATMOS, IMPMC, IPGP, ENS) et co-signe avec eux 23% de ses articles.

Vis-à-vis des non publiants, comme C. Honthaas, nous avons essayé de l'inclure sans succès dans le projet Santorin malgré ses compétences sur les magmas des zones de subduction. Y. Noël est quant à lui passé directeur de CAPSULE et émarge comme chercheur associé au LIP6.

Nous manquons cruellement de personnels d'appui à la recherche, notamment en amont des analyses, en termes de préparation des échantillons (poudres pour analyse en solution – ICP-MS ou chromatographie ionique-, minéraux séparés, plots pour observations d'échantillons au MEB puis analyses à la microsonde (électronique ou ionique). Ce manque se traduit par un allongement du temps passé pour arriver à l'analyse, et la valorisation des résultats. Pour les analyses, nous avons la chance de compter sur 2 IR, Omar Boudouma pour le MEB-EBSD-Raman-Cathodoluminescence, et Benoît Caron pour l'ICP-MS-MS avec ou sans l'ablation LASER et l'ICP-OES.

### Référence 3

non pertinente à l'échelle de l'équipe, voir auto-évaluation à l'échelle de l'Unité

### Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 3

PGM2 est une équipe dynamique d'un point de vue de sa production scientifique. Malgré la charge d'enseignement, les publications sont nombreuses et dans des revues de qualité. Les doctorants sont publiants pendant leur thèse. Les avancées se font également d'un point de vue technologique avec le travail des IR.

### Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

#### Référence 1. L'équipe se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

L'équipe PGM2 a de nombreux liens avec le monde non académique, en particulier le monde culturel. Les interventions sont le résultat de contacts pris par le monde culturel envers les membres de l'équipe lors d'un besoin spécifique ponctuel. Ces occasions permettent une valorisation et un regard différent sur l'activité de recherche. L'aspect Science et Art est détaillé dans le **portfolio PGM2**.

#### Référence 2. L'équipe développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

Certains membres de l'équipe ont été sollicités pour des supports variés à destination du grand public :

##### *Un film :*

- suite à une mission de terrain au Kamchatka (2019) dans le cadre de l'ANR V-CARE, un film a été réalisé sur le déroulé de la mission par la société CRESTAR, et diffusé pour la première fois ce en mars 2021 sur Science&Vie TV. Spécialisée dans le documentaire et la production vidéo, Crestar Productions tourne son regard sur des sujets forts et ambitieux. Histoire, Société, Environnement, Science, Crestar se penche sur les grands thèmes de notre planète. *Participants : H. Balcone-Boissard et L Ostorero.*
- La plateforme ALIPP6 et B. Caron ont été impliqués dans la réalisation du film « Vivre et mourir en Champagne il y a 5000 ans » de Rémi Martineau (Univ. de Bourgogne) et produit par CNRS Image. Ce long métrage (41 min) est le fruit de plusieurs années de travail, du suivi des fouilles archéologiques et des recherches menées dans le programme de recherche sur le Néolithique des Marais de Saint-Gond (Marne) dont la thèse de M. Imbeaux (Univ. de Bourgogne).

##### *Un podcast :*

- Une fois par mois, Perrine Quennesson décortique avec une scientifique la relation entre fictions et sciences à partir de films qui ont marqué l'histoire du cinéma. 7e Science est un podcast de Binge Audio et SU. Dans le cadre des podcasts alliant Sciences et Cinéma, initiés par SU, H. Balcone-Boissard a réalisé une intervention sur le film 'le Pic de Dante'. <https://play.acast.com/s/90ae31c3-8695-43b8-b536-16414aa6eedc/61dee548d9b34900134cddc2>
- France TV « On n'est plus des pigeons » thème *Marché du bien-être*, intervention de B. Dubacq sur les mensonges de la lithothérapie ; <https://www.youtube.com/watch?v=iNLflmco1as>

Depuis juin 2022, Caroline Besse, artiste peintre-décoratrice est en résidence à l'ISTeP pour travailler sur le thème de la couleur (**portfolio PGM2**).

#### Référence 3. L'équipe partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

Certains membres sont investis dans le partage auprès du grand public de leurs activités de recherche.

\* Selon les années et le thème, la participation des membres de l'équipe se fait soit sur des initiatives personnelles (2019, H. Balcone-Boissard/O. Boudouma en collaboration avec le service CAMPARIS) ou via la participation à un projet de l'ISTeP (2022). Ainsi en 2019, sur le thème « voir l'invisible », une animation intitulée « Volcans, Attention dangers ! » était proposée aux scolaires la semaine et au grand public le week-

end. En 2022, des membres de l'équipe (A. Aroskay, M. Dupont de Dinechin, E. Martin) ont participé avec d'autres membres de l'ISTeP, et dans le cadre de « l'année du verre », à la fête de la science à SU.

\*Certains membres écrivent pour des revues à destination du grand public :

- Citton, Y., Dubacq, B. (2022) Géo-ingénierie : les technologies sauveront-elles le progrès ? De la bonne échelle pour agir sur le climat. Revue du Crieur, 21, 80-96, ISBN : 9782348076763.
- « Voir l'Invisible » tome 2 : plusieurs membres de l'équipe PGM2 (E. Martin, B. Caron, B. Villemant, A. Aroskay ...) ont participé à la rédaction de quelques chapitres de l'ouvrage en 2019 sous la direction de Jean-Pierre Gex.

[https://www.cultura.com/p-voir-l-invisible-9782867396502.html?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=PLA\\_PMAX\\_Livre&gclid=EAIaIQobChMI\\_f3d2Pa1\\_QIVVY9oCR0PSwSZEAOYDSABEgKwOvD\\_BwE](https://www.cultura.com/p-voir-l-invisible-9782867396502.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PLA_PMAX_Livre&gclid=EAIaIQobChMI_f3d2Pa1_QIVVY9oCR0PSwSZEAOYDSABEgKwOvD_BwE)

\*Exposition au Palais de la Découverte (2020-2021) : Benoît Caron a co-organisé l'exposition « Séisme, avalanches et sédiments marins » faisant suite à la mission océanographique CASEIS (PI N. Feuillet IPGP, 2016), puis la mise en ligne de cette exposition suite à la crise sanitaire Covid-19.

<http://istep.upmc.fr/fr/les-manifestations/palais-de-la-decouverte/seismes-avalanches-et-sediments-marins.html>

\*Lors de la période de confinement, les expositions étant fermées, un groupe s'est développé pour permettre de faire « parler » les cailloux. Certains membres ont réalisé des vidéos de leurs cailloux confinés.

<http://istep.upmc.fr/fr/les-manifestations/des-cailloux-confinés.html>

[https://www.youtube.com/watch?v=U4UMPs\\_JB20](https://www.youtube.com/watch?v=U4UMPs_JB20);

<https://www.youtube.com/watch?v=J34d6hMSgdc>;

<https://www.youtube.com/watch?v=Ujb0S9pQVgM>

\*Régulièrement, les membres de l'équipe sont sollicités pour participer à des conférences grand public, ou des interventions dans les écoles primaires. Il s'agit d'expliquer notamment comment fonctionnent les volcans et faire rêver les enfants en leur racontant comment ça fonctionne et avec parfois des interventions avec des roches, minéraux ou même des petites expériences réalisées en classe.

## Synthèse de l'autoévaluation sur le domaine 4

L'équipe PGM2 a tissé des liens forts avec la société. Son activité de recherche trouve un écho dans l'art. Elle est régulièrement sollicitée pour partager son expertise lors d'émission radiophoniques. Les missions peuvent être sources de partage vers le grand public également, voire les écoles qui sont également demandeuses d'intervenants venant de l'équipe.

## BILAN DE L'AUTO-EVALUATION DE PGM2

<b><u>Forces</u></b>	<b><u>Faiblesses</u></b>
*Financement de projets moteurs <i>(Emergence Ville de Paris, ANR)</i> *Participations à de nombreux projets *Visibilité de ses membres *Bonne capacité d'encadrement (HDR soutenues)	*Ratio EC/C très déséquilibré *Trop peu de membres
<b><u>Opportunités</u></b>	<b><u>Menaces</u></b>
*Recrutement d'une jeune MCU en 2022 *Renouvellement de l'équipe	*Départs à la retraite non remplacés *Lourdes responsabilités des membres *Disparition programmée de la minéralogie théorique

## TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

L'autoévaluation a montré le potentiel de l'ISTeP et sa large implication dans la production et la valorisation de connaissances scientifiques, dans la formation initiale et à la recherche et par la recherche et dans la dissémination des connaissances vers le monde socio-économique et le grand public.

Les personnels de l'ISTeP sont impliqués dans de multiples responsabilités tant dans l'administration et le pilotage de la recherche, mais également l'administration et le pilotage de formations, et ce aux plans local (FSI, SU), national et international (voir **portfolio Unité**). Le nombre et la diversité des responsabilités témoignent du grand sens du collectif, de la reconnaissance scientifique et de la représentativité des membres de l'ISTeP au sein de la communauté des Géosciences.

### 1- Pourquoi ne pas reconduire à l'identique et faire évoluer une UMR qui fonctionne et produit bien ?

L'ISTeP est déjà bien identifié dans le paysage francilien et national par son approche pluridisciplinaire « field-based » des processus géologiques. L'UMR est connue et reconnue pour ses travaux sur la dynamique lithosphérique from top to bottom, à différentes échelles de temps et d'espace. L'approche terrain qu'elle cultive initie et alimente le questionnement sur les processus, nourrit les modèles numériques, et en retour sert à valider les prédictions de ceux-ci. C'est en s'appuyant sur ce savoir-faire historique reconnu, combiné à une forte capacité analytique et des compétences étendues en modélisation intégrée des processus tectoniques à différentes échelles de temps et d'espace, que l'ISTeP entend renforcer sa position incontournable sur la dynamique lithosphérique. A travers sa stratégie de recrutement, de développements techniques comme d'orientations thématiques, l'ISTeP souhaite ainsi perpétuer, renforcer, renouveler et étendre son expertise, conserver son attractivité et continuer de jouer un rôle moteur dans la communauté des Géosciences dans les 5 à 10 prochaines années tout en améliorant encore la visibilité de ses thématiques au plan national et international.

#### \*Pour des raisons de renforcement des thématiques scientifiques-phares et de leur affichage

La direction de l'ISTeP a fait évoluer le contour des axes transverses afin de renforcer les thématiques scientifiques-phares et leur affichage, et prendre en compte les changements socio-économiques.

**L'axe transverse Géosciences marines** a fonctionné avec un grand succès et a fédéré une bonne partie des forces du laboratoire, augmentant la visibilité de l'Unité sur cette thématique par rapport aux autres instituts franciliens où les forces correspondantes se sont amenuisées. Cette montée en puissance a naturellement conduit à la naissance de l'équipe TERMER décrite ci-après. Il était devenu également indispensable d'afficher plus clairement les recherches que l'Unité entend développer dans les années à venir sur les aspects aléas. Un **axe transverse Aléas** a alors été créé en cours de mandat, regroupant les différents aléas, non seulement sismique, mais aussi gravitaire/hydro-climatique et volcanique, en lien avec le climat, pour lesquels l'ISTeP a des compétences multiples et reconnues qu'il convenait de fédérer afin de favoriser les discussions et les projets de collaboration inter-équipes (e.g., le projet STORY, **portfolio PPB**).

Par ailleurs, les enjeux sociétaux de la transition environnementale et la nécessaire évolution des applications des recherches fondamentales à destination du monde socio-économique a conduit en parallèle à la création d'un **axe transverse Transition**. Cet axe a été principalement orienté vers les ressources énergétiques non-carbonées et les ressources minérales en éléments d'intérêt critique (Li, Terres Rares). Il s'appuie sur les multiples compétences de l'ISTeP alliant géodynamique, pétrologie métamorphique et magmatique, géologie des bassins sédimentaires, modélisation thermo-mécanique incluant les circulations de fluides et sur son parc analytique riche et adapté à cette recherche (détermination pétrologique et minéralogique, géochimie organique et inorganique, géochimie isotopique, FEG-Camparis). Ainsi, ce nouvel affichage vise à souligner que l'ISTeP conduit ses recherches fondamentales tout en fédérant ses forces et en mettant son expertise scientifique et technique au profit des priorités socio-économiques, ou de recherche à l'interface comme celles sur le patrimoine.

L'affichage d'un **chantier fédérateur Méditerranée** s'est imposé comme une évidence pour formaliser un cadre et faire caisse de résonance aux travaux internationalement reconnus conduits de longue date par les membres de l'ISTeP (et quelques collègues de CYU, voir projet).

Accessoirement, ce changement répond à une critique de l'HCERES lors de la précédente évaluation qui avait mentionné que le projet de DEMO faisait la part belle aux problématiques de déformations de la lithosphère au possible détriment des parties « Aléas », « Interactions tectonique-fluides » et encore plus « Ressources ».

Enfin, les volets aléas, ressources et patrimoine ne pouvaient raisonnablement pas être abordés sans une diversification des approches et des collaborations hors discipline, comme avec les sciences humaines et sociales (géographie, archéologie, gestion du patrimoine, anthropologues). Des collaborations hors ISTE P ont récemment émergé afin d'impliquer les différentes disciplines nécessaires au passage complexe entre aléa et risque (géographe, statisticiens, modélisateurs, urbanistes, historiens, comme par exemple les projets ALARM et STORY, **portfolio PPB**). L'acceptabilité des préconisations des scientifiques doit se faire par une relation de confiance et un dialogue avec la société et les décideurs politiques. L'expertise de l'Unité sur les aléas permet ce dialogue : en effet, dans le contexte du changement climatique, les catastrophes "naturelles" risquent d'augmenter en ampleur et en fréquence dans le monde entier. Il est donc nécessaire de comprendre comment les sociétés humaines régulièrement frappées par des événements destructeurs ont développé au fil des siècles des connaissances spécifiques et des stratégies d'atténuation qui leur permettent d'anticiper et de se préparer. Ainsi les membres de l'ISTeP s'associent de plus en plus aux collègues des sciences sociales pour inverser les raisonnements et se demander dans quelle mesure les géosciences peuvent également contribuer à la compréhension des trajectoires sociales et sociétales soumises à divers aléas. Un laboratoire qui a ces préoccupations et prétentions se devait d'être plus visible sur ces points et les afficher clairement.

### \*Pour des raisons de tarissement des sources de financement par les partenariats historiques

La direction de l'ISTeP a la volonté et l'ambition de consolider et de maîtriser son budget, afin de continuer à financer des actions collectives et pérenniser sa politique incitative des thématiques / prospectives à risque. Il est donc indispensable de s'adapter à l'évolution socio-économique et d'ouvrir l'Unité à de nouvelles opportunités de financement pour sa recherche. La pérennisation du niveau de financement hors dotations des tutelles requis pour maintenir la position scientifique de l'ISTeP passe nécessairement par une diversification des guichets car la fermeture du pôle exploration de la R&D de TOTAL avec qui l'Unité avait de nombreux contrats de partenariat va indéniablement porter préjudice à ses ressources financières. Il est impératif de rechercher des sources de financement alternatives, en se tournant encore davantage vers les projets nationaux type ANR (et pas uniquement dans l'axe A.1, Terre solide et enveloppes fluides, mais en élargissant à des axes comme Axe D.7 : Sociétés et territoires en transition ou l'axe transversal H.1, science de la durabilité), vers les financements européens ou de nouveaux partenariats sur les ressources et énergies nouvelles. La participation aux PEPR FAIRCARBON, Sous-sol, IRIMA, Grands Fonds et possiblement TRACS fournit une opportunité de financement de nos travaux qu'il ne faut pas rater et vers lesquels la direction incite vivement les C et EC de l'ISTeP à aller.

Paradoxalement, la dynamique de la lithosphère concerne tout le monde, mais n'intéresse personne quand il s'agit de financer les recherches sur les aspects fondamentaux qui lui sont associés (tectonique profonde, fusion partielle, ...). Le renforcement de l'affichage des compétences de l'ISTeP et de leur pertinence et leur ouverture vers les aspects socio-économiques répond aussi à la nécessité de recherche de nouveaux financements. De ce point de vue, l'intégration du GEC (voir projet) dont les recherches sont davantage appliquées et dont l'intégration dans le contexte socio-économique est avérée ne pourra être que bénéfique pour l'unité dans son succès aux différents appels d'offre.

### \*Pour améliorer encore le fonctionnement quotidien et optimiser les synergies scientifiques

Après presque 4 ans de fonctionnement (dont les années Covid 2020 et 2021), un certain nombre d'imperfections du découpage en équipes sont apparues, certaines déjà évoquées lors de la précédente évaluation HCERES.

\*la petite taille de l'équipe PGM2 et son lien avec les 2 grandes équipes, DEMO notamment. Il s'agissait pour PGM2 de préserver une identité scientifique et de rester attractive, tout en évitant l'isolement, dans un contexte de forte pression sur les postes de C et EC.

\*La grosse taille de l'équipe DEMO, réunissant tous les EC et C en Tectonique au sens large, qui ne favorisait pas les échanges en son sein.

\*Par ailleurs, le découpage en équipe précédent conservait la séparation historique des 3 laboratoires qui avaient fusionné pour créer l'ISTeP 10 ans plus tôt, avec le triptyque Statigraphie et sédimentologie – Tectonique – Pétrologie. La stimulation des échanges et la redistribution des forces efficaces requerrait un redécoupage des équipes et une nouvelle structuration de la recherche.

\* Le changement à mi-mandat de l'équipe de direction, avec le départ à la retraite de Laurent Jolivet (resp DEMO) et la prise de fonction de DUAdj d'Hélène Balcone-Boissard (resp. PGM2) ont encouragé la modification du contour des équipes avec une logique visant à mixer les spécialités, avec une équipe Tectonique restreinte (TECTO) et focalisée sur sa thématique, et une équipe Pétrologie renforcée et orientée vers le lien avec la géodynamique (PETRODYN).

\* L'axe transverse Géosciences marines a mis en évidence les forces en présence au sein de l'ISTeP et la nécessité de le rendre plus visible. L'équipe TERMER a ainsi été créée en associant géophysiciens marins et sédimentologues travaillant sur les archives paléoenvironnementales et paléoclimatiques, la structure des marges et bassins et mettant en exergue l'expertise du laboratoire non seulement dans les domaines continental et océanique, mais également à la jonction terre-mer.

A terme, le projet d'intégration du GEC porté par la nouvelle direction devrait encore largement favoriser la circulation des personnes et des idées et développer les synergies.

### \*Pour cause d'érosion des ressources humaines

L'ISTeP a vu lors du précédent contrat beaucoup de mouvements de personnels, notamment de C et EC qui ont affecté l'Unité. Il y a eu seulement 3 recrutements d'EC sur la période 2017-2022 : D. do Couto (MCU, 2017), L. Jolivet (PU, 2017) et C. Baudouin (MCU, 2022). Une CR CNRS (M. Thomas) a également été recrutée mais elle demandera sa mutation pour raison personnelle en 2024. Les départs de 3 CR CNRS [M.-L. Pascal (2018), E. Barrier (2019), M.-F. Brunet (2022)], de 5 MCU [E. Moreno, A. Person, C. Wagner (2017), A. Quilhac (2018), N. Lybérès (2021)] et de 6 PU [B. Villemant (2017), C. Sanloup, P. Zuddas, J. Cubo (2019), P. Huchon (2021), L. Jolivet (2022)] ont entamé de manière significative notre potentiel de recherche.

Le nombre de départs récents de rang A (surtout des PU) de l'ISTeP est considérable et va encore s'accroître dans les années à venir [P. d'Arco et L. Segalen (PU, 2023), B. Meyer (PU) et B. Galbrun (DR CNRS) (2025-2026)]. Le laboratoire perd ainsi ses cadres de rang A, les départs de professeurs au cours des 5 dernières années n'ayant été compensés que par 2 promotions 46-3 (L. le Pourhiet, E. d'Acremont) qui par essence n'apportent pas directement du sang-neuf. Le recrutement d'un rang A supplémentaire dans l'unité est donc vital pour son bon fonctionnement, pour le bon déroulé de la carrière des collègues plus jeunes qui doivent passer leur HDR sans être surchargés de tâches d'encadrement et de responsabilités, et pour le renforcement de l'expertise de l'ISTeP dans les thématiques autour desquelles il est structuré et reconnu. Il en est de même pour les recrutements de CR CNRS.

La volonté de la direction de promouvoir l'unité par le recrutement de jeunes chercheurs via nos tutelles, SU et CNRS, dépasse le besoin de simplement remplacer les départs. Vis à vis du CNRS, c'est la signification même de l'UMR qui est en jeu. Un laboratoire dévoué aux Sciences de la Terre dans l'environnement parisien se doit d'attirer des profils de candidature de haut vol sur les postes de CR CNRS, pour garder la part de développement méthodologique et analytique que ces postes sont à même d'assumer, et sans laquelle il n'est pas de recherche académique novatrice. Du point de vue de SU, il s'agit d'investir dans des spécialités scientifiques qui font sa visibilité, tels que la géodynamique, mêlant les aspects tectoniques, pétrologiques et paléo-environnementaux.

L'ISTeP maintient sa politique volontariste de recrutement en présentant chaque année d'excellents candidats au CNRS et en faisant remonter des demandes de postes largement argumentées par des considérations de recherche et d'enseignement, mais ne peut endiguer l'hémorragie. Pour maintenir son potentiel d'expertise, l'ISTeP a également demandé une CPJ dont l'attribution est loin d'être garantie.

En dépit de cette politique et compte-tenu de la contribution originale et de premier plan de l'ISTeP aux géosciences franciliennes et dans le paysage national et international en pétrologie intégrée, tectonique, géosciences marines et paléoclimats, il serait regrettable que la non compensation des départs affaiblisse significativement et durablement le potentiel scientifique de l'Unité et fasse disparaître des champs disciplinaires. C'est aussi une des raisons pour laquelle la direction porte un projet de modification du périmètre de l'Unité, avec l'intégration à l'UMR existante des EC de l'équipe d'accueil GEC de CYU.

Les mouvements des personnels d'appui à la recherche ont également beaucoup affecté l'Unité (voir autoévaluation de l'Unité). Il est à noter que la tutelle CNRS a assuré un soutien constant en masse salariale sur la période 2017-2022 (ITA au nombre de 6 à 7 ETP y compris les IR) contrairement à la tutelle académique qui diminue drastiquement son soutien depuis 2017 (passage de 18 en 2017 à 10.25 ETP BIATSS en 2023 y

compris les IR). Ce manque de soutien de la part de la tutelle SU pourrait à court terme mettre en péril les recherches en Géosciences à l'ISTeP et donc à SU (qui est actuellement au 1<sup>er</sup> rang national et au 9<sup>e</sup> rang mondial en sciences de la Terre sensu lato au classement thématique de Shanghai).

## 2. Un projet scientifique ambitieux au service d'un renforcement des compétences et du positionnement de l'UMR dans le paysage francilien, national et international

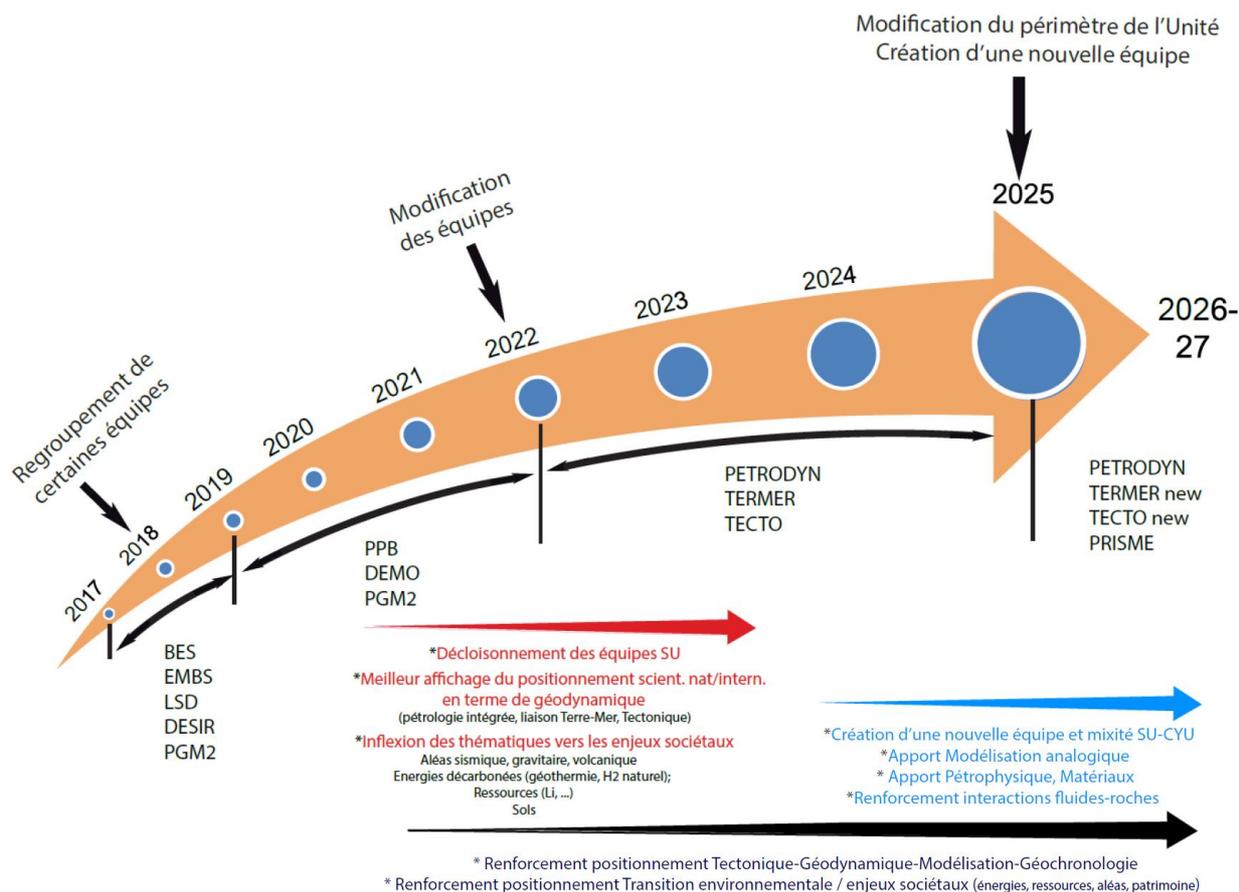


Figure 55 : Trajectoire de l'Unité

Les activités de recherche de l'ISTeP ont historiquement été tournées vers la recherche d'hydrocarbures, aussi bien l'étude des paléoenvironnements que les géosciences marines, la tectonique ou les interactions-fluides-roches, avec d'abondantes (et fructueuses) collaborations notamment avec TOTAL et l'IFPEN.

Le tarissement des investissements R&D de Total et les préoccupations croissantes légitimes de la société en terme de transition environnementale ont naturellement conduit à une inflexion de l'orientation des travaux de recherche de l'ISTeP. L'ISTeP est une référence pour sa recherche intégrée sur la dynamique lithosphérique fondée sur une approche terrain et orientée processus, et entend le rester. Au fil des années, l'ISTeP s'est donné les moyens de contribuer à caractériser et à mieux comprendre les différents couplages entre les processus géologiques (tectoniques, thermiques, hydrodynamiques, chimiques) superficiels et profonds, actuels comme passés. Cette approche est un passage obligé pour appréhender et modéliser la genèse des ressources énergétiques carbonées comme non carbonées (géothermie, hydrogène naturel) et des minerais d'importance stratégique (terres rares, lithium) et améliorer notre compréhension de l'aléa géologique au sens large. Ainsi, tout en gardant et renforçant un cœur de métier de recherche fondamentale orientée vers la compréhension des processus géologiques qui façonnent la planète, l'ISTeP souhaite opérer encore davantage des transferts d'expertise pour répondre aux enjeux autour de la transition environnementale et des risques naturels. C'est dans cette logique que l'ISTeP a structuré ses recherches non seulement autour de nouvelles équipes thématiques, mais aussi d'axes transverses répondant aux enjeux socio-économiques (Aléas et

Transition). Ce dernier axe regroupe tous les travaux et développements récents sur la géothermie, l'hydrogène naturel ou encore la séquestration du CO<sub>2</sub> dans les sols (**portfolio Unité**). Les travaux sur les paléoenvironnements et les paléoclimats, les événements extrêmes ou encore les interactions volcanisme-atmosphère font partie intégrante de cette mouvance, tant en termes d'aléas telluriques et hydro-climatiques que d'évolution de l'atmosphère. Il en est de même des travaux sur les matériaux et le patrimoine (axe Transition).

Le projet scientifique décliné ci-après vise à encore renforcer le socle thématique et l'expertise de l'ISTeP, avec la complémentarité des approches terrain-analyses-modélisation qui en font la renommée. Il a été conçu en deux étapes : la première a été amorcée pendant la période évaluée et la seconde se profile à l'horizon 2025.

**La première étape** a consisté (1) en un renforcement de la visibilité du laboratoire à travers un affichage assumé de ses préoccupations fondamentales (équipes et chantier commun) comme son savoir-faire en Géosciences marines, en pétrologie métamorphique moderne intégrée dans son contexte géodynamique et en tectonique, mais aussi appliquées (axes transverses Aléas et Transition), et (2) en de nouveaux développements méthodologiques à demeure comme la géochronologie à haute résolution U-Pb ou Rb-Sr ou l'analyse des temps de diffusion des éléments dans les cristaux ou les magmas, qui sont à la fois indispensables pour notre compréhension des échelles de temps (vitesses, durée) des processus mis en jeu et pour compléter le panel de compétences des Géosciences franciliennes intramuros.

**La deuxième étape** est l'association avec l'EA GEC de CYU, dont les compétences viendront tout d'abord renforcer les volets tectonique, modélisation analogique et numérique et interactions fluides-roches. Cette association apportera également à l'ISTeP des compétences en pétrophysique et matériaux, et ancrera encore davantage l'ISTeP dans une recherche fondamentale mais soucieuse des implications et des retombées socio-économiques de ses travaux (aléas, ressources, patrimoine).

L'objectif est de constituer un pôle internationalement reconnu autour du triptyque vertueux Dynamique de la lithosphère-Datations-Modélisation orienté à la fois vers les processus géologiques et les applications socio-économiques (interactions fluides-roches et ressources, géodynamique et aléas, volcans et société...), avec des collaborations renforcées, voire une association avec le Laboratoire de Géologie de l'ENS, qui va sous peu rejoindre l'Ecole Doctorale GRNE.

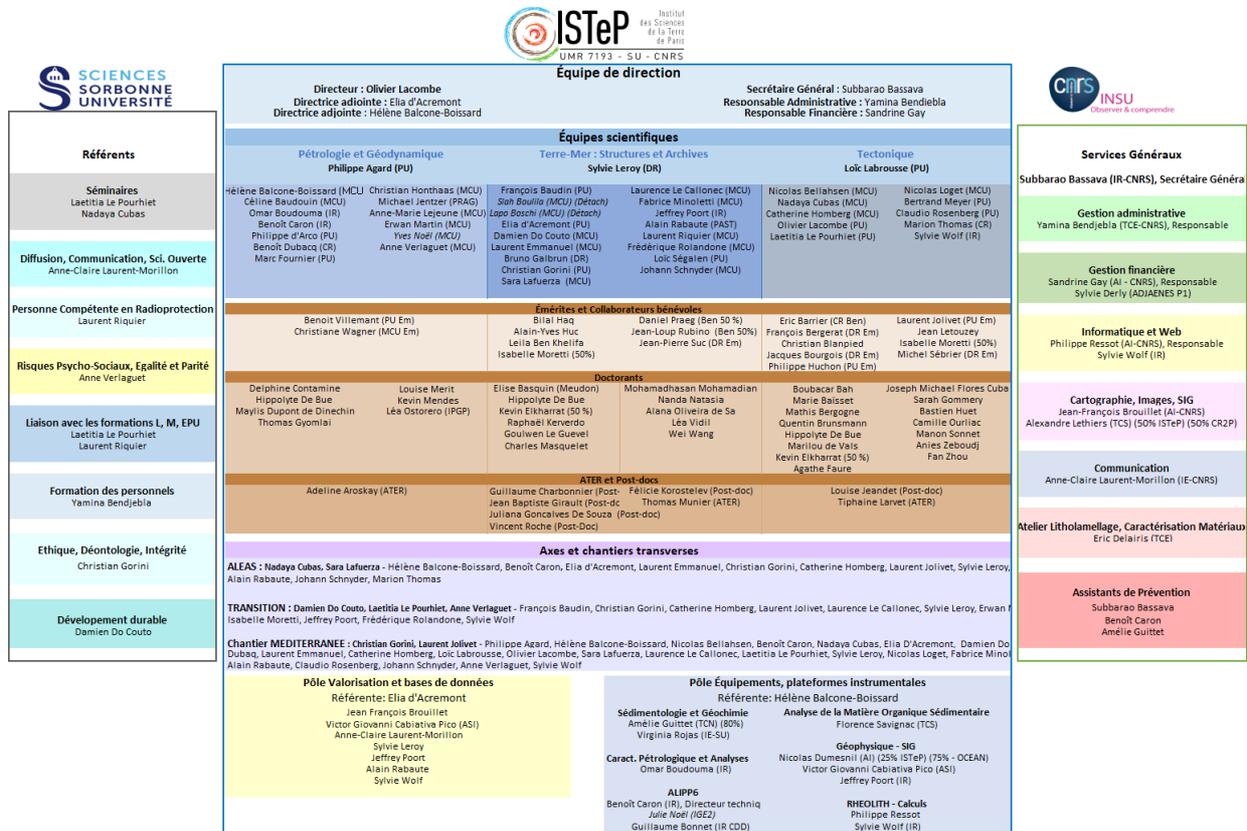


Figure 56 : Organisation de l'Unité au 01/01/2023

## **ETAPE 1 : changement du contour des équipes (2022-2024) et pérennisation des axes transverses**

Depuis 2022, avec la prise de fonction de la nouvelle direction, l'ISTeP s'est donc structuré en 3 nouvelles équipes thématiques.

### **Equipe Pétrologie et géodynamique (PETRODYN : 2022- )**

*Responsable/Animateur de l'équipe* : P. Agard

*Permanents (7 ETPR)* : A. Verlaguet, H. Balcone-Boissard, M. Fournier, C. Baudouin, O. Boudouma, B. Caron, C. Honthaas, M. Jentzer (PRAG), A.-M. Lejeune, E. Martin, Y. Noël, P. d'Arco (départ 2023), B. Dubacq

*Post-Doctorants et ATER* : A. Aroskay, G. Bonnet, T. Gyomlai (p.p.)

*Doctorants* : M. Dupont de Dinechin, K. Mendes, L. Mérit, D. Contamine

*Emérites et collaborateurs bénévoles* : B. Villemant

#### *Orientations scientifiques et choix stratégiques*

L'équipe s'est construite autour des questions liées à la pétrologie, qu'elle soit métamorphique ou magmatique, en relation avec les contextes géodynamiques. Elle s'attache à préciser les processus pétrologiques au cœur des problématiques du laboratoire, et à permettre le transfert d'échelle vers la tectonique et la géodynamique. Les recherches de l'équipe s'appuient ainsi sur une pétrologie ancrée dans des observations de terrain sur de nombreuses zones cibles, et sur une approche minéralogique et pétrogéochimique multiscalaire. Les travaux combinent :

- pétrogéochimie et géologie structurale, afin d'étudier les processus clefs tels que la subduction, les modalités de déformation en lien avec les réactions métamorphiques, à toutes les échelles, et les interactions fluides-roches *in-situ* et le long de grands accidents tectoniques,
- pétrologie et dynamique des magmas, depuis l'atome et une approche ab-initio jusqu'à l'édifice volcanique et ses impacts sur la chimie de l'atmosphère (soufre, halogènes).

#### *Thèmes scientifiques*

L'approche commune de l'équipe, pétrogéochimique et dédiée à l'étude de la géodynamique et des grands cycles élémentaires, se matérialise sous la forme de deux axes principaux :

**Métamorphisme, déformation, fluides**: Les travaux dans ce thème ciblent les processus de subduction, d'obduction ou l'extension le long de détachements, ainsi que les modalités de déformation et d'interaction avec les fluides. Les travaux récents portent sur l'élucidation de la structure de l'interface des plaques en subduction, et sa dynamique à court- et long-terme, sur la compréhension de l'initiation du couplage visqueux profond entre plaques tectoniques et manteau, sur la mise en place des ophiolites, sur le fractionnement et la diffusion élémentaire au cours du métamorphisme, sur les sources et chemins empruntés par les fluides le long des grands accidents tectoniques ou sur les mécanismes de déformation d'agrégats minéraux complexes en fonction des variations de pression, température, minéralogie et réactivité.

**Minéralogie-Géochimie**: Ce thème s'attache à étudier les processus régissant la genèse et l'évolution des roches et des magmas terrestres et des planètes telluriques. Il s'appuie sur la modélisation thermodynamique des minéraux, des assemblages minéralogiques et des magmas et fluides métamorphiques associés, par le biais de diagrammes de phases, pseudo-sections, établissement de modèles d'activités et études des impacts cristallochimiques sur le partage des éléments-traces. Cette approche est complétée par la simulation numérique des systèmes cristallins et de leurs propriétés, par l'utilisation et le développement de codes de calcul ab initio basés sur la mécanique quantique, la modélisation atomistique et les simulations de type Monte-Carlo. L'équipe développe l'analyse ponctuelle sur minéraux et verres pour répondre à des questions portant sur le comportement des éléments (détermination de coefficient de partage), les processus de différenciation et de dégazage liés à la dynamique des magmas dans les réservoirs et les conduits, et le rôle des émissions volcaniques sur le climat (en particulier les espèces soufrées et halogénées). Ces thématiques s'appuient sur un travail de terrain sur les objets géologiques variés, de dépôts volcaniques dans différents contextes géologiques, aux encroûtements de matériaux, jusqu'à des peintures de tableaux.

L'équipe articule ses recherches autour de quelques thématiques et chantiers communs : l'analyse des halogènes ; le dynamisme éruptif en Italie, à Santorin et au Kamchatka (standby géopolitique); l'analyse téphrologique des méga-éruptions volcaniques ; les liens entre cristallochimie et le partage des éléments-traces ; la caractérisation des fluides de subduction de la zone sismogénique ; la mise en place des ophiolites à Terre-Neuve ; la transition de la subduction océanique à la subduction continentale dans les Alpes.

Les cibles de terrain en pétrologie métamorphique sont Alpes, Kazakhstan, Canada (Terre-Neuve), Cyclades (ex Mykonos), Oman ; en standby géopolitique : Iran et Chine

**Collaborations** : ENS, IPGP, CRPG, ISTO ; Univ. Laval (Québec)

### **Equipe Terre-Mer, structures et archives (TERMER : 2022- )**

**Responsable/Animateur de l'équipe** : Sylvie LEROY (DR)

**Permanents (10 ETPR)** : E. d'Acremont, F. Baudin, L. Boschi, S. Boulila, D. Do Couto, L. Emmanuel, B. Galbrun, C. Gorini, S. Lafuerza, L. Le Callonnec, F. Minoletti, J. Poort, A. Rabaute, L. Riquier, F. Rolandone, J. Schnyder, L. Segalen, S. Leroy

**Personnel support à la recherche** V.Cabiativa Pico (CDD ASI-2023), F. Savignac (TCS), A. Guittet (TCS), V. Rojas (IE)

**Emérites et collaborateurs bénévoles** : J.-P. Suc

**Collaborateurs Bénévoles** : L. BenKhelifa, B. Haq – Pr Honoris Causa UPMC, A.-Y. Huc, I. Moretti (chercheuse associée UPPA), D. Praeg, J.-L. Rubino

**Post-Doctorants/ATER**: J.B Girault (2021-2023), F. Korostelev (2019-2023), G. Charbonnier (2019-2022), J. Goncalves (2022), V. Roche (2019-2022) (45.8 -2022-2023), T. Munier (2022-2023), S. Garel (2021-2022),

**Doctorants** : K. Elkarrat, E. Basquin, Marylou De Vals, C.Masquelet, M. Mohamadian Sarvandani, A. Oliveira De Sa, N. Natasia (2020-2023), T. Munier, G. Le Guevel, I. Tahi (Côte d'Ivoire), L. Tortarolo (Univ. Brest), W. Wang H. de Bue, L. Vidil, R. Keruerdo

### **Orientations scientifiques et choix stratégiques**

L'équipe s'est construite autour d'une volonté de davantage coupler les processus de surface et profonds. Elle s'organise autour des archives paléoclimatiques et paléoenvironnementales et des Géosciences Marines. Une partie des travaux portent sur plusieurs aspects des reconstitutions paléoclimatiques et paléoenvironnementales du Méso-Cénozoïque, en particulier sur la durée et la dynamique des événements extrêmes (événements anoxiques ou hyperthermaux), sur la mise au point de nouveaux marqueurs paléoclimatiques à partir des biominéralisations (coccolithophoridés notamment) et sur l'analyse et l'enregistrement du contrôle astronomique des climats passés. L'approche intégrée et pluridisciplinaire de ces questions est basée sur l'analyse de différents signaux (minéralogiques, bio-géochimiques et astronomiques) enregistrés dans des séries sédimentaires marines et/ou continentales.

Une autre partie des travaux portent sur la dynamique des bassins océaniques et des marges continentales principalement en contexte de divergence et convergence oblique. A travers les chantiers Alboran, Haïti, Mozambique, Aden et Mayotte, l'équipe s'intéresse à comment sont accommodés la divergence et la convergence oblique et les processus mantelliques du point de vue structural et sédimentaire. L'étude notamment de la distribution des failles et des systèmes sédimentaires actifs permet d'évaluer les implications en termes d'aléas géologiques. L'équipe pilote et participe à de nombreuses campagnes océanographiques.

### **Thèmes et projets scientifiques**

#### **A –Perturbations paléo-environnementales et paléo-climatiques brutales, extrêmes, et cycliques**

L'histoire de la Terre est constituée de nombreux changements paléoclimatiques et de nombreuses variations paléoenvironnementales. Ces perturbations, fortement liées aux cycles biogéochimiques (e.g., cycles du carbone, de l'azote, de l'oxygène, etc), aux fluctuations du niveau marin, etc, sont de nature variable (e.g., événements océaniques anoxiques du Mésozoïque, événements hyperthermiques du Cénozoïque, épisodes glaciaires de type Dansgaard-Oeschger au cours du Quaternaire) et peuvent être enregistrées à différentes échelles de temps (de l'échelle saisonnière à l'échelle de plusieurs Ma) et d'espace (régional vs global). L'étude de ces perturbations implique une approche intégrée et pluridisciplinaire, basée sur l'analyse

de différents marqueurs (minéralogiques, physiques, bio- et géochimiques) enregistrés au sein des roches sédimentaires provenant du domaine marin et/ou du domaine continental.

L'étude couplée de ces signaux permet d'analyser l'évolution temporelle et spatiale de différents paramètres physico-chimiques au sein de la colonne d'eau, tels que la température, la pCO<sub>2</sub>, le degré d'oxygénation afin de mieux comprendre les mécanismes forçants.

Les travaux ont permis, entre autres, de :

- caractériser l'évolution spatio-temporelle des conditions d'oxygénation au sein de la colonne d'eau lors de l'événement océanique anoxique OAE2 à la transition Cénomanién-Turonnién (Danzelle et al., 2018, 2019, Riquier et al., 2021).
- mettre en évidence le rôle du volcanisme et les gaz à effet de serre émis lors de l'OAE2 et le T-OAE (du Toarcién), dans l'intensification/amplification des cycles hydrologique et du carbone (Charbonnier et al., 2018; Boulila et al., 2019; Boulila et al., 2020a).
- utiliser la biogéochimie des coccolithophoridés pour reconstituer, à partir d'une archive unique, les températures des eaux de surface océaniques et les teneurs en CO<sub>2</sub> atmosphériques (Tremblin et al., 2016 ; Hermoso et al., 2021 ; Godbillot et al., 2022)
- détecter des nouvelles cyclicités paléoclimatiques-géologiques tels que les cycles de 10 Ma et 35 Ma (Boulila et al., 2018a, 2020b, 2021 ; Boulila, 2019), la cyclicité d'obliquité de 173 ka (Boulila et al., 2018b), ou la cyclicité de 1500 ans de type Dansgaard-Oeschger mise en évidence pour la première fois dans des séries anté-quatérnaires (Boulila et al., 2022).
- extraire des paramètres astro-dynamiques liés à la rotation de la Terre (précession axiale, distance Terre-Lune, longueur du jour), à partir des archives paléoclimatiques cénozoïques (Boulila et al., sous presse)

## B – Forçages et processus sédimentaires dans l'évolution des bassins

Ce thème s'articule autour de deux points :

B1) Étude et quantification de la réponse des bassins sédimentaires aux forçages eustatiques, climatiques et tectoniques par une approche intégrée combinant la géomorphologie 3D, la stratigraphie séquentielle et la cyclostratigraphie; dans plusieurs contextes tectoniques : rift, marges passives (syn-rift, post-rift) bassin arrière-arc, et bassin en contexte compressif en général.

La stratigraphie séquentielle couplée à l'analyse cyclostratigraphique (Fig. 1) permet, outre de proposer un cadre temporel extrêmement fin de l'enregistrement sédimentaire, de mettre en évidence l'importance des glaciations et du contrôle des paramètres orbitaux sur la sédimentation des marges. Cette approche couplée à la modélisation stratigraphique numérique permettra de tester les facteurs de contrôle climatique et cycliques sur les séquences de dépôt.

B2) Modélisation hydrodynamique des objets sédimentaires à différentes échelles. L'objectif est de modéliser les processus sédimentaires par des lois physiques depuis les processus de ride à la contourite, du cm au km. Un lien fort avec les aléas est mis en avant.

L'idée derrière cette thématique est de mieux comprendre (1) les caractères géomorphologiques et sédimentaires des sediment waves (liés aux courants de turbidité et aux courants de fond), (2) les processus océanographiques et sédimentaires à l'origine des sediment waves (par une double approche observations et modélisation hydrosédimentaire), afin de (3) prédire l'impact de ces structures sur les reconstructions à long-terme (modélisation stratigraphique).

## C – Dynamique des Rifts, Marges, et domaines océaniques sl - couplages profonds – surface

Grâce à l'imagerie sismique, aux forages, carottages, les relations entre la sédimentation et la tectonique permettent de mieux comprendre la dynamique du rifting au sens large. Par exemple, la découverte en contexte de marge distale de régions, où le manteau continental ou la croûte inférieure sont exhumés, où la croûte continentale est amincie à l'extrême de façon abrupte ou le long de détachements, où des sédiments lacustres ou marins peu profonds s'y sont déposés, où il existe des domaines magmatiques pérennes à différents stades d'évolution, interpelle notre compréhension de la dynamique de la lithosphère depuis les stades initiaux du rifting jusqu'au bassin océanique. Même si des progrès ont été faits ces dernières années, investiguer les différentes étapes et modes de formation des marges dans différents contextes géodynamiques depuis leur stade pré-rift jusqu'à la rupture continentale est important. Appréhender les variations des processus et styles extensifs mais aussi l'importance de l'héritage sur leur évolution rhéologique est un enjeu majeur, car ces

événements antérieurs jouent un rôle primordial sur la rhéologie initiale et le régime thermique, influençant le style et la localisation des futures phases de rifting. L'enregistrement sédimentaire et les profils de dépôts associés à ces systèmes 3D sont analysés notamment grâce à l'imagerie sismique depuis les domaines proximaux jusqu'aux domaines océaniques.

### *Principaux projets de recherche*

Projet FREACS financé par EJP Soil (Baudin, 2022-2024) : Le but est d'évaluer les effets de l'usage des sols sur les propriétés des matières organiques et la séquestration du carbone, en utilisant 6 réseaux européens de surveillance de la qualité des sols (France, Allemagne, Finlande, Nouvelle Zélande). Dans ce cadre, et en partenariat avec l'IMPMC, la stabilité de la MO sous forme organo-minérale est mesurée par méthode Rock-Eval®. Deux projets sont en cours d'évaluation dans le cadre de l'appel d'offre PEPR FairCarbon et un autre se monte pour l'appel d'offre ciblé du même FairCarbon (**portfolio Unité**).

#### ALBANE ANR (d'Acremont & Cubas, 2023-2027) - Active fault systems at an incipient plate boundary in the Alboran Sea

L'objectif du projet ALBANE est de répondre à des questions clés concernant le fonctionnement dans le temps d'un système de failles intra-continentales le long d'une frontière de plaques naissante dans la mer d'Alboran, ainsi que son évolution potentielle et son implication dans les risques sismiques et de tsunami régionaux (partie du projet ALBORAN, **portfolio Unité**)

#### MEGA ANR (Lafuerza, 2023-2027) - Giant submarine landslides in gas hydrate provinces: a comparison of the Nile and Amazon deep-sea fans

Les glissements sous-marins géants (10-2000 km<sup>3</sup>) sont présents dans les séries sédimentaires quaternaires des marges continentales passives. Si leurs âges coïncident avec des fluctuations eustatiques, il est encore difficile d'expliquer comment d'aussi grandes ruptures sont générées sur des faibles pentes (<2°) en l'absence d'un facteur déclenchant tel qu'un séisme. Des hypothèses proposent le rôle de la dissociation des hydrates de gaz et l'augmentation des pressions interstitielles. Le projet MEGA explorera ces hypothèses grâce aux premières modélisations reliant la stabilité des hydrates de gaz, les variations de pression/température sur le fond marin et la stabilité des pentes. Il s'appuiera sur une comparaison innovante des systèmes du Nil et l'Amazone, leurs forçages climatiques différant au cours des cycles glaciaires-interglaciaires. En l'absence de cas historiques de mégaglisements, MEGA propose de modéliser leurs conséquences en termes de tsunami sur les zones côtières.

### *Outils et Méthodes (ou développements de nouveaux outils)*

ANR PIA3 ESR-EquipEx+ Deep Sea Innovation : Capteurs et préleveurs innovants et de rupture pour les sciences marines grand fonds

Ce projet met l'accent sur le plan de renouvellement de la flotte sous-marine et le renforcera en fournissant de nouveaux instruments scientifiques de haute qualité pour la recherche de pointe dans les grands fonds, intimement intégrés aux nouvelles plates-formes de véhicules. Le consortium comprend des équipes technologiques et d'ingénierie ainsi que de nombreux laboratoires de recherche océanographique de l'Ifremer, du CNRS et d'autres universités

### *Cibles de terrain*

Les cibles terrain sont riches et variées. Outre les chantiers développés dans chacun des thèmes, un chantier commun est au centre de la vie de l'équipe : le chantier Alboran est abordé par presque tous les membres de l'équipe, autour de la campagne Albacore qui a eu lieu en oct-nov 2021 à bord du N/O Pourquoi Pas ? (**portfolio Unité**). Des études de terrain sur des équivalents connus à terre, mais non datés, tels que le Gordo MegaBed du bassin de Tabernas dans les Bétiques seront également conduites pour obtenir la dynamique du domaine Alboran dans son ensemble depuis 8 Ma.

### *Collaborations extérieures*

METIS, IEES, LOCEAN, IMPMC, IPGP, ENS, Obs. Paris, Univ. Gustave Eiffel, Univ. Bretagne, Rennes, ENSEGID Bordeaux, Univ. Bordeaux, Univ. Côte d'Azur, Univ. PPA, Univ. Strasbourg, CRPG, GET Toulouse, Univ. Montpellier, Grenoble, Lyon, Univ. Bourgogne-Franche Comté, Univ. Lille, Univ. Côte d'Opale, Paris Saclay, IST Orléans, BRGM, Ifremer, Univ. Panthéon Sorbonne, Mines Paris Tech, MNHN, INRAP, LSCE, IFPEN, CEREGE, Université de Southampton (UK), Univ. Texas, Lamont Doherty Earth

Obs., Quito, Univ. Etat d'Haiti, CSIC Barcelona, Univ. Barcelona, Univ. Grenada, Univ. Sevilla, Univ. Complutense Madrid, Univ. Lausanne, Univ. Napoli, Univ. Palermo, Univ. Sana'a, Univ. Sultan Qaboos, Univ. de Firenze, Univ. de Pisa, Univ. Trieste, Univ. Prague, Univ. Kenya, Univ. Addis Abeba, GFZ, Geomar, Dalhousie Univ., TotalEnergies, 45.8 energy, TLS Geothermics

## Equipe Tectonique (TECTO : 2022- )

*Responsable/Animateur de l'équipe* : L. Labrousse (PU)

*Permanents (6 ETPR)* : N. Bellahsen, L. Le Pourhiet, N. Loget, M. Thomas, C. Rosenberg, N. Cubas, C. Homberg, S. Wolf, O. Lacombe, B. Meyer

*Post-Doctorants (3)* : T. Larvet, L. Jeandet, J.-B Girault

*Doctorants (11)* : A. Faure, B. Huet, M. Sonnet, J. M. Flores Cuba, K. Elkharrat, B. Bah, A. Zeboudj, S. Gommery, Q. Brunsmann, C. Ourliac

### *Orientations scientifiques et choix stratégiques*

L'équipe TECTO regroupe, au sein de l'ISTeP, les collègues qui s'intéressent aux déformations et à la mécanique des matériaux terrestres des échelles de la zone de faille et du cycle sismique à celles de la lithosphère et du cycle orogénique. Prenant racine dans une approche quantitative sur le terrain, par les outils de la géomorphologie, de l'analyse structurale et de la datation, la démarche de recherche se prolonge par diverses approches de modélisation, thermochronologique, mécanique ou thermo-mécanique. Elle puise aussi dans l'approche expérimentale les données nécessaires à la détermination de la rhéologie court ou long terme des matériaux crustaux essentiellement. Les objectifs ultimes vont de la compréhension de l'aléa (sismique) au traçage des fluides, des flux d'énergie et de matières profonds et superficiels au sein des systèmes orogéniques, dans la perspective de leur impact en terme de ressources, par exemple. Une stratégie collective d'identification des thématiques porteuses dans les champs disciplinaires de l'équipe (risque, dihydrogène naturel ...) et des appels d'offres qui s'y rapportent (INSU, Programme Emergence, Instituts SU, ANR JCJC, ERC ...) permet des discussions internes pour identifier qui devrait se porter candidat sur tel ou tel appel d'offre. Un travail collectif d'élaboration d'une problématique et de relecture du projet est alors possible. La même stratégie est mise en œuvre au niveau de l'équipe pour l'identification et l'assistance des candidats au CNRS.

### *Thèmes et projets scientifiques*

#### Mécanique des failles et aléas

*Par une approche pluridisciplinaire (terrain, géodésie, modélisation numérique, analogique) les travaux visent à déterminer quels sont les processus et les propriétés qui contrôlent le comportement sismique ou asismique des failles actives.*

Dans la partie cassante de la croûte, les zones de failles sont des structures complexes qui accommodent la déformation par des vitesses de glissements variables, s'étendant sur plusieurs ordres de grandeur, du millimètre par an au mètre par seconde. En réponse à ces forçages, les propriétés physiques des failles évoluent sur des échelles de temps allant de quelques secondes à des millions d'années. En conséquence, l'étude des processus sismiques/asismiques et de l'aléa associé est fondamentalement multidisciplinaire. Cela nécessite un aller-retour permanent entre les informations fournies par l'analyse structurale et les données géodésiques et les approches théoriques testées via des expériences numériques ou de laboratoire. La force de l'équipe TECTO est de proposer ces différents angles d'attaques tout en faisant le lien entre les processus dits « court-termes » et « long-termes ». Les travaux portent sur le comportement mécanique et sismogénique de l'interface de subduction (localisation des potentielles aspérités sismiques et lien avec l'aléa, rôle de l'érosion basale et du sous-placage) ainsi que sur le rôle de la segmentation des failles décrochantes dans la propagation des ruptures sismiques. En parallèle, de nouveaux modèles sont développés qui prennent en compte l'évolution des propriétés mécaniques, thermiques et hydrauliques du milieu environnant en fonction du glissement sur le plan de faille principal et leur impact en retour sur le mode de déformation. La confrontation systématique des modèles à des exemples de terrain permet une meilleure compréhension des processus sismiques et asismiques et une interprétation physique et mécanique du comportement des failles.

## Orogènes et flux de matière

*L'axe orogène et flux de matière s'attache à quantifier les flux de matières sortant des orogènes et à les corrélater aux processus et paramètres susceptibles de les contrôler : climat, conditions aux limites cinématique, héritage ...*

Les données quantitatives sur les flux de matière sortant des orogènes, par la thermochronologie basse température notamment, sur les volumes de sédiments dans les bassins, sur les sources de ces sédiments et donc sur les bilans « source to sink » se multiplient dans la littérature. Certains membres de l'équipe travaillent sur les liens temporels et spatiaux entre la dynamique du prisme orogénique, l'évolution du relief, l'organisation du routage sédimentaire et l'installation des dépôcentres dans les bassins périphériques d'avant-chaine via une approche multidisciplinaire (géomorphologie, thermochronologie multi-chronomètres in-situ et détritique, analyses pétro-détritiques, structurales, sédimentaires et sismiques). L'équipe aborde les flux de matière à partir des bilans à l'échelle de l'orogène alpin sur lequel elle travaille activement et des autres orogènes dans le monde (orogènes actifs: Andes, Himalaya par exemple, autres orogènes: Pyrénées...) afin de déterminer les points communs, les différences majeures et les données critiques qui restent à acquérir. L'idée de cet axe interne est une réflexion régulière et en groupe sur ces thèmes. La philosophie est de tenter de co-construire à la fois une synthèse des données relatives à ces sujets mais aussi une expertise de groupe. Ce travail nous permettra à terme de discuter les rôles respectifs du climat, de la rhéologie de la lithosphère, de la cinématique des plaques en jeu et de l'héritage structural et thermique sur les flux de matière dans les orogènes, potentiellement au travers d'un projet ANR.

## Changement d'échelle et rhéologie de la lithosphère

*L'axe changements d'échelle et rhéologie de la lithosphère s'attache à tester la pertinence des paramètres rhéologiques déduits des expériences aux échelles de temps et d'espace naturels, par une approche de modélisation numérique jusqu'à l'échelle lithosphérique.*

Parmi les paramètres d'entrée des modèles thermo-mécaniques, les propriétés pétrophysiques, frictionnelles et rhéologiques des matériaux proviennent de données expérimentales acquises à des échelles de temps et d'espace restreintes et sur des matériaux analogues simples. Les transposer aux échelles de l'affleurement puis de la lithosphère, sur des matériaux réactifs complexes, interagissant entre eux et avec des fluides, motive les approches de modélisation thermiques, mécaniques ou thermo-mécaniques couplées menées au sein de l'équipe TECTO. Pour cela nos différents projets sont l'occasion de varier les codes et d'optimiser les méthodes de résolution numérique pour tester de façon aussi exhaustive que possible l'effet de ces paramètres et des conditions aux limites sur la structure thermique et l'architecture des zones de localisation de la déformation en contextes de convergence, divergence et décrochement aux échelles pertinentes pour reproduire les observables de validation des modèles. Les enjeux sociétaux de compréhension des processus à l'origine des ressources minérales ou énergétiques (géothermie, hydrogène) sont autant d'opportunité de développement des outils numériques et conceptuels de cet axe de recherche

Les travaux dans cet axe portent sur la rhéologie et la déformation de la croûte à différentes échelles de temps et d'espace. L'approche est pluridisciplinaire et combine études de terrain, utilisation de paléopiézomètres, expérimentation en laboratoire et modélisation numérique. Certains développements techniques portent sur les presses de déformation à haute pression (3 GPa) avec mesure des vitesses de propagation des ondes et/ou enregistrement des émissions acoustiques par les échantillons déformés. En parallèle, l'équipe mène des travaux de modélisation numérique thermo-mécanique 2D et 3D des zones de rifting, marges passives et chaînes de collision, ou encore de la rhéologie des mélanges.

## *Outils et Méthodes*

**Modèles numériques** : Différents outils sont développés et/ou utilisés par les membres de l'équipe : des modèles 'court-terme' : modèles de cycle sismique, simulations de séismes et d'endommagement, et des modèles 'long-terme' : mécanique et thermo-mécanique.

**Géodésie** : Utilisation de données géodésiques et sismiques (InSAR, GPS, extensomètres, leveling, etc...) afin de déterminer les vitesses de glissement sur les failles actives.

**Photogrammétrie** : Des levés photogrammétriques sont effectués par drone sur les objets de terrain d'échelle supra-affleurement (glissements de terrain, zones de faille ...). Le développement des outils LIDAR est en projet.

**Géologie structurale** : Analyse macro- et micro-structurale des zones de failles afin de déterminer les propriétés physiques et les mécanismes permettant d'accommoder la déformation observée.

**Expériences analogiques** : Modélisation analogique des failles, pour comprendre la distribution de la déformation et les relations entre géométrie et comportement sismique. Ces expériences servent aussi à produire des données précises pour la validation de modèles numériques. Ces équipements sont positionnés à Cergy, dans les locaux de l'équipe PRISME.

### *Collaborations*

Locales au sein de SU (METIS, CR2P, IMPMC, Institut J. Le Rond d'Alembert) puis locales (ENS, IPGP, U. Cergy), nationales (ISTO, CRPG, ISTERRE, CYU, BRGM, Rennes, GET, UPPA, LSCE, Bordeaux, Montpellier, St Etienne) et enfin internationales (Oslo, GFZ, INGV, Caltech, Liverpool, Oxford, Austin, Heriot Watt, Addis Abeba, UCL, NIED Japon, NISER India... ).

## **ETAPE 2 : l'intégration à l'ISTeP de l'équipe d'accueil EA GEC (Annexe 4) et la création d'un nouvel ISTeP multi-site (2025-2029)**

La démarche de rapprochement, initiée dès 2021 par la direction du GEC auprès de la direction actuelle de l'ISTeP, a été bien perçue car assez naturelle, tant dans son principe (l'équipe dans sa configuration de l'époque était déjà associée à l'UMR Tectonique de l'UPMC avant la création de l'ISTeP en 2009) que dans la similitude des questionnements et la complémentarité des approches et réalisations scientifiques. La volonté de la nouvelle direction, en continuité avec l'ancienne, a été de réfléchir concrètement et en amont à cette éventuelle association. L'année 2022 a permis la maturation du projet d'association afin d'en éprouver la pertinence, la viabilité et la plus-value. Cette maturation s'est traduite par le changement du contour des équipes pour la période 2022-2024 et la création/pérennisation des nouveaux axes transverses. Les axes sont orientés vers les enjeux sociétaux dans lesquels les collègues de CYU pourront naturellement interagir avec les C et EC de l'ISTeP, dans l'optique de la création en 2025 d'une UMR ISTeP au périmètre étendu associant l'EA GEC. Le choix de modifier le contour des équipes et des axes dès à présent a été bénéfique, il a permis aux personnes de se projeter dans un schéma proche de l'organisation future, et en le vivant et en l'éprouvant d'en tirer les enseignements et permettre, dès 2025, un fonctionnement optimisé et efficace.

L'ISTeP va ainsi s'enrichir d'une 4<sup>e</sup> équipe scientifique, PRISME (Pétrophysique, Réservoirs, Interfaces, Structures, Modélisation et Environnement). Mais l'association ne se réduira pas à une simple juxtaposition. En effet, l'ISTeP va devenir multi-site, avec les difficultés que cela peut occasionner, et il est fondamental de proposer une organisation favorisant au mieux la circulation des personnes et des idées. Ainsi, certains collègues dont les travaux de recherche s'inscrivent pleinement dans les équipes actuelles de l'ISTeP les rejoindront en rattachement principal. Les autres collègues du GEC constitueront l'équipe PRISME à laquelle seront rattachés en appartenance secondaire les collègues de SU qui en ont émis le souhait. Cette redistribution est garante d'une réelle intégration scientifique des personnels dans les équipes. Tous les C et EC et IE/IR de l'UMR communes feront apparaître le nom de l'UMR ainsi que les tutelles de rattachement dans leur affiliation sur les publications et autres réalisations.

### **Equipe Pétrophysique, Réservoirs, Interfaces, Structures, Modélisation, Environnement (PRISME : 2025- )**

*Responsable/Animateur de l'équipe* : F. Bourdelle

*Permanents (5 ETPR)* : C. Barnes, F. Bourdelle, C. David, K. El Ganaoui, R. Hébert, B. Ledéser, R. Leprêtre, P. Leturmy, B. Menendez, P. Robion, Professeur Junior (recrutement en 2023 ou 24)

*Professeurs et DR émérites* : D. Frizon de Lamotte, S. Lallemand, F. Bergerat.

*Doctorants* : K. Khazraj, B. Avakian, J. Douçot, S. Brown

### *Orientations scientifiques et choix stratégiques*

L'équipe PRISME associe des géologues, expérimentateurs et modélisateurs dans l'étude de la pétrophysique et mécanique des roches, des structures géologiques et des interfaces fluide/solide, de l'échelle du grain à celle du géosystème. L'équipe s'intéresse tout particulièrement aux systèmes de surface et subsurface, tels que les réservoirs ou les géomatériaux. Couplant approches fondamentale et appliquée, la recherche de l'équipe PRISME présente des domaines d'application larges, comme les nouvelles ressources (géothermie, métaux de

la transition énergétique...) ou encore la géologie « anthropique » (stockage, construction et patrimoine), avec une démarche contribuant à lier Géosciences et problématiques environnementales.

### *Thèmes et projets scientifiques*

#### - Péetrophysique des réservoirs, structure, mécanique des interactions fluide-roche

En pétrophysique et en géomécanique, PRISME étudie l'impact de la substitution de fluides sur les propriétés des roches réservoir, en développant des expériences en laboratoire combinant injection de fluides et monitoring géophysique. Une méthodologie originale a été développée visant à minimiser l'effet purement mécanique associé au changement de contraintes effectives au cours de l'injection (qui se fait à très faible pression) afin d'isoler l'effet physico-chimique affaiblissant des fluides. Cette procédure montre que le simple fait d'injecter de l'eau, sans variation notable de l'état de contrainte, dans une roche réservoir soumise à un chargement déviatorique important suffit à déclencher des instabilités mécaniques induites par le phénomène de « water weakening ». Dans ce contexte, nous avons étudié le comportement de craies du bassin de Paris en collaboration avec l'université de Mons, avec des applications dans le domaine de la stabilité mécanique d'ouvrages souterrains soumis aux battements de nappe (exemple : la carrière de La Malogne en Belgique). Nous développons également des codes numériques pour simuler la propagation des ondes sismiques à l'échelle de l'échantillon pour mieux comprendre la complexité des signaux enregistrés pendant les essais d'injection de fluides. Cette étude s'insère dans un cadre plus général de développement d'un laboratoire numérique qui permet par l'utilisation de codes de simulation d'aider à la compréhension des observations et de tester des modèles théoriques. Nous avons mis au point un code de propagation des ondes sismiques dans un échantillon hétérogène 3D en pouvant utiliser des rhéologies (visco)élastique anisotrope TI.

Cette approche autour de l'étude mécanique de l'interaction fluide/roche est complétée par l'étude microstructurale de l'espace poreux des réservoirs (volume, forme, orientation préférentielle) et son suivi de l'effet des sollicitations expérimentales en laboratoire et naturelles, sur le terrain. Une de nos activités historiques a consisté à développer tout un arsenal de méthodes et de protocoles permettant de mesurer l'anisotropie des propriétés pétrophysiques (élastiques, électriques, magnétiques) sur ces roches réservoirs à la fois en laboratoire et sur le terrain. Ces approches permettent de suivre l'évolution des capacités réservoir des roches étudiées (porosité, perméabilité) mais aussi d'étudier les paramètres modifiant ces propriétés (contraintes, déformations, température). Dans les roches sédimentaires, nous nous focalisons actuellement sur l'étude de l'influence de la diagenèse sur l'évolution de la porosité et de la perméabilité. Plusieurs chantiers sont actifs sur le sujet. Ils sont de nature géologique avec la caractérisation de la microdéformation et son influence sur les circulations de fluides à l'échelle des nappes phréatiques (collaboration ENI de Sfax, Tunisie) et sur le bassin de Paris où l'on étudie l'enregistrement d'une déformation ténue dans les série mésozoïque et cénozoïque grâce à nos méthodes sensibles (thèse RGF-BRGM). Une approche plus expérimentale consiste à simuler en laboratoire la consolidation d'un système sédimentaire de type oolithique sous l'effet de la circulation des fluides, en l'occurrence la simulation des battements de la nappe phréatique.

En complément du laboratoire numérique, nous développons des méthodes numériques pour l'imagerie et la caractérisation des réservoirs en utilisant principalement les ondes sismiques. La simulation numérique de l'équation des ondes (visco)élastique est utilisée pour cet objectif à travers le problème inverse appelé « fullwave inversion » (FWI). Notre spécificité est d'appliquer ces méthodes à la sismique de puits. L'obtention d'information sur plusieurs champs de paramètres permet de caractériser les réservoirs (physiquement puis lithologiquement, ou bien la part fluide) ainsi que l'évolution de leurs propriétés lors de leur exploitation (p.ex. monitoring de l'injection de CO<sub>2</sub>). Cette recherche est menée par un PAST, président du bureau d'études R&D GIMLabs (voir aussi section Science et Société).

#### - Géothermie, géochimie des interactions fluide-roche

La géothermie est une thématique en essor au GEC avec l'obtention de plusieurs financements pour un montant total d'environ 1 M€ depuis 2015 : ADEME-Investissements d'avenir (consortium national Geotref, 2015 – 2023+); Programme européen H2020 (consortium MEET associant en particulier le GEC et l'entreprise GIMLabs qu'il héberge); IFPEN; Alliance EUTOPIA de huit universités européennes dont CY est membre. Ces financements ont permis le recrutement de trois doctorants, un post-doc (18 mois), un ingénieur

d'étude (29 mois) et trois stagiaires de M2, pour publier douze articles dont huit dans un numéro spécial de *Géosciences*.

Les travaux en cours et à venir concernent la détermination des chemins de circulation des fluides, la caractérisation des propriétés des réservoirs géothermiques poreux et fracturés en milieux variés (granitique, volcanique, sédimentaire détritique) et le rôle des argiles dans les systèmes géothermiques. Les données pétrographiques et structurales acquises sur l'affleurement et en forage permettent la mise en évidence d'interactions fluide-roche (IFR) caractéristiques de la circulation de fluides naturels et donc les chemins probables de circulation des fluides produits ou injectés dans les réservoirs géothermiques pour produire de l'électricité. Lorsque des IFR ne sont pas identifiées, la structure et la géométrie des zones perméables sont caractérisées afin de déterminer le potentiel de la ressource, en collaboration avec des chercheurs d'autres disciplines (collaborations avec AMGC Bruxelles, Belgique; Taeknisetur, Islande ; Electricité de Strasbourg Géothermie ; UniLaSalle Beauvais ; ENSG Nancy ; U. Nice Sophia Antipolis).

La géothermie, tout comme l'étude thermique des bassins/réservoirs ou le stockage géologique profond, requiert des outils géochimiques puissants, fondés sur les témoins des IFR - minéraux argileux au sens large, notamment la chlorite ; inclusions fluides - et la matière organique. L'équipe PRISME porte à cet égard une attention particulière au développement ou au perfectionnement d'outils géochimiques et thermométriques, en couplant approche expérimentale et méthodologies innovantes. Aussi, l'équipe développe une plateforme expérimentale munie d'autoclaves instrumentées permettant de simuler les interactions fluide-roche des géosystèmes tout en les caractérisant chimiquement et minéralogiquement, et dispose de l'appareillage utile à l'application des outils (MEB, Raman, plateforme IF). D'autre part, un financement Inex-Emergence obtenu en 2021 (porteur R. Leprêtre, en collaboration avec Aberdeen Univ. & Roma Tre Univ.) vise au développement d'un outil Raman vers les basses températures pour mieux cerner les conditions thermiques dans le domaine de la diagenèse. D'un point de vue méthodologique, l'équipe PRISME propose une expertise dans l'analyse de la nanoéchelle à celle du grain, grâce à un savoir-faire en microscopie, microthermométrie et analyse de pointe type RX, rayonnement synchrotron (STXM-XANES). Au delà du développement, l'application de ces outils est un point fort de PRISME, que ce soit (1) en recherche fondamentale : étude thermométrique du massif ardennais, du bassin houiller Nord-Pas de Calais, de bassins carbonifères marocains, étude de la dynamique du prisme de la chaîne tello-rifaine (thèse d'A. Atouabat en co-tutelle avec Roma Tre Univ.) ; (2) à l'interface entre recherche fondamentale et appliquée : par exemple avec l'étude du paléo-système géothermal de Terre-de-Haut, Guadeloupe (thèse soutenue de G. Beauchamp) ; (3) en recherche appliquée/industrielle : e.g. collaboration avec l'Andra sur l'étude géochimique/minéralogique du stockage géologique profond des déchets radioactifs. Ces quelques projets démontrent une thématique de recherche résolument tournée vers les problématiques environnementales et sociétales, et intégrée en cohérence au sein de PRISME avec un couplage géochimie/mécanique des interactions fluides-roches comme perspective forte.

#### - Matériaux de construction et patrimoniaux

L'axe de recherche sur les matériaux de construction concerne la résilience énergétique et climatique du secteur du bâtiment. Il s'agit d'un projet transdisciplinaire qui associe les 4 laboratoires de la fédération I-Mat de CY, à savoir: GEC, LPPI (Laboratoire de Physicochimie des Polymères et des Interfaces), L2MGC (Laboratoire de Mécanique et Matériaux de Génie Civil) et ERRMECe (Equipe de Recherche sur les Relations Matrice Extracellulaire-Cellule). L'objectif visé est la résilience énergétique et climatique du secteur du bâtiment par l'utilisation d'une technologie de matériaux à changement de phase (MCP) à transition solide-solide qui a été brevetée (Harlé et al., 2016). La dernière thèse réalisée (Plancher, 2021) a mis en évidence un problème de solubilité partielle avec l'eau de gâchage des matériaux cimentaires et gypseux (Plancher et al., 2022) démontrant une incompatibilité avec les processus de fabrications des matériaux de construction les plus courants. L'objectif dorénavant est d'étudier l'intégration de notre technologie dans des systèmes constructifs préfabriqués alvéolaires comme des briques et blocs bétons creux. Une autre piste envisagée concerne l'incorporation des MCP dans des briques de terre crue compressée, matériau connaissant un regain d'intérêt dans un contexte d'économie circulaire. Ces deux axes de recherche ont fait récemment l'objet de dépôt de projets dans le cadre de l'AMI SATT ADEME "résilience énergétique" et l'AAP 3<sup>e</sup> CY "Générationshorizon".

Concernant les matériaux patrimoniaux, l'équipe développe deux grands thèmes, de nature essentiellement expérimentale. Le premier est la conservation et la restauration soutenables du patrimoine bâti. Une thèse vient de se terminer (Jose Diaz Basteris, 2022) sur le développement de nouveaux mortiers de restauration éco-soutenables, et un programme européen (RISE EU MSCA, "SCORE", 2021-25) piloté par un membre de l'équipe est en cours. La dégradation des matériaux granulaires par les sels est un autre aspect au

long cours de ce thème, et la consolidation des pierres avec des nanoparticules constitue un troisième aspect, plus récent. Le deuxième grand thème est l'étude des impacts futurs du changement climatique et de la pollution sur le patrimoine bâti. Cette approche encore expérimentale consiste à simuler le changement climatique en enceinte climatique à partir des modèles de Météo-France et ECOS-RUNSALT. Les applications possibles dans la conservation du patrimoine culturel de la méthodologie développée sont (i) la prédiction du comportement futur des matériaux de construction du patrimoine culturel en utilisant des modèles climatiques et (ii) une aide à la détermination des conditions optimales pour éviter, autant que possible, les dommages causés par le sel.

Le GEC poursuivra sa collaboration avec l'ISTeP sur l'étude du patrimoine industriel, avec un travail sur les carrières de craie de la région d'Arras en collaboration avec le Service Archéologique local.

### *Collaborations*

Nombreuses collaborations internationales avec le Maghreb (ENI de Sfax, Tunisie, Craag Algérie), Univ. de Lund (Suède), quatorze équipes de cinq pays dans le projet européen MSCA RISE, CSIRO (Perth, Australie), Univ Mons et Vrije Universiteit (Belgique), Université d'Oviedo (Espagne), Univ. de Miami (USA), UMass Amherst (USA), swisstopo (Suisse), Taeknisetur (Islande), Electricité de Strasbourg Géothermie, UniLaSalle Beauvais, ENSG Nancy, U. Nice Sophia Antipolis.

Les équipements et plateformes auxquels l'ISTeP aura accès du côté Cergy sont listés ci-dessous et présentés en Annexe 2.

\***Plateforme Microscopies et Analyses** (microscope à Force Atomique, 2 microscopes confocaux, un MEB couplé à un spectromètre EDS et un spectromètre Raman (laser 532 nm)

\***Plateforme U-maker** (2 imprimantes 3D)

\***Centre de Calcul de CY**

\***Équipements en physique des roches et géomécanique**

\***Équipement en modélisation analogique**

\***Équipement en environnement**

\***Équipements en microscopie**

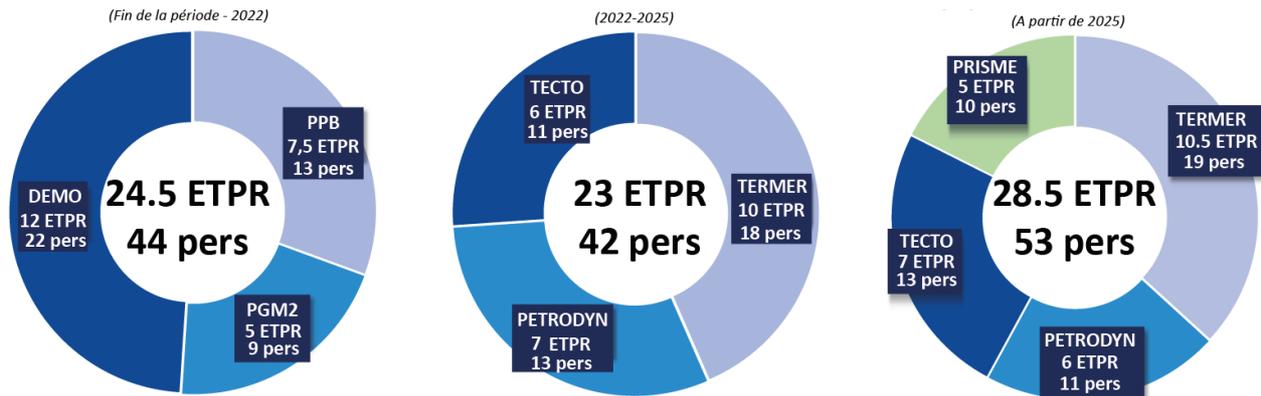
\***Équipement géophysique**

Ce matériel (microscope à force atomique, spectromètre RAMAN, mesures physiques des roches / géomécanique) est largement complémentaire de celui disponible dans les plateformes de l'ISTeP et viendra renforcer et étendre le potentiel analytique de l'Unité. La modélisation analogique telle que pratiquée au GEC et qui fait l'objet de collaborations existantes avec l'ISTeP complétera le spectre des domaines dans lesquels l'Unité est reconnue pour ses travaux en modélisation (modélisation numérique thermo-mécanique 2D-3D, modélisation thermodynamique ab initio, modélisation stratigraphique (Dyonisos, TemisFlow...). Les mesures physiques des roches auront des applications naturelles pour la dynamique des glissements gravitaires terrestres et sous-marins (S. Lafuerza), et donc pour l'axe transverse Aléas.

### **3. Dynamique et ambitions de recherche de la nouvelle UMR ISTeP ; objectifs scientifiques et capacité à les atteindre**

Avec son évolution récente et l'association future avec le GEC, l'ISTeP s'affichera comme une UMR de premier plan, avec un large panel à la fois de compétences académiques (modélisation, pétrologie métamorphique, magmatique et sédimentaire, géophysique, géochronologie, interactions-fluides-roches, physique des roches) et de transferts d'expertise vers le monde socio-économique (énergies nouvelles : géothermie et H<sub>2</sub>, séquestration du CO<sub>2</sub>, ressources minérales, matériaux, aléas telluriques, patrimoine).

L'intégration des 14 EC du GEC à l'ISTeP augmentera significativement les forces de l'Unité en terme d'ETPR. Par ailleurs l'arrivée de ces EC, dont les compétences, rayonnement et productivité scientifique sont établis et l'accès mutualisé et/ou favorisé aux plateformes techniques [OSU Ecce Terra (FabLab, plateformes observations, analyses et calculs)] et plateforme Microscopie et Analyse et micro-plateforme U-maker (conception et impression 3D) à Cergy, augmenteront sans nul doute les synergies scientifiques existantes et participeront à l'éclosion de nouveaux projets, voire même de nouvelles thématiques.



**Figure 57 : Evolution des effectifs ETPR de l'ISTeP**

Les équipes et axes transverses actuels de l'ISTeP seront renforcés de la façon suivante :

- Le rattachement de G. Mohn (MCU) renforcera les compétences de l'équipe TERMER sur la structure des marges passives et la dynamique de la rupture continentale. J.-B. Regnet (MCU) apportera quant à lui son expertise dans le domaine des carbonates et de la diagenèse expérimentale et renforcera le volet sédimentation carbonatée et lecture des archives sédimentaires.
- Le rattachement de B. Maillot (PU) et P. Souloumiac (MCU) à l'équipe TECTO fera grossir les rangs des personnes qui s'intéressent à la dynamique des failles et à l'aléa sismique, mais également le volet modélisation en enrichissant l'UMR actuelle d'une composante modélisation analogique (voir équipe TECTO). Le projet ANR ALBANE0 est un exemple de collaboration déjà effective entre l'ISTeP et le GEC sur les aspects modélisation de l'aléa sismique (**portfolio Unité**). Les collaborations avec R. Leprêtre et P. Leturmy renforceront le volet Mouvements verticaux et flux de matière dans les orogènes, avec notamment l'apport des compétences en thermo-chronologie BT de R. Leprêtre qui renforceront celles de l'ISTeP (N. Bellahsen, N. Loget, C. Rosenberg).
- Le volet Pétrologie et Interactions fluides-roches sera enrichi par les collaborations avec F. Bourdelle (PU) et le/la titulaire de la CPJ sur la modélisation numérique des interactions fluides-roches (concours 2023).
- L'axe transverse Aléas sera renforcé par le rattachement à TECTO de P. Souloumiac, et les aspects aléas gravitaires de cet axe (S. Lafuerza, C. Gorini) bénéficiera des compétences de l'équipe PRISME en terme de Physique des roches (C. David).
- L'axe transverse Transition, et notamment son volet Géothermie, sera renforcée avec les compétences de B. Ledésert dont les collaborations existantes avec l'ISTeP (D. Do Couto) seront formalisées et étendues (A. Verlaguet). Il en sera de même pour les aspects patrimoniaux (B. Menendez) et matériaux (R. Hébert). R. Hébert apportera enfin son expertise en tant que VP adjoint à la Transition environnementale et sociétale de CYU.

Avec cette association, l'ISTeP fédèrera des équipes interdisciplinaires autour de cet objet qu'est la lithosphère et des processus associés. L'expertise qui fait déjà de l'ISTeP une référence sera ainsi renforcée et enrichie, permettant de relever les défis (1) d'une production de connaissance scientifique fondamentale mise au service de la société (recherche d'énergies nouvelles non carbonées, risques naturels, matériaux d'intérêt économiques, patrimoine), (2) du développement de nouveaux concepts et outils et (3) du succès dans les appels d'offre type ANR ou ERC ou les contrats de partenariat avec le monde socio-économique.

### Réflexion sur la création d'un Chantier transverse Bassin de Paris

En parallèle du chantier transverse Méditerranée dont la pertinence et le fonctionnement sont déjà éprouvés, l'ISTeP et le GEC vont réfléchir d'ici à 2025 à l'opportunité de développer un second chantier fédérateur « de proximité » Bassin de Paris, sachant que les deux laboratoires ont déjà des collègues travaillant sur des thématiques et des projets inscrits dans cette perspective.

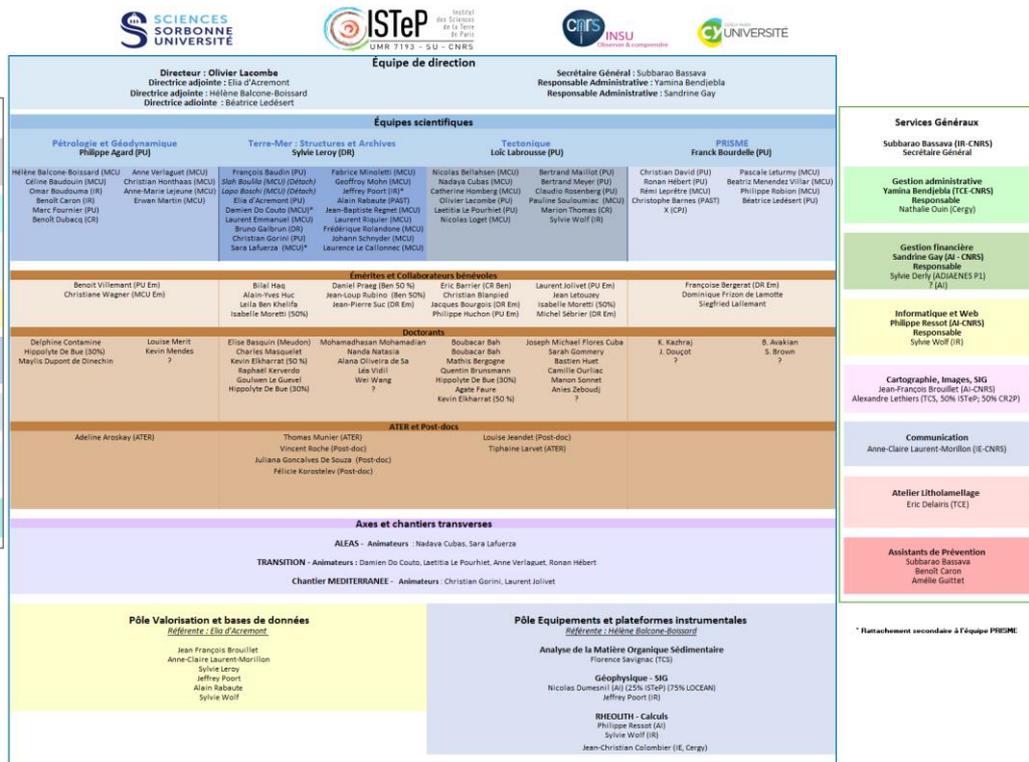


Figure 58: Organisation de la future UMR ISTeP à l'horizon 2025

#### 4. Organisation et fonctionnement (gouvernance et finances) de la nouvelle UMR ISTeP

Le fonctionnement multi-site et multi-tutelle universitaire d'une UMR n'est jamais simple. Bien que limité, l'éloignement géographique et la logique de site sont des facteurs de risque pour le fonctionnement du futur laboratoire. Du point de vue scientifique, c'est cette préoccupation qui a présidé au choix d'équipes mixtes, avec des collègues de CYU rejoignant les équipes de SU. En terme de gouvernance, une collègue du GEC endossera le rôle de nouvelle directrice-adjointe qui aura délégation de signature et rejoindra la direction actuelle de l'ISTeP, et un autre collègue du GEC prendra la responsabilité de l'équipe PRISME ; les deux collègues seront intégrés au comité de pilotage de l'UMR. Certains collègues du GEC seront membres élus ou nommés du futur conseil de l'UMR, voire membre de droit (directrice-adjointe site CYU) et l'AG annuelle sera évidemment étendue à tous les personnels. Les orientations et choix scientifiques (comme budgétaires) seront définis et discutés collégialement au sein de la direction, du comité de pilotage et du conseil de laboratoire, et les décisions finales prises par, et sous la responsabilité du, DU. Les discussions et rencontres avec les tutelles (dialogue de gestion, DOR, ...) se feront avec le DU et les directrices-adjointes du site concerné.

L'unité continuera de s'appuyer sur plusieurs référents en charge des différents aspects cités dans l'organigramme. Selon la fonction, la/les personne(s) en charge et sa/leur présence nécessaire sur le site SU et/ou CYU seront à discuter. Les référents du laboratoire seront impliqués dans l'UMR commune, en lien avec les pratiques en vigueur dans les deux tutelles universitaires qu'il conviendra probablement d'homogénéiser pro parte. Le pool d'assistants de prévention sera renforcé pour une présence sur les deux sites et des réunions communes seront organisées pour favoriser les retours d'expérience et optimiser les pratiques et recommandations en termes de prévention des risques (actualisation des connaissances des procédures, formation aux premiers secours, travail isolé).

En terme de crédits, toutes les tutelles (SU, CYU, INSU-CNRS) contribueront avec des modalités encore à définir aux ressources récurrentes de l'UMR. Les préciputs sur les financements sur projet et contrats individuels de tous les membres seront mis en commun comme ressources propres en vue d'un pilotage financier pluri-annuel de l'Unité. Ces ressources alimenteront les dotations des équipes et le budget commun (fonctionnement, investissements).

L'UMR maintiendra sa politique incitative de soutien « coup de pouce », favorisant l'émergence de thématiques nouvelles ou à risque, afin de servir de tremplin (proof of concept, résultats préliminaires,...) pour le dépôt de projets d'envergure et encouragera ses membres éligibles aux différents soutiens et accompagnements (par exemple, APACHE) de SU.

## 5. Plans d'action de la future UMR ISTeP (2022 - 2027-9)

### -Renforcement des synergies scientifiques

La nouvelle Unité aura à cœur d'interagir encore davantage avec les autres acteurs présents au sein de son environnement de recherche. De ce point de vue, la direction poussera au développement de nouvelles collaborations et projets communs avec les laboratoires adjacents de SU (IMPMC pour la minéralogie, CR2P pour les paléoenvironnement et paléoclimats, METIS et IEES pour les aspects Transition : Matière organique des sols et séquestration du CO<sub>2</sub>, évolution géomorphologique des paysages, bilans de matières court-terme et long-terme, aléas hydro-climatiques, et l'Institut Jean Le Rond d'Alembert pour les aspects plus mécaniques) et en lien avec les Instituts et Initiatives de SU (ITE, I-MAT, Institut de l'Océan, ISCD). Les interactions avec le laboratoire de Géologie de l'ENS autour de la dynamique lithosphérique, la physique des roches, l'expérimentation rhéologique et la modélisation thermo-mécanique seront renforcées. Enfin, les collaborations avec les laboratoires relevant des SHS (géographie physique, dynamique des populations, archéologie) sur les aspects Transition environnementale (ressources, aléas et risques telluriques, patrimoine) seront poursuivies et développées.

### -Animation scientifique et diffusion

En terme d'animation scientifique, à l'échelle de l'Unité, la direction veillera à l'organisation de journées scientifiques ou techniques associant l'ensemble des personnels des deux universités tutelles. Les référent(e)s « séminaires » assureront la transversalité des thèmes abordés sur la base de propositions des membres de l'Unité. Au rythme de un séminaire hebdomadaire (actuellement le jeudi de 13h à 14h, en présentiel/distanciel), ces séminaires sont l'occasion de se familiariser avec les avancées sur les thématiques des orateurs invités (français ou étranger ou de l'ISTeP !); ils sont vivement recommandés pour les doctorants, masters et post-doctorants.

En plus des séminaires, les discussions/séminaires informels entre doctorants DID-G seront encouragées, avec la même philosophie, et en incluant les doctorants CYU. L'idée est qu'à chaque séance, un doctorant dispose d'une quinzaine de minutes pour présenter son travail aux autres doctorants, dans le but de susciter des discussions, de lever les éventuelles interrogations et de (faire) bénéficier d'un retour d'expérience.

Enfin, l'ISTeP continuera d'organiser des présentations par les bénéficiaires des soutiens « coup de pouce » des résultats obtenus et des projets plus ambitieux (INSU, ANR) sur lesquels ces résultats peuvent déboucher.

Notre référente « Diffusion, Communication et Science Ouverte » sera d'un soutien important pour l'organisation de journées thématiques (journée plateformes, journée halogènes, journée Transition), de congrès (Failles actives) ou de manifestations comme la Fête de la Science. Elle assurera également la publication de la newsletter hebdomadaire de l'Unité recensant toutes les informations sur les actualités, les deadlines d'appels à projet, les publications... Elle aura de ce point de vue un rôle pivot à jouer dans la circulation de l'information entre les deux sites SU et CYU.

### -Gestion des données

En terme de plan de gestion des données, l'ISTeP se donnera les moyens de respecter les nouvelles directives. Les données et résultats issus des projets de l'ISTeP seront diffusés par le biais d'un plan de gestion des données. Les données et métadonnées seront implémentées dans différents portails en fonction du type de données et suivant les directives institutionnelles françaises et européennes. Les données et résultats des projets pourront être rendus accessibles via une base de données SIG ouverte (mise en place par JF. Brouillet, AI ISTeP). Nous espérons recruter à court terme un AI qui s'occuperait de la partie portage des données sur site web pour renforcer le pôle informatique.

## -Impact environnemental des activités de l'Unité

L'ISTeP dispose d'un référent en charge des aspects Développement Durable (D. Do Couto, MCU SU) qui coordonne, en lien avec la direction, les actions en faveur de la réduction de l'empreinte carbone de la recherche du laboratoire. L'ISTeP héberge les membres du bureau du Labos1.5, un GDR en charge de mieux comprendre et réduire l'impact des activités de recherche scientifique sur l'environnement, en particulier sur le climat. Un étudiant de Master 2 co-encadré par ces membres et la direction effectue un stage dans le laboratoire visant à établir un premier bilan carbone du laboratoire (bâtiments, déplacements professionnels et domicile-travail, numérique et achats) qui servira de base à une réflexion collective sur l'empreinte carbone des activités. Comme expliqué dans le bilan, une des volontés du laboratoire est (1) de quantifier l'impact environnemental engendré par son activité de recherche, (2) de discuter de la cohérence et de la conciliation des pratiques de recherche avec la volonté de réduire l'émission de gaz à effet de serre, (3) d'identifier des leviers d'amélioration des émissions carbone et (4) de mettre en place un plan d'actions visant à réduire l'impact des activités de l'UMR. Une première réflexion sur les déplacements pour congrès à l'étranger (train vs avion vs marchés SU) est en cours, en lien avec d'autres laboratoires de SU (IPSL) ; cette réflexion fait écho à la prise de conscience au niveau du CNRS que pour ce soit possible il faut une politique des marchés volontariste.

La création d'un nouvel axe transverse Transition traduit l'adhésion de l'Unité à cette logique et son engagement à travers plusieurs chantiers de recherche fondamentale qui participent à asseoir les connaissances sur le sujet. Cet axe s'inscrit pleinement dans la logique de développement durable, avec la recherche sur les énergies renouvelables (géothermie), les ressources (hydrogène naturel, Li, métaux rares), sur les aspects stockage de déchets/séquestration du CO<sub>2</sub> et enfin sur les (paléo-)climats comprenant les aspects pollutions atmosphériques et proxies en paleothermométrie des océans. L'ISTeP est conscient qu'une recherche scientifique « responsable » se caractérise par des objectifs généraux en lien avec les objectifs stratégiques d'un établissement (ouvrant à priorisation thématique et répondant aux impératifs nationaux et internationaux, qu'il convient d'interroger), ainsi que par le développement d'une recherche participative – au sens de co-construction de connaissances dans le cadre de collectifs. Les axes transversaux de recherche répondent ainsi à de grands sujets sociétaux, porteurs potentiels de valorisation.

Les prochaines années verront l'ISTeP faire les efforts qui s'imposent pour se mettre en cohérence avec les préconisations du GIEC qui visent à réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030. Dans ce but, la direction souhaite éviter un fonctionnement top-down trop dirigiste et plutôt fonctionner par consensus en sensibilisant progressivement ses personnels à l'impact environnemental des activités de l'Unité. Toutes les projections et retours d'expérience, notamment celles partagées par le Labos1.5 ou le CNRS, montrent la nécessité de l'acceptabilité des mesures qui pourraient être prises à l'échelle de l'Unité pour en diminuer l'empreinte carbone. L'idée est de faire de la recherche d'excellence mais avec un coût environnemental plus faible, donc éthiquement recevable. Le bilan C du laboratoire et l'intégration de notre référent Développement Durable dans la boucle des référents créée par le CNRS serviront de base à une réflexion pour amorcer et réussir la transition bas carbone. Les mentalités peuvent mettre du temps à changer mais l'ensemble du personnel sera accompagné dans cette direction, en laissant du temps au temps, malgré l'urgence d'appliquer un plan de transition écologique et solidaire, « ambitieux et nécessaire », vers la neutralité carbone.

Ces préoccupations de l'ISTeP sont en phase avec celles de CYU s'est déjà engagé dans une démarche de transition sociétale et environnementale (TSE) et en a fait un de ses axes politiques majeurs. Cette dimension se décline dans l'ensemble des marchés et s'est également traduite récemment par la signature d'une feuille de route transition territoriale unique en France. Cet engagement embarque l'ensemble des services et des unités de travail de l'établissement et de fait le laboratoire GEC. CYU réfléchit actuellement à la mise en place d'un réseau de référents/assistants TSE au sein des laboratoires de l'établissement. Le GEC réalise cette année son premier bilan de gaz à effet de serre (BGES) au travers d'un projet professionnel de 8 étudiants du master 2 Eco-Conception et Gestion des Déchets (ECOGED) encadré par Ronan Hébert et de deux méthodes comparatives : celle de l'ADEME et celle du Labos1.5 spécialement développée pour les laboratoires de recherche. Ce premier BGES, qui tient compte des 3 scopes désormais réglementaires, vise d'une part à quantifier et identifier les postes d'émissions majeures, et élaborer un plan d'actions afin de réduire l'impact environnemental des activités du laboratoire, mais également à identifier les difficultés organisationnelles pour mettre en place une méthodologie efficace pour la réalisation des futurs BGES.

L'intégration de l'équipe du GEC à l'UMR apportera ainsi une réelle expertise autour du bilan carbone et des analyses de cycle de vie. Ces éléments sont enseignés dans le Master STPE, parcours ECOGED de CYU piloté par Ronan Hébert, membre de la future équipe PRISME et vice-président adjoint à la Transition.

## -Parité

Comme déjà mentionné, l'UMR n'a pas la main sur ses recrutements, qui sont gérés par l'UFR et les comités de sélection. Les recrutements récents ont tous conduit à féminiser davantage le laboratoire (V. Rojas, IE ; C. Baudouin, MCU ; Promotions en PU de L. LePourhiet et E. d'Acremont). Elle peut néanmoins faire valoir l'équité entre hommes et femmes dans sa répartition des tâches et des responsabilités, qui peuvent aider nos collègues dans leur carrière. C'est ce qui a déjà été le cas lors de la période évaluée et que la nouvelle direction entend pérenniser et renforcer autant que possible.

Ainsi, la nouvelle direction est actuellement, et sera encore davantage, à majorité féminine (1 directeur, 3 directrices-adjointes), et 2 autres femmes font partie de l'équipe de direction (la responsable administrative et la responsable financière). Enfin, une des 4 équipes est dirigée par une femme.

## -Ethique, Science Ouverte

La nomination récente de référents Ethique, Déontologie, Intégrité et Diffusion, Communication, Science Ouverte a montré combien l'UMR se préoccupe de ces aspects. Ils sont essentiels pour garantir la qualité et la fiabilité de la recherche scientifique et au final renforcer la confiance du public. La mise en place des différents supports et actions et supports listés dans le dossier DAE permettra de garantir que nos recherches sont menées de manière responsable et transparente, en respectant les droits et la dignité des sujets de recherche et en évitant toute forme de fraude, de plagiat ou de mauvaise conduite scientifique. En partageant les données, les méthodes et les résultats de notre recherche de manière ouverte et transparente (via nos plans de gestion des données ainsi que HAL), nous favoriserons la réutilisation et valorisation de nos travaux, accélérerons la progression de la recherche et garantirons une meilleure qualité des résultats. Les bonnes pratiques menées pour mettre à jour HAL et ainsi sensibiliser les membres à la science ouverte seront régulièrement rappelées.

Cette politique de science ouverte se développe également selon l'approche FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) pour l'ensemble des données de terrain (à terre ou en mer ou par drone) ou d'analyses (géochimiques, géophysiques).

L'équipe du laboratoire GEC qui rejoindra l'UMR en 2025 respectera bien évidemment les principes posés par la communauté internationale de la recherche académique : publications dans des revues open access, dépôt des travaux sur l'archive nationale HAL et déclarations sur ORCID, présentation des travaux dans des conférences et workshops, publications de données éventuelles sur des serveurs institutionnels publics, avec obtention d'un DOI.

## -Science et société

Dans son bilan et ses futures orientations, l'ISTeP a abondamment montré les liens de toute nature entre ses activités de recherche fondamentale et le monde socio-économique.

En terme de transition environnementale, l'inflexion des activités de l'ISTeP sera largement renforcée par l'association avec le GEC. En effet, concernant sa partie recherche, l'équipe PRISME continuera de développer des activités en lien direct avec la transition énergétique. Cela concerne en particulier la géothermie pour la production d'énergie renouvelable très bas carbone et les matériaux à changement de phase pour le stockage d'énergie thermique avec des applications multiples visant à réduire/optimiser les besoins en énergie primaire. Ainsi, Ronan Hébert (PU CYU) dont les travaux portent sur les matériaux à changements de phases et sur les interactions fluides-roches dans les domaines de la transition énergétique et écologique et qui exerce les fonctions de Vice-Président Adjoint Transition à CYU rejoindra l'équipe de référents Développement durable de l'Unité. Par ailleurs, Béatrice Ledéser (PU CYU), co-responsable du M2 éco-construction et du M2 éco-conception et gestion des déchets de la mention de Master STPE de CYU rejoindra la direction de l'ISTeP. La direction encouragera à moyen terme une réflexion sur les enseignements dans ce domaine, avec possibilité de partage de compétences, de mutualisation d'UEs ou d'échanges d'étudiants entre parcours entre SU et CYU.

L'ISTeP a montré dans son bilan (**Portfolio**) et son auto-évaluation sa large implication dans la diffusion du savoir, et continuera dans ses actions de dissémination et de vulgarisation. Ces actions seront pérennisées et seront également renforcées par l'intégration du GEC. Les membres du GEC sont en effet déjà

impliqués dans plusieurs actions Science et Société sur le territoire de l'université (Vexin, vallées de la Seine et de l'Oise). Ils proposent des balades géologiques grand public lors d'événements nationaux comme la Fête de la Science, les Journées Nationales de la Géologie et les Journées Européennes du Patrimoine.

Actuellement sept balades différentes sont présentées régulièrement au public avec l'appui de professionnels locaux de l'animation : guides-conférenciers de l'Office de Tourisme de Cergy-Pontoise et guides de pays affiliés au PNR du Vexin français. La plateforme U-Maker (fabrique d'objets en 3D) sert pour illustrer ces balades et expliquer les paysages à l'aide de maquettes. Dans la lignée de l'obtention par la plateforme U-Maker de deux financements par la région IdF dans le cadre du programme la Science pour Tous (ponctuel en 2022, pluriannuel en 2023-24), PRISME mettra en place un programme de sciences participatives sur les glissements de terrain et de nouvelles balades géologiques. Dans le cadre de ces activités la plateforme U-Maker a obtenu collectivement le prix CY Alliance Médiation-Diffusion de la culture scientifique en 2022. La nomination récente de P. Leturmy en tant que VP adj. Sciences et société de CYU montre l'implication du laboratoire sur ces thématiques. En étroite relation avec le laboratoire GEC, le Master STPE participera activement, via les actions menées par les professeurs associés à temps partiel ou contractuel, aux débats sur le changement climatique et la Transition Sociale et Environnementale. Le master est aussi en partenariat avec le Festival Deauville Green Awards.

Enfin, le futur ISTeP continuera de développer ses partenariats avec le monde socio-économique (entreprises, bureaux d'étude). Ainsi, les interactions déjà nombreuses avec la TPE GIM-labs (Geophysical Inversion & Modeling labs) développée par C. Barnes (PAST CYU) et hébergée actuellement au laboratoire GEC, et à partir de 2025 dans l'équipe PRISME, portant sur les méthodes de traitement de données, la modélisation numérique et le calcul scientifique en particulier HPC (high performance computing), seront renforcées. Il en sera de même des interactions avec la société R&D GEOSUBSIGHT gérée par A. Rabaute (PAST ISTeP) qui fournit des solutions à destination des entreprises et organismes scientifiques pour la cartographie numérique, la création de bases de données scientifiques, et la R&D pour l'aléa géologique et la caractérisation des formations géologiques pour le stockage en profondeur et l'exploration des ressources naturelles, tout comme avec la start-up KALYOSPHERE qu'il a co-fondée et qui propose des solutions innovantes d'exploration pour la géothermie profondeur électrogène conjugant travail de terrain, bases de données, modélisation numérique et machine learning (voir thématiques scientifiques et axes transverses de l'ISTeP, et projet SOUND.AI, **portfolio Unité**).