

Lettre d'intention

Chantier RGF « Alpes et bassin du Sud-Est »

Enjeux scientifiques et sociaux-économiques



Porteur Scientifique : Stéphane Guillot
stephane.guillot@univ-grenoble-alpes.fr

Représentant du BRGM Benjamin LeBayon
b.lebayon@brgm.fr

Représentants du CS RGF :
Nicolas Bellahsen *nicolas.bellahsen@upmc.fr*
Stéphane Schwartz *stephane.schwartz@univ-grenoble-alpes.fr*

INTRODUCTION

La chaîne des Alpes occidentales est une importante frontière naturelle en Europe qui inclut le point culminant du continent. Sa formation résulte de la convergence des plaques Eurasiatique et Africaine au cours du Crétacé et du Tertiaire. Elle présente un fort héritage lié à la collision Paléozoïque puis à l'extension téthysienne.

Les Alpes constituent en outre un des piliers du savoir mondial relatif aux processus de construction des chaînes de montagne. Exemple fondateur de la plupart des concepts de la tectonique des zones de convergences intercontinentales (nappe de charriage, subduction continentale ...), leur connaissance doit s'étoffer, pour que les Alpes restent la référence géologique internationale.

Cette chaîne emblématique, fortement non-cylindrique, a fait l'objet de nombreuses études dans les domaines des Sciences de la Terre s.l. mais essentiellement en 2D et portant sur les premiers kilomètres. A partir des années 80, les corrélations entre données géologiques acquises en surface et sub-surface et données de sismique profonde ont initié une compréhension en 3D mais cette approche fructueuse a été entravée par la faible résolution des données sismiques et l'absence d'une base géoréférencée des données géologiques disponibles.

Améliorer la connaissance 3D de l'orogène à l'échelle lithosphérique est crucial. La géométrie de l'arc alpin et sa jonction avec les Apennins vers le Sud, de ses bassins périphériques, en particulier le bassin du Sud-Est et le fossé Rhénan implique des interactions complexes en profondeur, notamment en termes de géométrie de la subduction et des écoulements du manteau qui ne peuvent être étudiées en 2D. Les expressions actuelles de ces interactions complexes entre surface et profondeur sont par exemple des mouvements verticaux anormalement rapides dans un contexte de convergence nulle, une topographie anormalement haute dans la zone interne, des anomalies thermiques locales, une sismicité instrumentale modérée mais avec des événements historiques, certes rares, de magnitude supérieure à 6. Ainsi, la modélisation en 3D de cette chaîne devrait permettre de mieux comprendre son évolution et intégrer la dimension temporelle. Cette approche est radicalement différente de l'approche 2D traditionnelle et des approches 3D qui reposent sur l'acquisition de profils sismiques et l'équilibrage de sections géologiques qui permet au mieux de reconstituer l'évolution crustale, mais sans tenir compte des hétérogénéités dans la croûte et le manteau. L'imagerie 4D combine les techniques de pointe de l'imagerie sismique (par exemple, l'inversion de formes d'onde complètes appliquée à un réseau sismique dense) et les modélisations thermo-mécaniques en intégrant les données géologiques s.l., géodynamiques et géodésiques.

L'image 4D attendue est un modèle dynamique qui nous permettra d'explorer en détail les processus physiques et chimiques qui ont contrôlé la formation de la chaîne de montagne. L'accent doit être mis sur la compréhension des processus transitoires agissant à l'échelle de la chaîne qu'ils soient tectoniques, géochimiques, pétrologiques, orographiques, hydrologiques, ou climatiques. Cette compréhension est cruciale pour une meilleure évaluation des risques naturels et des ressources dans un contexte de forte densité locale de population et d'aménagement du territoire en particulier au niveau des voies de communication.

La soixantaine de thèses et post-docs depuis 2011 et l'implication de la communauté française sur de grands projets nationaux ou européens (ANR, ITN ..)(cf liste en annexe) travaillant sur la thématique Alpes et Bassin du SE témoignent du dynamisme de notre communauté et son impact dans le paysage scientifique français, européen et internationale. Le chantier RGF « Alpes et bassin du Sud-Est » sera un levier extraordinaire pour fédérer cette communauté dynamique, renforcer les liens avec le monde socio-économique et valoriser la somme considérable de données et de connaissances produites et à venir.

I Questions scientifiques majeures

Une chaîne de collision active : limites, activité géologique, risques et ressources associés

La sismicité et les mouvements actuels (GPS) dans les Alpes : quelle signification géodynamique ? Quelle est la relation entre données GPS et sismicité ? Est-ce que la rotation d'Adria autour d'un pôle situé dans les Alpes de l'Ouest offre une explication satisfaisante pour la distribution des mouvements actuels et de la sismicité ? Peut-on identifier des failles actives et leur potentiel sismogénique à partir de la distribution de la microsismicité ? Quelle est la signification des essais sismiques dans les Alpes du Sud ? Peut-on déterminer les parts respectives de la mise en charge des failles par la tectonique et par les variations de pression fluide ? Quels liens entre sismicité et glissements de terrain ? (Outils : monitoring sismique ; tectonique active, hydrogéophysique, magnétotellurie, modélisation 3D)

Les grands accidents tectoniques sont-ils des vecteurs de fluides ? Comment s'organisent les transferts de fluides utilisant les grandes structures géologiques ? Quels sont les mécanismes de transfert de ces fluides et leur extension dans l'espace et dans le temps, notamment en fonction des différentes phases de déformation ? Quel est leur rôle dans les processus minéralisateurs ? (Outils : géochimie, minéralogie, structurale, aéromagnétisme).

Anomalies de propagation des ondes sismiques comme marqueurs de l'hétérogénéité crustale profonde. Existe-t-il un lien entre accidents tectoniques majeurs et structure d'atténuation ? Quelle est la signification géophysique de l'extinction des ondes sismiques guidées à travers la zone d'Ivrée ? Quelle relation entre présence de fluides et atténuation sismique ? Lien entre texture des hétérogénéités sismiques de petite échelle et processus tectoniques ? (Outils : analyse sismologique, traitement Big Data).

1.4 Comment et où se fait la transition Alpes-Apennins ? Peut-on imager par la sismologie cette zone de transition ? Où se terminent les panneaux plongeants Alpin et Apennin ? Quelle est leur expression à la surface ? Quelle relation entre le système Alpes-Apennins et la déformation compressive dans le bassin Ligure ? (Outils : sismique profonde, magnéto-tellurie, tectonique active, géologie, thermo-chronologie, sédimentologie, géodésie, gravimétrie, modélisation 3D).

Morphologie, structure finie et mouvements récents : tectonique vs climat ?

2.1 Comment se sont façonnés les reliefs actuels ? Quelle est la part relative de la tectonique et des changements climatiques dans la formation des reliefs alpins ? Quelle est la part relative des agents érosifs dans la formation des reliefs (glaciers, fluvialité, glissements de terrain), quel en est le timing. Que nous apprennent les archives sédimentaires quaternaires sur l'évolution des reliefs ? En particulier un bilan Source to Sink au Cénozoïque du bassin du Sud Est en relation avec le golfe du Lion, afin de caractériser les mouvements verticaux associés à cette évolution tertiaire du domaine alpin, entre autres la genèse de ses reliefs. Dans le passé, une étude intégrée (cartographie, datations) des altérites du Paléocène - Eocène (c'est à dire le sidérolithique) afin d'en analyser leur signification topographique et climatique (Outils : morphologie quantitative, géochronologie, thermochronologie, bilan érosif, sédimentologie, modélisation 3D).

2.2 Quelle est la structure actuelle du prisme en profondeur ? Quelle est la signification des interfaces imagées par la géophysique ? Comment équilibrer le prisme collisionnel à l'échelle lithosphérique ? Comment s'est localisée la déformation au cours des phases récentes de sa construction ? (Outils : sismique profonde, magnéto-tellurie, gravimétrie, analyse structurale et pétrologique, modélisation 3D).

du Rhin et de la Bresse ? Les fluides profonds ont-ils un lien dans le fonctionnement des systèmes pétroliers de ces bassins ? (Outils : géochimie, minéralogie, structurale).

3.3 Impacts de la structuration pyrénéenne et alpine sur la transgression et la sédimentation carbonatée nummulitique ? Comment les incisions infra-nummulitiques ont-elles influé sur les modalités de la transgression marine ? Comment la paléotopographie liée à la structuration pyrénéenne et la déformation synsédimentaire éocène ont-elles influencé la nature et la distribution des sédiments carbonatés lors de la transgression ? Comment les systèmes récifaux coralliens sont-ils distribués spatialement à l'échelle d'un domaine d'avant-pays ? (Outils : structurale, cartographie, sédimentologie, paléontologie, géochimie).

La subduction alpine

4.1 La subduction alpine a-t-elle été cylindrique ? Où et quand s'est initiée la subduction dans les Alpes ? Le panneau lithosphérique plongeant alpin est-il cylindrique ? La profondeur et le timing d'exhumation des roches de HP-UHP sont-ils similaires du Nord au Sud ? Quels processus mis en jeu dans l'exhumation ? Quelle rhéologie ? Peut-on remonter à la dynamique du manteau ? (Outils : géochronologie, pétrologie, sismique profonde, magnéto-tellurie, modélisation 3D).

4.2 Quelle est la part de l'héritage dans l'extension téthysienne ? Cet héritage concerne principalement les marges amincies européennes et briançonnaises. Il s'agira de préciser leurs géométries pré-orogéniques et de comprendre leur rôle au cours de la subduction (Outils : tectonique, sédimentologie, pétrologie, sismique profonde, modélisation 3D).

La collision alpine

5.1. Comment expliquer les variations de raccourcissement le long de l'axe de la chaîne ? Comment expliquer la distribution du métamorphisme Barrovien ? Quelle est l'influence de la tectonique salifère sur les chaînes subalpines ? Comment varient les champs de contrainte à travers, et le long de la chaîne ? (Outils : cartographie, structurale, métamorphisme, sismique de sub-surface et sismique profonde, magnéto-tellurie, aéromagnétisme).

5.2. Quelle est la part de l'héritage varisque et de l'extension Téthysienne ? Cet héritage concerne principalement la zone externe des Alpes et ses bassins périphériques. Il s'agira d'identifier les grands accidents tardi-varisques et leur enracinement éventuel dans le manteau supérieur, de caractériser le métamorphisme et le magmatisme associés qui nous renseigneront sur l'état thermique et chimique de la croûte et du manteau. Faire le lien avec le reste de l'orogénèse varisque (Massif Central, Bretagne, Vosges, Maures, Corse) (Outils : imagerie sismique profonde, magnéto-tellurie, gravimétrie, magnétisme, gravimétrie, anisotropie sismique, cartographie, structurale, pétrologie, géochimie).

Ces questions scientifiques intéressent l'ensemble de la communauté française et au delà, les communautés européenne et internationale. Leur apporter des réponses nécessite une mise en cohérence dans un référentiel unique numérique (dans l'esprit RGF) ainsi qu'une mise à jour de l'ensemble des données disponibles et l'acquisition de nouvelles données. Cette approche intégrée à l'échelle des Alpes occidentales bénéficiera de l'expérience des Services Nationaux d'Observation de l'INSU-CNRS et de l'EQUIPEX RESIF. Nous nous appuyerons également sur les nouveaux profils sismiques CIFALPS (acquis) et CIFALPS2 (2017-2018) et deux forages profonds prévus et financés par ICDP (International Continental Scientific Drilling Program) en 2020. Cette mise en cohérence s'intégrera dans les projets européen AlpArray et EPOS dont la France est un des leaders en Europe.

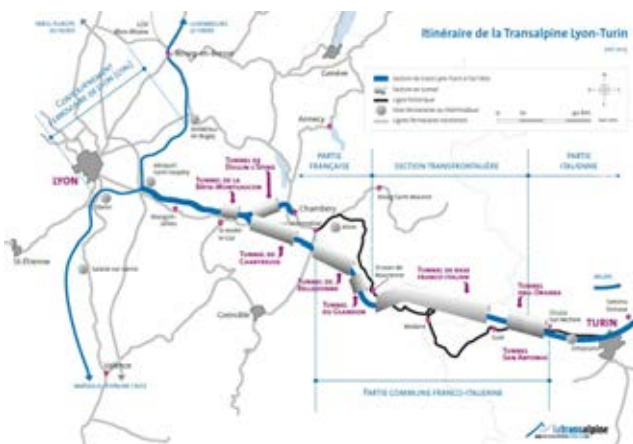
II Les enjeux sociaux-économiques

Le territoire alpin est fortement concerné par différentes vulnérabilités aux risques, qu'elles soient d'origine naturelle (mouvements de terrain, avalanches, phénomènes torrentiels, inondations, séismes, aléas météorologiques ou climatiques), humaine (organisations sensibles, problèmes d'aménagement, de comportement, de conception ou de *réalisation*, ...), ou encore liées à des infrastructures critiques (infrastructures de réseaux et de transport, sites industriels sensibles). En parallèle, le territoire alpin regorge de ressources minérales, hydrologiques, géothermiques et possède un patrimoine géologique exceptionnel dont le recensement et la valorisation seront l'un des axes prioritaires de ce projet. Le projet s'inscrit dans un contexte de changement global (climatique et anthropique) nécessitant une gestion et une gouvernance adaptées à l'évolution de ces vulnérabilités et intégrant l'ensemble des acteurs, la culture du risque et les dynamiques culturelles, sociales et locales qui sont le cœur des projets IDEX « Alpes » des universités de Grenoble et de Nice.

- 1. Risques sismiques et Risques gravitaires.** *Le territoire alpin est vivant et nécessite un suivi et une cartographie des zones à risques tant sur le plan sismique que gravitaire. Des approches innovantes pour l'observation, l'assimilation, le traitement et l'analyse de données, ainsi que la cartographie des aléas, enjeux et risques (y.c. risques croisés) à partir de données fortement hétérogènes, à différentes échelles spatiales et temporelles seront développées en lien avec les acteurs socio-économiques et les décideurs locaux (PARN, RTM, municipalités). Ce travail doit aboutir à une meilleure connaissance cartographique des zones d'aléas naturels et à l'établissement de cartes des risques induits. Ce projet s'appuiera fortement sur les réseaux d'observation déjà existants (Réseau accélérométrique, réseau sismologique, RENAG, et Observatoire des Instabilités et des Mouvements de Versants). (Outils : monitoring sismologique, hydrogéophysique, géodésie, cartographie, simulation numérique ..)*
- 2. Les ressources hydrologiques.** *Elles sont l'une des richesses des Alpes, dans un contexte de changement climatique majeur (fonte des glaciers, diminution des hauteurs de neige, comblement des barrages) mais aussi de transition énergétique (augmentation de l'hydroélectricité) et d'augmentation de population (stress hydrique). Ceci implique une meilleure connaissance de ces ressources en termes de flux d'eau, de réservoirs alluvionnaires, de la qualité des eaux, une connaissance accrue des réseaux de failles pour estimer au mieux les possibles transferts entre aquifères, puis de coupler ces modèles avec des modèles dynamiques, hydrogéologiques, géochimiques. Il y a un intérêt en particulier à travailler sur le bassin de l'Arc qui constitue un réservoir hydrogéologique stratégique pour la région et qui a fait l'objet d'investigations géophysiques ainsi que d'analyses géologiques lorsque la mine de charbon de Gardanne était exploitée. (Outils : hydrologie, hydrogéologie, hydrogéophysique, traçage des sources, chimie des eaux ...)*
- 3. Ressources minérales.** *Les Alpes françaises et le bassin du SE sont à l'échelle globale étonnamment peu pourvues en ressources minérales. Elles consistent principalement dans le socle varisque et sa couverture mésozoïque en des minéralisations d'assez faible envergure en métaux de base (Cu, Pb, Zn ± Ag), certaines ayant cependant fait l'objet d'une exploitation industrielle au cours des XIX-XXième siècles, et en bauxites dans le bassin. Cependant, la présence de nombreuses occurrences pourrait témoigner d'un potentiel sous-jacent puisque ces occurrences sont les marqueurs des grands épisodes de circulation de fluides au cours du cycle orogénique. Les données issues des prospections réalisées au cours de l'Inventaire Minier National (1975-1993) doivent être retravaillées dans la perspective des concepts modernes de métallogénie et des connaissances récentes de l'évolution et de la structure de l'orogène. Il y a nécessité à connaître les réserves, les modes de concentration et de transport des métaux dans un contexte où la France est dépendante à pratiquement 100% des importations étrangères. La problématique des roches et minéraux industriels, dans ces territoires fragiles, doit aussi pouvoir s'appuyer sur des données géologiques actualisées et intégrées. En ce qui concerne les ressources hydrocarbonées, si le potentiel gazier des séries mésozoïques reste discutable (acceptabilité, complexité structurale ..), les bassins Permien offrent encore un objectif industriel envisageable. (Outils : cartographie et modélisation numérique, retraitement des lignes sismiques, modélisation des bassins, minéralogie, géochimie, spectroscopie, aéromagnétisme ..).*

4. Les enjeux de la géothermie profonde dans les bassins alpins. La géothermie profonde non-conventionnelle (EGS) constitue un élément important du mix énergétique renouvelable dans le cadre de la transition énergétique car elle bénéficie d'une source non intermittente (à la différence du photo-voltaïque ou de l'éolien). La technique s'appuie sur le savoir-faire acquis sur le site pilote de Soultz-sous-Forêts (Alsace) qui vient d'être transformé en site industriel électrogène et sur la première réalisation à Rittershoffen d'une centrale de production de vapeur pour la société Roquette Frère à Beinheim. D'autres projets d'envergure sont en cours de réalisation sur l'Eurométropole. L'exploitation de cette ressource requiert une caractérisation fine de la structure du sous-sol, en particulier de la transition socle-sédiment, de la structure des réseaux de failles, du champ de contrainte local ainsi que des processus hydrothermaux profonds à l'origine des réservoirs thermiques exploitables. Elle nécessite également une maîtrise des techniques de développement et de suivi des réservoirs en particulier par la sismicité induite associée. Le nombre important des programmes européens dédiés (FP7-GEISER, FP7-IMAGE, H2020-DESTRESS, H2020-DEEPEGS, H2020 EPOS-IP AH, ...) illustre les besoins de recherche dans le domaine. Une approche intégrée mêlant connaissances géologiques détaillées, imageries géophysiques, modélisations hydro-chimio-thermo-mécaniques et suivis sismologique et géodésique s'impose. Cette approche est actuellement suivie par le Labex G-Eau-Thermie Profonde (porté par l'EOST : <http://labex-geothermie.unistra.fr/>) dans l'étude de sites situés au nord de l'Alsace. L'expertise acquise doit maintenant être développée et étendue à d'autres régions présentant un fort potentiel de géothermie profonde, et notamment les zones préalpines présentant des bassins Oligo-Miocène similaire à celui du fossé Rhénan supérieur, comme la Limagne ou le fossé Rhodanien. (Outils : exploration, assistance aux forages, imagerie et monitoring sismologiques et géodésique, gravimétrie, électro-magnétisme, hydro-géologie, pétrophysique, géomécanique, sédimentologie, évaluation des risques sismiques et environnementaux associés).

5. Aménagement du territoire, aléas et risques géotechniques et environnementaux : De grands projets d'aménagement dans les Alpes sont lancés (Tunnel Euralpin Lyon Turin, www.telt-sas.com/fr/home-fr/) ou en cours de réflexion : LNPCA (Ligne Nouvelle Provence Cote d'Azur <http://www.lignenouvelle-provencecotedazur.fr/>) avec pour objectif de ré-employer plus de 70% des matériaux naturels d'excavation (soit près de 17 millions de tonnes sur les 2 projets) . Il est intéressant de noter que la partie française de la liaison ferroviaire Lyon-Turin est susceptible de produire autant de matériaux excavés que la construction de l'ensemble des tunnels routiers français creusés à ce jour. Le réemploi et la valorisation de ces matériaux permettraient de pallier à la diminution du nombre de carrières en exploitation et à la baisse de production. Ceci implique, en amont, une très bonne connaissance du sous-sol (structure, lithologie, pétrophysique ..) dans des contextes géologiques complexes et actifs. Par ailleurs les grandes vallées alpines sont soumises à des grands glissements de terrain qui perturbent singulièrement le trafic routier (exemple récent de la vallée de la Romanche) ; le suivi des glissements actifs mais également la détection des zones susceptibles de s'effondrer est un enjeu majeur. (Outils : monitoring sismologique, hydrogéophysique, pétrophysique, cartographie, mécanique des roches ..).



Itinéraire du projet Tunnel Euralpin
Lyon Turin .

<http://www.transalpine.com/lyon-turin/>

La société TELT dispose de grandes quantités de données (sismique de puits, sismique de surface, nivellement, géodésie, log) acquises ces 10 dernières années et qui n'ont pas été valorisés d'un point de vue scientifique. **La société TELT est disposée à mettre ses données à disposition du projet RGF « Alpes et bassin du SE ».**

6. Les Bassins d'avant-pays: une richesse inexplorée : Le sous-sol profond des bassins d'avant-pays alpins contient des ressources naturelles et présente des capacités de stockage utile afin d'assurer une gestion durable des énergies renouvelables. Le bassin molassique offre ainsi un potentiel géothermique et des capacités de stockage (énergies renouvelables, gaz, CO₂). Accéder à ces potentialités nécessite de tenir compte des champs gaziers et pétroliers existants ainsi que des ressources en eau souterraine, afin de s'affranchir des conflits d'usage pouvant en résulter. Ainsi, l'évaluation des géo-potentiels requiert une approche globale qui doit tenir compte des risques géologiques, tels que la sismicité, ainsi que l'évaluation de l'impact de leurs utilisations et de leurs interférences mutuelles. Dans le cadre du projet transnational GeoMol, cofinancé par le Programme Espace Alpin, fait parti de la Coopération Territoriale Européenne, un partenariat unique associe les services géologiques autrichiens, français, allemands, italiens, slovènes et suisses. Les partenaires se chargeront de mettre à disposition des informations de qualité sur les structures géologiques du Bassin molassique nord-alpin et du Bassin de Pô, auprès du grand public et des acteurs locaux, régionaux et nationaux. GeoMol fournira un modèle géologique tridimensionnel, harmonisé à l'échelle des pays partenaires du projet. Il est basé sur des méthodes d'évaluation cohérentes et sur des critères et des lignes directrices établis en commun. L'amélioration de la connaissance commune du sous-sol dans les bassins d'avant-pays alpins, va contribuer à développer et dynamiser la décentralisation des énergies et renforcer l'utilisation de ressources locales, par l'exploitation et l'utilisation des géo-potentiels, en prenant en compte les risques géologiques, comme la sismicité, particulièrement dans le Bassin du Pô. Les méthodes et les recommandations développées dans le projet GeoMol seront aussi applicables à d'autres bassins profonds. Plusieurs cibles géothermiques potentielles ont d'ores et déjà été identifiées pour l'exploration puis l'exploitation sur le sol français et font l'objet de grands programmes de recherche (AMI, ANR..). Il s'agit pour la plupart de sédiments triasiques et jurassiques enfouis dans les bassins de l'ECRIS (European Cenozoic Rift System). Certains de ces bassins cénozoïques, et notamment le sillon rhodanien, sont situés en zone d'avant-pays alpin. Ils sont bordés par des failles majeures héritées de l'orogénèse varisque. Comprendre le rôle de cet héritage permettrait de mieux appréhender la géométrie, la dynamique et le régime thermique de ces bassins au cours du Cénozoïque. (Outils : exploration géophysique, données de puits, forage, hydrogéophysique, minéralogie, géochimie..)

7. Changement Climatique et impact Sociétal. Le réchauffement climatique est une évolution constatée à l'échelle mondiale. Ses effets en cascade sur l'environnement à l'échelle locale et sur les activités humaines sont souvent difficiles à saisir. De plus les Alpes possèdent des caractéristiques spécifiques aussi bien du point de vue territoire que du point de vue climat. L'idée est de ne pas subir passivement cette évolution mais plutôt de la maîtriser autant que faire se peut et d'en profiter pour développer de nouvelles attractivités afin de ne pas rater les opportunités qui se présenteront pour les populations alpines de demain. Il est donc essentiel d'informer et de sensibiliser afin d'anticiper et d'adapter la gestion des territoires.

8. Patrimoine géologique et Tourisme : Les Alpes possèdent un patrimoine géologique exceptionnel dont le recensement, la préservation et la valorisation sont fondamentales pour le tourisme mais aussi pour les générations à venir. Ce travail passe par la mise en valeur des sites répertoriés ou à répertorier (Géosites) en lien étroit avec les acteurs des Géoparcs (Alpes Cottiennes, Alpes de Haute Provence, Bauges), les Parcs Nationaux (Vanoise, Ecrins, Mercantour, Calanques), **la Réserve géologique de Digne qui vient d'obtenir un très gros projet ALCOTRA sur la valorisation du territoire et qui est aussi intéressée à collaborer au sein de ce projet**, la formation des accompagnateurs de montagne, la médiation scientifique et la formation des Professeurs du secondaire. (Outils : cartographie numérique, parcours géologiques, éditions du BRGM, conférences ..)

III Opportunités d'accompagner de grands projets, données de qualité disponibles/programmées, à valoriser

Ce projet est une opportunité exceptionnelle d'accompagner plusieurs grands projets en cours ou à venir. Le premier grand projet est scientifique ; il s'agit du projet ANR AlpArray-FR qui s'inscrit dans le projet d'échelle européenne AlpArray dont l'objectif est de produire une cartographie 3D du manteau supérieur à l'échelle de l'arc alpin par des méthodes géophysiques. En France, ce projet s'appuie sur le réseau RESIF mais également sur les profils sismiques CIFALPS (acquisition terminée, données en accès libre au 1^{er} janvier 2017) et CIFALPS-2 (financé, démarrage Eté 2017) qui traversent les Alpes franco-italiennes. Sur le plan socio-économique, le projet de tunnel Lyon-Turin (57 km de long) est le plus grand chantier jamais mis en œuvre dans les Alpes occidentales. Le suivi de ce chantier sera pour la communauté des Sciences de la Terre une mine de données qu'il nous faudra acquérir, inventorier et valoriser. Enfin, le grand projet ferroviaire à venir Marseille - Nice - Gênes (partiellement en tunnel) nécessitera une connaissance approfondie de la surface et de la sub-surface.



Projets des Lignes SNCF soumis à la concertation publique .

En conclusion, La mise en commun des données existantes géologiques, géophysiques, hydrologiques etc., au travers des modèles géoréférencés 3D, incluant l'ensemble des paramètres physiques et chimiques des zones étudiées est une étape indispensable pour progresser dans la connaissance de cette chaîne complexe. De nouvelles données devront être acquises pour progresser dans la connaissance (en sismologie déjà financé, au travers de forages profonds déjà financés, en gravimétrie), la magnétotellurie (à financer) mais aussi en local (tectonique, pétrologie, cartographie, géochimie, cosmochimie, thermochronologie, géomécanique..). Le regroupement des grands laboratoires en sciences de la Terre qui sont tournés vers l'arc alpin (Strasbourg, Besançon, Chambéry, Grenoble, Nice, Aix-Marseille) et les laboratoires qui travaillent dans les Alpes (Montpellier, Orléans, Rennes, ISTEP-Paris, IPGP, Dijon, Nancy, IMPMC, Bordeaux) est un garant de la qualité scientifique de ce projet. Ce projet, en appuie avec l'INSU sera aussi une opportunité pour fédérer la communauté académique autour de la plateforme nationale RÉGEF (GéoX et Géochro) dans le cadre du Plan d'Investissement d'Avenir (PIA EQUIPEX). Par ailleurs nous nous appuyerons sur les autres sources de financement de la recherche publique dans le cadre du PIA (IDEX, Labex, ANR) mais également auprès de nos interlocuteurs sociaux-économiques (SNCF, EDF, PARN, RTM, les Régions PACA, AURA et ACAL au travers du FEDER et départements) qui sont engagés dans la valorisation du territoire alpin au niveau local mais aussi international au travers des projets InterREG avec la Suisse et l'Italie. Ce projet sera un aussi une opportunité pour trouver des financements au niveau européen dans le cadre du programme H2020, avec l'appuie des réseaux EPOS et AlpArray déjà constitués.

IV Annexes

Laboratoires Français (au travers des chercheurs potentiellement intéressés) et EPIC impliqués dans le projet RGD « Alpes et Bassins Périphériques »

BRGM (Orléans) : B. Le Bayon, T. Baudin, C. Allanic, F. Cagnard, S. Gabalda, O. Blein, R. Coueffe, I. Thinon, E. Lasseur, C. Fléhoc, S. Leleu, F. Quesnel, R. Coueffe, H. Tissoux, O. Serrano, G. Courrioux.

IPGS/EOST (Strasbourg) : G. Manaschal, M. Ulrich, K. Schulman, A. Maggi, J. Vergne, D. Zigone, C. Doubre, J-F. Girard., A. Schlupp, J. Van der Woerd, S. Lambotte

Géoazur/OCA & Polytech (Nice) : F. Courboux, T. Lebourg, E. Larroque, R. Hassani, S. Operto, Y. Rolland, M. Corsini, JM Lardeaux, JX Dessa, M. Revel, P. Audra.

Géosciences Rennes : M. Ballèvre, P. Yamato, B. Guillaume, P. Pitra, M. Pujol, Y. Lagabrielle

Chrono-Environnement Besançon : P. Goncalves, C. Sue, D. Marquer, P. Trap.

ISTEP (Paris) : P. Agard, C. Rosenberg, N. Bellahsen, L. Labrousse, B. Dubacq, A. Verlaget, L. Le Pourhiet, Olivier Lacombe, Catherine Homberg, F. Baudin, S. Boulila, B. Galbrun, L. Riquier, J. Schnyder.

Mines-ParisTech : Caroline Mehl, Isabelle Cojan, Christine Franke

IMPMC (Paris) : O. Beyssac, A. Vitale-Brovarone

CR2P Paris : A. Bartolini, S. Gardin, D. Desmares

IPGP- Paris 7 : S. Angiboust, Y. Gunnel, W. Crawford.

LPG-Meudon : V. Jomelli.

Université du Mans : P. Strzeczynski.

Orsay : C. Gautheron, B. Brigaud, B. Saint Bezar

ISTerre (Chambéry et Grenoble) : S. Guillot, S. Schwartz, L. Husson, A. Paul, M. Campillo, P. Van der Beek, T. Dumont, A. Helmstetter, J. Martinod, JL Mugnier, A. Waldsperdorf, C. Basile, G. Bievre, L. Truche, A. Revil, C. Crouzet, F. Giraud, P. Gueguen, O. Coutant, D. Jongmans, L. Stehly, L. Baillet, J. Nomade, C. Crouzet, F. Jouanne, R. Vassalo, M. Bernet

Biogéosciences (Dijon) : JF Buoncristiani, JF Deconninck, E. Pucéat.

EDYTEM (Chambéry) : F. Arnaud, D. Gasquet, M. Rossi, S. Jaillet, P. Deline.

ISTO (Orléans) : L. Jolivet, C. Gumiaux, R. Augier, T ; Baudin, M. Faure

CEREGE : O. Bellier, F. Sabatier, E. Anthony, N. Espur, V. Godard, JC. Hippolyte, M. Rizza L. Benedetti, M. Tal.

- **Laboratoire Magmas et Volcans (Clermont-Ferrand)** : N. Olivier, O. Merle.

- **Géosciences Montpellier** : P. Vernant, J. Chery, B. Cenko-Tok, M. Seranne, JM Padron-Narta, C. Tiberi.

- **Laboratoire de Géologie de Lyon** : V. Gardien, Ph Leloup, G. Mahéo, C. Colombié, F. Cordey, E. Matioli, B. Pittet, P. Allemand, P. Grandjean, S. Reboulet, P. Sorrel.

- **GET & IRAP (Toulouse)** : O. Vanderhaegue, M. Grégoire, S. Duchêne, M. de Saint Blanquat, J. Berger, J. Ganne, MA Kaczmarek, M. Gerbault, E. Chapron, M. Calvet, L. Margerin.

- **Laboratoire Géoressources & ENSG (Nancy)** : C. Carpentier, R. Michels, Y. Géraud, D. Grosheny, F. Malartre, M. Diraison

- **LFC-R (Pau)** : JP Callot, C. Aubourg, C. Bonnel, B. Nivière, G. Sénéchal, D. Rousset, G. Hoarea

Partenaires Européens et internationaux qui pourraient être impliqués dans le projet (collaborations en cours sur des projets alpins)

- **Italie** : Univ. Turin, Univ. Milan, Univ. Genova, INVG, Padova, Roma III, OGS Trieste, univ. Pavie, Eni.
- **Suisse** : UNI-Lausanne, Univ. Genève, ETH-Zurich, Univ. Bern, Univ. Fribourg
- **UK** : Univ. Edimbourg, Univ. Glasgow, Liverpool, British Petroleum
- **Allemagne** : Univ. Berlin, Univ. Potsdam, GFZ, Univ. Bochum, GeoMar, univ. Karlsruhe, Univ. Munich
- **Pays-Bas** (Univ Amsterdam, Univ. Utrecht, Shell)
- **Autriche** : Univ de Vienne
- **Hongrie** : ELTE univ Budapest
- **Rep Tchèque** : Université de Prague, Acad. of Sci. of the Czech Rep. Prague
- **Pologne** : Univ. Varsovie
- **USA** : Lehigh Univ., MIT, Berkeley, Univ. Austin
- **Chine** : Institute of Geology and Geophysics of Beijing. South China Sea Institute of Oceanology (Guangzhou/China)
- **Australie** (Univ. Western Australia)
- **Brésil** (Petrobras)

Principaux Financements (hors financements ponctuels Labex, INSU, BQR interne, Engie ..) (liste non exhaustive).

Projet Emergence Ville de Paris (2012). Achat des spectromètres Raman à l'IMPMC Paris
GPS-Jura et SismoJura (2012-2019)(financement région Franche-Comté / OSU THETA)
ANR-SLAMs (2010-2013, Grenoble, Besançon, Nice, CEREGE) Etudes Multidisciplinaires du
Mouvement de Séchilienne, aléas, risques associés et conséquences socio-économiques
Australian Research Council (2010-2013 Strasbourg, Univ. W Australia)
ANR ERD-Alpes (2008-2012, Grenoble, Chambéry, Lyon, Dijon, Strasbourg)
ANR Slow-Spreading Ridge (2009-2013, IPG-Paris, Strasbourg)
ANR VIP Mont-Blanc (2015-2019, Chambéry, Grenoble, Dijon)
ANR AlpArray-Fr (2015-2019, Grenoble, Strasbourg, Nice, IPGP, Rennes, Orléans, Lyon, Besançon)
CIFALPS 1 (2012-2015, Pékin, Grenoble, Gênes, Turin, Bologne)
CIFALPS 2 (2017-2019)-, Pékin, Grenoble, Gênes, Turin, Bologne)
Consortium SEISCOPE II (2013-2018) (Grenoble – Nice + Pétroliers)
Consortium MARGIN MODELLING (2010-2016) (IPG-Strasbourg & Univ. Liverpool + Pétroliers +
Miniers)
CNRS/ExxonMobil (2012-18) “Structure and evolution of the thermal history of extensional systems”
(Strasbourg, Univ. Austin, UNI-Lausanne)
CNRS/PETROBRAS (2011-17) «Fluids in deep water hyper-extended rifted margins» (Strasbourg,
Petrobras, Brésil)
Projet Européen ITN ZIP (2013-2017) (Paris 6, ENS, GFZ, IFP, Genova, univ. Athene, Univ. Bern,
Frei Univ., univ. Kiel)

Thèses et Post-doc depuis 2011 sur la thématique Alpes et bassin du Sud est (s.l.) (liste non exhaustive).

Oliot E. (2011) Localisation de la déformation dans la croûte continentale ductile : transferts de matière, réactions métamorphiques et mécanismes de déformation (Massifs de l'Aar et du Gothard, Alpes Centrales Suisses) (Chrono-Environnement Besançon)

Galvez M. (2011) Pétrologie et géochimie de matériaux carbonés et des minéralisations associées en zone de subduction. (IMPMC Paris)

Angiboust S. (2011) Couplage profond et comportement mécanique de l'ithosphère océanique dans les zones de subduction: approches pétrologique et thermomécanique. (ISTEP-Paris).

Roche V. (2011) Caractérisation et modélisation de la fracturation différentielle dans les alternances argilo-calcaires. (ISTEP-Paris).

Allanic C. (2012) Kinematics, Age and Dynamic of the brittle deformation within the Lepontine Dome (Central Alps) (Chrono-Environnement Besançon)

Mohn G. (2012) Assessing the structural, rheological and temporal evolution of hyper-extended deep water rifted margins (IPG Strasbourg)

Leclere H. (2012) Comportement sismo-mécanique des failles crustales et interactions fluides-séismes. Une étude de la région de l'Ubaye (Alpes du sud) (Chrono-Environnement Besançon)

Darnault, R. (2012) Étude de l'évolution géomorphologique des versants de montagne et des déstabilisations gravitaires associées : une approche couplée de datations géochronologiques, d'observations sismotectoniques et de modélisations. (Géoazur Nice)

Guillon, H. (2012) Origine et transport des sédiments dans un bassin versant alpin englacé (Glacier des Bossons, France) : une quantification couplant mesures hydro-sédimentaires haute-résolution, suivi radio-fréquence de galets, teneur en nucléides cosmogéniques et méthodes probabilistes (ISTerre Chambéry)

Jourdan S. (2012) Reconstitution de la morphogenèse Oligocène-Miocène des Alpes occidentales par une approche pluridisciplinaire (ISTerre Grenoble)

Lanari, P. (2012) Micro-cartographie Pression-Température-déformation dans les roches métamorphiques. Applications aux Alpes et à l'Himalaya. (ISTerre Grenoble)

Suchéras-Marx B (2012) Emergence de la production carbonatée pélagique au Jurassique moyen (180-160 Ma) : la conquête des océans par les coccolithophoridés du genre *Watznaueria*. (Lab Géologie Lyon & ISTerre Grenoble)

Picazo S. (2012) Déformation des roches ultramafiques liée à l'exhumation dans les dorsales et les transitions océan continent (IPG-Paris & IPG Strasbourg)

Maury J (2013) Analyse du champ de contrainte régional au nord-est des Alpes (IPG Strasbourg)

Husson E. (2013) Interaction géodynamique/Karstification et modélisation géologique 3D des massifs carbonatés : Implication sur la distribution prévisionnelle de la karstification. Exemple des paléokarsts crétacés à néogènes du Languedoc Montpelliérain. (GéoSciences Montpellier – BRGM)

Bellanger M. (2013) Evolution géodynamique 3D d'un transect alpin entre Maurienne et Romanche.

(ISTO-Oréans, ISTEP-Paris)

Grosjean, A.S. (2013) Paléoréseaux hydrographiques et paléoreliefs en période de tectonique active : L'Eocène-Miocène basal (45-20 Ma) du bassin du SE de la France, témoin de la formation des Alpes occidentales. (Lab. Géologie de Lyon)

Bauve, V. (2013) Etudes des champs de contraintes néogènes à actuels des Alpes du Sud -implications sur la géodynamique alpine et l'activité sismique. (Géoazur Nice)

Bastide F. (2014) Synthèse de l'évolution de la plateforme urgonienne (Barrémien tardif à aptien précoce) du Sud-Est de la France : Faciès, micropaléontologie, géochimie, géométries, paléotectonique et géomodélisation (ISTerre Grenoble, UNIL & Total Pau)

Debret B. (2014) Serpentinites, vecteurs des circulations fluides et des transferts chimiques de la ride à la subduction : Exemple des Alpes occidentales. (LMV Clermont-Ferrand, Lab Géologie Lyon & ISTerre Grenoble).

Vallet A. (2014) Mouvements de fluides et processus de déstabilisation des versants alpins, apport de l'étude de l'instabilité de Séchilienne. (Chrono-Environnement Besançon)

Petri B. (2014) Formation et exhumation des granulites permienes : Etablir les conditions pre-rift et déterminer l'histoire de l'exhumation syn-rift. (IPG Strasbourg et Univ. Amsterdam)

Pinto V.H (2014) Linking tectonic evolution with fluid history in hyperextended rifted margins : Examples from the fossil Alpine and Pyrenean rift systems and the present-day Iberia rifted margin (IPG Strasbourg)

Thomas F. (2014) Caractérisation des déformations Sismogéniques de la Provence - une approche pluri-disciplinaire intégrée : apport de la géomorphologie quantitative et de la paléosismologie. (CEREGE)

Hauptert I (2015) Etude des hauts et bas topographiques dans les marges profondes de type « upper plate » : Exemple des unités du Briançonnais et du Prépiémontais dans les Alpes et comparaison avec des analogues modernes (IPG Strasbourg)

Pezzali I (2015) High-temperature deformation in the gabbros from the Chenaillet ophiolites (Western Alps) ((IPG Strasbourg & Univ. Pavie)

Decarlis A. (2015) Tectono-sedimentary evolution of the Tethyan distal margins exposed in the Alps(IPG Strasbourg)

Genti M. (2015) Impact des processus de surface sur la déformation actuelle des Pyrénées et des Alpes (Geosciences Montpellier)

Boutoux A. (2015) Déformations et circulations de fluides. (ISTEP-Paris).

De La Taille C. (2015) Évaluation de l'activité tectonique quaternaire des failles du Jura méridional. (ISTerre Chambéry)

Boutoux A. (2015) Style structural, cinématique des déformations et circulations de fluides en contexte de collision : le cas des massifs cristallins externes alpins. (ISTEP Paris & Géoazur Nice)

Bestani L (2015) Géométrie et cinématique de l'avant-pays provençal: modélisation par coupes équilibrées dans une zone à tectonique polyphasée. (CEREGE – CEA)

- Billant J. (2016). Caractérisation de la déformation tectonique récente du système de Faille de Belledonne et de l'avant-pays Alpin (Vallée du Rhône): apports d'une approche pluridisciplinaire. (CEREGE – CEA)
- Séraphin P. (2016) Contribution du traçage isotopique ($\delta^{18}\text{O}$ et δD) à la compréhension et à la modélisation hydrogéologique de la nappe de la Crau. (CEREGE – CEA).
- Hai Ninh Nguyen. (2016) Apport du GPS pour la quantification des déformations extrêmement lentes et mouvements verticaux dans les chaînes de montagnes françaises (Géosciences Montpellier)
- Potin B. (2016) Les Alpes occidentales : tomographie, localisation de séismes et topographie du Moho. (ISTerre Grenoble)
- D'Amato J. (2016) Etude des processus de rupture conduisant aux éboulements rocheux. (ISTerre Grenoble)
- Rabin M. (2016) Caractérisation de la déformation récente dans une chaîne orogénique lente : l'arc du Jura. Approches combinées morphotectonique, géodésique et géophysique. (Chrono-Environnement Besançon)
- Magott R. (2016) Propagation de la rupture sismique dans la lithosphère océanique : une étude basée sur l'analyse structurale des cataclasites et pseudotachylytes jalonnant les failles dans les roches mafiques et ultramafiques accrétées ou obductées sur les continents. (Chrono-Environnement Besançon)
- Bruneau B. (2016) Modélisation numérique de la sédimentation organique: réévaluation des processus gouvernant sa distribution au Jurassique inférieur en Europe. (ISTEP-Paris).
- Freville K. (2016) L'orogénèse Varisque dans les massifs cristallins externes de Belledonne et du Pelvoux (Alpes Occidentales Françaises. (ISTO Orléans & Chrono-Environnement Besançon)
- Barré G. (en cours): cycle du soufre dans les nappes d'évaporites du trias dans les Alpes de Haute Maurienne. (ISTerre Grenoble & GeoRessources Nancy).
- Valentin J. (en cours) Suivi de glissements rocheux et de coulées dans les roches argileuses à partir de méthodes sismiques et photogrammétriques. (ISTerre Grenoble & 3SR Grenoble)
- Gallah X. (en cours) Reconstitution de la fréquence des écroulements rocheux post-LGM dans le massif du Mont Blanc. (ISTerre Grenoble & Edytem)
- Carrière S. (en cours) Suivi des glissements de terrain en Maurienne (ISTerre Grenoble)
- Yang Lu (en cours). Tomographie de l'Arc Alpin (ISTerre Grenoble)
- Hertgen S. (en cours) impact de la rhéologie de la croûte sur la dynamique des lithosphères en convergence (Geosciences Rennes & IPG-Paris)
- Ioannidi I. (en cours) Understanding deformation patterns controlling seismicity and creep along the subduction interface (10 – 80 km) and characterization of their relationship to rheological parameters (GFZ & IPG-Paris)
- Leydier T. (en cours) - Implications sismologiques (tremors et anisotropie sismique) des interactions entre déformations fragile et ductile dans la croûte moyenne et inférieure: le cas des zones de cisaillement alpines. Chrono-Environnement Besançon)

Nevers P. (en cours) Rôle de l'altération chimique des géomatériaux sur l'instabilité de versants alpin. Chrono-Environnement Besançon)

Coutaz J. (en cours). Etude de la relation entre l'évolution morphologique, le transport sédimentaire, et l'hydrologie dans une rivière alpine en tresses (le Buëch, Alpes de Haute-Provence). (CEREGE)

Besset M. (en cours) Vulnérabilité des deltas dans le monde. (CEREGE)

Kulling B. (en cours) Transit littoral des plages du golfe du Lion. (CEREGE)

Boudet L. (en cours) Modélisation du fonctionnement hydro sédimentaire de l'embouchure du Rhône. (CEREGE)

Bertrand L. (en cours) Etudes des analogues de socle de réservoirs géothermiques profonds du rift Ouest européen : Fossé Rhénan et Fossé de Valence » (ENSG Nancy)

Lefevre B. (en cours) Déshydratation des roches métamorphiques en zones de subduction: origine de fluides, échelle de migration et lien avec la fracturation des roches. (ISTEP – Paris)

Girault J.B. (en cours) Interactions entre prisme orogénique et bassins d'avant pays : le cas des Alpes de l'Ouest. ((ISTEP – Paris & ISTO-Orléans)

Danzelle J. (en cours) Caractérisation de l'évolution de la colonne d'eau des bassins océaniques au cours du Crétacé supérieur (ISTEP-Paris)

Kaestle E. (en cours) Structure profonde des Alpes, approche géophysique bruit de fond. (ISTEP-Paris).

Incel S. (en cours) Experimental study of eclogitization of seismogenic potential of eclogitization transformation (Alpine Corsica). (ENS-Paris, UMET-Lille, ISTEP-Paris).

Ferrand F. (en cours) Seismologic implications of serpentinite destabilization (Balmuccia peridotites, Sezia). Dir. Thèse. (ENS-Paris, UMET Lille, ISTEP – Paris).

Laborde-Casadaban M. (en cours) Caractérisation des déformations tectono-sédimentaires au passage Trias-Jurassique. (ISTEP – Paris)

Masci L. (en cours) Cristallogénèse et Thermodynamique des Phyllosilicates ferriques : Etude des Chlorites métamorphiques. (ENS-Paris, ISTEP-Paris)

Locatelli M. (en cours) Rôle de la libération de fluides métamorphiques sur la génération des séismes profonds. (ISTO-Orléans et ISTEP-Paris)

Kalifi, A. (en cours) Caractérisation sédimentologique et distribution des dépôts syn-orogéniques Miocènes des chaînes subalpines septentrionales (Royans-Vercors-Chartreuse-Bauges) et du sud du Jura. (Lab Géologie de Lyon)

Masson C. (en cours) Cinématique et dynamique de la déformation actuelle de l'Europe Occidentale (Geosciences Montpellier)

Incerpi N. (en cours) Hydrothermal systems in distal rifted margins and their role in the thermal evolution of sedimentary successions : study of two fossil analogues in the Swiss Alps and Pyrénées (IPGS-Strasbourg)

Mateeva T. (en cours) Mantle serpentinization, carbon and life (IPGS-Strasbourg & Univ. Liverpool)

Epin M.E. (en cours) Evolution and characteristics of outer highs in rifted margins (IPG-Strasbourg)

Amann M. (en cours) Geochemistry of magmas and relation to serpentinization at an Ocean Continent Transition (IPG-Strasbourg)

Ribes C. (en cours) Tectono-sedimentary evolution of the Tethyan distal margins exposed in the Alps (IPG-Strasbourg)

Lehuteur M. (en cours) Imagerie de réservoirs géothermiques profond à partir du bruit sismique ambiant (IPG-Strasbourg)

Données disponibles au BRGM (Benjamin le Bayon et Guillaume Martelet)

Cartes géologiques 50 000.

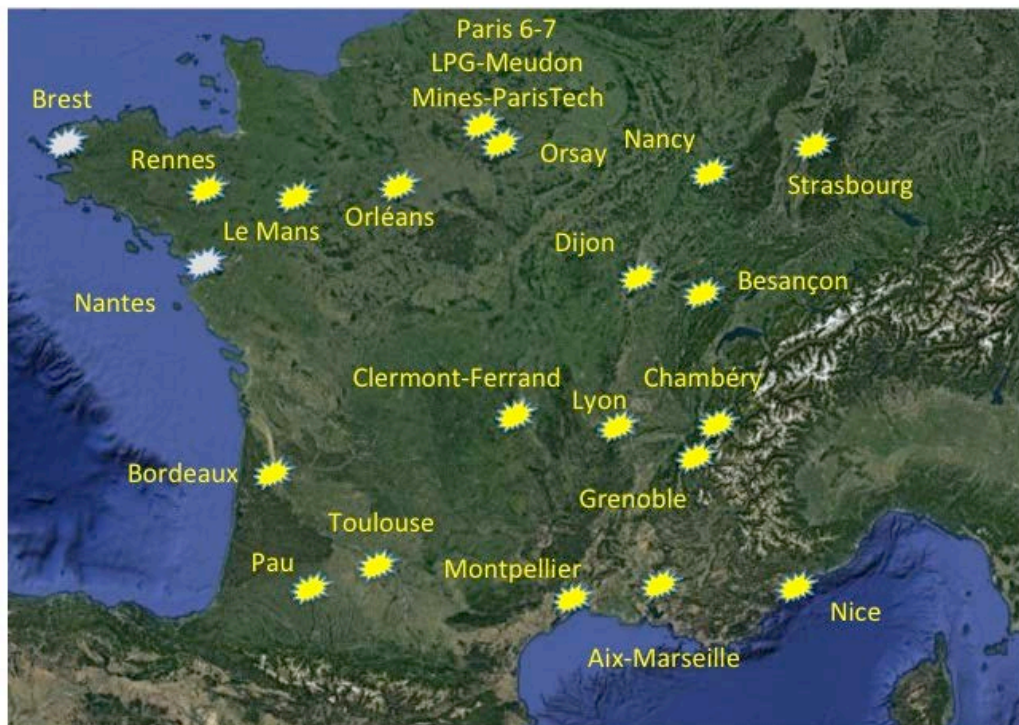
Cartes géologiques 250 000.

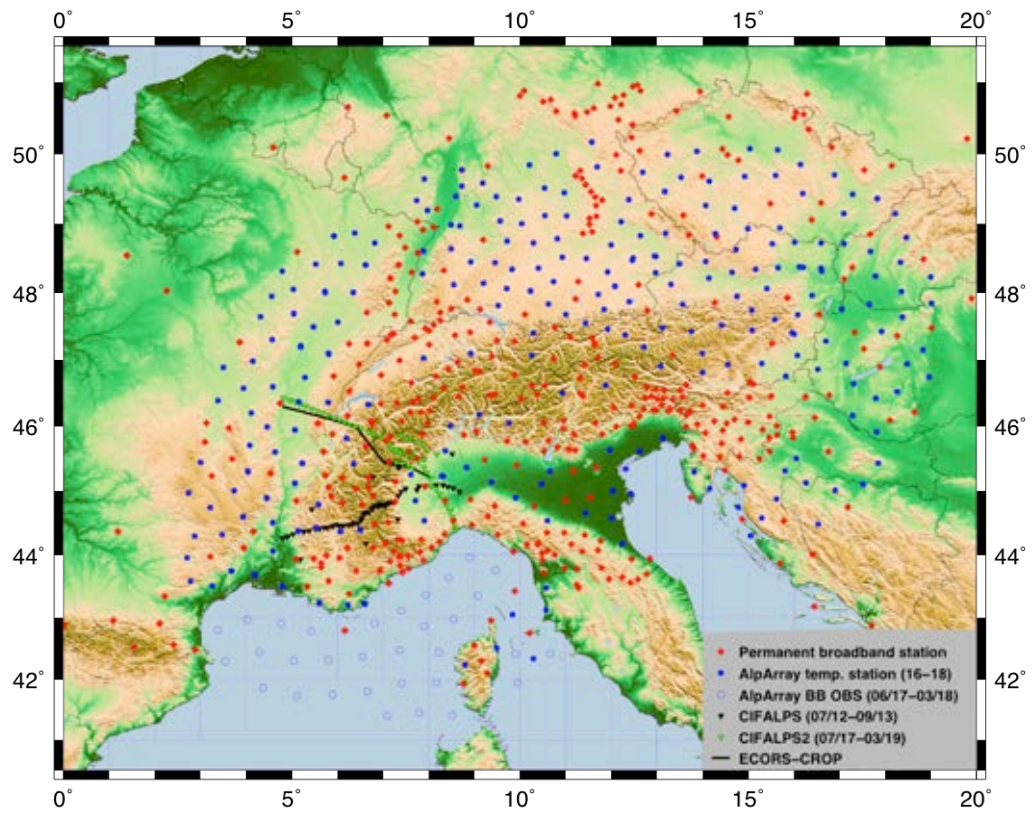
Sondages BSS, disponibles sur InfoTerre.

Gravimétrie au sol : couverture du bassin et périalpin correcte avec besoins d'acquisitions locales, Massifs alpins : couverture éparse, gros besoin d'acquisition.

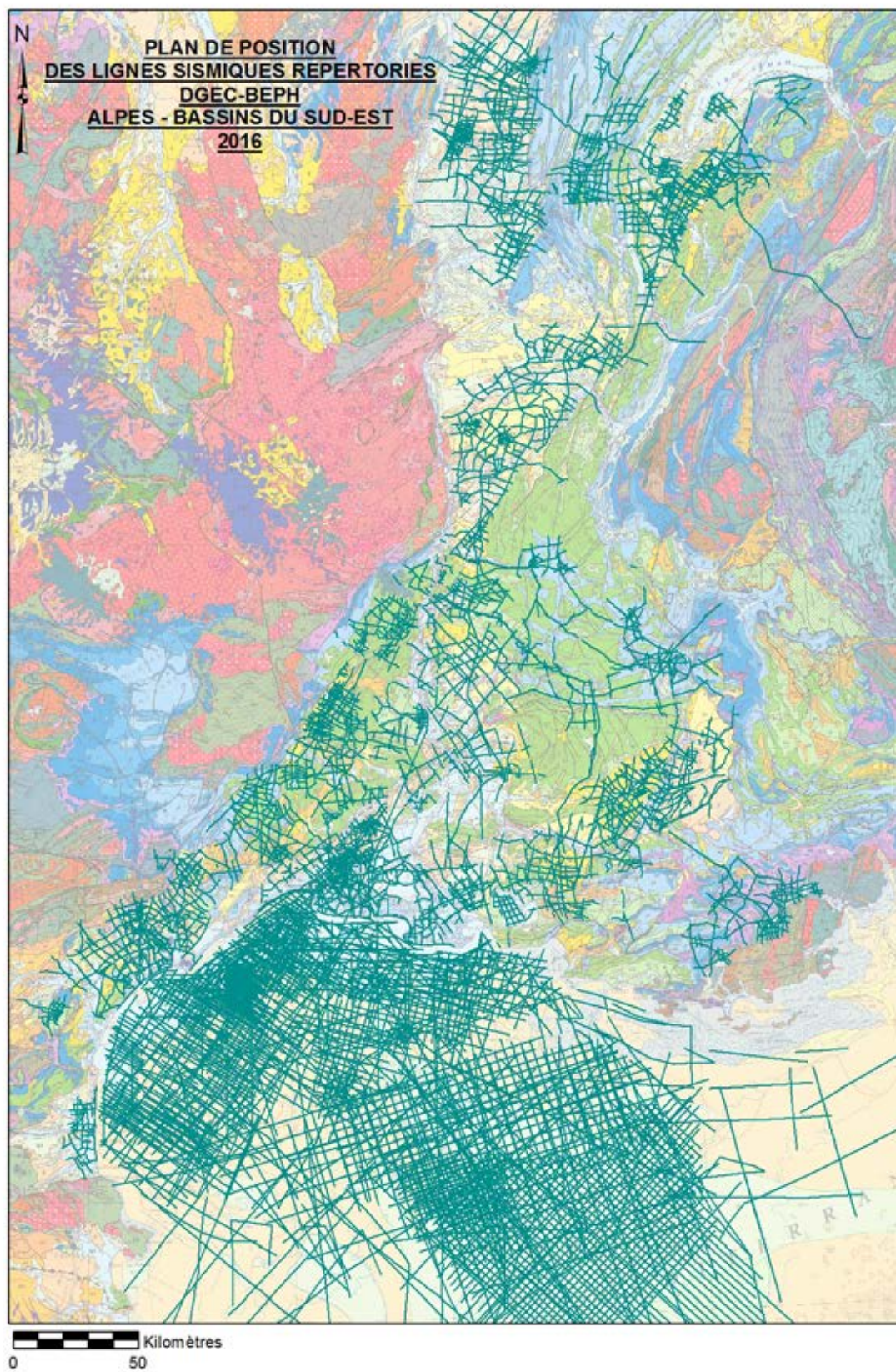
Données aréo : rien en gamma, ni en électromag ; seules quelques données éparse disponibles sur InfoTerre.

Reseau RGF Alpes-Bassin du SE

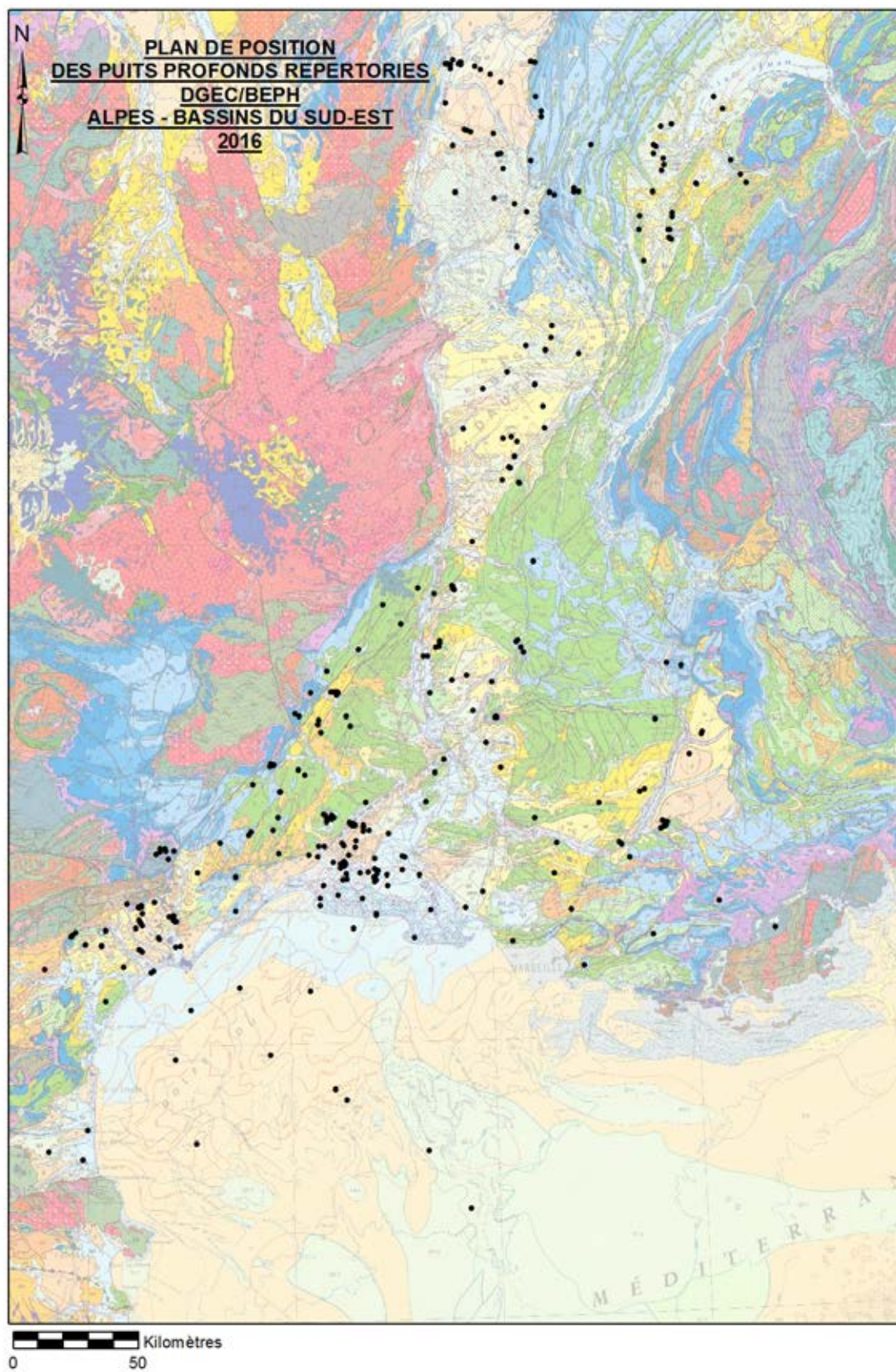




Carte de localisation des stations sismologiques du projet en cours AlpArray (financement ANR 2015-2018 pour la partie Française) plus les profils CIFALPS1 (terminé) et CIFALPS2 (début été 2017, financé). Doc A. Paul, 2016.



Plan des profils sismiques référencés dans InfoTerre (source : <http://infoterre.brgm.fr/>)



Plan des Forages référencés dans Infoterre, hors forages Lyon-Turin
(source : <http://infoterre.brgm.fr/>)