

# TERRE ET PLANETES TELLURIQUES : STRUCTURE, HISTOIRE, MODELE

*Président par intérim*  
*Philippe Charvis*

*Président*  
Yves Lagabrielle

*Membres de la section*  
Olivier Allard  
José Atienza  
Olivier Beyssac  
Nathalie Bolfan-Casanova  
Frédéric Christophoul  
Gilles Drouet-Malewitch  
Dominique Gibert  
Damien Guillaume  
Stéphane Guillot  
Jannick Ingrin  
Olivier Lacombe  
Bernard Marty  
Anders Meibom  
Anne Paul  
Yanick Ricard  
Delphine Rouby  
Patrick Schibler  
Thomas Servais  
Sylvie Vergnolle

## PREAMBULE

Les thématiques de la section 18 à l'interface avec d'autres sections restent celles qui avaient été identifiées dans le rapport de conjoncture en 2006. Ces thématiques sont la formation du système solaire et la planétologie à l'interface avec la section 17 «Système solaire et univers lointain», l'étude des paléo-environnements à l'interface avec la section 19 «Système terre enveloppes superficielles», des processus sédimentaires, d'érosion et d'évolution des reliefs à l'interface avec la section 20 «Surface continentale et interfaces», et d'une partie de la paléontologie à l'interface avec la section 29 «Biodiversité, évolution et adaptations biologiques : des macromolécules aux communautés». C'est principalement dans ce dernier cas que de nombreux jeunes chercheurs sont candidats aux concours de chargés de recherche en section 29 et 18.

La section 18 comprend 321 chercheurs dont la moyenne d'âge est de 46 ans (197 chargés de recherche et 124 directeurs de recherche). La répartition des genres est la suivante : 27% femmes, avec une moyenne d'âge de 43,5 ans. Mais la répartition entre les corps est inégale avec 33% de femmes dans le corps des CR et seulement 19% dans le corps des DR.

La répartition géographique des chercheurs de la section 18 est de 31,5% en IDF, 35,8% dans le Sud-est, 11,8% dans le Nord-est, 11,5% dans le Nord-ouest, 8,7% dans le Sud-ouest et enfin 0,6% dans les DOM-TOM et à l'Etranger.

29 laboratoires sont rattachés à la section 18 dont 23 en rattachement principal.

Laboratoires	Effectif CNRS	Effectif total
IPG Paris	44	138
LMTG Toulouse	23	90
LSCE Gif*	29	88
CEREGE Aix*	32	76
Geosc. Montpellier	35	68
LMV Clermont	15	63
Géoazur Nice	16	60
LGIT Grenoble	21	59
Géosciences Rennes	25	57
ISTO Orléans	13	55
IPG Strasbourg	15	55
ISTEP Paris	09	53
MNHN CR2P*	12	47
Géosystèmes Lille	06	45
Biogéosciences Dijon*	08	37
PEPS Lyon	10	36
IDES Orsay	05	36
Dom. Océan. Brest	14	36
UMET Lille*	10	33
LPGN Nantes	05	33
LGCA Grenoble	08	31
M2C Caen*	02	31
ENS Lyon	11	29
CRPG Nancy	12	27
G2R Nancy	07	27
DTP Toulouse	14	24
ENS Paris	16	20
MNHN LMCM	04	14
IMPMC Paris*	07	29
<b>Total</b>	<b>421</b>	<b>1368</b>

Tableau 1 : effectif des laboratoires rattachés à la section 18 (\* laboratoires en rattachement secondaire).

Ce rapport de conjoncture se place dans la continuité des réflexions sur les grands enjeux scientifiques, instrumentaux, sociétaux et industriels des Sciences de la Terre (ST) qui ont été menées au cours du colloque de prospective de l'INSU en Sciences de la Terre (Aussois 2008). Ainsi, son organisation s'inscrit dans la logique définie au cours de ce colloque, c'est-à-dire autour de 5 axes scientifiques, structurés en comités thématiques chargés d'assurer en continu (i) la réflexion scientifique prospective du thème, (ii) la définition des actions incitatives et (iii) les relations inter organismes (publiques ou privés) nécessaires au développement du thème. Nous remercions les différents comités thématiques qui ont tous apportés leur contribution à ce rapport de conjoncture.

Les thèmes sont : (1) la formation et fonctionnement des planètes ; (2) Terre interne et Terre externe, processus et couplages ; (3) les risques et catastrophe telluriques ; (4) la Terre vivante ; (5) les ressources géologiques et le développement durable.

## 1. FORMATION ET FONCTIONNEMENT DES PLANETES

La communauté Sciences de la Terre participe largement à la recherche concernant la formation et l'évolution du système solaire et des planètes, selon les disciplines suivantes : (i) la cosmochimie, approche

typiquement ST (géo-chimie élémentaire et isotopique), (ii) la minéralogie et pétrologie des objets extraterrestres (micrométéorites, météorites, comètes, échantillons ramenés par des missions spatiales, expériences en laboratoire visant à reconstituer les conditions de formation du système solaire, la haute température et la basse pression, ou dans l'établissement des caractéristiques physico-chimiques des glaces), (iii) la géophysique et la géochimie internes, qui reconstituent la formation des corps planétaires et leur évolution précoce, et (iv) l'étude de la Terre primitive, c'est-à-dire de notre planète durant le premier milliard d'années, faisant appel à des approches multidisciplinaires comme la géologie de terrain, la pétrologie et la géochimie des roches très anciennes, et la nanoanalyse des premières traces de vie. D'autre part, la communauté ST est largement présente dans l'exploration du système solaire, et participe pleinement à la caractérisation et à l'analyse des échantillons ramenés de l'espace par des missions spatiales : Apollo et Luna (Lune), Stardust (grains cométaires) ou Genesis (matière solaire), et est partie prenante dans plusieurs projets spatiaux (exploration d'astéroïdes, des satellites de Jupiter et de Saturne) et dans des missions phares (par exemple Chemcam sur Mars Surface Laboratory).

Ce thème regroupe environ 173 chercheurs répartis dans une vingtaine de laboratoires.

### 1.1. FORMATION DU SYSTEME SOLAIRE

Le contexte astrophysique de la formation du système solaire est depuis quelques années bien alimenté par les observations des disques circumstellaires des étoiles en formation. L'identification des différentes étapes de l'évolution minéralogique dans le disque protoplanétaire est une des clés de la compréhension de la formation de notre système solaire. Dans ce contexte, l'étude des météorites primitives, des micrométéorites ou des poussières cométaires et leur confrontation avec les observations des astrophysiciens représentent un enjeu majeur.

D'une part, la communauté française joue un rôle très actif dans l'interprétation des chronomètres radioactifs à courte période (10Be et 7Be et d'autres à développer 53Mn, 107Pd, 14C, etc) pour l'établissement d'une échelle chronologique de la formation du système solaire.

D'autre part, la distribution des isotopes stables des éléments légers (e.g. H, C, N, O) et la mesure des « anomalies » isotopiques (variations indépendantes de la masse ; Os, O, Cu, Zn, Fe, etc) ont une implication cruciale pour les origines des atmosphères planétaires. L'effort particulier développé depuis quelques années pour étudier et quantifier la nanostructure des phases carbonées (matière organique, nano-diamants, graphites...) doit être aussi consolidé.

## 1.2. EVOLUTION PLANETAIRE PRECOCE : DES PLANETESIMAX A LA TERRE PRIMITIVE

L'étude pétrologique et géochimique des météorites permet aussi de remonter aux processus de différenciation, métamorphisme et altération ayant affecté les planétésimaux. A une échelle encore plus grande, les météorites martiennes (SNC) nous renseignent sur l'évolution magmatique apparemment très complexe d'une planète plus petite que la Terre. Ces SNC continueront de jouer un grand rôle dans la définition des missions géochimiques martiennes. Enfin, l'expertise minéralogique de la communauté ST est prépondérante dans la reconnaissance par orbiteur de la composition de Mars (Mars Express) et de la présence passée d'eau.

### 1.3. TERRE PRIMITIVE

Tout pose problème quand il s'agit de décrire l'évolution de la Terre au cours de la première centaine de millions d'années de son existence. La formation d'un océan magmatique, la différenciation du manteau, la formation du noyau, l'apparition de la croûte océanique et des premières croûtes continentales... autant de mécanismes où les conditions initiales semblent avoir joué un rôle central. Quelles sont les contributions relatives de ces conditions sur la structure actuelle de la Terre profonde : sa taille qui dicte sa gravité, sa vitesse d'accrétion, sa teneur en radio-isotopes disparus qui dictent le gradient de température et la convection durant les premières centaines de millions d'années, sa composition chimique qui dicte la taille de son noyau et donc l'évolution de son champ magnétique ?

Il existe plusieurs façons d'aborder ces questions. (1) Par l'analyse pétrologique, minéralogique et géochimique des roches sédimentaires et cristallines les plus vieilles et les mieux conservées sur la Terre, au-delà de 3 milliards d'années. Cela permettra de répondre à la question de l'origine et la nature de la première croûte, par exemple, via les mesures hyper précises des systèmes isotopiques de l'Hf et du Nd. (2) Par les modèles théoriques qui décrivent le bombardement extraterrestre, la ségrégation du noyau, la convection mantellique, les processus de production et d'évacuation de la chaleur interne, l'existence et l'épaisseur de l'océan magmatique, l'évolution du degré d'oxydation du manteau au cours des âges géologiques, la composition chondritique de la Terre à une échelle globale, le calendrier de la mise en place des grandes structures du manteau. (3) Par des expériences de laboratoire qui reconstituent des conditions de haute pression et de haute température pour étudier les changements de phase en profondeur, les solubilités des éléments volatils enfouis dans le manteau via la tectonique des plaques, la réduction des silicates à l'origine de l'extraction du métal constituant aujourd'hui le noyau.

### 1.4. TERRE INTERNE

Un des enjeux majeurs de l'étude de la Dynamique Interne de la Terre est d'observer et expliquer

la structure thermique et chimique du manteau en tenant compte de l'évolution de la planète depuis la formation du noyau. Pour cela, il faut faire converger différentes disciplines comme la géochimie, identifiant des réservoirs cachés et leur caractéristiques chimiques et isotopiques, la pétrologie expérimentale qui apporte les données sur les coefficients de partage, les processus et les conditions de la différenciation terrestre, la minéralogie physique fournissant des contraintes sur les propriétés physiques de densité et de structure des minéraux (données importantes pour contraindre le géo-therme), la sismologie apportant les observations sur l'état de fusion ou non et les anomalies de vitesses, la modélisation analogique, et enfin la modélisation numérique qui permet de relier toutes les contraintes afin d'aboutir à un modèle global. Dans le domaine de la jeune Terre interne, les efforts de modélisation ont porté sur les mécanismes de la ségrégation du métal, la convection à haut nombre de Rayleigh, la dynamique des Océans magmatique, l'état thermique et la différenciation des planétésimaux.

### 1.5. DYNAMIQUE DU MANTEAU

Concernant la dynamique du manteau, un point crucial est de comprendre la fusion partielle du manteau et le filtre qu'elle exerce sur les données géochimiques et sismologiques. Pour cela les expériences de pétrologie expérimentale ainsi que l'étude des inclusions vitreuses de magmas primaires apportent des informations clés. Il faut néanmoins aussi mieux appréhender les processus de transport et de focalisation par l'expérience et la modélisation. Dans cette optique, l'expertise dans la lecture des roches naturelles du manteau reste un atout précieux en France.

Le rôle joué par les fluides dans le système C-O-H est aussi important dans la dynamique d'une planète, et d'actualité : quel est le bilan de leur recyclage au niveau des zones de subduction, par quels mécanismes se déplacent-ils dans le manteau et quels sont leurs effets sur les propriétés du manteau comme sa métasomatisme, sa viscosité, son anisotropie et atténuation mais aussi sa conductivité électrique ? Encore un domaine où la géophysique, la géochimie et la pétrologie expérimentale se rejoignent avec la modélisation.

Dans le manteau plus profond, le rôle joué par la découverte de récentes transitions comme la transition de spin et l'existence de la post-pérovskite indiquent de nouvelles voies pour comprendre la structure du manteau profond au niveau de la limite noyau-manteau coïncidant avec la couche D", caractérisée par de fortes hétérogénéités de vitesse avec des zones partiellement fondues et une forte anisotropie. Mieux imager cette zone permettra d'améliorer nos interprétations sur la structure chimique, sismique et thermique de la base du manteau. Les structures observées sont-elles héritées de la cristallisation de l'océan magmatique ? Ou bien résultent-elles de la subduction plus tardive ? De la fusion ? Ou simplement d'un changement de phase ? La question reste ouverte.

## 1.6. NOYAU

Comprendre la turbulence de la géodynamo implique l'étude des liens avec les phénomènes comme la variation séculaire du champ magnétique, les secousses magnétiques et les inversions, le bilan énergétique et l'évolution de la géodynamo aux échelles de temps géologiques. On note que l'observation du champ magnétique terrestre depuis l'espace sera possible avec la mission SWARM au début de la prochaine décennie.

La structure de la graine et son processus de cristallisation devront aussi être plus amplement abordés. Pour cela il faudra étendre notre connaissance des diagrammes de fusion du fer avec éléments légers aux conditions du noyau. La question de la composition du noyau reste ouverte notamment la nature des éléments légers. Des éléments de réponse peuvent aussi venir de l'étude de la structure et l'équation d'état des alliages de fer sous conditions extrêmes. L'étude de l'équation d'état du fer solide et de l'anisotropie de la graine apportera des contraintes sur la composition et la température du noyau. Il est clair que dans ce domaine la modélisation ab initio revêt un intérêt tout particulier.

## 1.7. DEVELOPPEMENTS TECHNIQUES ET EQUIPEMENTS

Imager quantitativement la Terre interne nécessite le développement de nouvelles techniques de sismologie (ex : tomographie à partir du bruit, tomographie de l'atténuation sismique, modélisation des amplitudes des ondes...), le développement de réseaux d'observation pérennes (ex : stations fonds de mer, réseaux denses à terre, observations spatiales).

Dans le domaine de la pétrologie expérimentale l'avènement de presses gros volumes sur les anneaux synchrotron de dernière génération va permettre d'étudier in situ les propriétés physiques et chimiques des matériaux terrestres à haute pression et haute température. Il sera particulièrement important d'augmenter la ressource en ingénieurs de recherche voués à ces expériences synchrotron.

## 2. TERRE INTERNE ET TERRE EXTERNE, PROCESSUS ET COUPLAGES

Un défi majeur des Sciences de la Terre est la description du fonctionnement et de l'évolution temporelle de la surface de la Terre comme la résultante de nombreux processus mettant en relation la Terre interne avec les enveloppes superficielles : lithosphère, biosphère, hydrosphère, atmosphère. Ces processus sont à l'œuvre à travers une large gamme de fréquences temporelles, depuis le milliard d'années jusqu'à l'échelle séculaire.

## 2.1. PROCESSUS COUPLANT LES ENVELOPPES SUPERFICIELLES AVEC LA TERRE INTERNE

Il s'agit de l'étude de la machine tectonique, de la mesure et de la compréhension des causes et des conséquences des mouvements, à la fois horizontaux (mouvement des plaques) et verticaux (surrection des chaînes de montagnes, activité des zones de subduction). Les principales questions scientifiques sont :

- Quelle est l'origine des forces qui contrôlent les déformations et quelle est la rhéologie de la croûte et de la lithosphère ? Quel est le rôle de la convection mantellique sur le niveau des océans, sur les reliefs, les processus d'érosion, etc... Quelle est la dynamique des processus aux frontières de plaques en domaine océanique (dorsales, failles sous-marines, subduction), et quelles en sont les conséquences ? Quelle est l'évolution pétrographique et thermique du manteau et de la lithosphère ? Peut-on imager la limite lithosphère-asthénosphère ?

- Quels sont les flux du recyclage « surface-Terre interne » au travers des fluides et des gaz ? Comment s'effectue le transfert des fluides au niveau des zones de subduction et comment naît la diversité des laves d'arc ? Pour cela l'étude des inclusions vitreuses mais aussi l'expérimentation associées à la modélisation numérique peuvent apporter des réponses clés et fournir des modèles de formation du volcanisme de subduction.

- Quelle est la dynamique des processus érosifs (continentaux et côtiers), quels sont les flux de matière en jeu et quel est leur impact sur les cycles biogéochimiques à toutes les échelles de temps et d'espace ? Comment fonctionnent les processus de couplages entre tectonique, relief, climat, érosion, altération chimique ? Quels contrôles le relief exerce-t-il sur le bilan de matières (solides et dissoutes) transférées des continents aux océans ? Quelles sont les causes de la variabilité de ces flux ?

La compréhension de ces processus et de leur évolution temporelle (âges, vitesses, constantes de temps des différents processus) nécessite l'acquisition de données à différentes échelles de temps et d'espace (tectonique, sédimentologie-stratigraphie, pétro-géochimie, imagerie géophysique, y compris dans la partie profonde de la croûte et de la lithosphère, géomorphologie à haute résolution ; géochronologie à haute résolution).

De même, les efforts de modélisation numérique et analogique de ces systèmes sont nécessaires et doivent être soutenus tout en restant en phase avec l'observation du milieu naturel.

## 2.2. ÉVOLUTION BIOGEOCHIMIQUE ET CLIMATIQUE DE LA SURFACE DE LA TERRE : LES COUPLAGES TERRE SOLIDE - CLIMAT - CYCLES BIOGEOCHIMIQUES ET ÉVOLUTION DE LA VIE

Les changements à basse et haute fréquence du climat et de l'environnement global ne peuvent se comprendre que via l'étude des nombreux processus agissant entre les diverses sphères internes et externes du système Terre, et constituent un continuum depuis le milliard d'années jusqu'aux échelles millénaires et séculaires. Les points suivants doivent être particulièrement soutenus :

- Compréhension de l'enregistrement et des causes de l'évolution à long terme de l'environnement de la surface terrestre (continent, océan, atmosphère, climat), du rôle des évolutions biologiques majeures dans cette évolution globale, du rôle des contraintes et des couplages géodynamiques (création et destruction de reliefs, déplacements des plaques, ouverture et fermeture de passages océaniques ...) sur l'évolution géochimique, biologique et climatique de la Terre.

- Sont concernés également l'enregistrement et l'étude des causes et conséquences des modifications brutales de l'environnement terrestre : les périodes de crises biologiques, d'accidents géochimiques et climatiques de l'Archéen au Quaternaire. Préciser et quantifier les flux de matière est essentiel pour les modèles de forçage globaux.

## 2.3. MESURE PRÉCISE DU TEMPS GÉOLOGIQUE: CONTRAINDRE LES ÂGES ET LA DYNAMIQUE DES PROCESSUS

La mesure du temps est sous-jacente à de multiples thèmes développés ici, en particulier ceux ci-après. Les techniques de datations 'classiques' doivent être soutenues et devenir accessibles au travers de réseaux nationaux. En parallèle, un effort particulier devra soutenir le développement de techniques plus récentes ou en devenir, telles la thermochronologie haute résolution et les méthodes OSL et  $3\text{He}/4\text{He}$  qui sont en plein développement actuellement. Ceci doit se faire au travers de laboratoires regroupant spécialistes physiciens et chimistes des processus mis en jeu, et géologues utilisateurs.

## 2.4. COMMUNAUTÉ IMPLIQUÉE

Laboratoire	Chercheurs et enseignants-chercheurs
IPG Paris	~100
LMV Clermont	~60
IPG Strasbourg	~55
Géosciences Montpellier	~50
Géosciences Rennes	~50
LMTG Toulouse	~50
ISTEP Paris	~40
LGCA Grenoble	~30
LGIT Grenoble	~30
Géoazur Nice	~30
CRPG Nancy	~25
Domaines Océaniques Brest	~25
ISTO Orléans	~20
ENS Lyon	~20
CEREGE Aix-Marseille	~20
ENS Paris	~15
LPGN Nantes	~15
DTP Toulouse	~10
IDES Orsay	~10
G2R Nancy	~10
IMPMC Paris	~06
EPOC Talence	~05
<b>Total</b>	<b>~680</b>

Tableau 2 : Laboratoires et nombre indicatif de chercheurs et enseignants-chercheurs potentiellement impliqués dans le thème

## 3. ALÉAS, RISQUES ET CATASTROPHES TELLURIQUES

Ce chapitre est principalement basé sur le compte-rendu de la journée de prospective organisée par le comité thématique 3 « Aléas, Risques et Catastrophes Telluriques » de l'INSU (Novembre 2009). Il faut noter que cette thématique a fait l'objet depuis 2005 de deux programmes spécifiques de l'ANR, d'abord le programme CATELL (2005-2007), puis le programme RISKMAT (2008-2009). Depuis 2010, il n'y a plus de programme spécifique pour l'étude des aléas et risques naturels même si cette année, à la suite du séisme dramatique d'Haïti, un appel d'offre d'un nouveau type dit « flash », a été mis en place par l'ANR pour permettre de répondre dans l'urgence aux questions scientifiques que posent cette catastrophe mondiale.

La thématique Aléas et Risques naturels ayant un très fort impact sociétal, il est important que les travaux menés dans le cadre de cette thématique suivent ou contribuent à développer une approche transverse, impliquant non seulement la communauté des sciences de la terre (étude des processus et quantification de l'aléa), mais aussi les sciences de l'ingénieur et la mécanique (vulnérabilité des bâtiments), et certains secteurs des sciences humaines et sociales (vulnérabilité des populations). Dans les domaines qui se rapprochent de la quantification du risque, il est nécessaire de tisser des liens avec les

organismes en charge de ces sujets (BRGM, IRSN, CETE, AFPS ...).

Des informations scientifiques importantes peuvent être acquises immédiatement après certains grands séismes. Pour permettre ces acquisitions, l'INSU s'est doté d'une cellule d'intervention post-sismique qui organise, le cas échéant, l'intervention des équipes et des équipements français sur le terrain. Cette cellule a particulièrement bien fonctionné lors des crises sismiques de L'Aquila en avril 2009, puis d'Haïti et du Chili au début de l'année 2010.

### 3.1. SEISMES

Les objectifs principaux sont la caractérisation précise et la modélisation du fonctionnement des failles sismogènes au cours des différentes phases du cycle sismique, le développement de modèles de source plus réalistes et la quantification de leurs incertitudes, la recherche et la compréhension physique des propriétés génériques des failles et des séismes, mais aussi la modélisation plus robuste des mouvements du sol et de la vulnérabilité physique des structures.

Sur le plan observationnel, ceci nécessite l'augmentation de la densité, de la précision et de la continuité de l'acquisition des données, notamment en développant :

- des mesures haute résolution et continues des déformations au cours du cycle sismique avec des réseaux régionaux multiparamètres (sismomètres, GPS, inclinomètres) permanents sur certains chantiers ciblés ;
- des analyses InSAR et GPS pour l'étude des déformations de faible amplitude et large échelle spatiale, et le suivi des déformations lentes ;
- les méthodes d'analyse du GPS haute fréquence et des données sismologiques issues de capteurs en forage afin d'appréhender l'ensemble du spectre des déformations ;
- des méthodes de corrélation d'images satellitaires optiques et radar afin de valoriser les données des futurs satellites d'observation et d'en extraire des mesures de déformation du sol complémentaires aux mesures géodésiques ;
- des réseaux plus denses d'enregistrement sismologique en mer, où les données disponibles sont encore trop rares.

Certains aspects analytiques devront par ailleurs être renforcés, comme :

- le développement de nouvelles méthodes paléosismologiques permettant l'identification et la caractérisation des forts séismes passés ;
- la datation des objets et processus géologiques récents ;
- les études en laboratoire des processus de fluage et de cicatrisation des failles.

Enfin, le développement de nouveaux modèles physiques est nécessaire, notamment :

- de nouveaux modèles physiques de failles et de ruptures prenant en compte les variations non linéaires des propriétés des failles et du milieu, des géométries de faille réalistes, l'existence de certaines propriétés génériques, etc;

- des modèles d'inversion sismologiques plus réalistes prenant en compte les propriétés de la faille rompue et du milieu, associés à la quantification de leurs incertitudes ;

- des modèles de transferts de contraintes (statiques, dynamiques, hydromécaniques etc...) prenant également en compte les propriétés complexes et non linéaires des failles et du milieu ;

- des modèles permettant de restituer les hautes fréquences des mouvements du sol.

- des modèles d'estimation des aléas et des risques prenant en compte l'ensemble du spectre d'information sur les sources de ces aléas et risques, ainsi que les incertitudes épistémiques, liées à notre manque de connaissance.

### 3.2. VOLCANISME

Les questions clefs qui se posent à la communauté volcanologique sont :

- la compréhension du fonctionnement physique des systèmes volcaniques et le rôle des fluides volcaniques ;

- le déchiffrement et l'interprétation des précurseurs volcaniques, notamment au travers d'études multiparamètres alliant géophysique, géochimie, pétrologie et modélisation ;

- le développement des liens quantitatifs entre processus et produits éruptifs, par la mise en œuvre d'études couplant les aspects du terrain aux modélisations théoriques, en passant par des mesures fines et des expérimentations en laboratoire. Les réponses à ces questionnements passent par la mise en œuvre de nouveaux outils tels que, entre autres, la télédétection satellitaire ou in situ. L'actualité en Islande, par exemple, a démontré l'intérêt de la surveillance spatiale non seulement pour la caractérisation de la dynamique des éruptions mais aussi pour la quantification des bilans de masse des matériaux injectés dans l'atmosphère, avec une forte implication pour le climat.

En pratique, il est nécessaire d'identifier des cibles thématiques et/ou géographiques fédératives, s'appuyant en priorité sur les volcans dont l'activité est surveillée par la France.

### 3.3. LES MOUVEMENTS DE TERRAINS

La compréhension des processus physiques et la modélisation des instabilités gravitaires, de l'initiation de la rupture à la déstabilisation, en milieu aérien ou sous-marin, nécessitent la prise en compte :

- de la complexité naturelle des systèmes gravitaires, entre autres à travers la quantification et la modélisation de l'effet des sollicitations sismiques, volcaniques, climatiques ou anthropiques ;

- de la topographie locale, de la fracturation du milieu, du rôle des fluides (eau, gaz, ...), des processus d'érosion et dépôt, des effets thermiques et de l'hétérogénéité des matériaux mis en jeu.

Pour cela il est nécessaire :

- d'acquérir des données multi-paramètres, notamment sur la caractérisation 3D du milieu et la dynamique des différents types d'instabilités à différentes échelles d'espace et de temps ;
- de développer des outils et modèles pour interpréter les données ;
- de déterminer les lois rhéologiques adaptées aux différents types d'instabilités, tant dans la phase d'endommagement que dans les phases de rupture et d'écoulement.
- Enfin, un axe de recherche majeur porte sur le développement d'outils d'estimation des aléas liés aux instabilités gravitaires aux différentes échelles (locale, communale, régionale) basés sur les connaissances de pointe dans le domaine ainsi que sur l'estimation des incertitudes inhérentes aux modèles utilisés.

### 3.4. INTERACTIONS ENTRE ALEAS SISMIQUES, VOLCANIQUES ET GRAVITAIRES

Il existe de nombreuses interactions possibles entre crises sismiques, éruptions volcaniques, déclenchements d'instabilités gravitaires, tsunamis, etc. L'exemple le plus courant est, dans le cas d'un séisme majeur, la déstabilisation du matériel sédimentaire sur pentes sous-marines qui peut lors de son effondrement engendrer un tsunami. Il est donc important, d'une part d'avoir des systèmes d'observation multiparamètres adaptés des systèmes actifs (failles, volcans, instabilités gravitaires), et d'autre part de développer la modélisation de l'initiation des processus (principalement les glissements de terrain sous l'effet des accélérations sismiques et ou de l'augmentation de pression de fluides).

### 3.5. DEVELOPPEMENTS INSTRUMENTAUX ET METHODOLOGIQUES

Pour atteindre les objectifs scientifiques listés ci-dessus, un certain nombre de moyens instrumentaux, techniques et logistiques devront être développés dans la communauté nationale, éventuellement en lien avec d'autres établissements :

- Parc national de télédétection par laser Lidar, à terre et aéroporté (en relation avec l'IGN) ;
- Développement d'une imagerie spatiale dédiée à nos problématiques (c'est-à-dire avec un temps de retour court entre les prises de vue) (en relation avec le CNES) ;
- Développement de logiciels de traitement des données GPS plus performants (CNES) ;
- Sondeurs multifaisceaux portables pour cartographier les petits fonds sous-marins (instabilités gravitaires, failles actives) ;
- Nappes denses de capteurs sismologiques, GPS mobiles terre et mer (TGIR RESIF), notamment en champ très proche.
- Outils d'investigation géophysique de sub-surface (électrique, GPR, EM, PS, MT, etc...).
- Développement d'un laboratoire de datation par luminescence optique (OSL) ;

Dans certains cas, les systèmes d'acquisition ou les bases de données sont disponibles dans d'autres établissements, mais leur accès devrait être facilité dans le cadre de conventions spécifiques :

- MNT haute résolution de l'IGN ;
- moyens océanographiques ;
- données bathymétriques du SHOM.

Il est capital d'avoir les moyens humains pour la maintenance des instruments existants et souhaités, pour leur déploiement, et pour la mise en forme des données obtenues avec ces instruments, en dialogue permanent avec les chercheurs. Cet effort pourrait être réalisé au travers de certains laboratoires ou de services nationaux.

La construction de bases de données homogènes et ouvertes au niveau national doit être envisagée pour toutes les données acquises avec les moyens nationaux. Ces bases existent et sont en évolution permanentes (pour les rendre plus efficaces et permettre de stocker l'ensemble des données) pour les données sismologiques et géodésiques (TGIR). Elles sont en revanche totalement à développer pour les images satellitaires et aériennes existantes; mais aussi plus généralement pour toutes les données d'images acquises dans la communauté, en particulier sismiques, géophysiques de subsurface, géologiques, etc.

La compréhension des processus implique clairement le développement de quelques « laboratoires naturels » instrumentés en continu sur des temps longs (au moins 10 ans), en complément des cibles temporaires, permettant l'acquisition de données denses, permanentes, longues, multidisciplinaires et mutualisées. Un premier pas a été fait avec la création d'un label « Site instrumenté » par l'INSU ; toutefois, pour l'instant, les moyens financiers indispensables sont inexistantes. Il est aussi important de développer l'observation pérenne en mer, où elle est quasiment inexistante, en particulier dans le cadre des projets européens comme EMSO.

La mise en place du nouvel Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versants (OMIV) dédié à l'étude des glissements gravitaires « lents » est une avancée importante qui doit être le point de départ d'une mise en place plus large de systèmes d'observation et de surveillance des instabilités gravitaires.

Enfin il existe un déficit assez important de recrutement de chercheurs dans certains domaines où la communauté actuelle est réduite, soit parce que cette communauté est nouvelle et en voie de développement, soit parce qu'elle s'est fortement réduite dans les dernières décennies. Parmi ces domaines où des forces nouvelles sont nécessaires, la sismologie de la source ; la dynamique de la rupture ; l'imagerie géophysique haute résolution, notamment de la sub-surface, de la croûte et de la lithosphère ; la tectonique active ; la météorologie et l'imagerie satellitaire ; les datations des objets récents ; la modélisation des mouvements du sol ; la vulnérabilité physique.

Certains de ces recrutements devraient être préparés afin de permettre le décroissement et l'élargissement des approches évoquées précédemment.

Finalement dans le domaine du risque, les aspects éducatifs sont primordiaux afin de sensibiliser les jeunes, et pour cela, un appui à des programmes éducatifs de type « Sismo à l'école » est indispensable.

Laboratoire	Chercheurs et E-C
IPG Paris	45
LMV Clermont	22
IPG Strasbourg	15
Géosciences Montpellier	6
Géosciences Rennes	2
LMTG+DTP Toulouse	16
LGIT+LGCA Grenoble	40
Geoazur Nice	27
Domaines Océaniques Brest	5
ISTO Orléans	8
CEREGE Aix-Marseille	3
ENS Paris	6
LPGN Nantes	2
IDES Orsay	3
Total	200

Tableau 3 : Laboratoires et nombre indicatif de chercheurs et enseignants/chercheurs potentiellement impliqués dans le thème 3 « Aléas, Risques et catastrophes telluriques ».

## 4. TERRE VIVANTE

Par nature la 'paléontologie' est une science à la charnière de deux domaines : Sciences de la Vie et Sciences de la Terre. Les chercheurs paléontologues se retrouvent donc dans au moins 5 sections du Comité National (18, 19, 20, 29, 31) et dans 4 instituts (INSU, InEE, InSB, InSHS). Une réflexion parmi les paléontologues a mis en évidence quelques thématiques majeures à développer dans les années à venir, parmi lesquelles :

- évolution et développement («evo-devo ») ;
- la dynamique de la biodiversité au cours des temps géologiques ;
- l'analyse et la mise en place des préservations exceptionnelles ;
- autres axes classiques : notamment la biostratigraphie.

De plus, il a été noté que les plateformes scientifiques les plus importantes sont les collections paléontologiques, qui méritent une attention particulière dans les années à venir, notamment en relation avec le recrutement du personnel technique et scientifique. Les collections, souvent universitaires, mais aussi distribuées à travers les différents musées, constituent effectivement un «instrument national» qu'il convient de soutenir massivement, et surtout de reconnaître officiellement.

Les paléontologues utilisent également de plus en plus de technologies de pointe (telles que spectromètres de masse, NanoSIMS, rayonnement synchrotron à l'ESRF et bientôt à SOLEIL, etc) et une utilisation des équipements nationaux techniques est ainsi appelée à devenir de plus en plus importante. Le paléontologue est ainsi devenu un chercheur à l'interface de plusieurs disciplines, côtoyant souvent, notamment, géochimistes et

géomicrobiologistes.

La géomicrobiologie est un axe émergent plutôt qu'une discipline traditionnelle. Pour développer ce domaine, il serait intéressant d'étudier de manière ambitieuse des sites d'intérêt géologique pouvant faire l'objet d'une approche intégrée en géomicrobiologie. Ces études ancrées sur l'observation de terrain devraient correspondre à de grands problèmes actuels des Sciences de la Terre parmi lesquels : processus biologiques impliqués dans les grands cycles géochimiques (C, N, P, Fe etc...), sites de stockage profond (CO<sub>2</sub>, déchets nucléaires), altération de la croûte océanique et études des biosphères intra-crustales océaniques ou continentales, serpentinisation à basse-température et génération d'hydrogène, cycles biogéochimiques dans les sédiments océaniques, hydrates de gaz, oxydation anaérobie du méthane, fonctionnement biogéochimique de bassins versants, formation de Gisements sédimentaires par le vivant (BIFs, stromatolites etc...), drainages miniers acides, analogues actuels de minéralisations anciennes...

Le comité thématique Terre Vivante de la division Sciences de la Terre de l'INSU, créé à la suite des prospectives des Sciences de la Terre (Aussois, 2008) a pour rôle d'animer et, peut être plus que tout autre comité thématique, de structurer la communauté scientifique s'intéressant aux interactions actuelles et passées entre la géosphère et la biosphère.

Ce comité regroupe des chercheurs de la communauté traditionnellement bien identifiée de la paléontologie ainsi que des chercheurs provenant de la géomicrobiologie. Ces deux communautés s'intéressent à l'histoire de la biosphère au cours des temps géologiques (impact des événements géologiques et/ou des variations des conditions paléoenvironnementales sur la biosphère), mais aussi à l'influence de la biosphère sur l'histoire physique et chimique de la surface de la Terre. Il s'agit également de comprendre le rôle du vivant dans les grands cycles géochimiques actuels, ce qui permettra notamment de mieux comprendre ce rôle dans le passé.

Certains programmes de l'INSU et du CNRS ont en partie concerné et stimulé la communauté *Terre vivante* ces dernières années : Geomex, Origines des Planètes et de la Vie, Eclipse. De nombreux chantiers restent cependant inexplorés et suscitent de nombreux espoirs en termes de retombées scientifiques. Ils sont pour l'essentiel mentionnés dans les prospectives des Sciences de la Terre.

L'étude de la *Terre vivante* nécessite par essence une approche hautement interdisciplinaire regroupant les savoirs et savoir-faire des géologues, des biologistes ainsi que des chimistes et des physiciens. Le couplage entre caractérisation des échantillons géologiques et paléontologiques par des techniques modernes d'imagerie, de géophysique ou de géochimie (notamment isotopique) et l'approche moléculaire des biologistes (séquençage, phylogénie) doit ainsi être renforcé. Les prospectives ST ont pour cela clairement souhaité le développement de fortes et indispensables interfaces avec les autres instituts du CNRS, notamment l'InEE, pour la mise en

place des futures actions. Ceci a motivé le choix des membres du comité thématique Terre Vivante qui a lancé un premier appel d'offre sur les Interactions entre la Terre et la Vie (Intervie) en 2009. Six grands thèmes principaux étaient abordés : (1) les premières traces de vie et les premiers métabolismes (Archéen) ; (2) les processus de biominéralisation ; (3) les mécanismes de la fossilisation exceptionnelle et de la taphonomie ; (4) les grandes étapes de la Vie et de la géosphère ; (5) le rôle des microorganismes dans l'altération des roches et les cycles biogéochimiques ; (6) les études permettant une meilleure compréhension du signal isotopique dans les fossiles et/ou le vivant actuel. Ces thèmes sont parmi ceux à soutenir dans les années à venir.

## 5. RESSOURCES GEOLOGIQUES ET DEVELOPPEMENT DURABLE

Les Sciences de la Terre sont fortement impliquées dans les grands domaines scientifiques en lien avec une demande sociétale et industrielle concernant les ressources naturelles qu'elles soient minérales, énergétiques ou encore en eau. Ces thématiques nécessitent, pour leur développement, des liens étroits avec les autres EPST (IRD), les EPIC (BRGM, IFREMER, ANDRA, IFP, CEA) et les partenaires industriels (ex : Total, GDF-Suez, AREVA, Eramety, Eurogia, Schlumberger). Un effort important de structuration est en cours dans le cadre du comité thématique dédié à ce thème, afin d'étoffer et pérenniser ces liens, mais également d'améliorer la lisibilité de la communauté académique ST pour que ces partenaires puissent établir des collaborations de recherche bilatérales ou coordonner des actions plus structurées (Actions INSU, programmes, consortiums, appels d'offre ANR) sur ces thèmes.

Les questions de recherche de ce thème sont (1) les ressources naturelles énergétiques (systèmes pétroliers, dynamique des réservoirs, ingénierie des réservoirs, aval des cycles et développement durable : stockages profonds et CO<sub>2</sub>) ; (2) les ressources naturelles minérales (les modèles métallogéniques, l'exploration des gisements cachés, les facteurs économiques) ; (3) la géothermie ; (4) l'eau.

La communauté ST française a une activité et des compétences particulières concernant des objets et des processus permettant d'aborder l'ensemble de ces questions, qui ont été structurées en 3 axes : (1) les bassins sédimentaires, (2) les eaux souterraines, (3) la métallogénie et la géochronologie des ressources minérales.

### 5.1. LES BASSINS SEDIMENTAIRES

Dans le cadre des bassins sédimentaires, la communauté française aborde une large gamme des problématiques de ressources naturelles. Les questions scientifiques fondamentales qu'elle adresse en amont des stratégies d'exploration des ressources sont :

- Quel est, en amont, le cadre tectonique et géologique de la genèse des ressources minérales dans les cratons

anciens impliquant des lithosphères chaudes marquées par un manteau lithosphérique peu résistant (structures tectoniques, métamorphisme, bassins et reliefs associés)?

- Quels sont les temps de réponse entre les déformations (crustales ou lithosphériques), la création de reliefs et les processus d'érosion/transit/sédimentation, dans le contrôle du remplissage sédimentaire de bassins (extensifs, compressifs ou intracratoniques) et leurs implications sur les architectures stratigraphiques, l'histoire thermique et les circulations de fluides ?

- Quels sont, pendant les premiers stades de l'enfouissement des sédiments, les processus de déformation et fracturation et les réactions de transformation du matériel sédimentaire (minéraux, eaux superficielles, organismes vivants et matière organique) ?

- Comment les interactions fluides-roches modifient-elles la distribution des porosités/ perméabilités et quelles sont les causes des migrations de fluides et des transferts de chaleur et de matière (anomalies thermiques, expulsion de fluides, mise en charge des aquifères, déformations du bassin) ?

- Quels sont les paramètres qui contrôlent les propriétés pétrophysiques des réservoirs (sédimentologie, diagénèse, déformation) et les couplages mécaniques fluides-roches lors de l'extraction ou de l'injection de fluides dans un réservoir ?

### 5.2. LES EAUX SOUTERRAINES

La recherche sur les systèmes hydrogéologiques est motivée autant par la question des ressources que par celle du stockage de déchets énergétiques (déchets radioactifs, CO<sub>2</sub>). L'enjeu scientifique majeur est l'identification des processus physico-chimiques et des structures de circulation et de transport en vue de la prédiction de l'évolution des ressources et des stockages. C'est un enjeu qui a été et reste en prise directe avec une demande sociétale extrêmement forte. Les principaux verrous scientifiques concernent :

- l'identification des interactions eau/roche/vie et de la réactivité dans les aquifères qui ont un impact majeur sur la qualité des eaux (biodégradation passive et bioremédiation active, confrontation d'études in situ et en conditions contrôlées en laboratoire)

- la quantification des interactions entre différents compartiments hydrogéologiques (aquifère, aquitard, surface-subsurface, réservoirs profonds ; processus de recharge avec la zone non-saturée ; caractérisation par la géochimie des eaux, de l'impact des changements climatiques, biologiques et anthropiques).

- la localisation des circulations, du transport et de la réactivité a un impact majeur sur les processus physico-chimiques (méthodes de caractérisation géophysiques et hydrauliques, genèse des structures de réservoirs).

- l'intégration des données de différentes disciplines, à

différentes échelles dans une compréhension cohérente des circulations, du transport et de la réactivité (changement d'échelle et identification des paramètres et structures hydrauliques).

- la modélisation de processus physico-chimiques complexes couplés (développement de méthodes numériques adaptées, conditionnement par le milieu géologique, modifications et incertitudes).

### Les enjeux méthodologiques

Les enjeux méthodologiques concernent l'observation pérenne de sites, le soutien des méthodologies des disciplines connexes à l'hydrogéologie et le développement de plateformes de simulation. Il s'agit de :

- concentrer les moyens sur un nombre limité de sites d'observations labellisés bien instrumentés et suivis sur le long terme ;

- soutenir les disciplines connexes (l'hydro-géophysique et l'hydrochimie, les méthodes de modélisation issues des mathématiques appliquées) ;

- développer des plateformes de simulation des processus complexes couplés, qui soient à la fois unifiées, ouvertes et génériques pour une large gamme de problèmes (coopération entre instituts à l'échelle française et européenne).

### Forces et faiblesses de la communauté française

La situation de la recherche en France sur ces thématiques est paradoxale. D'un côté, on recense un grand nombre d'acteurs institutionnels (EPST, EPIC, ministères, universités, ...) et de nombreuses associations scientifiques nationales (AIH, CFH, AFES, Société Hydrotechnique de France, Groupe Français des Argiles, ...) qui jouent un rôle considérable de promotion de leur propre discipline, d'animation de la réflexion sur les problématiques environnementales, et de formation des ingénieurs et des experts. D'un autre côté, même s'il existe des exceptions notables, la recherche française n'est pas compétitive vis-à-vis de celle pratiquée aux Etats-Unis et dans certains pays européens (Allemagne, Angleterre, Italie, Suisse).

L'implication de la communauté des Sciences de la Terre reste très modeste, essentiellement centrée sur quelques grands enjeux sociétaux et industriels: le stockage souterrain des déchets radioactifs (collaboration CNRS-ANDRA), la séquestration du CO<sub>2</sub>, et les études sur les climats anciens.

Les forces de la communauté française sont dans l'existence de communautés performantes et bien structurées dans les domaines connexes de l'hydrogéologie comme la géophysique et la géochimie. Les faiblesses sont le faible nombre de groupes académiques avec une masse critique dans les problématiques propres à l'hydrogéologie. Cela vient à la fois de l'émiettement de l'hydrogéologie dans les universités et du faible vivier de candidats français sur des thématiques hydrogéologiques et, par conséquent, d'un faible taux de recrutement. Les

solutions sont le développement des formations par la recherche (doctorants et post-doctorants), le recrutement de chercheurs étrangers et une politique volontariste du CNRS.

## 5.3. LA METALLOGENIE DES RESSOURCES MINERALES

### Les enjeux scientifiques

L'amélioration des modèles métallogéniques repose sur 3 aspects.

- Du point de vue minéralogique, pétrographique et expérimentation : le développement de l'analyse des constituants des gisements et de leurs encaissements, la caractérisation des relations de phases, l'identification et la description de nouvelles espèces.

- Du point de vue de la géochimie : le traçage des sources des métaux, des ligands (soufre et chlore), des fluides; l'origine des salinités; les mécanismes de dépôt des métaux (mélange; dilution, redox)

- Du point de vue de la géochronologie : la datation de la mise en place des minéralisations (U-Pb, Ar-Ar, Re-Os), la caractérisation du polyphasage des gisements, la détermination des relations des gisements avec la géodynamique, les paléostructures (organisation des bassins, discordances par exemple).

La prise en compte des facteurs économiques est aujourd'hui capitale dans la conduite d'une politique d'approvisionnement en matières premières et repose sur les questions scientifiques suivantes :

- quels sont les paramètres contrôlant la formation des gisements «géants» ?

- comment se distribuent les gisements les plus importants dans les principales ceintures minéralisées ?

- comment évoluent les politiques de prix des matières premières (cycles, bourses, spéculations) et de réorganisation des acteurs industriels (concentration, interactions juniors-majors) ?

### Les enjeux méthodologiques

Des progrès décisifs en matière d'exploration de gisement cachés viendront de deux technologies complémentaires en pleine évolution aujourd'hui :

- la géophysique aéroportée haute résolution sur laquelle les équipes de recherche française doivent absolument s'investir ;

- la modélisation 3D géologie-géophysique couplant géométrie et propriétés physiques des roches, pour laquelle l'expertise française est clairement reconnue (plateforme Gocad et Géomodeleurs).

### Forces et faiblesses de la communauté française

La France, grâce à la qualité de ses équipes de recherche et de ses plateformes analytiques, possède une expertise internationalement reconnue en métallogénie à la fois dans le cadre des organismes comme le BRGM, l'IRD ou l'IFREMER que dans le milieu académique (Université et CNRS/INSU). Nos points forts sont :

- notre présence sur quelques grands terrains

emblématiques dans le domaine des matières premières: Canada (AREVA-CREGU), Afrique de l'Ouest, Maroc (Groupement de recherche Toulouse-IRD; BRGM, CRPG), Europe centrale et occidentale Roumanie, Espagne (G2R, Orléans), Nouvelle-Calédonie (IRD), Russie (AREVA-CREGU); Afrique du Sud (Rennes, Paris-IPGP, Grenoble);

- poursuite du développement d'un domaine d'expertise dans la micro-analyse ponctuelle des fluides et de leurs constituants (microsonde nucléaire, micro spectrométrie Raman, Synchrotron, etc.).

- l'expérimentation et la modélisation numérique des fluides transportant et déposant les métaux.

La communauté souffre cependant d'un certain manque de visibilité internationale et manque actuellement d'une structure d'animation. Elle a de plus des effectifs réduits, dispersés dans une dizaine d'Universités. Le renouvellement des ressources humaines en métallogénie apparaît ainsi aujourd'hui comme un élément incontournable d'une politique cohérente dans le domaine des matières premières. La France possède un certain nombre d'experts mondialement reconnus dans les domaines de la géologie de l'uranium, des métaux de base (Cu-Pb-Zn-Ni-PGE), des gemmes notamment. Le renouvellement de ces cadres sera nécessaire.

Enfin, une politique de recherche dans le domaine des matières premières doit nécessairement s'appuyer sur un réseau associant partenaires industriels et académiques. (groupements d'intérêts partagés, programmes nationaux, structures R&D à finalité commerciale, bourses de recherche BDI, CIFFRE, etc). Les réussites du groupe CREGU et du consortium GOCAD dans ce domaine constituent des exemples positifs à développer.

## 6. BILAN DES RECRUTEMENTS ET ETAT DU VIVIER

### 6.1. BILAN DU RECRUTEMENT 2005-2010

Laboratoire	Nb	% effectif CNRS	% effectif total
MNHN LMCM	2	50	14
ENS Lyon	3	27	10
LGCA Grenoble	2	25	6
UMET Lille	2	20	6
PEPS Lyon	2	20	6
LPGN Nantes	1	20	3
IDES Orsay	1	20	3
LGIT Grenoble	4	19	7
CRPG Nancy	2	17	7
Géosystèmes Lille	1	17	2
IPG Paris	6	14	4
LMV Clermont	2	13	3
LMTG Toulouse	3	13	3
ENS Paris	2	13	10
Géoazur Nice	2	13	3
Biogéosciences Dijon	1	13	3
Geosc. Montpellier	3	9	4
MNHN CR2P	1	8	2
Géosciences Rennes	2	8	4
ISTO Orléans	1	8	2
Dom. Océan. Brest	1	7	3
IPG Strasbourg	1	7	2
LSCE Gif	1	3	1
CEREGE Aix	1	3	1
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>11</b>	<b>3</b>

Tableau 5 : Recrutements (CR) par unité entre 2005 et 2010 (résultats du jury d'admissibilité pour 2010).

Métier	Nb	Thème	Nb
Expérimentation	7	Biostratigraphie	1
Géochimie	11	Cosmochimie	2
Géochronologie	1	Croute océanique	3
Géophysique	6	Cycle sismique	3
Gravimétrie	1	Erosion	1
Magnétisme	4	Fossilisation	1
Modélisation	7	Géodynamique	3
Paléomagnétisme	1	Int. Fluides roche	2
Paléontologie	4	Mécanique des roches	1
Stratigraphie	1	Paléo-environnement	4
Tectonique	2	Sismologie	2
		Stockage CO2	1
		Système solaire	1
		Tectonophysique	2
		Terre profonde et primitive	14
		Vertébrés	2
		Volcanologie	2
		Magnétisme	1

Tableau 6 : Recrutements par métier et par thème entre 2005 et 2010 (résultats du jury d'admissibilité pour 2010)

### 6.2. BILAN DU VIVIER 2009

Nous présentons ci-dessous quelques données concernant les concours CR 2009 :

- 3 postes de CR2 et 2 postes de CR1 ont été mis au concours avec 3 coloriage

- 60 auditions de candidats CR1 et CR2 (12 mn) suivies d'un entretien (10 mn) ont été réalisées ;

- âges des candidats : 26 à 37 ans, moyenne autour de 30 ans ;

- dates de soutenance des thèses de doctorat entre 2003 et 2008.

Sur 23 candidats dont les dossiers ont été jugés les meilleurs, 10 présentent des projets sur la Terre interne et 13 sur la Terre externe incluant l'hydrologie. Le spectre est donc large dans les fondamentaux de nos disciplines, mais également aux frontières.

Bien qu'il soit souvent difficile de classer les candidats par catégories de disciplines puisque certains projets font appel à plusieurs méthodes ou approches, les profils de ces 23 candidats se répartissent ainsi :

- 5 en géochimie, 2 en pétrologie, minéralogie, 10 en géophysique, physique, mécanique des fluides ou modélisation, 3 en géologie, tectonique, géodynamique, 3 en paléontologie.

- Sur ces 23 candidats, 3 satisfont aux coloriations.

- Parmi ces 23 candidats, les candidats CR2 sont auteurs de 3 à 16 publications chacun et ont effectué entre 0 et 4 post-docs.

La répartition des laboratoires d'accueil proposés dans les dossiers se superpose assez bien à celle de l'ensemble des laboratoires de l'INSU sur le territoire national.