

Bilan de la section 18
"Terre et Planètes telluriques: structure histoire et modèles"
Mandat 2004-2008

I. Introduction

II. Composition de la section

II.1. Liste des membres

II.2. Commentaires sur la composition de la section.

III. Critères d'évaluation

III.1. Liste des critères utilisés

III.2. Commentaires sur les critères et leur utilisation (bibliométrie, ...)

IV. Fonctionnement de la section

IV.1. Fonctionnement et déontologie

IV.2. Confidentialité des rapporteurs

IV.3. Composition du jury de concours et fonctionnement

IV.4. Lettres de recommandation et avis des directeurs de laboratoire

IV.5. Coloriages et fléchages, répartition CR2-CR1

IV.6. Evaluation des laboratoires (mise en place de l'AERES)

IV.7. Avis réservé, d'alerte

IV.8. Médailles

IV.9. Prospective et document de conjoncture

IV.10. Site web

V. Bilan des recrutements et promotions

V.1. Recrutements CR2 et CR1

V.2. Recrutements DR2

V.3. Commentaires sur les classements

V.4. Analyse des recrutements et des promotions en fonction des disciplines.

V.5. Analyse des recrutements et des promotions en fonction des laboratoires d'accueil

Annexes :

1. Liste des critères d'évaluation utilisés par la section (CR, DR, unités)

2. Liste des recrutements CR2 et CR1

3. Liste des recrutements DR2

4. Document de conjoncture section 18

I. Introduction

Ce bilan sommaire est destiné à la section 18 (mandature 2008-2012). Il a été rédigé suite à une réunion de fin de section qui s'est tenue (au soleil) les 7 et 8 juillet 2008 et à laquelle 8 des membres de la section ont pu venir.

Nous essayons dans la suite de tirer quelques enseignements sur le fonctionnement de la section durant ces 4 ans et de donner les informations détaillées sur les promotions et les recrutements en les analysant en fonction des domaines scientifiques et des laboratoires concernés.

II. Composition de la section

II.1. Liste des membres

La composition de la section était la suivante :

Elus

CANNAT Mathilde, UMR7154 IPG Paris (cannat@ipgp.jussieu.fr)
CHAUSSIDON Marc, UPR 2300 CRPG Nancy (chocho@crpg.cnrs-nancy.fr)
COTTIN Jean-Yves, UMR 6524 LMV Clermont, (cottin@univ-st-etienne)
DROUET-MALEWITCH Marcel, UMR 6113, ISTO Orléans (gilles.drouet@univ-orleans.fr)
DRUITT Timothy, UMR 6524, LMV Clermont (druit@opgc.univ-bpclermont.fr)
GREGOIRE Michel, UMR 5562 DTP Toulouse, (michel.gregoire@cnes.fr)
KAMINSKI Edouard, UMR7154 IPG Paris (kaminski@ipgp.jussieu.fr)
MAINPRICE David, UMR 5568 Géosciens Montpellier (david@dstu.univ-montp2.fr)
OHNENSTETTER Daniel, UPR 2300 CRPG Nancy (dohnen@crpg.cnrs-nancy.fr)
PAGEL Maurice, UMR 8148 IDES Orsay, (pagel@geol.u-psud.fr)
PICHON Rémy, UMR 8148 IDES Orsay, (pichon@geol.u-psud.fr)
SARACCO Ginette, UMR6635 CEREGE Aix (ginet@cerge.fr)
SCHIBLER Patrick, UMR7154 IPG Paris (schibler@ipgp.jussieu.fr)
VAUCHEZ Alain, UMR 5568 Géosciens Montpellier (Alain.Vauchez@dstu.univ-montp2.fr)

Nommés

BERNARD Pascal, UMR7154 IPG Paris (bernard@ipgp.jussieu.fr)
BLICHERT-TOFT Janne, UMR5570 ENS Lyon (jblicher@ens-lyon.fr)
CHARVIS Philippe, UMR 6526 Géosciences Azur, Nice (philippe.charvis@geoazur.obs-vlfr.fr)
DAVID Bruno, UMR5561, Biogéosciences, Dijon (bruno.david@u-bourgogne.fr)
HULOT Gauthier, UMR7154 IPG Paris (ghulot@ipgp.jussieu.fr)
LALLIER-VERGES Elisabeth, UMR 6113, ISTO Orléans (Elisabeth.Verges@univ-orleans.fr)
MANIGHETTI Isabelle, UMR 5559, LGIT Grenoble (imanighe@obs.ujf-grenoble.fr)



II.2. Commentaires sur la composition de la section.

Le bureau était constitué de Ginette Saracco (secrétaire), Elizabeth Lallier-Vergès, Jean Yves Cottin, Gauthier Hulot et Marc Chaussidon (Président);

Il n'y a pas eu de changement de composition de la section au cours de la mandature, la section ayant souhaité qu'Edouard Kaminski, promu professeur au cours de la mandature, reste dans la section.

La section comportait "seulement" 5 femmes sur 21 membres.

Plusieurs laboratoires étaient représentés par plus d'un membre : 2 chercheurs pour le CRPG, 2 chercheurs pour Géosciences Montpellier, 2 chercheurs pour le LMV Clermont, 1 chercheur + 1 ITA pour IDES Orsay, 1 chercheur + 1 ITA pour ISTO Orléans, 4 chercheurs + 1ITA pour l'IPGP. Cette composition était essentiellement le fruit des élections et n'a pas posé de problème réel au cours de la mandature (l'analyse des biais potentiels au niveau des promotions ou des recrutements est faite plus loin : elle ne montre pas à notre avis de biais).

Les compétences des membres de la section couvraient une très grande partie des thématiques de la section 18 même si souvent (ce qui est inévitable avec une vingtaine de membres) il n'y avait que un ou deux spécialistes du domaine concerné (ou parfois aucun !). Cela a occasionné parfois la surcharge de certains rapporteurs. La section n'a jamais jugé nécessaire de faire appel à un expert extérieur pour un jury de concours.

III. Critères d'évaluation

III.1 Liste des critères utilisés par la section :

La liste des critères utilisés par la section est fournie en Annexe de ce rapport.

III.2. Commentaires sur les critères et leur utilisation (bibliométrie, ...)

Ces critères reprennent en grande partie ceux des sections précédentes (section 11 et section 13). Ils ont été élaborés lors de la première session d'automne.

Avec le recul des quatre ans les commentaires essentiels à faire sur ces critères et leur utilisation nous semblent être :

- l'utilisation et la définition de critères est nécessaire pour une évaluation et une comparaison la plus objective possible des dossiers mais ils doivent être utilisés de manière réfléchie: la valeur des dossiers ne peut pas être mise en équation.

- Dans toutes les évaluations et les concours, le critère numéro un a toujours été la qualité et l'originalité de la science.

- Le critère de mobilité est très important mais il a été apprécié de manière variable, mobilité géographique ou thématique. Le contour et le faible nombre des laboratoires français font que la mobilité n'est pas toujours possible. Dans tous les cas ce qui doit être apprécié c'est le succès ou non de la mobilité (et pas la mobilité en soi).

- Dans le cas des candidatures CR2 ou CR1, la réalisation d'un post-doc et sa réussite (publication à la clef indépendamment du laboratoire de thèse) a été de fait une condition sine qua non car c'est la seule manière de pouvoir essayer de se faire une idée de l'autonomie d'un jeune chercheur.

- La prise de responsabilité ou l'investissement pour la communauté (qui peut recouvrir des activités très différentes) ont été des critères auxquels une grande importance a été accordée lors des concours DR2 ou des promotions DR1.

- Le diplôme d'HDR n'est pas exigé théoriquement pour le passage DR2, mais la direction en a fait une condition sine qua non lors du jury d'admission : nous avons donc suivi cette contrainte en ne classant que des candidats ayant une HDR.

• Les critères bibliométriques ont été utilisés systématiquement. Pour cela les revues ont été classées en fonction de leur facteur d'impact en quartiles : les limites des quartiles se trouvent pour la plupart des journaux de notre communauté à :

$$Q1 = 1,604$$

$$Q2 = 0,975$$

$$Q3 = 0,615$$

Les revues ont donc été classées en

A1 si $IF \geq 1,6$

A2 si $1,6 > IF \geq 1,0$

A3 si $1,0 > IF \geq 0,6$

B pour le reste.

Ce qui a été systématiquement analysé est :

- le nombre de publications en fonction du type de revue (spécialement le nombre de publications A1)

- le nombre total de citations et son évolution au cours du temps (en vérifiant si le nombre total de citations est "biaisé" par un nombre restreint d'articles ou pas).

- l'ordre dans les auteurs (en comptant les publications en auteur principal c'est à dire en 1er auteur ou en 2ème ou 3ème derrière un étudiant dont on dirige ou co-dirige la thèse). Avec le recul des 4 ans, les dossiers de chercheurs CNRS qui n'ont pas en moyenne un article en auteur principal / an dans une revue A1 ont toujours été des dossiers à problème potentiel qui ont demandé plus de discussion.

- l'index de Hirsch (H index). Cet indice est spécifiquement regardé lors du jury d'admission DR et il est très important que la section l'ait regardé avant et l'ait analysé. Il est évident qu'il existe des effets de communauté (paléontologie par exemple) et il faut donc se "prévenir" dans le message du jury d'admissibilité contre un problème de déclassement éventuel du candidat sur la foi de cet indice.

En combinant ces quatre types d'indicateurs on peut dans la plupart des cas arriver très vite à avoir une idée assez correcte du nombre, de la valeur et de l'impact des travaux d'un chercheur. Cependant, ces indicateurs doivent être utilisés avec beaucoup de recul. En pratique, l'ordre de classement des candidats au concours DR2 par exemple a rarement suivi directement ces indices. C'est important aussi que cela soit clair pour prévenir des critiques éventuelles qui pourraient venir de la part des candidats sur la base de leur H index ou de leur nombre de publications seulement.

IV. Fonctionnement de la section

IV.1. Fonctionnement et déontologie

Le rôle du bureau a été important en distribuant les dossiers : il faut veiller à assurer un traitement le plus équivalent possible entre les dossiers au niveau des rapporteurs et à respecter un certain nombre de règles : ne peut pas être rapporteur d'un dossier un membre de la commission qui (i) connaît le candidat pour avoir été son directeur de thèse ou avoir écrit de articles avec lui, (ii) fait partie de l'UMR dans laquelle le candidat candidate, (iii) a un conflit d'intérêt potentiel avec le candidat, (iv) a des liens de famille avec la candidat, ...

Le respect de ces règles est important mais devient vite un casse-tête étant donné que le monde est petit et qu'il y a en général peu ou pas de doublon au niveau des compétences dans la section. En cas de problème insoluble de ce genre le dossier était en général donné au président en premier rapporteur.

Lors des évaluations des chercheurs et des laboratoires (qui n'est plus dorénavant une évaluation au sens propre mais un conseil donné au CNRS sur la foi des rapports AERES), les membres de l'UMR doivent sortir de la salle. Cette règle ne peut pas être appliquée lors des

concours puisque si un membre du jury sort il est exclu du concours et ne peut plus re-rentrer : la règle était donc que les membres de la section, qui connaissent le candidat ou étaient de son UMR, n'intervenaient pas. Evidemment lors des discussions finales pendant lesquelles ont lieu les interclassements tout le monde est présent mais il revient à chacun d'observer la retenue et l'objectivité nécessaires (quand ce n'est pas le cas c'est très rapidement évident et tout se calme de soi même).

La section a fonctionné au cours de son mandat en utilisant des votes de tendance au cours des discussions pour arriver à des consensus ou à des classements, seul le vote final sur la liste étant un vote définitif. Cette méthode a fonctionné correctement avec la plupart des décisions ou des classements adoptés par un vote à l'unanimité.

Un autre aspect très important du bon fonctionnement de la section est que les discussions puissent avoir lieu sans risque de "fuite" après coup. C'est le rôle du président de répondre après coup aux demandes des candidats et des directeurs de laboratoires et les membres de la section doivent en répondant aux questions qui leur sont posées garder une certaine réserve.

Un des problèmes de fonctionnement auquel sont confrontés la plupart des sections sont les candidatures internes. Cette question a été discutée au début de la mandature et il n'y a pas eu de consensus qui se soit dégagé sur cette question : même si la plupart des membres de la section ont pour eux mêmes décidé de ne pas se présenter pendant la mandature, il n'a pas été question d'en faire une règle absolue pour tous les membres de la section. La même discussion a eu lieu au niveau de la CPCN avec la même conclusion : les carrières sont tellement difficiles au CNRS qu'on ne peut pas exiger de tous les membres du CN de "se sacrifier". Les candidatures internes créent cependant de fait un déséquilibre car cela veut dire que l'on se prive d'un des membres de la section comme rapporteur pour tout le concours concerné (ses compétences font défaut et la charge de travail des autres est augmentée) et cela peut être humainement difficile (pour le candidat et/ou pour la section).

Enfin, il est utile que le DSA ou le DS vienne faire part devant la section de sa politique et de ses objectifs. Au cours de notre mandature la section a répondu à certaines commandes du DSA (regroupement d'UMR, mutations, ...) en auditionnant les porteurs de projet. Il ne faut pas hésiter à inviter si besoin un directeur d'UMR.

IV.2. Confidentialité des rapporteurs

Le choix a été fait de garder secret les rapporteurs même si dans certains cas ils peuvent être devinés. C'est en fait très important que les rapporteurs ne soient pas connus car d'une part ça limite les pressions qui peuvent être exercées sur un rapporteur et d'autre part l'avis initial du rapporteur peut être très différent de l'avis général de la section. Les informations qui étaient données aux candidats qui le souhaitaient après un concours étaient : (i) si il était dans le noyau dur de la discussion et combien de personnes il y avait, (ii) quelles étaient les gammes de variation des critères utilisés (e.g. nb de pubs, nb de citations, H index, age, ancienneté, ...) pour les candidats du noyau dur.

IV.3. Composition du jury de concours et fonctionnement

Pour les premiers concours CR, en raison du fort nombre de candidats (>100) la section s'était scindée en deux sous sections pour les auditions pour gagner du temps et pouvoir effectuer l'audition des candidats et les délibérations sur une semaine en 6 jours. Cela a fonctionné correctement mais en fait une journée entière était nécessaire à la présentation en section totale des avis des sous sections et, d'une manière plus grave, la discussion est souvent devenue plus difficile au moment des choix car la moitié des membres n'avait pas auditionné le candidat et donc avait du mal à avoir un avis propre. La constitution des deux sous-jury et l'attribution des candidats était aussi un casse-tête à cause du nombre restreint de membres et

donc des problèmes de compétence scientifique et de déontologie. Les deux dernières années du mandat nous avons décidé d'auditionner les candidats CR en jury complet, quitte à avoir de plus longues journées, et cette manière de procéder s'est en fait révélée beaucoup plus satisfaisante : sans doute plus rapide et plus efficace et certainement plus juste vis à vis des candidats.

Dès la deuxième année nous avons opté pour la présentation power point (se méfier car les ordinateurs des salles du comite national sont antédiluviens ou attachés à l'autre bout de la salle, ...) et cela a toujours fonctionné sans problème (il faut demander un fichier pdf de secours).

Le fonctionnement que nous avons adopté était de faire un bilan rapide chaque soir des auditions de la journée en décidant pour chaque candidat si :

- on le gardait dans la discussion finale (A)
- on le rediscutait en détail avant la discussion finale (B)
- on l'éliminait dès à présent (C)

A la fin des auditions la discussion finale commençait avec les B pour décider (avec le recul de toutes les auditions) si le candidat restait dans la discussion finale ou pas (c'est à dire dans le noyau dur). Ensuite la discussion finale se faisait à partir d'un tableau excel construit pour résumer les critères importants.

Un dernier point à souligner concerne les dossiers : pour les CR qui ne sont pas déjà dans le système on peut comprendre un certain fouillis des dossiers, par contre pour un CR1 candidat DR2 il n'est pas admissible que le dossier ne respecte pas à peu près les recommandations émises par la section (nombre de pages, organisation, classement des publications, ...). En pratique un dossier mal construit est déjà une indication sur le candidat et de tels dossiers compliquent inutilement le travail des rapporteurs. Ce message doit être passé et repassé aux candidats.

IV.4. Lettres de recommandation et avis des directeurs de laboratoire

Des discussions ont eu lieu sur comment traiter les lettres de recommandation et les avis des directeurs de laboratoires. La règle est que les lettres de recommandations doivent être jointes au dossier (en théorie toute lettre qui arrive plus tard directement au président ne doit pas être considérée). En pratique les lettres de recommandation ont été rarement utilisées comme un argument décisif dans les discussions.

Des avis ou des messages des directeurs de laboratoires arrivent au président de section. La position que nous avons prise vis à vis de ces avis a été la suivante : les avis sont importants car la section n'est pas là pour aller à l'encontre de la politique scientifique mise au point dans les conseils des laboratoires, mais ces avis ne peuvent pas primer sur la valeur des candidats. Cela veut dire que les avis étaient gardés secrets jusqu'à ce que le noyau dur des candidats ait été constitué. Ensuite dans la discussion finale il revenait au président d'en faire état ou pas si le cas échéant on se trouvait dans la situation où deux candidats pour un même laboratoire étaient au même niveau dans le noyau dur.

IV.5. Coloriages et fléchages, répartition CR2-CR1

De l'avis général de la section, les fléchages ne sont pas souhaitables car souvent le niveau du concours sur un poste fléché n'est pas équivalent à celui du concours général. Si néanmoins un poste fléché est ouvert, une manière de faire est de procéder à toutes les auditions (candidats pour le poste fléché et autres candidats) et de procéder à la constitution du noyau dur sans s'occuper du poste fléché et de ne choisir pour ce poste que parmi les candidats du noyau dur.

Les coloriages sont un moindre mal que les fléchages dans le sens où il n'y a pas obligation à les remplir sur un concours et qu'ils peuvent effectivement avoir un effet

d'annonce vis à vis des laboratoires et des candidats. La section devrait se préoccuper de faire des propositions de coloriage au même titre que les autres acteurs du système. Par contre si le nombre de coloriages est trop grand par rapport aux nombres de postes, le message est très négatif vis à vis des candidats.

La répartition des postes CR entre CR2 et CR1 a été un problème de même que la suppression de la limite d'âge pour les CR2. Certaines années le vivier était beaucoup plus fort pour les CR2. C'est à la session de veiller à interclasser des candidats comparables et à ne pas remplir les postes CR2 avec des candidats de type CR1, même si ils ont plus de publications.

IV.6. Evaluation des laboratoires (mise en place de l'AERES)

Le mode d'évaluation des laboratoires a changé au cours de notre mandature. Durant les deux premières années nous avons à la demande du DSA noté les laboratoires. Nous sommes arrivés à faire ces notations mais sans doute pas d'une manière correcte, un des problèmes étant que les notes n'étaient pas bien calées d'une année sur l'autre entre deux vagues.

Ce problème n'existe plus puisque l'évaluation des laboratoires est faite par l'AERES. Pour cette première vague d'évaluation AERES, le fonctionnement vis à vis du comité national a été parfaitement correct : la section a proposé un certain nombre de ses membres comme experts à l'AERES et systématiquement un membre de la section 18 a été dans chaque comité AERES et un représentant ITA a été présent dans les UMR avec beaucoup de personnel. Les rapports AERES ont été disponibles pour la session de printemps 2008 (repoussée fin juin pour cela).

IV.7. Avis réservé, d'alerte

Le mode de fonctionnement de l'évaluation des chercheurs a évolué au cours de la mandature. Les avis réservés et d'alerte sont maintenant suivis par les délégations régionales et la DRH et donc ils sont beaucoup plus efficaces qu'avant. Il n'est jamais agréable de porter un avis réservé ou d'alerte sur un chercheur mais la section 18 a considéré que c'était son rôle de le faire pour aider certains chercheurs dans une mauvaise passe à prendre conscience de la situation et à évoluer. Nous avons trouvé un certain nombre de dossiers pour lesquels des avis réservés auraient du être émis plus tôt (manque évident de publications régulières par exemple), ce qui aurait certainement fait progresser la situation. Il faut bien comprendre que c'est rendre un mauvais service à un chercheur que de ne pas mettre un avis réservé quand c'est justifié.

Dans le même ordre d'idée la section 18 a été choquée de constater que souvent les directeurs d'UMR n'utilisent pas les avis possibles sur les fiches CRAC (il peut y a voir plein de raisons à cela bien compréhensibles pour la paix des ménages) mais le résultat c'est que les problèmes sont cachés, s'accumulent et quelque chose de mineur au départ, si ce n'est pas détecté devient grave au bout de 4 ans ou 8 ans. L'évaluation quadriennale n'a lieu que tous les 4 ans !

Nous souhaitons que nos successeurs suivent l'évolution de ces dossiers. Nous avons en outre voté à la session de printemps 2008 l'incapacité professionnelle pour un dossier très particulier.

IV.8. Médailles

Les propositions pour les médailles de bronze et d'argent se font à la session d'automne. Ceci doit être préparé à l'avance. Par exemple en section 17 ou en 19, les propositions remontent des programmes et des laboratoires. Nous n'avons pas réussi à établir un tel système au cours de notre mandature et c'est un tort.

Nous avons obtenu une médaille d'argent pour Pierre Rochette et 4 médailles de bronze pour Manuel Moreira, Nicolas Mangold, James Badro et Olivier Allard.

Il faut reconnaître que nous avons "perdu" une médaille d'argent (car nous aurions pu en avoir deux sur la mandature) car nous n'avons pas bien préparé cette discussion et nous n'avons pas forcément proposé des candidats répondant aux normes pour la médaille d'argent (il faut que le candidat soit brillant mais qu'il n'apparaisse pas comme en fin de carrière, donc tranche d'âge entre 40 et 50 ans environ).

IV.9. Prospective et document de conjoncture

Nous avons eu à rédiger un rapport de prospective et de conjoncture. Cet exercice a été mal vécu dans le contexte où cela s'est fait car l'intérêt de ce travail n'est pas apparu très clair : des rapports de prospectives avaient déjà été rédigés par les deux sections 11 et 13 précédentes, par les programmes et nous n'avons pas une vision globale à mi-parcours. Nous avons donc travaillé à partir des documents pré-existants, en ne faisant que les modifier (texte joint en annexe). Le résultat final n'est pas très satisfaisant.

IV.10. Site web

Un site web a été maintenu par Patrick Schibler. Ce site est accessible à partir du site officiel du CN. Il contient un certain nombre d'informations importantes, notamment des instructions aux candidats pour rédiger leurs dossiers (sinon le travail des rapporteurs devient infernal), les compte-rendus de session, les dates des concours, l'intitulé des fléchages, les motions votées, ...

V. Bilan des recrutements et promotions

V.1. Liste des recrutements CR

Le bilan des concours CR2 et CR1 sur les 4 ans est le suivant :

CR2	Postes	Candidats	Auditionnés	Admissibles
2005	4	82	74	6
2006	6	111	95	9
2007	4	78	70	8
2008	7	66	53	12

CR1	Postes	Candidats	Auditionnés	Admissibles
2005	3	34	29	6
2006	3	24	20	5
2007	4	30	28	5
2008	2	30	24	4

(Le détail des recrutements CR2 et CR1 (candidat, projet, laboratoire d'accueil) sur les 4 ans est donné en annexe.)

V.2. Liste des recrutements DR2

Le bilan des concours DR2 sur les 4 ans est le suivant :

DR2	Postes	Candidats	Auditionnés	Admissibles
2005	7	45	40	10
2006	7	38	38	10
2007	7	41	40	11
2008	7	34	32	11

Le détail des recrutements DR2 (candidat, laboratoire d'accueil) sur les 4 ans est donné en annexe.

V.3. Commentaires sur les classements

Les listes (cf annexes) montrent que la section a fait le choix la plupart du temps de faire des listes complémentaires plus ou moins longues. Les justifications de ces listes sont un peu différentes entre les concours CR et DR.

Dans le cas des concours CR, le risque de perdre un poste car un candidat, candidate sur un autre poste est réel et donc une liste complémentaire de un ou deux noms est nécessaire. C'est aussi souvent une manière d'essayer d'avoir un poste de plus au moment des arbitrages en jury d'admission (cela a fonctionné en 2007 avec le poste de Nathanael Schaeffer). La section a aussi essayé de respecter une certaine mémoire vis à vis des candidats : étant donné la pression deux candidats qui arrivent dans le noyau dur sont souvent difficiles à embaucher la même année dans la même UMR (l'exception étant l'IPG qui de par sa taille correspond en fait à la fusion de nombreuses UMR ce qui peut justifier l'embauche de plusieurs candidats la même année à l'IPG). Un exemple est le cas de Gildas Merceron qui fut classé en CR2 en 2006, classé en CR1 en 2007 (il candidatait sur un coloriage qui nous semblait parfaitement adapté en section 29 mais n'a pas été pris finalement par la section 29) et finalement pris en 2008.

Classer un candidat sur la liste complémentaire est délicat en CR car d'un côté c'est lui donner un message positif sur la qualité de son dossier et sur l'année suivante, mais d'un autre côté c'est donner un message négatif aux autres candidats et le concours repart de zéro chaque année car en CR de nouveaux candidats brillants arrivent chaque année.

Dans le cas des concours DR2 c'est un peu différent car le vivier de CR1 est connu et ne peut pas se renouveler radicalement d'une année sur l'autre. Il serait difficile d'expliquer à un candidat qu'il était premier sous la barre l'année précédente et que l'année suivante il se retrouve non classé, le vivier n'ayant pas changé. La section a considéré que classer en liste complémentaire était donc un message plus fort. Il faut aussi être honnête : c'est un moyen de faire "patienter" certains collègues qui méritent de passer en leur envoyant un message positif. Il est très important de ne pas décourager nos collègues CR1 (ayant un dossier au niveau) de se présenter car le nombre de postes ouverts par le CNRS est aussi fonction de la pression : la direction juge de cela lors du jury d'admission DR2 en vérifiant la qualité des candidats classés sous la barre !

Ce raisonnement est encore plus valable dans le cas des promotions DR1 et DRCE pour lesquelles le nombre de postes est beaucoup trop faible par rapport à la valeur des dossiers (la section a estimé qu'il y avait un retard de carrière de l'ordre de ≈ 10 ans pour le passage DR2-DR1 si l'on compare au passage PR2-PR1, ce qui a été voulu pour faire évoluer les corps) et donc pour lesquelles nombre de nos collègues abandonnent et n'envoient pas de dossier. Le résultat est qu'à l'intérieur de l'INSU (où les arbitrages sont faits pour les

promotions) la section 18 peut apparaître comme n'ayant pas autant besoin de promotions que d'autres sections où un plus fort pourcentage de collègues candidatent à une promotion.

V.4. Analyse des recrutements et des promotions en fonction des disciplines.

Dans la liste suivante nous avons essayé de classer les recrutements et les promotions en fonction des "métiers" ou des domaines scientifiques (c'est évidemment arbitraire dans certains cas). On retrouve les grands domaines de la section : modélisation, expérimentation, géochimie, géophysique, tectonique, géologie sédimentaire, paléontologie. Les proportions reflètent en fait la pression interne venant des laboratoires.

Nous pensons que ce bilan ne fait pas apparaître de biais systématique qui résulterait de la composition de la section. On peut même aller dans l'autre sens et dire que la section a peut être eu un biais à soutenir des disciplines qui n'étaient pas représentées du tout dans la section comme la paléontologie par exemple (6 postes : 3 CR et 3 promotions DR).

Les femmes sont indiquées en rouge : sur 33 CR embauchés 13 sont des femmes (39,4 %) et sur 28 DR 5 sont des femmes (17,8 %). La section au début de son mandat a été sensibilisée à la question de la parité hommes/femmes et a veillé à cette question lors du mandat. Les choses évoluent lentement comme le montre le plus fort pourcentage d'embauche en CR de femmes que celui de promotion de femmes en DR (cela reflète la population actuelle des CR1 en position de candidater DR2).

Modélisation : 7 CR (dont 1 femme), 5 DR (dont 2 femmes)

- fluides hydrothermaux - Fontaine
- noyau champ magnétique - Schaeffer, Amit, Cardin, Dormy
- pétrophysique - **Tommasi**
- tectonophysique - **Arcay**, Husson, Chery
- calcul ab initio - Caracas
- volcanologie - Burgisser, **Vergniole**

Expérimentation : 4 CR (dont 1 femme), 7 DR

- magmato expérimentale - Laporte, Scaillet, Topliss
- haute pression - Merkel, Ratteron (**Lille labo hors section, pour les deux**)
- mécanique des roches - Schubnel
- hydrothermal, interactions fluides-roches - Testemale, **Demouchy**, Berger, Hazemann, Neuville

Géochimie et Cosmochimie : 7 CR (dont 3 femmes), 1 DR

- paléoenvironnement- Daeron (**Gif, labo hors section**)
- Terre primitive - Van Zuilen, Caro, **Boyer**
- météorites - **Quitte-Levasseur**, Rémusat (**lien section 17**)
- pétro, géochimie - Poitrasson
- fluides hydrothermaux - **Chavagnac**

Géophysique : 8 CR (dont 5 femmes), 3 DR

- imagerie de surface - **Deschamps**
- géomorphologie planétaire - Costard
- gravimétrie - **Rozat**
- paléomagnétisme - **Macouin**, Dymant
- sismicité - **Helmstetter**
- imagerie sismique - **Galvé**, Shapiro
- seismo volcanique - Battaglia

- magnétisme - Gattacceca, Thébaut

Tectonique : 3 CR (3 femmes), 4 DR

- géodésie - Vergniolle, Vigny

- tectonique active - Simoes, Hubert-Ferrari

- pétrologie et géologie structurale - Guillot, Leloup, Ildefonse

Géologie sédimentaire : 4 DR (dont 2 femmes)

- réservoirs et fluides - Pironon

- littoral, Teissier ([lien section 20](#))

- plateforme carbonatée - Camoin

- stratigraphie séquentielle - Bourquin

Paléontologie : 3 CR, 3DR (dont 1 femme)

- vertébrés - Boisserie, Merceron, Legendre ([lien section 29](#))

- biostratigraphie - Brayard, Crasquin, Servais

Géochronologie : 1 CR, 1DR

- thermochronologie - Hildenbrand, Arnaud

V.5. Analyse des recrutements et des promotions en fonction des laboratoires d'accueil

Nous avons dans la suite analysé les recrutements et les promotions en fonction des laboratoires d'accueil.

Deux figures sont présentées : la première donne le nombre total d'enseignants chercheurs + CNRS par UMR ou UPR ainsi que le nombre total de CNRS. Cette figure montre qu'il y a de fortes disparités entre les différentes UMR. L'IPGP et de très loin la plus grosse UMR (131 chercheurs dont 41 CNRS). Ensuite quelques UMR sont nettement plus grosses que les autres (LMTG Toulouse, Géosciences Montpellier, ...) avec de l'ordre de 50 à 60 chercheurs dont 20 à 30 CNRS. Enfin il y a toute une population de plus petites UMR de l'ordre de 20 à 30 chercheurs dont une dizaine de CNRS. Certaines unités sont encore plus petites.

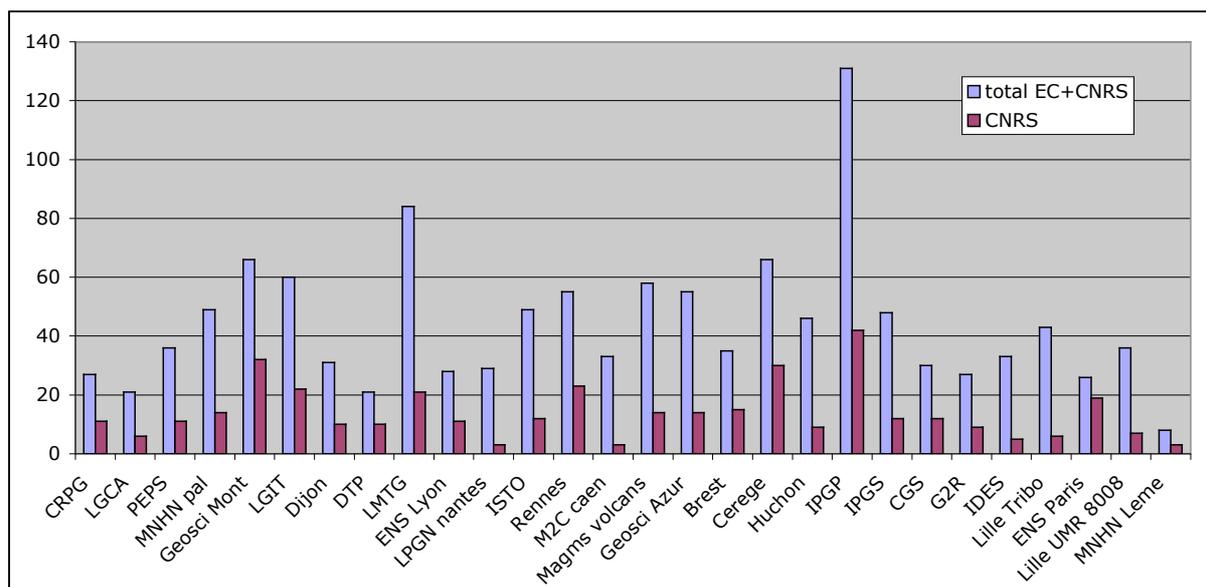


Fig. 1: Effectifs chercheurs (EC+CNRS) et CNRS seuls des UMR et de l'UPR de la section 18

Il y a des variations dans la proportion CNRS/total avec une proportion moyenne de 32% (figure suivante).

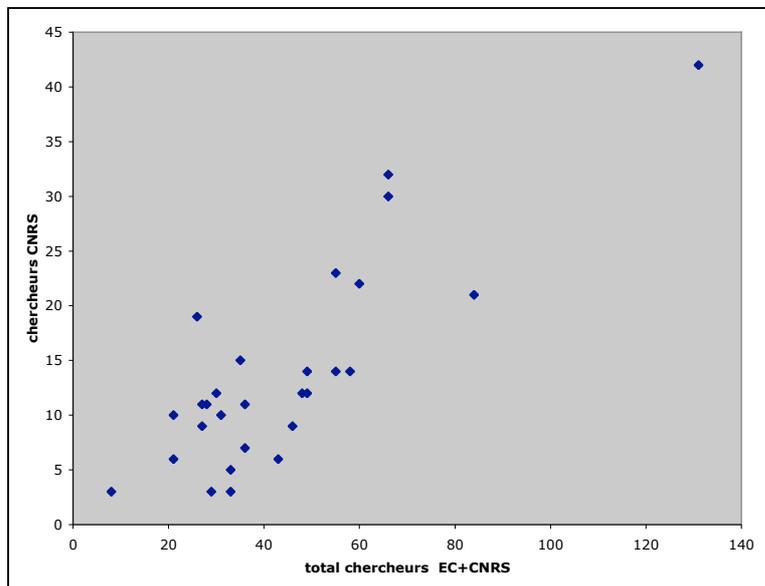


Fig. 2 : Fraction de chercheurs CNRS par rapport au nombre total de chercheurs dans les UMR et UPR de la section 18.

Dans la troisième figure nous donnons le total sur la mandature 2004-2008 de la section 18 des recrutements (CR2+CR1, DR2) et des promotions (DR1, DRCE) répartis en fonction des UMR. Les commentaires les plus évidents que l'on peut faire sont les suivants:

- deux UMR sortent du lot : l'IPGP avec 5 CR + 5 DR2 et Géosciences Montpellier avec 2 CR + 4 DR2 + 3 DR1.

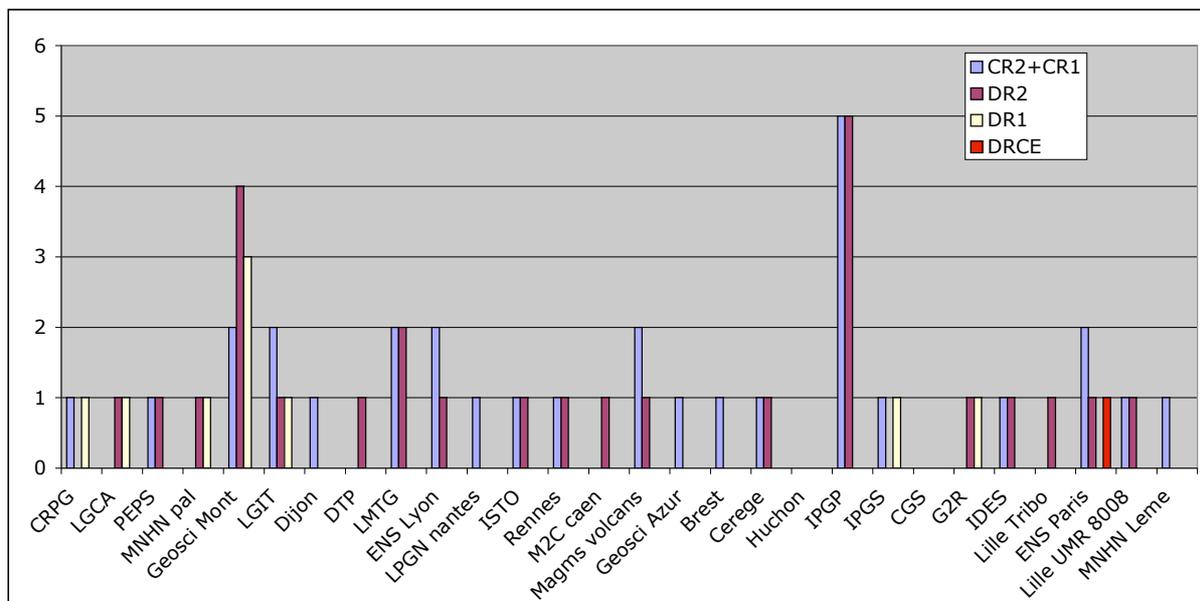


Fig. 3: recrutements (CR2+CR1, DR2) et promotions (DR1, DRCE) dans les UMR et l'UPR de la section 18.

Dans le cas de l'IPGP ce nombre de recrutements et de promotions n'est pas anormal étant donné la taille de l'IPGP. Si l'on regarde la quatrième figure on pourrait même trouver que l'IPGP a été "pénalisé" par rapport aux autres plus petites UMR. Si le compte est fait par rapport aux mandatures précédentes sections 11 et 13, de fait l'IPGP actuel a eu moins de recrutements et de promotions que la somme de celles obtenues par les anciennes UMR de l'IPG. Le poids que représente l'IPGP est quelque chose dont la section doit être consciente car il peut paraître "anormal" de mettre deux postes la même année dans une même UMR, surtout si le nombre de poste est très faible, mais en fait ce n'est pas anormal pour l'IPGP.

Dans le cas de Géosciences Montpellier, la section 18 a trouvé une situation assez ingérable avec un grand nombre de bons candidats avec de l'ancienneté en CR1 (pour le concours DR2) et en DR2 (pour la promo DR1). Le nombre de postes accordés à Géosciences Montpellier est anormal comparé à la taille de cette UMR, mais la section a fait ce choix d'abord à cause de la qualité des candidats mais aussi pour prendre ces responsabilités et "purger" sur 4 ans une situation qui était devenue très anormale et qui menaçait de l'être encore plus.

- La seule autre UMR qui sorte du lot est le LMTG avec 2 CR et 2 DR2.
- Ensuite, pour les autres UMR, les statistiques ne veulent plus rien dire étant donné que l'on joue sur un poste. Pour toutes ces UMR, c'est d'abord la valeur des candidats qui a joué, la section veillant à essayer de ne pas pénaliser des UMR non représentées dans la section. De nombreuses UMR non représentées dans la section ont eu autant de postes que les autres (LGCA, PEPS, MHNH pal, Nantes, Rennes, Brest, Caen, Cerege, Orsay ...).
- Trois recrutements et promotion ont été faits dans des laboratoires hors section 18 (une promotion DR2 et un recrutement CR dans l'équipe de Lille qui travaille en minéralogie haute pression, et un recrutement de CR au LSCE de Gif sur Yvette).
- La seule promotion de DRCE obtenue par la section l'a été pour Bruno Goffé : la section avait classé Bruno Goffé 1er pour cette promotion lors de la première année de sa mandature alors que John Ludden était DSA ST à l'INSU et nous avons décidé de maintenir ce classement la deuxième année alors que Bruno venait d'être nommé DSA. Le passage DRCE est encore plus difficile que le passage DR1 et les retards de carrière accumulés par les DR avant de passer DR1 font qu'il n'y a presque aucun dossier dans la section 18 de DR1 ayant en plus de leur valeur scientifique exceptionnelle une ancienneté suffisante en DR1 pour pouvoir avoir une chance au final à la promotion DRCE. (Quelques dossiers de haut niveau se profilent mais c'est tout).

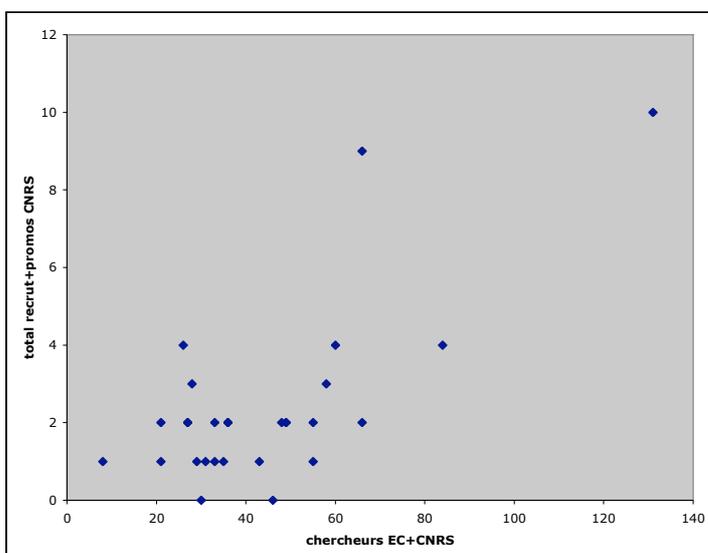


Fig. 4 : nombre de promotions et de recrutements (cumulés) en fonction de l'effectif chercheurs des UMR et de l'UPR de la section 18.

ANNEXES

1. Liste des critères d'évaluation utilisés par la section (CR, DR, unités) Recrutement des chercheurs CR2 et CR1

1. Contributions scientifiques

- travaux de recherche antérieurs, publications et culture scientifique générale (leur qualité et leur maîtrise par le candidat)
- intérêt scientifique, originalité et faisabilité du projet du candidat
- adéquation du projet et du candidat avec les laboratoires de recherches proposés pour le recrutement
- pertinence par rapport à l'évolution de la discipline à l'échelle nationale et internationale
- autonomie (projets, missions de terrain, codes de calculs, expériences, ...)
- collaborations

En plus pour les CR1

- montage ou gestion de projets
2. Mobilité thématique et/ou géographique
 3. Diffusion de la culture scientifique, enseignement, encadrement
 4. Responsabilités collectives
 5. Développements et transferts technologiques, relations industrielles et valorisation

Par ailleurs la section encourage les candidats à communiquer toute information complémentaire susceptible de l'éclairer sur leurs activités scientifiques.

Evaluation des chercheurs confirmés (promotion CR1, concours DR2, promotions DR1, DRCE)

(le même poids ne sera pas donné à tous les critères entre les différents concours concernés)

1. Contributions scientifiques

- qualité de la production scientifique (publications scientifiques les plus significatives)
- intérêt des résultats et des méthodes développées (depuis la dernière promotion), intérêt des projets et stratégie scientifique
- reconnaissance nationale et internationale (distinctions, collaborations, ...)
- aspect novateur des travaux entrepris et envisagés et impact observé et attendu dans les sciences de la Terre et de l'univers.
- animation et rayonnement scientifiques nationaux et internationaux
- lettres de recommandation au moins pour le concours DR2 (sous pli confidentiel qui peuvent être jointes au dossier)

• capacité d'encadrement scientifique et humaine, : équipe thèses, : devenir des étudiants)

2. Responsabilités collectives et management de la recherche

- responsabilités dans l'administration du laboratoire et/ou de la recherche
- gestion de programmes de recherche
- responsabilités éditoriales
- activités d'évaluation, jury, expertise, ...

3. Mobilité :

- mobilité thématique, géographique ou vers l'industrie (sur toute la carrière et projets de mobilité), apports de ces mobilités

4. Enseignement, formation, diffusion de la culture scientifique

5. Développements et transferts technologiques, relations industrielles et valorisation

Evaluation des laboratoires

1. Activité scientifique du laboratoire

- intérêt et originalité des thèmes étudiés, leurs impacts scientifiques (nationaux et internationaux), sociaux et économiques
 - cohérence des objectifs scientifiques, complémentarité des thèmes
 - production scientifique, dynamique scientifique
 - parts des recherches fondamentales, finalisées et des activités de valorisation
 - participation à des programmes, projets ou contrat
 - activités de recherche et développement
2. Ouverture du laboratoire
- qualité des collaborations extérieures et des invitations de chercheurs français ou étrangers
 - apports au tissu national et international des Sciences de la Terre et de l'univers
 - implication dans la formation
 - développement d'activités de diffusion de la science auprès du grand public
 - implications des membres de l'unité dans des missions collectives majeures
3. Capacités de management de la direction, organisation et fonctionnement interne
- objectifs scientifiques, stratégie de l'unité (cohérence entre les objectifs et l'organisation de l'unité)
 - moyens humains : effectifs et besoins
 - gestion et organisation de la population scientifique, technique et administrative (cohérence du plan de formation avec la stratégie, adhésion de tout le personnel aux objectifs du laboratoire, planification des arrivées/départs, optimisation des tâches, prise en compte des spécificités des profils techniques en Science de la Terre et de l'univers)
 - équipements propres ou nationaux: gestion et besoins
 - niveau de ressources du laboratoire et leur utilisation
 - vitalité et activités des instances consultatives internes (conseil de laboratoire)
 - qualité de la vie scientifique interne (collaborations internes, fréquence et qualité des séminaires internes et externes)
 - qualité et organisation du rapport d'activités du laboratoire (mise en évidence dans le dossier de tout le personnel permanent et temporaire avec fiches individuelles, plan de formation et rapport hygiène et sécurité; classement des publications entre A, B, C et résumés avec identification des publications des étudiants et tableau synthétique)
 - prise en compte des recommandations des instances d'évaluation

2. liste des recrutements CR (candidat, profil, laboratoire d'accueil) :

2005

CR2 (3 postes)

1er: Agnès HELMSTETTER (IPGP recommandé par la section, puis affectée au LGIT Grenoble) "Réponse de la croûte terrestre à une variation de contrainte: Quels mécanismes pour le déclenchement de la sismicité ?"

2eme : Sébastien MERKEL (Lille) "Plasticité sous haute pression et haute température et ses applications à la physique de la terre profonde, l'anisotropie sismique et le couplage avec les modèles de convection"

3eme : Jean Renaud BOISSERIE (MNHN paléontologie) " Evolution des milieux humides en Afrique du Miocène récent au Pléistocène : apport des Hippopotamidae et des Suidae "

4- Ghylaine QUITTE-LEVASSEUR

5 - Benjamin LEVRARD

CR2 flèché (1 poste)

HILDENBRAND (IDES Orsay) "Géochronologie K/Ar et Ar/Ar et géodynamique"

CR1 (3 postes)

1er: Jérôme GATTACECCA (CEREGE, Aix) "Magnétisme des matériaux extraterrestres et paléochamps magnétiques dans le système solaire"

2eme :Anne DESCHAMPS (Domaines océaniques Brest) "Déformation et volcanisme à l'axe des dorsales : Analyse des données collectées près des fonds"

3eme : Jean BATTAGLIA (LMV Clermont) "Etude de la sismicité large bande générée par les volcans"

4 :Agnès HELMSTETTER

5: Fidel COSTA-RODRIGUEZ

6 : Sébastien MERKEL

2006

Concours CR1 (3 postes)

1er : Laurent HUSSON (UMR 6118 Rennes) " Modélisation thermomécanique des hétérogénéités tomographiques dans les zones de convergence"

2eme : Mark VAN ZUILEN (UMR 7154 IPGP) "Enregistrement géochimique de signatures biologiques à l'Archéen

3eme : Ghylaine QUITTE-LEVASSEUR (UMR 5570 ENS Lyon) "Evènements précoces du système solaire : contraintes isotopiques sur les processus et sur la chronologie

4eme : Christian SUE (UMR 5025 Grenoble)

5eme : Valérie CHAVAGNAC (UMR 5563 Toulouse)

Concours CR2 (6 postes)

1er Exaequo : Alain BURGISSER (UMR 6113, Orléans) "Vers un décodage de la chimie des panaches volcaniques"

1er Exaequo : Alexandre SCHUBNEL (UMR 8538 ENS Paris) "Le rôle des fluides dans la sismogenèse : une étude expérimentale"

1er Exaequo : Denis TESTEMALE (UPR 5031 Grenoble) "Etude in situ des fluides hydrothermaux: relation entre structure des fluides et propriétés."

4eme : Erwan THEBAULT (UMR 7154 IPGP) "Modélisation et interprétation du champ magnétique lithosphérique de la Terre et des planètes tellurique"

5eme: Audrey GALVE (UMR 6526 Nice) "Rhéologie et sismicité : exemple du contexte des subduction helléniques et antillaises"

6eme : Mathilde VERGNOLLE (UMR 5559 LGIT Grenoble) " Observation et modélisation des déformations transitoires du cycle sismique : implication sur la mécanique des séismes et des failles, et sur le comportement rhéologique de la croûte et de la lithosphère"

7eme : Mélina MACOUIN (UMR 5563, Toulouse)

8eme : Séverine ROSAT (UMR 7516, Strasbourg)

9eme : Gildas MERCERON (UMR 5125, Lyon)

2007

CR1 (4 postes):

1er: Razvan CARACAS (ENS Lyon) : "Computational modeling of the fluids role and the hydrated phases in subduction zones" COLORIAGE PU "Fluides dans les zones de subduction et risque sismique"

2ème : Maud BOYET (LMV Clermont-Ferrand) "Structuration chimique de la Terre Précoce et dynamique mantellique :Approche géochimique"

3ème : Valérie CHAVAGNAC (LMTG Toulouse) "Tracer la circulation hydrothermale dans le plancher océaniques et les sédiments marins" COLORIAGE EDD "Les mécanismes de transferts, transports et piégeage dans les systèmes fluides et hydrothermaux"

4ème : Martine SIMOES (IPGP) "Dynamique des chaînes de montagne, flux de matière et couplage tectonique-érosion (-climat ?) COLORIAGE EDD "Géomorphologie de la Terre, bilans d'érosion et altérations, grands cycles géochimiques"

5ème: Gildas MERCERON (Laboratoire de Paléoenvironnements et Paléobiosphère,Villeurbane) "Dynamique des environnements continentaux néogènes en Europe. Un traceur environnemental: alimentation et habitat des communautés d'ongulés".

CR2 (3 postes +1 récupéré) :

1er: Séverine ROSAT (IPGS Strasbourg) "Modélisations et analyses des variations du champ de pesanteur terrestre : apport sur la dynamique et la structure interne de la Terre"

2ème : Sylvie DEMOUCHEY (Géosciences Montpellier) "Hydratation et déformation : deux clés pour comprendre la géodynamique du manteau supérieur"

3ème : Guillaume CARO (CRPG Nancy) "Géochimie isotopique du calcium et du potassium : de la nébuleuse solaire au cycle du CO₂" COLORIAGE EDD "Géomorphologie de la Terre, bilans d'érosion et altérations, grands cycles géochimiques"

4ème exaequo : Nathanael SCHAEFFER (LGIT Grenoble) "Le champ magnétique terrestre :petites et grandes échelles, de temps et d'espace"

4ème exaequo : Eric FERRAGE (HYDRASA Poitiers) "Structure et dynamique de l'eau et des ions dans les milieux poreux de smectite"

4ème exaequo : Fabrice FONTAINE (IPGP) "Transferts hydrothermaux dans les dorsales et volcans terrestres : flux de masse et de chaleur dans les océans et risques hydro-volcaniques"

4ème exaequo : Aurélien GAY (Géosciences Montpellier) "Paramètres forçants externes contrôlant la migration des fluides sur les marges"

4ème exaequo : MACOUIN Melina (LMTG Toulouse) "La Géodynamo et le Climat fini-précambriens : Intérêt géodynamique et environnemental de l'enregistrement paléomagnétique"

2008

CR1(2 postes)

1er : Gildas MERCERON (UMR 5125 Villeurbanne) "Dynamique des environnements continentaux néogènes en Europe. Un traceur environnemental: alimentation et habitat des communautés d'ongulés"

2ème :Aurélia HUBERT-FERRARI (UMR 8538 Laboratoire de Géologie de l'ENS) "Etude du cycle sismique et du processus d'extrusion, en liaison avec une analyse des interactions entre la tectonique, le climat et les processus de surface".

3ème Hagay AMIT (UMR 6112 Laboratoire de Planétologie et Géodynamique de Nantes) "Mantle control on the magnetic fields of terrestrial planets"

4ème : Guillaume DUPONT-NIVET (UMR 6118 Géosciences Rennes) "Datations et interactions des processus tectoniques et climatiques"

CR2 (7 postes)

1er: Hagay AMIT (UMR 6112 Laboratoire de Planétologie et Géodynamique de Nantes) "Mantle control on the magnetic fields of terrestrial planets"

2ème: Fabrice FONTAINE (UMR 7154 IPGP) "Transferts de masse et de chaleur par hydrothermalisme dans les dorsales océaniques"

3 ème: Diane ARCAY (UMR 5243 Géosciences Montpellier) "Interactions entre plaques lithosphériques et manteau convectif dans les zones de subduction: modèles compositionnels et thermo-mécaniques couplés"

4 ème Arnaud BRAYARD (UMR 5561 Biogeosciences Dijon) "Une radiation dans le contexte paléoclimatique du Trias inférieur: la rediversification post-crise des ammonoïdes"

5 ème: Laurent REMUSAT (UMS 2679 LEME MNHN) "La matière organique dans les objets extra-terrestres: un traceur des processus dans le système solaire primitif"

6 ème: Mélina MACOUIN (UMR 5563, LMTG Toulouse) "La géodynamo et le climat fini-précambrien: intérêt géodynamique et environnemental de l'enregistrement paléomagnétique"

7 ème: Mathieu DAERON (UMR 1572 LSCE) "Isotopes et isotopologues stables des carbonates: thermométrie quantitative et reconstitutions paléo-environnementales"

8 ème exaequo: Alexandre CORGNE (UMR 5562 DTP) "Formation et évolution de la Terre et des corps planétaires telluriques"

8 ème exaequo: Anne SIEMINSKI (UMR 7516 IPGS) "Imagerie sismique des milieux complexes à différentes échelles"

10 ème exaequo : David BOUTELIER (UMR 6113 ISTO) "Dynamique de la collision continentale : modélisation thermomécanique 3D"

10 ème exaequo: Claire PERRY (UMR 5025 LGCA Grenoble) "Rétroactions dans le couplage tectonique de la lithosphère profonde et processus de surface : liens entre la topographie et l'extension post-orogénique"

12 ème: Sylvette BONNEFOY-CLAUDET (UMR 6526 Géosciences Azur) "Vers une prise en compte globale des effets de site dans l'estimation du risque sismique"

3. liste des recrutements DR2 (candidat, profil, laboratoire d'accueil) :

2005

DR2 (7 postes)

1. Nikolai Shapiro (UMR 7154 IPG Paris)
2. Philippe Cardin (UMR 5559, LGIT, Grenoble)
3. Jean Chéry (UMR 5568 Géosciences Montpellier)
4. Gilbert Camoin (UMR 6635 Cerege, Aix)
5. Didier Laporte (UMR 6524, LMV Clermont)
6. Jacques Pironon (UMR 7566 G2R, Nancy)
7. Sylvie Vergniolle (UMR 7154 IPG Paris)

Liste complémentaire

8. Dmitri Ionov (UMR 5568 Géosciences Montpellier)
9. Serge Legendre (UMR 5125, Villeurbanne)
10. Andréa Tommasi (UMR 5568 Géosciences Montpellier)

2006

DR2 (7 postes)

1. Bruno Scaillet (UMR 6113, Orléans)
2. Serge Legendre (UMR 5125, Villeurbanne)
3. Andréa Tommasi (UMR 5568, Montpellier)
4. François Costard (UMR 8148, Ides Orsay)
5. Bernadette Tessier (UMR 6143, Caen)
6. Gilles Berger (UMR 5563, LMTG Toulouse)
7. Nicolas Arnaud (UMR 5573, Montpellier)

Liste complémentaire

8. Jérôme Dymont (UMR 7154, IPGP)
9. Christophe Vigny (UMR 8538, ENS Paris)
10. Sylvie Crasquin (UMR 5143, MNHN Paris)

2007

DR2 (7 postes)

1. Jérôme DYMENT (UMR 7154, IPG Paris)
2. Christophe VIGNY (UMR 8538, ENS Paris)
3. Sylvie CRASQUIN (UMR 5143, MNHN Paris)
4. Jean Louis HAZEMANN (UPR 5031, Grenoble)
5. Stéphane GUILLOT (UMR 5025 LGCA Grenoble)
6. Paul RATERRON (UMR 8008, Lille)
7. Hervé LELOUP (UMR 5570, ENS Lyon)

Liste complémentaire :

8. Artem OGANOV (UMR 5025 LGCA Grenoble)
9. Benoit ILDEFONSE (UMR 5243, Géosciences Montpellier)
10. Daniel NEUVILLE (UMR 7154, IPG Paris)
11. Thomas SERVAIS (UMR 8014, Lille)

2008

DR2 (7 postes)

- (1) Thomas SERVAIS (UMR 8157 Lille)
- (2) Daniel NEUVILLE (UMR 7154 IPG Paris)
- (3) Michael TOPLIS (UMR 5562 Toulouse)
- (4) Sylvie BOURQUIN (UMR 6118 Rennes)
- (5) Emmanuel DORMY (UMR 7154 IPG Paris)
- (6) Frank POITRASSON (UMR 5563 Toulouse)
- (7) Benoit ILDEFONSE (UMR 5243 Montpellier)

Liste complémentaire

- (8) Michel GREGOIRE (UMR 5562, Toulouse)
- (9) Guilhem BARRUOL (UMR 5243 Montpellier)
- (10) Sylvie GARDIN (UMR 514, MNHN Paris)
- (11) Jérôme LAVE (UPR 2300, Nancy)

SECTION 18

TERRE ET PLANETES TELLURIQUES: STRUCTURE, HISTOIRE ET MODELES

Président

Marc Chaussidon

Membres

Pascal Bernard
Janne Blichert-Toft
Mathilde Cannat
Philippe Charvis
Jean-Yves Cottin
Bruno David
Marcel Drouet-Malewicz
Timothy Druitt
Michel Grégoire
Gauthier Hulot
Edouard Kaminski
Elisabeth Lallier-Vergès
David Mainprice
Isabelle Manighetti
Daniel Ohnenstetter
Maurice Pagel
Rémy Pichon
Ginette Saracco
Patrick Schibler
Alain Vauchez

RAPPORT DE CONJONCTURE 2007

Préambule

La section 18 a été créée il y a deux ans à la suite de la modification du découpage des sections qui dans la mandature précédente couvraient les Sciences de la Terre au sens large et à la suite de la disparition de la section 13

"Physique et chimie de la Terre". En simplifiant, la section 18 actuelle regroupe principalement les scientifiques de l'ancienne section 11 et environ 1/3 de scientifiques de l'ancienne section 13. Il en résulte que la section 18 couvre un très grand spectre de domaines scientifiques du département PU, de l'étude du noyau de la Terre (et des planètes telluriques) à celle de l'évolution de la vie sur Terre depuis son origine jusqu'au Cénozoïque à l'exclusion du quaternaire.

Plusieurs des domaines scientifiques rattachés à la section 18 sont en fait à l'interface avec les autres sections rattachées au département PU. C'est le cas par exemple de l'étude de la formation du système solaire et de la planétologie à l'interface avec la section 17 "Système solaire et univers lointain", d'une partie de l'étude des paléo-environnements à l'interface avec la section 19, d'une partie de l'étude 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".

Ce rapport doit être vu comme un complément aux différents colloques de prospectives qui ont eu lieu en Sciences de la Terre ont eu lieu ces dernières années (réunion de bilan-prospective du Programme National de Planétologie PNP, colloques de prospective de programmes "Reliefs de la Terre", "3F, Faille, Fluide, Flux" et "Structure, Evolution et Dynamique de l'Intérieur de la Terre, SEDIT). Ces colloques assurent une consultation très large de la communauté et différente de ce que peut faire la section 18. Enfin, les sections 11 et 13 avaient au bout de quatre ans fait des rapports de prospective dont l'analyse et les recommandations nous semblent toujours parfaitement d'actualité.

Nous reprenons donc dans la suite beaucoup des points déjà mentionnés dans les

rapports de conjoncture des sections 11 et 13 précédentes ou dans de précédents rapports de prospectives (programmes, colloques). Ceci ne doit bien sûr pas être considéré comme exhaustif.

Les sciences de la Terre ont connu ces dernières années des avancées importantes liées au développement de nouvelles techniques de modélisation et d'analyse depuis l'observation et l'expérimentation à l'échelle nanométrique ou micrométrique en laboratoire jusqu'à l'observation satellitaire. Ces développements permettent d'étudier les mêmes processus à différentes échelles spatiales et temporelles, ce qui est certainement la clef du succès pour le futur. Nous indiquons donc dans ce rapport les domaines où des efforts nous semblent nécessaires en termes d'équipement, que ce soit en modélisation, expérimentation, analyse ou observation. La section 18 est aussi particulièrement bien placée pour juger du vivier des jeunes chercheurs formés dans nos laboratoires et de l'activité des chercheurs confirmés. Dans ce registre il est indispensable dans le futur (i) de maintenir les flux d'embauches CR (et DR2) actuels pour essayer de faire revenir en France une partie au moins de nos jeunes les plus brillants et (ii) d'offrir plus de possibilités de passage DR1, beaucoup de nos collègues DR2, parmi les plus actifs, connaissant des blocages de carrière flagrants.

1. COSMOCHIMIE, PLANETOLOGIE & TERRE PRIMITIVE

Ces domaines de recherche sont à l'interface entre la section 18 et la section 17 : en simplifiant, la majorité des planétologues est rattachée à la section 17 et la majorité des cosmochimistes-géologues est rattachée à la section 18. Les exercices de prospective dans ces domaines sont réalisés régulièrement, et d'une manière plus large que ce que peut faire la section 18, par notamment le Groupe Système Solaire du CNES et le conseil scientifique du Programme National de Planétologie (PNP, qui

demande son renouvellement pour la période 2007-2011). Le colloque de septembre 2006 du PNP a montré le dynamisme de la communauté française qui occupe le devant de la scène internationale (missions Cassini-Huygens, Mars Express, analyses des échantillons cométaires STARDUST et de vent solaire GENESIS, analyse des météorites, ...). Nous ne mettons donc l'accent ici que sur certains aspects, notamment ceux concernant l'analyse en laboratoire de la matière extra-terrestre, aspects qui concernent plus particulièrement la section 18.

L'étude de la formation et de l'évolution précoce du système solaire connaît une "révolution" comparable à celle connue il y a une trentaine d'années à la suite du retour sur Terre des échantillons lunaires et aux investissements très importants faits à cette occasion dans les laboratoires étudiant les météorites. La "révolution" actuelle tient à la conjonction de trois circonstances particulières : (i) les progrès récents de techniques de caractérisation minéralogique, spectroscopique, chimique et isotopique des météorites (ii) les progrès des techniques d'observation astrophysique du milieu interstellaire ou des étoiles jeunes en formation avec leur disque d'accrétion et (iii) les premiers retours d'échantillons extraterrestres depuis les missions Apollo. Les pistes de recherche actuelles les plus prometteuses concernent l'étude de toutes les transformations chimiques, minéralogiques et isotopiques qui accompagnent la formation des premiers solides et des premières planètes. Une même "révolution" est en train de se produire dans l'étude de la Terre primitive (différenciation précoce, recherches de traces de vie anciennes, enregistrements sédimentaires archéens, ...).

La communauté française concernée par l'étude de la matière extra-terrestre s'est structurée ces dernières années grâce à l'aide notamment de l'INSU et du CNES. L'INSU a créé une plateforme d'analyse de la matière extra-terrestre qui regroupe pour l'instant des instruments d'analyse isotopique (sondes ioniques nanosims

et ims 1270, ICPMS multicollecion et TIMS) et d'analyse minéralogique (Raman) auxquels devrait s'ajouter la microscopie électronique à transmission du laboratoire de Lille. Il faut souligner ici l'importance capitale que revêt la performance analytique pour l'étude de la matière extra-terrestre. Certains de ces instruments, présentant des capacités d'analyse inégalées grâce aux développements effectués ces dernières années, ne sont présents qu'en un nombre très limité d'exemplaires de par le monde et leur regroupement à travers une même structure est unique. Les laboratoires français sont actuellement au meilleur niveau international, mais cet effort doit absolument être poursuivi. Grâce à un financement du CNES et du PNP, plusieurs laboratoires (Paris, Orsay, Lille, Grenoble, Lyon, Nancy) se sont organisés à l'intérieur du consortium Stardust pour l'étude des grains cométaires et pour constituer une force capable de rivaliser dans les appels d'offres futurs avec les meilleurs laboratoires américains. Enfin, le PNP a joué un rôle très important ces dernières années pour la communauté, en permettant un financement pour de nombreux projets et en rapprochant les communautés astrophysiques et sciences de la Terre. Plusieurs écoles d'hiver et d'été transverses entre astronomie-astrophysique et sciences de la Terre ont aussi été soutenues par l'INSU et le PNP. Ces efforts doivent être continués. De plus, plusieurs des thématiques abordées à partir de l'étude de la matière extra-terrestre semblent à priori devoir être concernées par le futur programme Origines.

2. PHYSIQUE DES MINERAUX & EXPERIMENTATION HAUTE PRESSION

Les recherches en physique des minéraux sont essentielles pour l'interprétation des données d'observation issues d'autres disciplines des sciences de la Terre, comme la géodynamique, la sismologie, la géochimie, la

pétrologie, le géomagnétisme et les sciences planétaires au sens large. Le domaine de la minéralogie des phases haute pression est fondamentalement multidisciplinaire car il emploie des concepts et des techniques de la chimie, de la physique, des sciences des matériaux, de la biologie et de l'informatique. Les travaux récents ont montré l'importance de l'étude (i) de l'incorporation de l'eau, du carbone et d'autres volatiles dans les phases normalement anhydres à haute pression et l'influence de ces volatils sur les propriétés physiques (déformation, diffusion) et sur les processus profonds de la Terre (transformations de phase) et (ii) de la rhéologie des minéraux aux conditions de la zone de transition du manteau et du manteau inférieur ainsi que des vitesses acoustiques et des équations d'état des solides à haute pression et haute température.

Dans le domaine de l'expérimentation et de la modélisation des objets en conditions extrêmes, on peut définir deux grands champs de développements méthodologiques qui permettront des avancées conceptuelles majeures: (i) l'utilisation du rayonnement synchrotron et (ii) l'utilisation des méthodes de modélisation *ab initio* et de dynamique moléculaire. (i) La communauté des Sciences de la Terre est très attentive aux évolutions futures des synchrotrons et participe activement à la définition des nouveaux programmes et équipements (lasers à électrons). Des techniques spectroscopiques variées basées sur l'utilisation de rayonnements lumineux ou proches sont développées, notamment sur les synchrotrons de Grenoble (ESRF) ou Saclay (SOLEIL), pour la caractérisation d'échantillons complexes (minéraux/microorganismes) et dans des conditions extrêmes. Le développement d'enceintes de confinement (pression, température, déformation, stérilité, quarantaine, mini-P4) permettant l'utilisation des techniques *in situ* est un corollaire nécessaire qui doit continuer à être soutenu

activement. (ii) La modélisation à l'échelle atomique est fondamentale pour quantifier les paramètres physiques et chimiques qui ne sont pas directement mesurables par des expériences conventionnelles (par exemple, les énergies des défauts ponctuels, dislocations ou des interfaces). En ce sens, elle apporte une aide unique pour l'interprétation des données spectroscopiques. Les champs d'applications de ces méthodes restent par excellence le manteau très profond et son interface avec le noyau, les zones de subduction et la convection dans le manteau terrestre mais aussi les interactions solide-liquide-vapeur à haute température pour la formation et l'évolution des objets primitifs de la nébuleuse solaire.

Notre communauté a un retard important dans ce secteur avec seulement quelques chercheurs isolés à Paris, Lille, Clermont-Ferrand et Toulouse travaillant sur ces méthodes. L'effort doit être porté sur une interaction forte avec les physiciens et les chimistes dans le but d'étendre les méthodes existantes aux conditions de l'intérieur de la Terre (haute température, haute pression).

Les projets d'équipement mi-lourd dans le domaine avec un intérêt multidisciplinaire et national sont les suivants;

1. Des presses couplées au rayonnement synchrotron. Il y a PINS sur Soleil mais aussi une presse gros volume qui va être installée sur la ligne ID27 à l'ESRF. La France et l'Europe doivent rattraper un certain retard dans ce domaine et le CNRS-Sciences de la Terre doit s'investir.

2. Un microscope électronique à balayage dédié à la cartographie cristallographique haute résolution (EBSD) et à la déformation in situ à haute température. Ce MEB doit être équipé avec d'une chambre de grande taille à pression variable et d'un canon à émission de champ (FEG), nécessaire pour atteindre la haute résolution spatiale (50 nm) qui permet de réaliser des

cartographies cristallographiques de grande qualité et de caractériser la texture d'agrégats à grains ultrafins (échantillons expérimentaux, météorites choquées, ultramytonites, roches de failles sismogéniques fortement endommagées). La pression variable permettra de travailler sur des échantillons hydratés spécifiques aux Sciences de la Terre et l'environnement.

3. Un FIB (focused ion beam) couplés à un MEB, permettant de réaliser des sections extraminces d'échantillons géologiques avec une localisation précise. L'arrivée de cet appareil issu de la nano-physique dans les Sciences de la Terre me semble essentielle à la fois pour la minéralogie physique mais aussi pour la géochimie (ablation spécifique, préparations pour la nanosims permettant une caractérisation conjointe MET/nanosims ou MET/ICP-MS). Il s'agit d'un investissement important : un FIB de génération correcte coûte plus de 1.4 Meuros., mais qui correspond à une priorité absolue dans cette communauté (y compris pour préparer certains échantillons synchrotron), mais ce type d'investissement n'a pas de sens s'il n'est pas accompagné de postes.

4. Des MET de nouvelle génération seront disponibles aux labos non développeurs vers 2007-2008. Avec un monochromateur en colonne, la résolution en pertes d'énergie en particulier gagne un facteur 10. Cela permettra par exemple d'étudier des degrés d'oxydation avec une résolution inégalée dans des échantillons géologiques extrêmes, domaine encore inabordable. En outre, les MET à résolutions spatiales très fortes (corrections d'aberration sphérique) disponibles au même moment permettront des études directes sur les nanophases environnementales

3. GEOCHRONOLOGIE

Un calage géochronologique précis devient un pré requis à tous les efforts de reconstruction géodynamique et de modélisation des processus géologiques fondamentaux. Le

futur de la géochronologie a été discuté au cours de tous les colloques de prospective organisés ces dernières années et le développement de la géochronologie concerne évidemment une communauté scientifique bien plus large (sections 19 et 20) que celle représentée par la section 18. Pour les datations par ^{14}C ou ^{10}Be , des instruments nationaux viennent d'être installés.

Les deux méthodes les plus largement utilisées sont les datations U/Pb et $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. A ces méthodes s'ajoute le développement de la géochronologie U/He associé à la thermochronologie traces de fission, techniques qui sont en train de devenir des outils fondamentaux en tectonique-géomorphologie au sens large. Les grands enjeux sont notamment de (i) de pouvoir dater des processus rapides (e.g. être capable d'utiliser les équilibres locaux, voire les déséquilibres pour remonter à la cinétique de processus), (ii) dater des objets très petits ou très jeunes (plus jeunes que 100 ka), (iii) dater les processus de surface et (iv) mieux comprendre le fonctionnement des chronomètres (température de fermeture, diffusion, ...).

Les laboratoires français de géochronologie sont tiraillés entre deux contraintes : d'une part réaliser des développements technologiques et scientifiques originaux et d'autre part assurer un accès sur une base plus ou moins de routine à la communauté qui a besoin de datations de tous types. Des recrutements ont été effectués régulièrement dans la plupart des laboratoires de géochronologie, qui ont des pyramides d'âge comparables à celles des laboratoires de géochimie isotopique par exemple, mais des problèmes de jouvence des installations analytiques vont se faire sentir dans le futur proche. Il n'y a pas actuellement de schéma pour organiser cette jouvence et l'acquisition de matériel neuf. Au cours des années précédentes plusieurs pistes ont été évoquées par la CSST, à la suite du colloque de prospective de Vulcania entre autres, pour trouver un moyen de faciliter l'accès de la communauté "des géologues" à la géochronologie tout en garantissant aux

laboratoires de géochronologie des possibilités de développements instrumentaux et analytiques (financements récurrents, ...). Les pistes envisagées tournaient autour de la création d'un service national de géochronologie qui reposerait sur quelques laboratoires ou alors le rassemblement en réseau de certains laboratoires. Aucune de ces pistes n'a pour l'instant abouti.

4. MICRO-ANALYSE EN SCIENCES DE LA TERRE

L'importance fondamentale pour le futur des Sciences de la Terre du développement des techniques de micro-observation et de micro-analyse a déjà été soulignée dans les documents de prospective des sections précédentes 11 et 13. La communauté s'est récemment doté de nouveaux instruments, ligne de lumière qui utilise le rayonnement synchrotron ou sonde ionique nanosims par exemple. Il est cependant important ici d'insister sur le fait que ces efforts doivent être poursuivis. Le développement de ces techniques est vital dans de nombreux domaines tels que l'étude (i) des interactions minéral-vivant, (ii) des minéraux finement divisés, (iii) de la dynamique des systèmes magmatiques, (iv) des charges expérimentales haute pression, (v) des météorites. Plusieurs références à l'utilisation de ces techniques sont faites dans la suite, en géochronologie, expérimentation, cosmochimie et Terre primitive.

Parmi les pistes de développement futures on peut citer les techniques de préparation de nano-échantillons par FIB, l'analyse isotopique et la datation U/Pb par couplage laser femtoseconde et MCICPMS, l'analyse isotopique à haute résolution de masse par sonde ionique. Ces techniques sont compliquées à mettre en oeuvre et sont des équipements lourds. Il convient donc de veiller à ce que leur installation se fasse selon un schéma (consortium avec des instruments déjà existants, service national) qui garantisse les

moyens humains et financiers qui les accompagnent et qui garantisse le retour scientifique ainsi que l'accès de la communauté.

5. PALEONTOLOGIE

La paléontologie est en position d'interface entre les départements EDD et MPPU (pour sa partie Planète-Univers). Ce qui touche aux fossiles, en tant qu'êtres vivants, à leur évolution, à leur place et à leur rôle dans les écosystèmes anciens relève du département EDD et de la section 29 du Comité National. Ce qui concerne la position des fossiles dans les systèmes sédimentaires et leur contribution à l'élucidation de phénomènes géologiques trouve sa place dans MPPU et la section 18. Cette distinction n'est cependant pas totalement tranchée et il existe une véritable zone d'interface entre les deux départements. Les réflexions qui suivent sont pour partie inspirées du travail du comité de réflexion sur la structuration de la paléontologie au plan national, comité mi en place par l'INSU en 2005.

La paléontologie est une discipline majeure des Sciences de la Terre et des Sciences de la Vie, traitant de l'histoire et de l'évolution du vivant, depuis la vie primitive jusqu'à la biodiversité actuelle. Une structuration existe au niveau national avec peu de paléontologues isolés. Cette discipline est très active avec par exemple beaucoup de candidats au concours de chargé de recherches en section 18.

La théorie de l'évolution occupe une place centrale en paléontologie. Les fossiles, même perdus dans un lointain passé, restent des objets biologiques et la manière dont ils réagissent face aux contingences externes (climatiques, géotectoniques, sédimentaires...), la manière dont une coquille intègre tel ou tel élément dans son réseau cristallin... ont toujours à voir avec l'évolution biologique. Le tropisme de la paléontologie est donc vers les Sciences de la Vie, mais les paléontologistes ne doivent pas pour autant s'isoler de la communauté Sciences

de la Planète. D'une manière générale, la paléontologie doit veiller à développer des interactions explicites avec d'autres disciplines telles que la géologie sédimentaire, la géochimie, la biologie ou la génétique. Trois pistes essentielles pour des domaines d'étude futurs peuvent être mentionnées : (i) Vie primitive et radiations évolutives anciennes (biodiversité, sa mise en place et son maintien à différentes échelles spatio-temporelles), (ii) "Lagerstätten" (gisements à conservations exceptionnelles) et histoire de la biodiversité (l'évaluation des fluctuations de la biodiversité à l'échelle du temps géologique) et (iii) Paléontologie, évolution et développement : l'analyse de la complexité biologique (renforcer l'interface paléontologie-biologie sur l'axe évolution et développement).

6. ARCHIVES SEDIMENTAIRES

L'étude des bassins sédimentaires est un domaine d'études qui se situe typiquement à la marge des autres sections du comité national (19, 20, 29) car elle concerne des géo-systèmes variés sur des époques de temps très larges. Plusieurs challenges s'ouvrent aujourd'hui à la discipline.

(i) L'étude de la préservation et de la signification des sédiments en termes d'évolution des paysages. Le mode de préservation et la représentativité des sédiments préservés dans les archives de la Terre sont deux questions primordiales à lever si l'on veut analyser correctement la succession des milieux de sédimentation, leur implication en termes de paléo-environnements et au-delà leurs interactions avec les circulations de fluides. En effet, leur modification physico-chimique et texturale au cours de l'enfouissement doit être analysée parallèlement si l'on veut éviter le biais récurrent d'interpréter toute évolution diagénétique en variation paléo-environnementale. Pour répondre à ces questions, il est nécessaire de développer l'étude des mécanismes de fossilisation des figures

sédimentaires et des surfaces sédimentaires remarquables (discontinuités sédimentaires et tectoniques). Cette étude passe aussi par l'analyse des mécanismes de sédimentation actuels et le développement des modélisations analogique et numérique qui seules, permettront de quantifier les phénomènes. S'agissant des évolutions diagénétiques au sein des bassins, les variations de la porosité à toutes les échelles peuvent être maintenant quantifiées, elles doivent prendre en compte les discontinuités.

(ii) L'obtention d'âges. La quantification des durées des phénomènes qu'ils soient sédimentologiques et/ou diagenétiques, doit être appréhendée le plus finement possible. De fait, l'obtention d'âges à haute résolution reste encore un des enjeux principaux du domaine pour les années à venir. L'utilisation des isotopes cosmogéniques et de la thermoluminescence des quartz doit être développée pour dater la mise en place des séries azoïques et/ou continentales. Des progrès méthodologiques récents permettent d'envisager la datation précise des événements diagénétiques et en conséquence de les relier à des causes géologiques majeures comme, par exemple, les variations de compositions isotopiques et la diagenèse « ponctué ».

(iii) L'analyse des processus sédimentaires et diagénétiques : rôle de la Vie s.l. (activité microbienne, biominéralisation, organominéralisation, minéraux diagénétiques : argiles, carbonates, sulfures, oxydes, phosphates...). Une meilleure prise en compte de l'activité biologique, de la production et préservation de matières organiques naturelles et de leur rôle sur la sédimentogenèse, comme les biominéralisations (coquilles, os) et les organominéralisations (encroûtements, minéraux diagénétiques...) permettra de mieux interpréter leurs influences sur la stabilité des minéraux et sur les processus de fossilisation. En effet, les interactions de la MO avec les carbonates, qu'ils soient biologiques, biochimiques, microbiens, pélagiques, néritiques, récifaux ou diagénétiques, mais également les argiles, ne sont pas encore

toutes élucidées et leurs études devraient améliorer les estimations des flux et des bilans de carbone à l'échelle globale. Par ailleurs, il est clair que l'étude des processus de bio et organominéralisation sur Terre reste le passage obligé pour interpréter les données d'exobiologie (météorites, missions martiennes).

(iv) L'analyse 3D des bassins sédimentaires d'avant-pays. La prospection géophysique des bassins sédimentaires développée dans un but de soutien à la prospection pétrolière, trouve aujourd'hui un regain dans l'étude en 3D des volumes érodés permettant de réaliser des calculs de flux, des bilans et des modèles d'érosion. Ces modèles pourront alors être placés en parallèle de modèles analogiques et numériques de surrection et de déformation ayant engendré les apports détritiques et rendre ainsi possible le décryptage des interactions et rétroactions entre « Mise en place des chaînes de montagne, Climat et Erosion ».

(v) L'étude de la déformation de la lithosphère à grande longueur d'onde est également un enjeu important de la discipline. La mise en évidence récente de mouvements verticaux au sein de la croûte (flambage lithosphérique par exemple...) éclaire d'une nouvelle manière les relations entre érosion, altération et sédimentation. A ce titre, le bouclier africain semble un très bon exemple pour comprendre ces interactions.

7. RESSOURCES

Le domaine couvert par le thème « ressources » répond à la fois à (i) des enjeux de société (quel est l'avenir de l'alimentation en produits de base de la civilisation industrielle « *les ressources pour demain* » et comment les exploiter proprement « *développement durable* ») et à (ii) des défis scientifiques majeurs autour de la recherche de nouveaux

modèles conceptuels pour la genèse, l'exploration et l'exploitation des ressources.

Pour répondre à ces défis/enjeux il faut résoudre des questions qui se formulent différemment en fonction des degrés d'avancement des connaissances/pratiques dans les différents domaines. S'agissant des métaux et des géo-matériaux, les questions fondamentales sont (i) quels sont les processus de fractionnement à l'origine des hyper-accumulations métalliques et (ii) comment caractériser les grands systèmes métallogéniques ? Les questions « sociétales » associées sont (i) où sont les métaux et les géo-matériaux pour l'avenir, (ii) comment exploiter « proprement » et (iii) comment réhabiliter les sites pollués en métaux toxiques, et utiliser des matériaux autrefois considérés comme des « déchets » comme des ressources ? S'agissant des énergies fossiles non renouvelables (pétrole et gaz) la question fondamentale est de quantifier les premières étapes du fonctionnement des systèmes pétroliers ? Les questions « sociétales » associées sont (i) où sont les réserves en hydrocarbures de demain (= où sont les réservoirs), (ii) comment exploiter les hydrocarbures lourds et améliorer leur récupération et (iii) comment exploiter proprement (développement durable, stockage d'H₂S par exemple en domaine pétrolier).

Le GDR Transmet a fédéré ces dernières années les recherches autour de ses thématiques avec des résultats marquants notamment autour de l'analyse in situ des paléofluides, l'étude expérimentale de la spéciation des métaux et de leur partage entre phase fluide et vapeur. Ses résultats soulignent l'importance dans les recherches futures des questions concernant (i) la nature des processus à l'origine des concentrations en métaux et (ii) l'efficacité des processus de transport et de piégeage.

Enfin, il semble évident que les efforts de recherche autour du stockage souterrain de gaz et de déchets nucléaires devront être amplifiés dans le futur. Le GDR FORPRO a mené des études

originales sur les sites de faible perméabilité pour le stockage des déchets nucléaires et le site de Bure (Meuse - Haute Marne) qui constitue un des plus importants chantiers en Sciences de la Terre et de l'ingénieur de ce début de siècle. Ces formations peu perméables sont également très importantes pour l'intégrité du stockage du CO₂ ou des déchets ultimes. Il est donc nécessaire de contribuer à l'exploitation scientifique du potentiel exceptionnel du site de Bure.

8. GEODYNAMIQUE INTERNE

La géodynamique interne englobe un ensemble de problématiques centrales en Sciences de la Terre et garde une place particulière au carrefour de différentes spécialités, notamment pétrologie, physique des hautes pressions, imagerie géophysique, chimie des éléments traces, majeurs et rapports isotopique. Toutefois, au-delà d'être un « alibi » pour les projets d'autres disciplines des Sciences de la Terre, la géodynamique repose sur des modélisations dont le développement nécessite certains efforts particuliers. On mentionnera ici quelques axes majeurs des recherches actuelles et probablement futures en géodynamique interne et des points sur lesquelles des actions fortes de la communauté seraient souhaitables.

La « nouvelle frontière » de la géodynamique interne est sans nul doute la thématique de la Terre primitive : quel est le matériel constitutif de la planète et comment ses caractéristiques chimiques ont-elles influencé la dynamique primitive ; ont-elles encore un effet sur la convection actuelle (manteau inférieur plus primitif, hétérogénéités dispersées dans un manteau non encore à l'équilibre du point de vue dynamique, etc.) ? Le démarrage de la tectonique des plaques et en corollaire les caractéristiques de la rhéologie qui l'ont permise reste une des questions majeures. La compréhension du mode de différenciation de la planète lors de la ségrégation du noyau, à partir ou non d'un océan magmatique, et ses conséquences pour la

structure initiale du manteau et son évolution, est également incontournable. L'apport de la planétologie comparée sera important pour répondre à ces questions ainsi qu'à celles plus en amont posées par le démarrage de la géodynamo et plus généralement de la physique des dynamos planétaires. Les continents, leur apparition, leur influence sur la convection et le sens de l'archive géologique qu'ils représentent, sont de nouveau d'actualité. Ces différents thèmes de recherche requièrent des efforts pluridisciplinaires : ils nécessitent le développement de modélisations originales aptes à défricher des questions dont la physique n'est pas forcément bien connue, et motivées par des jeux de données probablement non tout à fait adaptés. Des échanges importants seront nécessaires en direction de la physique et en direction de la géochimie pour progresser dans ces deux directions.

Au-delà de la thématique particulière de la Terre primitive, on retrouve en géodynamique un certain nombre de questions qui ont été soulevées assez précocement dans l'histoire de cette discipline, mais qui n'ont pour l'instant pas trouvé de réponse satisfaisante et sur lesquels il est nécessaire d'insister ici. La caractérisation de la rhéologie du manteau reste une controverse : les modèles de convection ne peuvent reproduire la dynamique actuelle du globe qu'en utilisant des rhéologies ad hoc (endommagement, pseudo plastique) qui ne correspondent pas aux modes de déformation déterminés sur les échantillons. Il est donc indispensable de mieux comprendre et modéliser le comportement effectif des matériaux à partir de celui des cristaux constitutifs, et le passage d'échelle (temps, espace) du laboratoire au manteau. Le développement d'expériences analogiques utilisant des matériaux avec des rhéologies originales devrait contribuer à cette réflexion. Il est aussi essentiel d'intensifier les transferts entre Sciences des Matériaux et Sciences de la Terre car de nombreux problèmes sont communs aux deux domaines.

Comprendre la dynamique actuelle de la Terre nécessite de bien la contraindre. Les

modèles tomographiques par exemple nous renseignent mal sur le manteau inférieur alors qu'il est le siège des super-dômes dont le rôle dans la convection a été récemment souligné. La question du lien entre les mouvements des plaques et ceux du manteau supérieur (degré de couplage) pourrait être résolue en développant les méthodes de tomographie sismique anisotrope et en couplant ces méthodes avec des études tectoniques des déformations crustales.

Un renouvellement de l'imagerie sismologique est en train d'émerger grâce aux nouvelles stratégies de déploiement des réseaux sismologiques et les capacités d'enregistrement largement accrues en termes de durée et de qualité. Des techniques nouvelles d'extraction de l'information, à la fois à partir des séismes et des enregistrements continus de l'agitation microsismique ont été récemment proposées et leurs portée doit encore être investiguée. Ces éléments offrent de nouvelles possibilités pour l'imagerie des structures géologiques à différentes échelles. En particulier la résolution de l'imagerie sismologique tend à se rapprocher de l'échelle pertinente pour la tectonique et la compréhension des relations entre dynamique du manteau et expressions de surface.

Les grandes questions qui se posent sont entre autres : (i) quel est le rôle du manteau lithosphérique dans les déformations continentales, (ii) quelles sont les interactions mécaniques entre lithosphère et asthénosphère (couplage avec la convection ?...), (iii) comment se transmettent les contraintes et la déformation dans les domaines anormalement chauds (hauts plateaux, grands domaines en extension, orogènes anciens...) ? Enfin, l'interprétation du message chimique des laves de dorsales et de point chaud nécessite de mieux comprendre la physique de la circulation des magmas et leur interaction avec la convection (changement de densité, de viscosité).

9. DYNAMIQUE DU NOYAU

L'étude du noyau de la Terre et des phénomènes dynamiques qui s'y produisent relève également de la Géodynamique Interne. Plusieurs particularités du noyau en font cependant un objet d'étude plus spécifique autour duquel de nombreux projets se sont développés avec succès au cours des dernières années, ouvrant de nombreuses perspectives. Rappelons tout d'abord que le noyau, et en son centre la graine solide, restent des régions dont les caractéristiques (composition, propriétés physiques) restent encore très mal connues. Si des progrès importants ont été faits ces dernières années, grâce notamment à l'expérimentation haute pression, qui a permis de mettre en évidence les phases probables du Fer constituant la graine, et à la sismologie, qui a permis de mettre en évidence une structure au sein de cette graine (et peut-être même une rotation lente de cette dernière), la nature précise des alliages constituant le noyau et la graine, et la présence éventuelles d'éléments radioactifs en leur sein, restent des questions largement ouvertes. Or la réponse à ces questions conditionne de manière importante l'interprétation que l'on peut donner de la dynamique du noyau à toutes les échelles de temps, depuis l'échelle de temps géologique (histoire thermique du noyau, naissance et croissance de la graine), jusqu'aux échelles les plus courtes (modes gravitationnels), en passant par des échelles de temps intermédiaires importantes pour la question de la génération du champ magnétique terrestre. Des progrès considérables ont par ailleurs récemment été faits dans l'étude de ces phénomènes dynamiques, grâce à un jeu de projets ambitieux et très complémentaires qui avaient été lancés dans le contexte des anciennes sections 11 et 13 et qu'il importe de continuer à soutenir dans le cadre de la section 18.

Il s'agit d'abord du développement d'expériences de laboratoires, ayant vocation à étudier tous les phénomènes dynamiques pouvant affecter des fluides en rotation rapide dans une

coquille sphérique, et donc susceptibles de se produire dans le noyau terrestre. Les efforts consentis dans ce domaine ont été payants à plusieurs titres. Non seulement de nouvelles équipes issues de la communauté géophysique ont ainsi pu développer de nouvelles expériences pionnières (par exemple au LGIT, à Grenoble), mais aussi d'autres équipes dont les intérêts étaient plus éloignés se sont rapprochées des questions posées par la géophysique du noyau. Citons à titre d'exemple les nombreuses équipes rassemblées au sein du GDR Dynamo, issues de laboratoires de physique, astrophysique, et géophysique, et qui s'intéressent aux questions soulevées par le problème de la génération de champs magnétiques macroscopiques dans les milieux naturels. C'est dans ce contexte que des projets ambitieux de dynamos fluides expérimentales sont ainsi en cours de développement.

Ces progrès expérimentaux, ont été accompagnés de progrès tout aussi importants en matière d'observations. L'observation de plus en plus précise de la rotation de la Terre par exemple, ou celle du champ magnétique terrestre dans les observatoires et depuis l'espace, ont ainsi permis des avancées importantes. On connaît désormais bien mieux le champ magnétique terrestre, et la façon dont ce dernier évolue. Soulignons, en passant, que les progrès réalisés en la matière n'intéressent pas seulement la question de la génération du champ magnétique terrestre au sein du noyau terrestre, mais aussi l'ensemble des disciplines concernées par l'exploitation des données magnétiques (études ionosphériques, magnétosphériques, cartographies des anomalies magnétiques, imagerie électromagnétique des couches superficielles de la Terre, etc.). L'observation du champ magnétique terrestre depuis l'espace, qui a repris en 1999 (avec le lancement des satellites Oersted et Champ) après une première mission exploratoire dans les années 1980 (MAGSAT), a notamment permis de confirmer la présence d'une dynamique très riche à l'échelle décennale, qu'il importe de continuer à observer en détail. Ces efforts d'observations se poursuivent à

travers le projet ESA Swarm, à laquelle la France participe à l'initiative de l'IPGP et avec le soutien du CNES. Cette mission sera lancée en 2010 pour prendre la relève de la mission Champ.

Ces programmes expérimentaux et observationnels sont très complémentaires. Mais cette complémentarité ne peut être pleinement exploitée sans le développement, en parallèle, d'approches numériques. Dans ce domaine également, d'importants progrès ont été réalisés ces dernières années. Des modèles numériques de fluides en convection rapide existent désormais, qui permettent de simuler de nombreuses situations. Ces simulations ont permis de valider numériquement le concept de dynamo fluide, pertinent pour la géodynamo. Elles ont également permis l'interprétation des résultats expérimentaux, et guident donc aujourd'hui les choix dans ce domaine. Des progrès doivent cependant encore être faits, notamment parce que les régimes de paramètres que ces simulations sont capables d'atteindre sont encore loin d'être ceux dont on aurait besoin pour véritablement simuler la géodynamo dans toute sa complexité. Par ailleurs, il est également important d'être en mesure de mener des simulations sur des durées suffisamment longues pour permettre l'interprétation fine de l'évolution du champ magnétique terrestre sur toute la gamme de temps couverte par les données paléomagnétiques, et mieux comprendre par exemple, les rôles joués par l'apparition et la croissance de la graine, ou l'évolution des conditions aux limites imposées par la convection lente du manteau terrestre. L'augmentation de la puissance des moyens de calcul et le recours à des techniques avancées de paramétrisations, ouvrent cependant, là encore, des perspectives de progrès importants. A terme, enfin, ces mêmes progrès devraient permettre de développer des approches de type « assimilation de données » grâce auxquelles une prédiction à court et moyen terme de l'évolution du champ magnétique terrestre pourrait être envisagée.

10. VOLCANOLOGIE

La volcanologie en France présente des spécificités. C'est, d'une part, une communauté petite mais bien reconnue sur le plan international pour ses recherches fondamentales notamment. D'autre part, la charge de surveillance des volcans actifs du territoire (Piton de la Fournaise à la Réunion, Soufrière de Guadeloupe, Montagne Pelée de Martinique) requiert le développement de compétences nationales aussi bien dans la recherche sur le fonctionnement de ces volcans que dans le développement d'outils de surveillance. Ces deux aspects doivent servir de cadre pour la définition des enjeux futurs de cette discipline.

Une priorité devrait être le renforcement des méthodes d'étude des volcans à distance, telles que celles permettant la quantification des paramètres physiques lors d'une éruption (radar Doppler, données acoustiques, spectroscopie infra-rouge, etc.), ainsi que les méthodes de télédétection appliquées aux champs de déformation ou aux états thermiques des édifices, que ce soit au moyen de données satellitaires (interférométrie radar, imagerie thermique) ou au sol (radar sol, lidar, etc). La France doit jouer un rôle moteur dans l'évolution de ces techniques et, en particulier, pour des utilisations combinées de plusieurs techniques.

Le fonctionnement des volcans reste insuffisamment compris, et donc mal prévisible. L'identification et l'interprétation des précurseurs d'une éruption nécessitent une capacité de modélisation du système magmatique et du système hydrothermal généralement associé. La physique - mal maîtrisée - des milieux poreux déformables est importante à ce stade. La formation, l'évolution et la destruction des chambres magmatiques restent des questions en grande partie ouvertes, dont les réponses nécessitent des modèles plus élaborés que les actuels. La compréhension de la transition effusive-

explosive, de la dynamique des jets explosifs, des mécanismes de génération des effondrements de colonne, ainsi que la modélisation des écoulements pyroclastiques, sont des prérequis pour la gestion des risques naturels et devraient faire l'objet de soutiens financiers récurrents.

La connaissance (1) de l'histoire éruptive, (2) des événements d'instabilité gravitaire (et tsunamis associés), et (3) des processus de remontée et du stockage des magmas dans les volcans français complète le champ d'investigation. La comparaison des données recueillies à l'occasion de campagnes de forages, sur terre et en mer est indispensable pour fournir un cadre cohérent à l'interprétation de la stratigraphie volcanique, trop souvent incomplète et trop ancienne.

Si les volcans des Antilles françaises restent une cible prioritaire, en raison de leur activité potentiellement dangereuse, La Réunion est un cas d'étude de référence internationale pour le volcanisme de point chaud. En plus des diverses données des investigations géologiques et géophysiques classiques, des données de grande qualité sur la dynamique du Piton de la Fournaise sont acquises par L'Observatoire Volcanologique. Ces dernières sont encore insuffisamment prises en compte et exploitées par la communauté. Des études pétrologiques, géochimiques et isotopiques plus détaillées permettront d'obtenir des informations sur l'évolution de la source du point chaud, sur l'évolution des réservoirs magmatiques, et sur la cinématique de la remontée des magmas dans les conduits.

11. INSTRUMENTATION EN GÉOPHYSIQUE

La nécessité de collecte d'observables géophysiques doit s'appuyer sur des outils ou équipements nationaux sous la responsabilité de l'INSU. Une programmation pluri-annuelle est indispensable pour tenir à jour la carte des grands

équipements scientifiques. Un comité ORE/Service d'observations, mis en place par l'INSU, s'occupe des problèmes concernant l'ensemble des observatoires (labellisation, suivi des activités, prospective). La coordination entre les demandes d'équipements mi-lourds mutualisés (parcs et outils nationaux) et les demandes propres des laboratoires doivent être améliorées et c'est au groupe des 'mi-lourds' géophysique de veiller à préserver un équilibre dans ce domaine.

En premier lieu, il faut maintenir nos réseaux d'observatoires permanents au sol (en France le RENASS/BCSF en sismologie, le RAP en accélérométrie et les Observatoires volcanologiques, auxquels s'ajoutent les stations géophysiques déployées en France et à l'étranger qui sont intégrées aux réseaux INTERMAGNET (en magnétisme), GEOSCOPE/IRIS (en sismologie) et GGP (réseau international des gravimètres supraconducteurs). Nos observatoires ont souvent un rôle très important dans les grands réseaux mondiaux par leur localisation géographique (en particulier les stations en Antarctique et dans les territoires sub-antarctiques). Le développement de ces observatoires, en particulier dans l'hémisphère Sud, reste primordial. La priorité en sismologie va à la création d'un réseau permanent de sismomètres à 3 composantes large bande qui fait actuellement défaut en métropole. Il faut également pérenniser le réseau géodésique national qui centralise les données de nombreuses stations GPS permanentes en France. Un des rôles qui incombe aux observatoires est de mettre à disposition des mesures qui servent à la validation des missions satellites sachant qu'un effort sans précédent a été entrepris dans la décennie en cours pour suivre les variations spatio-temporelles du champ de pesanteur et du champ magnétique terrestres depuis l'espace; cette nécessité de validation concerne notamment le cas des missions actuelles ou futures en gravimétrie (CHAMP, GRACE, GOCE) et en magnétisme (CHAMP, OERSTED, SWARM). Il faut aussi souligner le caractère indispensable des mesures permanentes au sol car

toute une gamme de phénomènes géophysiques rapides (par exemple ceux de période inférieure à la dizaine de jours en gravimétrie) est hors d'atteinte des observations satellitales. De plus, certains processus qui relèvent de la géophysique profonde (vibrations propres à très basse fréquence) ont des signatures gravifiques très faibles (10^{-12} g !) qui ne peuvent être observées qu'avec des instruments de haute technologie installés dans des sites à très faible bruit.

En second lieu, il faut pouvoir mettre en œuvre des réseaux mobiles d'instruments dans le cadre des divers programmes ou chantiers scientifiques en cours. C'est le rôle des parcs d'équipement nationaux (SISMAGE et RISC en sismologie terrestre, OBS en sismologie fond de mer, parc GPS, parc de gravimètres relatifs, parc de magnéto-tellurique) dont toutes les études prospectives montrent qu'ils sont notoirement insuffisants en taille. Le couplage entre observations en sismologie, GPS haute fréquence et imagerie radar (SAR temporel) est très prometteur pour les études de sismo-tectonique. De même, le couplage entre observations en gravimétrie et positionnement géodésique reste incontournable pour mieux comprendre les transferts de masse en jeu dans certains processus tectoniques ou des phénomènes de charge superficielle (glaciologie, hydrologie, océanographie). En gravimétrie, un des besoins identifiés est l'acquisition de gravimètres supraconducteurs (trans)-portables qui permettraient de suivre de manière continue l'évolution temporelle du champ de pesanteur sur des cibles hydrologiques ou tectoniques spécifiques et qui viendraient en complément de mesures épisodiques de gravimétrie absolue (2 outils nationaux disponibles à ce jour). Il est à noter que des résultats récents sur les variations de l'inclinaison du sol (grâce à des inclinomètres hydrostatiques à longue base développés à l'IPGP) montrent clairement l'intérêt de ce type de mesures pour le suivi d'aquifère en hydrologie, le suivi de la fonte actuelle des

glaciers dans les régions polaires ou des problèmes de tectonique (Corinthe).

12. MINERALOGIE, PETROLOGIE ET GEOCHIMIE DES ROCHES BASALTIQUES ET MANTELLIQUES

La dynamique interne de la planète Terre peut être reconstituée par l'étude des roches mantelliennes et crustales, les laves basaltiques correspondant aux traceurs les plus faciles à utiliser puisqu'étant largement majoritaires à la surface de la terre et dans les autres planètes telluriques du système solaire. Comprendre les relations entre leur composition et la convection dans le manteau est un objectif que pétrologistes, géochimistes et géophysiciens poursuivent depuis plusieurs dizaines d'années. Une interprétation fiable du message véhiculé par les roches mantelliennes passe toutefois par une bonne compréhension de la fonction de transfert manteau-surface c'est-à-dire de l'ensemble des processus pétrologiques à l'origine de leur signature géochimique.

Modéliser de manière plus réaliste les transferts de matières et d'énergie à l'intérieur du globe nécessite une connaissance précise des lois de comportement qu'il s'agit de superposer au champ thermique convectif. Cette remarque est évidente pour la modélisation du transfert des éléments majeurs et traces. Elle concerne également les signatures isotopiques. Celles-ci sont, certes, insensibles aux fractionnements pétrologiques mais ne s'expriment qu'en réponse au comportement de leurs phases « porteuses ». Il est donc indispensable de déterminer quels sont ces porteurs (qui peuvent prendre des formes aussi variées qu'une périclase, un rubanement de pyroxénite ou tout autre hétérogénéité lithologique, voire une phase carbonatée ou sulfurée ou encore une phase fluide) et quelles sont leurs caractéristiques thermodynamiques et leur mode d'extraction du manteau. Les modèles

de géodynamique chimique ont, jusqu'à présent, minimisé l'importance de ce type de « détails ». Connaître la nature du porteur est pourtant fondamental pour interpréter correctement une signature isotopique en terme d'objet géophysique (grands domaines du manteau *versus* hétérogénéités locales, par exemple). Il faut pour cela que chaque donnée géochimique puisse être replacée dans son « environnement pétrographique », au sens le plus large du terme c'est à dire incluant également les environnements minéralogiques et géophysiques susceptibles de caractériser les anisotropies des propriétés physiques des différentes géosphères. Cette proposition, qui aurait pu paraître utopique il y a quelques années, devient un projet réaliste grâce à l'accroissement des performances des outils d'analyse *in situ* des éléments traces et des rapports isotopiques (sonde ionique, ICP-MS-laser, MC-ICP-MS-laser...) ainsi qu'au développement des techniques d'imagerie 3-D qui permettent des déplacements depuis l'échelle cristalline, permettant de mieux visualiser les relations mutuelles des phases, jusqu'à l'échelle planétaire (Tomographie). Il devient donc envisageable de déterminer de plus en plus précisément le comportement des éléments traces et des couples isotopiques que l'on utilisait en aveugle, faute de mieux. Les problématiques liées à ces nouvelles techniques relancent l'intérêt pour l'étude des échantillons du manteau et de la croûte profonde ainsi que les comparaisons avec les différentes classes de météorites. Les efforts devraient porter sur l'étude d'objets naturels parallèlement au développement de modèles convectifs adaptés à la modélisation de la production des magmas dans l'ensemble du manteau supérieur afin de pouvoir préciser les apports mantelliques encore plus profonds.

13. PROCESSUS DE DEFORMATION DANS LA LITHOSPHERE

L'étude des processus géodynamiques au sens large est l'un des grands axes de recherche en tectonique. Les progrès futurs dans ce domaine demandent une meilleure compréhension des processus physiques de déformation ainsi que des relations entre géométrie, déformation et propriétés physiques mesurables par les méthodes de la géophysique.

Un aspect central de cette problématique est celui des relations mécaniques (couplage ou pas) entre enveloppes (cf. les sections de ce rapport sur la géodynamique interne et les géosciences marines). La question des couplages entre croûte supérieure fragile et croûte inférieure ductile, et entre croûte et manteau est loin d'être résolue. En fait les processus de déformation du manteau sous le Moho sont encore peu connus : les déformations y sont-elles localisées ou diffuses, cohérentes ou non avec celles de la croûte ? A l'aide d'observations géophysiques (tomographie, anisotropie sismique, etc...) combinées avec des études tectoniques, il faut identifier les cas où un couplage est probable et ceux où il ne l'est pas. Il faut aussi développer une expérimentation permettant de comprendre mieux le comportement du manteau dans la zone de couplage. Plus haut dans la croûte, nous comprenons mal les relations géométriques, mécaniques et temporelles entre les déformations de la croûte fragile et celles de la croûte ductile. Y a-t-il des "boucles de contrôle" (dans le temps et dans l'espace) entre rupture dans la croûte supérieure et fluage en profondeur ? La profondeur de cette transition dépend-elle du seul géotherme ? de la présence de fluides ? des ruptures dans la zone sismogène ? Ces problèmes peuvent être contraints en associant observations de terrain, mesures physiques, géochronologiques et géochimiques, et modélisation.

La répartition de la déformation dans la lithosphère est encore mal connue et demande des développements géophysiques. Déterminer et localiser l'anisotropie résultant de cette déformation est une approche unique. Anisotropie sismique et anisotropie de conductivité sont des observables directement

corrélabes avec la déformation. Ces méthodes demandent toutefois des développements théoriques et/ou méthodologiques: intégration des approches en fréquences finies pour la détection de l'anisotropie sismique, développement des fonctions de transfert anisotropes... La cause de l'anisotropie de conductivité est encore mal comprise et résiste aux modèles actuels. Un travail fondamental (expérimental, modélisation...) est nécessaire dans ce domaine.

Un autre champ important à défricher est celui des effets des interactions fluides-roches sur la déformation. Ces interactions concernent aussi bien les fluides aqueux que les magmas. Nous ne savons pas comment évaluer la quantité et la localisation "instantanée" (et non cumulée) de fluides (en particulier de magmas) dans le milieu. Nous connaissons mal l'effet des réactions sur le comportement mécanique de la partie solide. Un travail d'expérimentation couplé aux observations de déformations naturelles ainsi qu'à une approche géochimique devrait permettre des avancées importantes.

Enfin, il est devenu indispensable de prendre en compte les comportements non-stationnaires dans la modélisation de la déformation de la lithosphère (par exemple la modification de la microstructure et de la texture des roches, l'entrée des fluides dans le système, les réactions pétrologiques ou les modifications de la distribution des contraintes/vitesses de déformation dues au fonctionnement propre du système). Cela demande bien entendu d'être capable de paramétrer au mieux ces comportements (expérimentation, étude de cas naturels...) afin de rendre possible des modélisations réalistes.

14. FAILLES ACTIVES ET RISQUE SISMIQUE

La problématique plus spécifique des failles actives et du risque sismique associé fait appel à de nombreuses spécialités des Sciences de la Terre: Tectonique, sismologie, géodésie, physique des roches, géochimie, hydrologie ..., avec des approches complémentaires et des instruments variés (terrain, observation satellitaire, mesures géophysiques, modélisation expérimentale et numérique). La plupart des chantiers appropriés se trouvent à l'étranger. Cependant, les territoires français sont soumis à un risque sismique (et volcanique pour certains) significatif, en particulier aux Antilles; or ils sont insuffisamment étudiés à ce jour, de sorte que notre connaissance du risque sismique en France est encore parcellaire.

Une anticipation plus fiable d'évènements futurs implique d'arriver d'abord à une meilleure compréhension des séismes et du fonctionnement des failles. Trois axes majeurs de travail doivent pour cela être approfondis.

(i) Nous devons parvenir à comprendre et modéliser le fonctionnement des failles au cours des différentes phases de leur cycle sismique. Pour la phase cosismique, la modélisation et la prédiction du mode de propagation de la rupture sur des failles à géométrie complexe et toujours segmentées est un challenge majeur pour la prédiction correcte des mouvements du sol. L'existence de processus dissipatifs au cours de la rupture nécessite par ailleurs d'être prise en compte, ainsi que la réponse non-linéaire du milieu. Les effets de site locaux (sols mous ou liquéfiables, topographies complexes, etc...) qui peuvent considérablement amplifier les mouvements du sol sont eux aussi encore mal cernés. Pour la phase de réajustement post-sismique, de nombreux modèles existent mettant en jeu des rhéologies et des profondeurs crustales ou lithosphériques variées, mais les mesures pertinentes (géodésie et sismologie) font encore défaut pour les contraindre et les discriminer. La possibilité d'interventions rapides sur le terrain après un grand séisme, associant mesures tectoniques, sismologiques, et géodésiques de

haute résolution, sont essentielles dans ce contexte. La recherche sur les modes de déclenchement d'un séisme par un autre, essentielle pour l'évaluation de l'aléa, est encore balbutiante. Pour la phase de chargement intersismique, il faut déterminer la zone bloquée de la faille et sa vitesse de chargement, pour en évaluer le potentiel sismogène, ce qui exige d'améliorer les techniques de traitement des données géodésiques (GPS continu, Interferométrie Radar, corrélation d'images satellites). Enfin, les phases de déformation transitoires (essais sismiques, glissements lents au cours de l'intersismique) et les phases d'initiation des ruptures (précurseurs) restent encore largement incomprises et très peu documentées. Leur compréhension et leur quantification nécessitent de densifier les mesures fines de déformations et de déplacement du sol (enregistrements sismologiques et géodésiques continus). Le rôle des circulations de fluides profonds, souvent évoqué pour ces processus transitoires, doit également être élucidé.

(ii) Il faut améliorer notre connaissance des forts séismes passés. Ceci nécessite de poursuivre les efforts d'identification des ruptures passées sur les failles actives, notamment en tranchées, d'améliorer les techniques de datations très court terme par isotopes 'cosmogéniques' ^{36}Cl et ^{10}Be notamment, de mettre au point de nouvelles méthodes d'identification des ruptures passées.

(iii) Enfin, certaines observations suggèrent que la géométrie et le degré d'évolution des failles long-terme jouent un rôle dans les processus d'initiation et d'arrêt des ruptures sismiques, ainsi que sur l'amplitude des déplacements co-sismiques et des chutes de contrainte. Il faut donc améliorer notre connaissance de la géométrie et de l'histoire long-terme des failles, ce qui nécessite de poursuivre les études morphotectoniques 'classiques' (imagerie satellitaire à différentes échelles, modèles numériques de terrain haute

résolution, datation fine des marqueurs géologiques décalés par les failles).

Dans leur ensemble, les thèmes évoqués ci-dessus demandent que soient collectées des observables géophysiques; l'instrumentation des chantiers doit donc être possible à des échelles de temps variables: déploiements permanents, semi-permanents (de longue durée), temporaires (de courte durée) et urgents (non programmables). La France est sous-équipée en instrumentation géophysique destinée à l'étude de la structure de la lithosphère et des risques naturels. Il est important de développer des réseaux denses de stations sismologiques 3 composantes large-bande, des réseaux d'accéléromètres, des réseaux de GPS permanents, continus et haute fréquence. La recherche et la mesure des transitoires de déformation et des phases d'initiation des séismes (précurseurs) requiert une instrumentation spécifique de très grande résolution sur quelques chantiers pilotes de lacunes sismiques: Réseaux de GPS continus permanents enregistrant à haute fréquence, sismomètres très large-bande, réseaux de sismomètres courte-période en forage, inclinomètres longue base et extensomètres de forage, et enfin forages profonds plurikilométriques instrumentés recoupant des failles actives. Les déformations transitoires étant généralement de faible amplitude et de courte durée, leur mesure nécessite également un gros effort de développement méthodologique, dédié à diminuer les incertitudes.

Les couplages de méthodes géophysiques devraient être encouragés: par exemple sismologie et tectonique, pour une meilleure détermination des 'paramètres-clé' des modèles de rupture (géométrie des failles, histoire long-terme, degré d'activité), sismologie et magnétotellurique pour l'étude de la structure et de l'anisotropie, sismologie et GPS haute fréquence pour enregistrer l'ensemble du signal sismique et post-sismique dans les zones actives. Enfin, les efforts doivent être poursuivis en imagerie haute résolution (développement de satellites dédiés à l'étude des séismes et des

déformations transitoires liées au cycle sismique, modèles numériques de terrain ultra-précis), imagerie structurale (imagerie de la structure fine des failles, mais aussi des plomberies volcaniques), imagerie des séismes en mer (OBS) et plus généralement toutes les méthodes qui permettent de détecter et de mesurer des déformations du sol très petites et courtes (imagerie radar haute résolution, GPS haute fréquence).

Enfin, pour aborder ces différentes phases du cycle sismique, la modélisation numérique doit progresser dans son réalisme, en intégrant le 3D, la visco-plasticité, les couplages fluides, et plus généralement les processus thermo-physico-chimiques, ces derniers devant par ailleurs être étudiés en laboratoire.

15. RELIEFS ET EROSION

L'approche pour mieux comprendre la dynamique d'évolution des reliefs et son interaction avec les paramètres de forçages tectoniques et climatiques a connu une évolution récente importante. Cet aspect des Sciences de la Terre est maintenant de plus en plus abordé de façon intégrée par une approche qui rallie à nouveau des disciplines comme la tectonique, la géomorphologie, la sédimentologie, la géochimie et (bien entendu) la modélisation des processus physiques, qui avaient été segmentées par l'évolution "technique" qu'a connue la Géologie ces trente dernières années. Si l'on se permet de comparer la maturation de cette évolution dans la communauté Française par rapport à son équivalent aux USA, il est clair que nous avons encore du retard. Cependant les choses évoluent vite et la communauté Française se situe sur une très bonne dynamique qui se construit actuellement autour de quelques chercheurs et de quelques centres déjà très bien reconnus internationalement.

Un aspect récent très positif de cette évolution a été la création du programme National de l'INSU "Reliefs de la Terre", dont le bilan après deux années de fonctionnement à l'automne 2006 a clairement montré l'impact positif et fédérateur pour la communauté. Au delà de simplement fédérer et créer de l'animation et émulation scientifique autour de ces questions scientifiques, l'apport de ce programme National a été essentiel pour le financement d'études qui n'étaient pas toujours très bien reçues ailleurs, et qui a permis à cette communauté en renouvellement et développement de pouvoir exister.

Le développement récent de cette approche, nationalement et internationalement, a été aussi basé en grande partie sur la mise au point de nouvelles méthodes et techniques de quantification des processus (thermochronologie basse température, isotopes cosmogéniques, paléo-altimétrie, expérimentation et modélisation ...). La communauté Française va notamment bénéficier de la mise en route cette année de l'accélérateur ASTER implanté au CEREGE (Aix-en-Provence), qui permettra grâce à un fonctionnement en service national de fournir plus de données cosmogéniques (^{10}Be et ^{36}Cl) aux équipes travaillant dans le domaine de la géomorphologie quantitative. Si pour cet aspect de la quantification la situation va probablement devenir satisfaisante, il n'en est pas de même en ce qui concerne la thermochronologie basse température (U/He notamment). Très peu de laboratoires en France ont encore développé ces mesures, et aucun n'a jamais été réellement financé dans ce sens. Que ce soient les géomorphologues demandeurs, ou les géochimistes actuellement fournisseurs et développeurs, tous sont d'accords pour mettre en avant le manque d'un service national dédié à la géochronologie U/He implanté dans un des laboratoires qui aura les moyens techniques de le mettre en place et d'en assurer le fonctionnement. Des moyens dédiés et concertés importants sont donc nécessaires rapidement pour éviter toute

dispersion contre-productive comme nous avons pu le voir dans le passé pour d'autres aspects de la géochronologie.

Bien que fortement dépendante de ces aspects technologiques, l'émergence et la maturation de cette discipline, en tant que telle, est aussi freinée, comme une partie des approches concernant la dynamique de la lithosphère, par la raréfaction des chercheurs capables d'appréhender les objets naturels à notre disposition dans le système Terre. Il est très important que la communauté des Sciences de la Terre sache préserver, dans son évolution à venir, une bonne proportion entre spécialistes et généralistes. La question de leurs implantation et de la mixité entre centres de "mesure" et "d'investigation" est aussi posée et doit être débattue, car elle est centrale pour l'optimisation de la recherche dans le domaine de la dynamique des reliefs et de l'érosion, qui se situe à l'interface entre plusieurs disciplines spécialisées.

16. APPROCHES SPECIFIQUES AUX GEOSCIENCES MARINES

L'océan couvre les deux tiers de la Planète, et plusieurs questions fondamentales des Sciences de la Terre ne peuvent évidemment être abordées sans données marines. Cependant les grandes questions abordées en géosciences marines sont pour la plupart partagées avec la communauté des Sciences de la Terre en général, et nécessitent la mise en œuvre d'approches communes de modélisation. Plus que les questions scientifiques, ce sont donc les contraintes techniques et instrumentales, et les méthodes de travail qui en découlent, qui identifient la discipline et justifient un paragraphe spécifique dans cette prospective. A l'image de la communauté océanographique physique, chimique et biologique, la communauté des Géosciences Marines est maintenant largement structurée autour de grands programmes, qu'ils soient nationaux (ANR/Catastrophes

telluriques et tsunami, GDR Marges, DyETI, Reliefs...) ou internationaux (MOMAR, IMAGES, IODP...). Par ailleurs, l'intégration européenne progresse au travers de la mise en place d'Eurocores (structures ESF) comme EuroMargins et Euromarc ou le montage de projets financés par la Communauté Européenne, par exemple HERMES, ECORD et ESONET. Nous reprenons ici pour une bonne part la partie Sciences de la Terre de la prospective scientifique réalisée en juin 2006 sous mandat de l'INSU, l'Ifremer, l'IRD et de l'IPEV par le Groupe de Travail pour l'Evolution de la Flotte (GTEF).

Avant de détailler les trois axes principaux de prospective en Géosciences Marines, il faut insister sur leur approche commune de suivi temporel des processus: l'approche observatoire fond de mer. Cette approche, qui permet de suivre dans le temps les évolutions du milieu (physique, chimique, géologique, biodiversité, écosystèmes, cycles biogéochimiques), nécessite des technologies spécifiques (développement de capteurs et de la technologie nécessaire à leur gestion et maintenance). Cet aspect du travail de recherche associe des collaborateurs industriels et a un fort potentiel en termes de retombées économiques puisqu'il se situe à la frontière des développements en technologies marines. La France est bien placée au niveau européen grâce aux équipes de recherche scientifique et technologique de l'Ifremer et à plusieurs unités du CNRS (chantiers MoMAR et Mer Ligure qui sont des composantes du réseau européen ESONET, dont l'ambition, outre des objectifs de recherche fondamentale, est d'être une des contributions européennes au réseau GOOS - Global Ocean Observing System-).

Trois axes principaux de prospective en Géosciences Marines sont identifiés :

- Structure et dynamique de l'intérieur de la Terre. Que ce soit pour étudier la dynamique du manteau convectif ou la tectonique des plaques, il y a nécessité de poursuivre et développer des campagnes de géophysiques et

d'échantillonnage de roches, de déployer des parcs de sismomètres fond de mer OBS, de développer des outils de mesure magnétique près du fond, ... Certains chantiers actuels (Antilles, MoMAR, Nankai) devraient développer une dimension d'observatoire fond de mer.

- Aléas sismique, volcanique, gravitaire et tsunamis. En France, les zones côtières les plus exposées sont les Antilles et la Côte D'azur (chantier Ligure), mais tendre à une meilleure compréhension des processus nécessite aussi des études sur d'autres chantiers (Méditerranée orientale et occidentale, mer de Marmara, marge Andine, Sumatra, etc.). Cerner l'aléa sismique dans ces régions nécessite des études sismotectoniques fines dont une partie, en complément des réseaux sismologiques déployés à terre, doit être réalisée en mer (sismologie, cartographie haute résolution, imagerie géophysique, mesures géotechniques sur le fond, géochimie des fluides).

- Ressources énergétiques et minérales. La contribution académique en ce domaine porte sur des recherches fondamentales en amont de la prospection. Le développement récent de parcs d'OBS conséquents, à l'Ifremer, à l'INSU et à l'IRD permet ainsi d'imager les structures géologiques superficielles et profondes associées aux différentes étapes de l'évolution des marges continentales. Le développement de méthodes de prospection adaptées à la recherche d'amas sulfurés fossiles dans les domaines abyssaux (magnétisme fond de mer, électromagnétisme) est un enjeu important pour un partenariat industrie-recherche dans les prochaines années.