



Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture



Programme  
international  
de géosciences



Union  
internationale  
des sciences géologiques



# Récits gravés dans la pierre

40 ans du  
Programme international de géosciences (PICG)





Roches métamorphiques du Paléozoïque, Belle-Ile, France.  
© Aloé Schlagenhaut

Scientifiques discutant sur le terrain, Japon.  
© Aloé Schlagenhaut



Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture



Programme  
international  
de géosciences



Union  
internationale  
des sciences géologiques

# Récits gravés dans la pierre

40 ans du  
Programme international de géosciences (PICG)



Récits gravés dans la pierre – 40 ans du Programme international de géosciences (PICG)  
Publié en 2012 par la Section Observation globale de la Terre  
de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture  
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

© UNESCO 2012  
Tous droits réservés

ISBN 978-92-3-001041-6

Titre original : Tales Set in Stone – 40 Years of the International Geoscience Programme (IGCP)  
Publié en 2012 par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'UNESCO aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Les auteurs sont responsables des idées et des opinions exprimées dans cette publication, lesquelles ne sont pas nécessairement celles de l'UNESCO et n'engagent pas l'Organisation.

Photo de couverture : Lac acide, volcan actif du mont Aso, Kyushu, Japon. © Aloé Schlagenhauf

Composé et imprimé  
dans les ateliers de l'UNESCO  
Imprim'Vert®,  
Votre imprimeur agit pour l'environnement.

Citation suggérée :

Derbyshire E., Editeur. 2012. Récits gravés dans la pierre – 40 ans du Programme international de géosciences (PICG). UNESCO Paris, France.

Comité de rédaction

Editeur : Edward Derbyshire

Directrices de projet : Sarah Gaines, Margarete Patzak

Assistées par : Jean-Paul Cadet, Marie-Laure Faber, Aloé Schlagenhauf

Remerciements

Le présent ouvrage n'aurait pu voir le jour sans les contributions généreuses et variées de nombreuses personnes et organisations du monde entier et sans la collaboration fructueuse avec l'Union internationale des sciences géologiques. Nous sommes reconnaissants à Edward Derbyshire, l'éditeur, à Patrick Bradley, Ferran Climent, Gemma Gual, Robert Missotten, Joan Poch, Alberto Riccardi et Vivi Vajda pour leurs révisions, ainsi que tous les membres de l'UNESCO qui ont participé à ce livre. Nos remerciements s'adressent également aux responsables et co-responsables de projets qui ont contribué à l'élaboration de ce recueil, ainsi qu'aux photographes qui nous ont autorisés à utiliser leurs clichés.

# Table des matières

Préfaces .....	4
Introduction .....	15
Le Programme international de géosciences : une brève rétrospective.....	16
Sélection de projets du PICG .....	25
<b>Changement climatique : preuves provenant de données géologiques.....</b>	<b>27</b>
PICG 493 et 587 : Apogée et déclin du <i>biota</i> Vendien .....	28
PICG 521 : Le Corridor Mer Noire/Méditerranée pendant les 30 000 dernières années : variations du niveau de la mer et adaptation humaine .....	34
PICG 588 : Se préparer aux changements qui affectent les zones côtières.....	43
<b>Géorisques : diminution des risques.....</b>	<b>49</b>
PICG 454 : Géologie médicale : un nouvel outil de santé publique.....	50
PICG 490 : Rôle des catastrophes écologiques Holocène dans l'histoire de l'humanité .....	56
PICG 511 : Mouvements de masse sous-marins et leurs conséquences .....	62
PICG 567 : Archéosismologie .....	67
<b>Hydrogéologie : géosciences du cycle de l'eau.....</b>	<b>75</b>
PICG 415 : Le projet GRAND – Glaciation et réorganisation du réseau hydrographique en Asie .....	76
PICG 299, 379, 448, 513, 598 : Comprendre la nature des systèmes karstiques : plus de deux décennies avec le PICG .....	80
<b>Ressources de la Terre : pérennité de notre société.....</b>	<b>89</b>
PICG 357 : La matière organique et les gisements minéraux.....	90
PICG 470 : La ceinture panafricaine néo-protérozoïque d'Afrique centrale .....	94
PICG 473 : Intégration SIG de la métallogénie d'Asie centrale .....	98
PICG 502 : Comparaison globale des provinces de sulfures massifs volcanogéniques (VMS).....	104
<b>Terre profonde : comment contrôle-t-elle notre environnement ? .....</b>	<b>111</b>
PICG 433 : Tectonique des plaques des Caraïbes et PICG 546 : Zones de subduction des Caraïbes.....	112
<b>Jeunes chercheurs.....</b>	<b>119</b>
PICG 586Y : Processus géodynamiques dans les Andes entre 32° et 34°S de latitude – Interactions entre processus court et long termes .....	120
<b>Annexe.....</b>	<b>127</b>
Index scientifique des projets du PICG .....	128
Liste des projets du PICG – de 1974 à 2011 .....	130

# Préfaces

Irina Bokova

Directrice générale de l'UNESCO



© UNESCO/Michel Ravassard

Mieux comprendre notre Terre : bien plus qu'un objectif scientifique, c'est aussi une condition indispensable à la préservation de la diversité de la vie sur Terre et de l'avenir de nos sociétés. Les sciences de la Terre détiennent des clés permettant d'apporter des réponses pertinentes aux défis que nous avons à relever afin de préserver notre environnement et de garantir un développement durable. En ces temps de changements environnementaux à travers le monde, le *Programme international de géosciences* de l'UNESCO n'a jamais été aussi important.

L'histoire de la Terre remonte à 4,6 milliards d'années. Elle a été mouvementée, comme en témoignent par exemple les traces que des variations spectaculaires du climat ont laissées dans les roches, les sédiments, les glaces et les reliefs. Changements mineurs à certaines époques, ils ont aussi, parfois, eu des conséquences catastrophiques. Nous devons tirer parti de ces enseignements pour comprendre l'évolution du climat de notre planète et les fluctuations de la biodiversité. Nous devons mieux comprendre les épisodes passés d'extinctions biologiques massives et les processus de diversification et de changement morphologique qui ont affecté certains organismes vivants. Percer les secrets du passé aidera à mieux anticiper les changements de demain.

L'évolution de la culture humaine est intimement liée à la géologie, comme en témoignent les noms que nous employons pour qualifier notre passé : Âge de pierre, Âge du fer, Âge du bronze. Nous vivons actuellement dans ce que certains appellent l'Âge du silicium, et nous devons reconnaître pleinement le rôle que jouent les sciences de la Terre dans l'édification de sociétés « plus vertes » dans le siècle en cours, basées sur de nouvelles innovations et technologies.

L'UNESCO œuvre, depuis quarante ans, aux côtés de l'*Union internationale des sciences géologiques* pour mobiliser la coopération mondiale dans le domaine des sciences de la Terre par le biais du *Programme international de géosciences*. Ce Programme est une plate-forme regroupant des scientifiques du monde entier dans le but de faire reculer les frontières du savoir au travers de projets concrets.

À ses débuts, le Programme a renforcé les échanges scientifiques en fournissant un cadre pour la mise en place de corrélations géologiques entre différentes données stratigraphiques mondiales, l'accent étant mis sur la recherche fondamentale en géosciences et l'établissement de liens entre des événements qui ont jalonné l'histoire de la Terre. Depuis, le Programme s'est orienté vers d'autres thématiques. En 2011, il a mis l'accent sur cinq thèmes d'étude : les changements climatiques, les géorisques, l'hydrogéologie, les ressources de la Terre et la Terre profonde. Tout au long de son évolution, le Programme a toujours su construire des passerelles entre les disciplines et les scientifiques, notamment vers ceux de la jeune génération, en vue de stimuler une recherche de pointe et de partager le savoir scientifique pour le bien de tous. L'UNESCO est la seule agence du système des Nations Unies qui a pour mission de soutenir la recherche et de renforcer les capacités en géologie et en géophysique. Le *Programme international de géosciences* est, à ce titre, notre programme phare dans ce domaine.

Ce 40<sup>e</sup> anniversaire est l'occasion, pour moi, de féliciter la communauté scientifique pour son engagement, et l'*Union internationale des sciences géologiques* pour son esprit de partenariat. Ce modèle unique de collaboration internationale est essentiel pour mobiliser le potentiel de la science au service de la coopération mondiale et du développement durable. Les roches ont de fabuleux secrets à nous livrer, sur notre passé comme sur notre avenir. Le *Programme international de géosciences* nous aide à accéder à cette connaissance pour mieux la comprendre.

Alberto C. Riccardi  
Président de l'Union internationale  
des sciences géologiques  
Facultad de Ciencias Naturales  
y Museo, Universidad Nacional  
de La Plata, Argentine



Je salue cet ouvrage publié à l'occasion du 40<sup>e</sup> anniversaire du Programme international de géosciences (PICG), entreprise remarquable et sans équivalent menée sous l'égide conjointe de l'UNESCO et de l'Union internationale des sciences géologiques (UISG).

Lancé en 1972, le PICG est un programme de recherche conçu pour promouvoir des avancées en géosciences à l'échelle mondiale, en vue d'offrir une plus grande prospérité à toutes les nations et une meilleure qualité de vie à tous les hommes. Plus de 300 projets réalisés dans 150 pays avec la participation de milliers de spécialistes en sciences de la Terre, s'ajoutant à une succession continue de publications, témoignent de sa qualité scientifique et pratique.

Toutes ces initiatives ont tiré grand profit de la supervision de scientifiques éminents permettant d'obtenir une efficacité maximale à travers une meilleure coordination des efforts par des approches interdisciplinaires, une coopération internationale, un partage des savoirs scientifiques, ainsi qu'une prise de décision fondée sur des données probantes à l'échelle nationale et internationale.

Les projets mis en œuvre, tout au long de ces années au titre de ce programme, ne sont toutefois que l'une des clés de son succès. Un autre facteur déterminant a été sa flexibilité, qui a permis d'adapter le programme en fonction de l'évolution des contextes et des besoins de nos sociétés. Le PICG s'est ainsi transformé au fil du temps, se réorientant progressivement vers des projets adaptés aux besoins sociétaux, c'est-à-dire, un environnement plus sain, une identification des relations entre les facteurs géologiques naturels et les problèmes de santé, la préservation de la biodiversité, la compréhension du changement climatique et de ses enjeux, la prévention et l'atténuation des géorisques, et la préservation des ressources en eau.

Le PICG est aussi devenu une tribune pour l'analyse d'autres questions concernant les sciences de la Terre qui intéressent la société, comme la création de centres internationaux de

recherche, la promotion de l'éducation des sciences de la Terre dans les pays et les régions en développement et l'élaboration d'initiatives dans le domaine des Géoparc et du patrimoine géologique. Dès lors, le PICG mérite bien son sous-titre : « Les sciences de la Terre au service de la société ».

L'UISG met tout en œuvre pour appuyer le PICG grâce au concours de plusieurs commissions et équipes de spécialistes qui travaillent sur des sujets spécifiques, comme la normalisation dans le domaine des géosciences, la gestion et l'application des données géoscientifiques, l'amélioration de l'enseignement et de la formation en géologie par le transfert de technologies ou encore les géosciences dans la gestion de l'environnement. Le but ultime est de contribuer à la composante principale, et peut-être unique, du PICG : sa dimension coopérative qui abolit les frontières - naturelles, politiques, économiques et celles du savoir - au niveau local. Les projets du PICG revêtent donc une portée internationale dans tous les sens du terme. Ils favorisent la coopération et la compréhension entre géoscientifiques, quel que soit leur âge, leur région, leur culture, leur pays ou leur profil de formation.

Il est clair que les projets du PICG jouent un rôle fondamental dans le développement de l'éducation des géosciences et le renforcement des capacités dans ce domaine, ce qui permet un formidable transfert de connaissances au-delà les frontières. Ainsi, le PICG contribue à combler les lacunes qui existent dans l'enseignement des géosciences et dans la gestion et l'application de l'information dans le monde. Éducation et information sont, à n'en pas douter, des éléments essentiels du développement social, politique et économique, et leur importance est capitale pour bâtir une société plus sûre, plus saine et plus riche.

Vivi Vajda  
Présidente du PICG, Department  
of Earth and Ecosystem Sciences,  
Lund University, Suède



Le PICG : une plate-forme  
mondiale unique pour la  
recherche et l'éducation des  
sciences de la Terre



J'aimerais saisir l'occasion de ce 40<sup>e</sup> anniversaire du Programme international de géosciences (PICG) pour présenter un aperçu des travaux qui ont été menés par le Conseil scientifique au cours de mon mandat de Présidente du PICG, de 2009 à 2012, et pour formuler avec vous quelques perspectives d'avenir. Mais permettez-moi tout d'abord de décrire brièvement le contexte de notre action.

Le PICG est une plate-forme pluridisciplinaire qui réunit plusieurs milliers de scientifiques de quelque 150 pays dans le but de faciliter les échanges de savoirs et de

méthodologies sur des problèmes de portée planétaire liés aux sciences de la Terre. Ce Programme promeut des projets de coopération en mettant spécifiquement l'accent sur les avantages pour la société, le renforcement des capacités, ainsi que la promotion et le partage de connaissances entre pays développés et pays en développement. Il est essentiellement axé sur les géosciences appliquées, notamment l'atténuation des géorisques. Une attention particulière est portée aux projets qui ont trait aux problèmes d'environnement, aux problèmes médicaux liés à la géologie, et à l'extraction des ressources minérales et des ressources en eaux souterraines. Le climat est aussi un domaine de recherche prioritaire, en raison de sa dimension planétaire que l'on ne saurait étudier que dans le cadre d'une coopération internationale. L'élévation de température survenue au cours du siècle dernier et l'ampleur du réchauffement futur de la planète sont des thèmes qui demeurent au cœur des discussions car notre connaissance de la complexité et des mécanismes du système climatique de notre planète est incomplète. La modélisation climatique, outil essentiel pour comprendre les processus climatologiques, ne peut être efficace qu'en l'intégrant dans une compréhension des organismes vivants et de leur diversité à l'échelle des temps géologiques, à l'aide des informations que la faune et la flore fossiles fournissent sur l'évolution et l'adaptation des écosystèmes au fil du temps.

La réalisation des objectifs du PICG se matérialise au travers de projets individuels. Le PICG possède plusieurs atouts, parmi lesquels l'ancrage local des projets, leur durée de vie limitée (maximum cinq ans), leur évaluation régulière et rigoureuse par des pairs et la légitimité accrue que peut leur conférer le cadre du PICG. Ils peuvent, grâce à cette légitimité, bénéficier d'un soutien et d'un financement reposant sur une base internationale plus large. Le nombre

de projets en cours varie selon les priorités de l'UNESCO et de l'UISG, la disponibilité des fonds octroyés par l'UNESCO, l'UISG et les partenaires extérieurs, les résultats et l'état d'avancement des projets existants et, enfin, la qualité et l'intérêt des nouveaux projets qui sont soumis chaque année. La réussite du Programme et des projets individuels est le fruit du dévouement des responsables de projets, s'ajoutant à l'enthousiasme, l'appui et la participation de spécialistes en géosciences des quatre coins du monde. Les projets s'appuient souvent sur des activités déjà existantes menées avec des pays participants ce qui permet d'attirer des fonds supplémentaires de la part d'organismes gouvernementaux ou non gouvernementaux.

Le Conseil scientifique du PICG se réunit une fois par an à Paris, au siège de l'UNESCO, pour procéder au classement final des projets. Il est chargé d'évaluer les propositions de projets, de vérifier chaque année la qualité des projets en cours et de ceux en voie d'achèvement. Un président et cinq responsables de groupes thématiques (assistés par les membres du conseil, environ 10 par thème, tous des scientifiques de haut niveau) sont chargés d'examiner les rapports annuels de chaque projet et les nouveaux projets soumis. Au cours de mon mandat de Présidente, j'ai eu le grand plaisir de travailler avec une équipe constituée de scientifiques hors pair.

Les projets actifs en 2011 ciblent des problèmes géologiques d'importance capitale pour les générations actuelles et sont répartis en cinq thèmes :

**Changement climatique : preuves provenant de données géologiques**

**Géorisques : diminution des risques**

**Hydrogéologie : géosciences du cycle de l'eau**

**Ressources de la Terre : pérennité de notre société**

**Terre profonde : comment contrôle-t-elle l'environnement ?**



Le PICG, grâce à son infrastructure, permet l'examen technique et scientifique de ces projets par une cinquantaine de spécialistes, à la fois membres du Conseil et géographiquement répartis à travers le monde. L'encadrement professionnel, qui constitue une aide inestimable, est assuré par l'UNESCO. Ce secrétariat est responsable de la gestion et de l'administration des projets, des questions financières, de la préparation des réunions annuelles, du site Internet et des activités de sensibilisation du PICG.

En faisant la rétrospective des activités du PICG, il ressort que le nombre de projets soumis au Conseil scientifique a augmenté d'année en année, signe de la haute estime de la communauté scientifique à l'égard du PICG. Actuellement, une quarantaine de projets sont en cours ; chaque projet dure entre quatre et cinq ans et mobilise environ 200 participants à travers le monde. Les projets couvrent un large éventail de thèmes, depuis l'origine de la formation de la Terre et l'étude des écosystèmes marins et terrestres du Paléozoïque (-540 à -250 millions d'années) et du Mésozoïque (-250 à -65 millions d'années) jusqu'aux changements climatiques et aux épisodes d'extinction. Plusieurs projets sont consacrés à l'étude de la Terre profonde, aux processus associés à la tectonique des plaques et à la genèse des minéraux. D'autres projets portent sur les risques naturels, comme l'étude des processus volcaniques et sismiques, et l'atténuation de leurs effets. L'hydrologie est un autre thème majeur ; les systèmes karstiques constituant l'un des aquifères les plus importants de notre Planète en tant que ressource en eau potable pour la population. D'autres projets importants ayant attiré aux ressources naturelles concernent l'extraction et la durabilité

En faisant la rétrospective des activités du PICG, il ressort que le nombre de projets soumis au Conseil scientifique a augmenté d'année en année, signe de la haute estime de la communauté scientifique à l'égard du PICG.

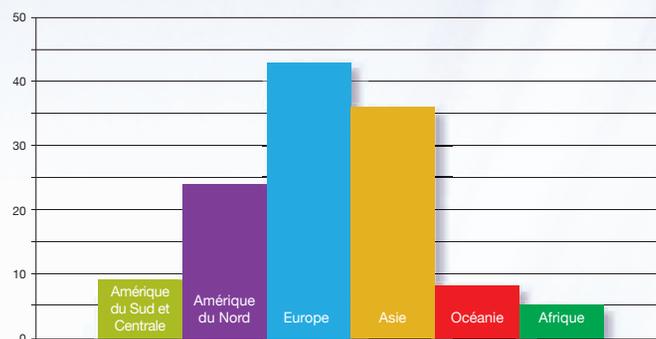


des ressources en hydrocarbures et des ressources minérales, une attention particulière étant portée sur la réduction des conséquences de ces activités sur l'environnement.

Les projets en cours sont tous extrêmement féconds. Outre le renforcement des liens au sein de la communauté scientifique internationale, ils sont à l'origine de milliers de documents scientifiques évalués par des pairs, mais aussi d'un nombre considérable de publications scientifiques de vulgarisation et de documentaires pour la télévision ou d'autres médias. Ils ont donné lieu à la création d'une série impressionnante de cartes, de bases de données et de matériels scolaires. À mes yeux, ces projets ont généré une masse énorme de données importantes et été un moyen efficace et rentable de transférer des connaissances à la société et d'en faciliter l'échange entre chercheurs.

Toutefois, il est important de ne pas nous reposer sur nos lauriers ni de s'en tenir au *statu quo*. Il convient d'améliorer et de développer la gestion du Programme et son efficacité. Ce qui est valable pour l'apprentissage individuel l'est aussi pour de vastes entreprises ou programmes scientifiques comme le PICG. D'après les responsables de groupe thématique, la difficulté majeure rencontrée durant les trois journées de réunion annuelle du Conseil du PICG à Paris, a été essentiellement le manque de temps, chacun étant conscient que toute minute passée ensemble était précieuse et qu'il ne fallait point la gaspiller. Dès notre première réunion, nous avons décidé de consacrer quelques heures (en dehors des évaluations, classements des projets et réunions libres) pour réfléchir à des problèmes définis, et tenter de trouver des solutions créatives et utiles

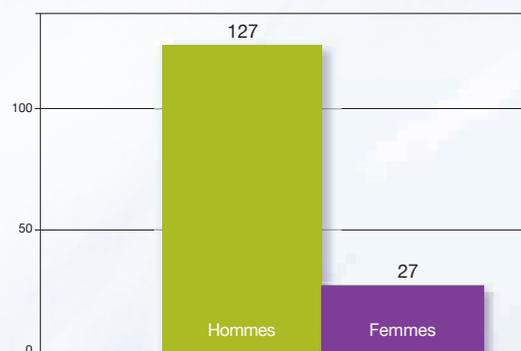
au PICG. Nous nous sommes inspirés des priorités énoncées dans la *Stratégie à moyen terme pour 2008-2013* de l'UNESCO, dont les termes sont les suivants : « L'Afrique et l'égalité entre les sexes seront les priorités de l'UNESCO dans tous ses domaines de compétence pendant toute la période de la Stratégie à moyen terme ».



Répartition géographique des responsables de projets récents du PICG

Une question très importante, évoquée régulièrement par des responsables de projets originaires notamment d'Afrique et du Moyen-Orient, est le faible pourcentage de projets approuvés, soumis par ces régions. Ayant passé en revue la liste des demandes, nous avons effectivement constaté que, depuis son lancement en 1972, la participation de l'Afrique au programme commun UNESCO-UISG avait été très marginale, que ce soit en termes de nombre de projets consacrés à ce continent (7 % seulement) ou en termes de responsables de projets issus de ce continent (5 %). Nous avons également observé que les demandes soumises par ces pays comportaient parfois des faiblesses au niveau de l'infrastructure des projets proposés, bien que l'idée scientifique centrale fût intéressante à développer. Cependant, au lieu d'insister auprès des responsables de projets pour qu'ils améliorent leur demande en vue de la soumettre l'année suivante, nous avons préféré identifier le problème et corriger ce défaut majeur du système. La faible représentativité de

certaines régions géographiques au sein de ces projets a été identifiée comme une statistique qu'il était possible d'inverser en instaurant un système de tutorat. Nous avons également noté que, bien que la participation des femmes aux projets soit relativement élevée pour un programme axé sur les sciences naturelles, cette même participation au sein des projets était très faible et ne reflétait ni la politique de l'UNESCO, ni les attentes d'une société scientifique moderne.



Proportions d'hommes et de femmes responsables de projets

Par ailleurs, nous avons décidé d'utiliser des fonds spécifiques pour soutenir des scientifiques de pays en développement, en leur permettant d'intégrer des projets du PICG. Dans au moins six projets d'excellente qualité, l'objectif a été de les associer à l'ensemble du processus de mise en place du projet, traitement des demandes, élaboration de rapports annuels, organisation d'ateliers, participation aux réunions scientifiques, etc. Plusieurs autres demandes contenant des éléments scientifiques prometteurs en dépit de quelques faiblesses, ont été sélectionnées et confiées à des scientifiques expérimentés référents. Il importe de souligner que, pour ces régions sous-représentées, prendre part au processus décisionnel, se familiariser avec les procédures de demande et autres aspects administratifs relatifs à la direction d'un projet, accueillir des conférences

et en éditer les comptes-rendus est le seul moyen d'acquérir suffisamment de connaissances et d'expérience pour pouvoir ultérieurement soumettre des demandes de qualité et gérer des projets de grande ampleur, comme ceux du PICG. Étant donné que le processus normal d'évaluation des demandes se devait d'être respecté, des fonds extrabudgétaires ont été nécessaires à l'appui de ces mesures extraordinaires.

C'est pourquoi, dans le cadre de cette idée novatrice, nous avons recherché des organismes de financement susceptibles d'apporter leur soutien. En 2009, des contacts ont été engagés avec la Commission nationale suédoise pour l'UNESCO et l'Agence suédoise de coopération internationale au développement (ASDI) dans le but de leur exposer les principaux avantages d'un investissement au sein du PICG. Bien que ce programme soit l'un des moyens les plus efficaces et rentables de transférer des connaissances de haut niveau, il possède également d'autres atouts : une infrastructure déjà existante, comprenant des réseaux de scientifiques internationaux aguerris à la gestion de projets, un conseil scientifique expérimenté chargé de l'évaluation des nouveaux projets proposés et du suivi de l'avancement des projets en cours au vu des rapports annuels, et un appareil administratif professionnel bien établi et structuré au sein de l'UNESCO qui traite toutes les demandes.

À notre grande satisfaction, l'ASDI a accepté notre demande en finançant nos projets à hauteur de 100 000 dollars américain par an pendant quatre ans. En 2011, ces fonds ont été affectés à six nouveaux projets dont nous attendons avec impatience les résultats. Une autre partie des fonds a été allouée aux bureaux hors Siège de l'UNESCO et, plus spécialement, à celui de Nairobi, Kenya, au titre d'une initiative ciblée vers les communautés scientifiques locales visant à former de jeunes scientifiques, en particulier des femmes, à l'élaboration de propositions de projets scientifiques. Un

premier « Atelier sur le perfectionnement des compétences pour élaborer des propositions de projet » s'est déroulé à Nairobi en juillet 2011, sous la direction de Sadrack Felix Toteu, Spécialiste de programme en sciences de la Terre au bureau hors Siège de Nairobi et anciennement responsable de projet, et de Dilek Yildirim, l'un des responsables de groupe thématique. Cet atelier a, notamment, fait clairement ressortir le souhait profond des scientifiques africains de rompre avec leur isolement et de déployer des projets de recherche pour passer de l'échelle individuelle et locale à l'échelle régionale et internationale.

Le PICG est le seul réseau mondial où se développe une coopération internationale dans le domaine des sciences de la Terre. La demande accrue en ressources, c'est-à-dire eaux souterraines, terres rares et métaux lourds notamment, a montré la nécessité pour la science de prendre en compte et d'atténuer les problèmes environnementaux liés à l'exploration et à l'extraction de ces ressources. Nos programmes scientifiques ont appuyé plus particulièrement les acteurs porteurs de ces objectifs, notamment en Afrique et dans des pays en développement, et nous poursuivons cette politique et ces priorités. Il apparaît aussi de plus en plus nécessaire de posséder une connaissance globale des sciences de la Terre pour étudier le changement climatique, problème représentant la plus grave menace que l'humanité ait jamais rencontrée ; l'étude des conditions climatiques du passé fournit aux décideurs des outils essentiels pour faire face aux conséquences actuelles du réchauffement de la planète.

Les activités scientifiques menées dans le cadre des projets du PICG génèrent un volume considérable de données scientifiques qui ont donné lieu à plusieurs milliers de publications scientifiques, de cartes et de bases de données et contribuent, surtout, à diffuser des connaissances grâce à des publications scientifiques vulgarisées et à des

documentaires télévisés. Pourtant, tous ces résultats ont été obtenus avec des moyens très limités. Accroître le soutien octroyé au PICG permettra d'instaurer un meilleur équilibre entre la société humaine et notre planète, car notre connaissance du système terrestre est garante de l'avenir de la planète Terre.

Géologues sur le terrain en République  
Démocratique du Congo.  
© S. Felix Toteu





# Introduction



# Le Programme international de géosciences : une brève rétrospective

Edward Derbyshire  
Président du PICG, 1996-2001



Projet 429 : Stage de formation de 3<sup>e</sup> cycle universitaire durant GEOCHEM 2000 (République tchèque). © Jan Pašava

# PICG : « préhistoire » et naissance

Le Programme international de géosciences (PICG) célèbre son 40<sup>e</sup> anniversaire en 2012, mais son origine est, en réalité, antérieure à 1972. Huit ans auparavant, en 1964, un jeune géologue australien, H.J. Harrington, adressa une lettre enthousiaste à 50 éminents spécialistes mondiaux en sciences de la Terre pour leur soumettre une proposition relative à un « Projet Gondwana » international destiné à faciliter et analyser les corrélations géologiques entre les continents de l'hémisphère sud. Des deux supercontinents qui existaient durant l'histoire de la Terre couvrant la période allant de -510 à -180 millions d'années, le Gondwana était situé au sud. Le Gondwana est un sujet d'étude géologique fascinant, car ce supercontinent renfermait la plus grande partie des masses continentales de l'hémisphère sud, comprenant l'Antarctique, l'Amérique du Sud, l'Afrique, Madagascar et le continent australien, de même que la péninsule Arabique et le sous-continent indien qui ont par la suite entièrement migré vers l'hémisphère nord.

En dépit des conseils prodigués pour éviter le terme « Gondwana », mais pour utiliser plutôt celui de dérive des continents, la proposition de Harrington suscita un vif intérêt, au point de vouloir étendre l'initiative aux nations de l'hémisphère nord. Un comité australien de géologues, jeunes mais motivés, fut ainsi formé en 1965, suite à la création officielle de l'UISG en 1961. Les premiers dirigeants de cette nouvelle organisation dédiée à la géologie se sont révélés novateurs, perspicaces et productifs. De fait, le titre du « Programme international de corrélation géologique » a été conçu par l'UISG, qui voulait marquer sa volonté de souligner le besoin manifeste de synergies et d'échanges d'idées entre l'Est et l'Ouest de l'Europe, à cette époque divisée, et son

souhait de répondre aux ambitions mondiales de l'initiative australienne. Une proposition formelle de création du PICG a été rédigée pour être soumise à l'approbation du Congrès géologique international de Prague (ex-Tchécoslovaquie) en 1968, mais les événements politiques du Printemps de Prague ont empêché la tenue de ce congrès. Il a fallu attendre la réunion suivante, à Budapest en Hongrie, pour relancer le processus et instituer un panel international chargé de mettre en place le Programme, en attendant l'approbation et le soutien de l'UNESCO. Quelques projets ont été lancés avec succès par cette organisation naissante, et ce n'est qu'en 1972 que l'UNESCO a officiellement pris le relais.

Le PICG a fait l'objet d'abondants débats et études par les organes directeurs de l'UNESCO pendant plusieurs années et même, par la Conférence générale à plusieurs occasions. Conformément à la résolution 2.321 adoptée par la Conférence générale à sa 16<sup>e</sup> session en 1970, une Conférence intergouvernementale d'experts ayant pour mission de préparer un Programme international de corrélation géologique a été organisée au Siège de l'UNESCO, du 17 au 28 octobre 1971. Cinquante-deux États membres, un Membre associé et 11 ONG internationales y ont détaché des experts afin de prendre part à la formalisation des objectifs et du contenu de ce nouveau Programme. Les statuts définitifs du PICG ont été approuvés par la Conférence générale de l'UNESCO en sa 17<sup>e</sup> session, qui s'est déroulée à Paris en 1972 (document 17 C/66), année qui marque la naissance officielle du PICG. Le Programme a été lancé à l'occasion du 24<sup>e</sup> Congrès géologique international de Montréal en 1972. La période de gestation du PICG a donc duré plus de huit ans.



Sir Kingsley Dunham, ancien directeur du *British Geological Survey* et premier Président du Conseil scientifique du PICG. © Photo avec l'aimable autorisation d'Helen Dunham (remerciements particuliers à Joe Cann qui a fourni cette image)

La mise en forme et les orientations du nouveau Programme international de corrélation géologique ont coïncidé avec la dernière année de Sir Kingsley Dunham (alors directeur du *British Geological Survey*) à la présidence de l'UISG. La réunion du comité exécutif de l'UISG qui s'est tenue à Londres en 1972 avait pour principal objectif d'instituer le PICG sous la forme d'un vaste cadre international pour la recherche géologique, avec l'appui de deux Spécialistes de programme de l'UNESCO (Michel Batisse et Felix Ronner), qui ont joué un rôle crucial dans son élaboration. Sir Kingsley Dunham a poursuivi son action en qualité de membre ordinaire du comité de l'UISG, et en février 1973, lors d'une réunion du comité à Prague, a fini par « céder » aux sollicitations en acceptant, après moult discussions, le poste de premier Président du PICG avec un mandat de quatre ans. Comme il devait l'écrire par la suite, « Je suis rentré à Londres... et entre-temps, j'étais devenu Président d'honneur d'un programme qui devait donner naissance à de nombreux projets de coopération ; au terme de mon mandat, en 1977, 67 projets au total avaient été menés, avec des implications aux quatre coins du monde ».

# Le temps des changements et de l'expansion

Le PICG, sous l'égide conjointe de l'UNESCO et de l'UISG, a connu une évolution et une expansion indéniablement positives à la suite de l'approbation initiale de plusieurs projets durant l'année universitaire 1973-74. Sa structure administrative, implantée au Siège de l'UNESCO à Paris, était un lieu idéal pour permettre à des chercheurs venant des deux côtés du 'Rideau de fer' de solliciter un soutien pour promouvoir les connaissances géologiques de l'Europe continentale et, en particulier, résoudre la délicate question de la corrélation stratigraphique transnationale, d'où l'expression 'corrélation géologique' reprise dans le nom du nouveau programme.

Accompagnant les changements qui ont jalonné l'histoire politique de l'Europe au cours des dix années suivantes, le PICG, orienté à l'origine vers une dimension continentale, a progressivement acquis une dimension internationale. Ainsi, dès le début des années 1990, le Programme reposait sur des bases solides, combinant, selon une formule innovante, l'ancrage local des projets, l'évaluation par des pairs en gage de qualité, et la capacité et le dynamisme des responsables et co-responsables de projets pour recueillir des fonds auprès de sources essentiellement nationales, et souvent dans des proportions beaucoup plus importantes que les fonds d'amorçage de l'UISG et de l'UNESCO. Dès lors, gagnant aussi bien en diversité qu'en envergure, le PICG a été attentif à encourager la participation de spécialistes en géosciences, notamment les plus jeunes et les moins privilégiés, issus de pays en développement. Plusieurs publications témoignent de l'expansion constante qu'il a enregistrée durant ces vingt années, mais le document rédigé par B.J. Skinner en 1992 est probablement le plus succinct et le plus accessible.

# Consolidation, application et diversification

Depuis l'origine du Programme, l'évaluation des projets proposés et des rapports annuels sur les projets en cours par le Conseil scientifique du PICG est dirigée par quatre groupes de travail qui couvrent les principaux domaines de spécialités définis initialement :

**Groupe de travail 1** – Stratigraphie, Paléontologie, Sédimentologie, Énergies fossiles

**Groupe de travail 2** – Quaternaire, Géosciences de l'Environnement et du Génie Civil

**Groupe de travail 3** – Gisements minéraux, Pétrologie, Volcanologie, Géochimie

**Groupe de travail 4** – Géophysique, Tectonique, Géologie structurale

Cette structure a parfaitement répondu aux besoins du Programme. L'adjonction d'un 5<sup>e</sup> groupe de travail « Hydrogéologie », qui a fait son apparition au Conseil scientifique du PICG en février 2004, a été la première mesure interdisciplinaire officielle au sein du PICG depuis sa fondation. Par la suite, une série d'événements se sont succédé, qui, lentement tout d'abord, puis progressivement, ont conduit à remodeler les objectifs, le contenu et le mode de fonctionnement du Programme.

L'UNESCO a commissionné un examen indépendant du PICG en 1997. Le rapport établi à l'issue de cet examen a recensé les caractéristiques principales du PICG et recommandé que soient davantage mises en avant les valeurs fondamentales de l'UNESCO **en augmentant le nombre de projets de géologie appliquée présentant une utilité pour la société clairement établie**, initiative ayant abouti à l'adoption du sous-titre actuel



Premier Conseil scientifique du PICG, Paris, 1973. Membres (de gauche à droite) : R. Saïd (Égypte), F. Kabbani (Arabie saoudite), J. Marçais (France), C. Nishiwaki (Japon), M. Oyawoye (Nigéria), D. McLaren (Canada), R. Chowhury (Inde : Vice-président), K. Dunham (Royaume-Uni : Président), G. Salas (Mexique : Vice-président), H. Erban (Allemagne), J. Reinemunde (États-Unis), J. Bigarella (Brésil), J. Petráněk (République tchèque) et M. Glaessner (États-Unis). Monsieur V. Menner (ex-URSS) était absent.

© Photo avec l'aimable autorisation d'Helen Dunham. Avec nos remerciements également pour nous avoir donné accès aux mémoires non publiées de Sir Kingsley Dunham, dont sont extraits les faits évoqués dans le paragraphe intitulé 'PICG : « préhistoire » et naissance'.

du PICG « Les sciences de la Terre au service de la société ». La réponse à ce changement important est clairement visible si l'on compare les projets des principaux groupes entre 1995 et 2001. Une liste complète des projets du PICG figure à la fin de cet ouvrage.

L'examen réalisé en 1997 a souligné la priorité donnée par l'UNESCO à l'éducation dans les programmes du Secteur des sciences exactes et naturelles. Le PICG était, en la matière, largement en avance, ses projets permettant un réel échange de savoir-faire, d'expériences et d'informations entre géoscientifiques du monde entier, nombre d'entre eux apportant une contribution non négligeable au renforcement des capacités dans des pays moins développés. Loin de faiblir, cette tendance de fond s'est renforcée, même après 1998.

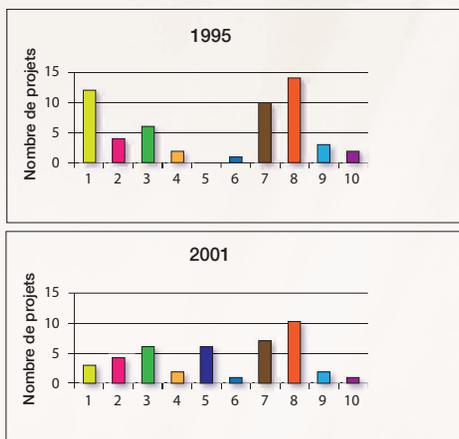
(Ces priorités de l'UNESCO ont, pour un grand nombre d'entre elles, été reprises dans le Plan d'action stratégique 2001 de l'UISG qui co-parraine le PICG. Dans l'énoncé de mission de l'UISG, un accent particulier est mis sur l'éducation, les sciences de la Terre appliquées, l'interdisciplinarité et le renforcement des capacités dans les pays en développement).

La prestigieuse Conférence mondiale sur la science (Budapest, 1999) organisée sous l'égide de l'UNESCO et du Conseil international pour la science (CIUS) a proclamé que les programmes de l'UNESCO devaient « reconnaître la nécessité de considérer l'environnement terrestre comme un système complexe unique qui nécessite une observation globale et intégrée de façon à pouvoir en prédire la variabilité et l'impact probable des activités humaines ». Cette déclaration exprimait clairement le besoin de modifier la gestion des programmes du Secteur des sciences exactes et naturelles et, notamment, de développer l'interdisciplinarité scientifique.

En dépit des discours encourageants prononcés en diverses occasions, plusieurs décisions ont été prises en 2004 au plus haut niveau par l'UNESCO. Celles-ci ont été dictées bien plus par des considérations budgétaires que par les résultats enregistrés, réduisant ainsi la visibilité du programme. La fusion de la Division des sciences de la Terre, comprenant, le PICG, les Géoparcs, l'Observation de la Terre et le Renforcement des capacités, avec la Division des sciences écologiques pour former la Division des sciences écologiques et des sciences de la Terre, a considérablement réduit les budgets. Les composantes catastrophes naturelles de l'ancienne Division

des sciences de la Terre ont été transférées à la Division des sciences fondamentales et sciences de l'ingénieur.

1. Stratigraphie
2. Environnements côtiers, marins et Limnologie
3. Changements climatiques et régions sèches
4. Biodiversité
5. Réduction des risques
6. Chaînes de montagnes
7. Gisements, minéraux et métaux
8. Structurale, Tectonique et Dérive des continents
9. Paléontologie
10. Altération



Projets du PICG répartis par principaux groupes

## Remaniement en profondeur entre 2004 et 2008

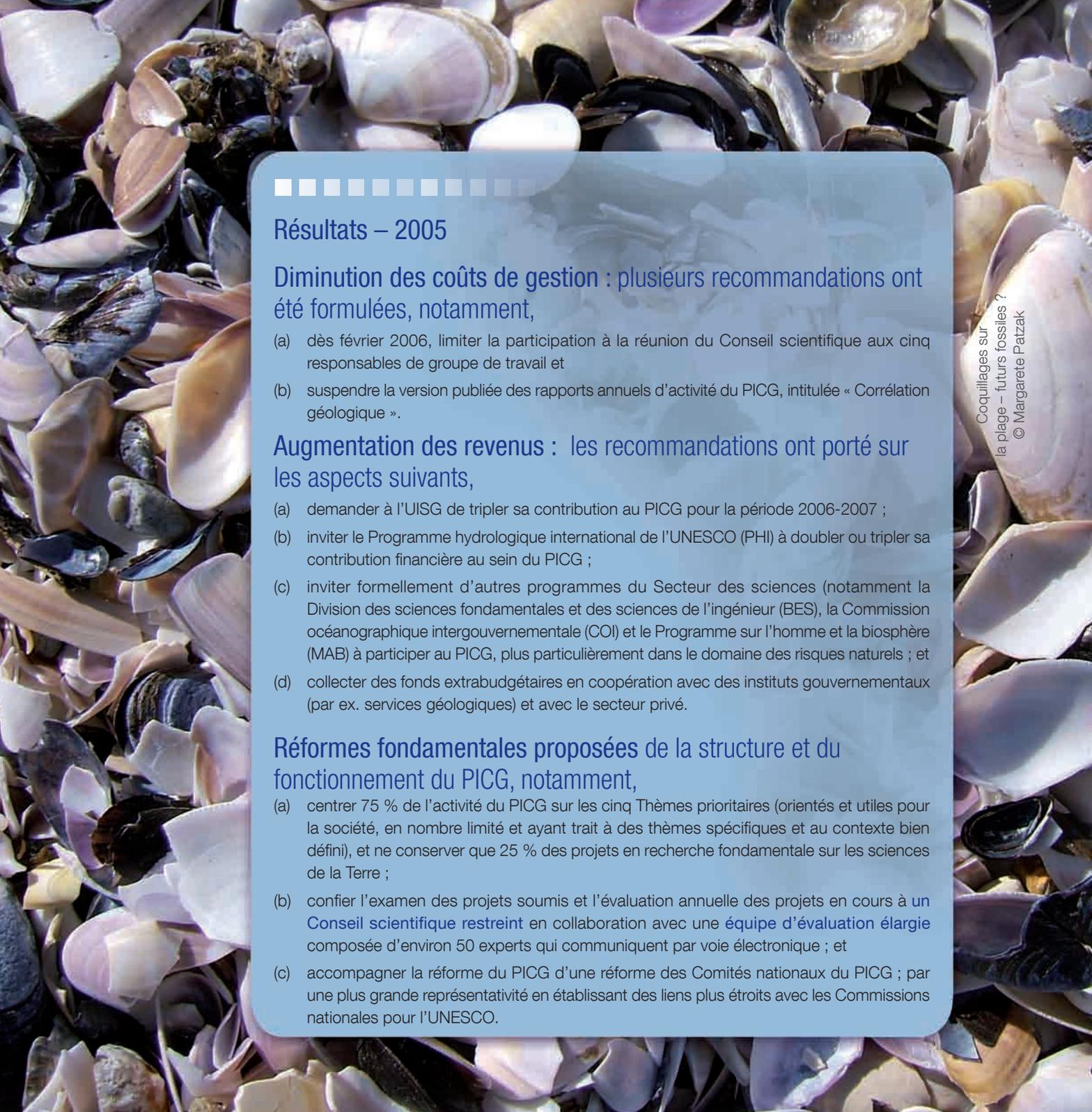
Cette restructuration du PICG a été suivie d'une série de mesures pour tenter de rééquilibrer le Programme en fonction des changements instaurés au niveau de sa structure, de sa portée et du soutien financier.

Occupant les fonctions de Président du Conseil scientifique du PICG, j'écrivis au Sous-Directeur général du Secteur des sciences exactes et naturelles en novembre 2004, pour lui proposer différentes mesures destinées à réduire les coûts de gestion du PICG et permettre d'utiliser les fonds ainsi libérés pour soutenir les projets scientifiques constituant le cœur du Programme. Les propositions portaient sur les points suivants :

1. **Les réunions annuelles du Conseil scientifique** du PICG devaient être maintenues et porter sur tous les sujets de discussion habituels, mais il convenait d'en limiter la participation aux seuls représentants des cinq groupes de travail et de privilégier l'emploi des moyens de communication électronique pour l'évaluation des projets.
2. **Des efforts particuliers devaient être** faits pour promouvoir le parrainage par les pays et industries qui tirent des bénéfices particuliers d'une communauté internationale solide et dynamique en sciences de la Terre.
3. **Des discussions devaient être engagées**, dès que possible, avec l'UISG en sa qualité de partenaire scientifique de l'UNESCO au sein du PICG.

Cette lettre entendait convaincre le Directeur général que 'Sciences de la Terre et PICG' devaient continuer à former un programme distinct au sein du Secteur des sciences exactes et naturelles de l'UNESCO. Elle devait également être utilisée lors de discussions ultérieures avec l'UISG et d'autres organisations partenaires ; discussions qui ont abouti aux résultats énoncés ci-après.

Faisant suite à un document de référence du Directeur général sur la place du Programme des sciences de la Terre au sein du Secteur des sciences exactes et naturelles («*The Earth Sciences Programme in UNESCO Natural Sciences Sector* » dans lequel était exposée la position du Directeur général au Conseil exécutif de l'UNESCO en avril 2005), une réunion conjointe UISG/UNESCO consacrée aux réformes et aux modifications structurelles du mode de fonctionnement du PICG eut lieu le 17 juin 2005. Certains changements proposés étaient très proches des propositions soumises auparavant par divers organismes, au nombre desquels la Commission nationale du Royaume-Uni pour l'UNESCO. Les résultats mentionnaient en particulier une



## Résultats – 2005

### Diminution des coûts de gestion : plusieurs recommandations ont été formulées, notamment,

- (a) dès février 2006, limiter la participation à la réunion du Conseil scientifique aux cinq responsables de groupe de travail et
- (b) suspendre la version publiée des rapports annuels d'activité du PICG, intitulée « Corrélation géologique ».

### Augmentation des revenus : les recommandations ont porté sur les aspects suivants,

- (a) demander à l'UISG de tripler sa contribution au PICG pour la période 2006-2007 ;
- (b) inviter le Programme hydrologique international de l'UNESCO (PHI) à doubler ou tripler sa contribution financière au sein du PICG ;
- (c) inviter formellement d'autres programmes du Secteur des sciences (notamment la Division des sciences fondamentales et des sciences de l'ingénieur (BES), la Commission océanographique intergouvernementale (COI) et le Programme sur l'homme et la biosphère (MAB) à participer au PICG, plus particulièrement dans le domaine des risques naturels ; et
- (d) collecter des fonds extrabudgétaires en coopération avec des instituts gouvernementaux (par ex. services géologiques) et avec le secteur privé.

### Réformes fondamentales proposées de la structure et du fonctionnement du PICG, notamment,

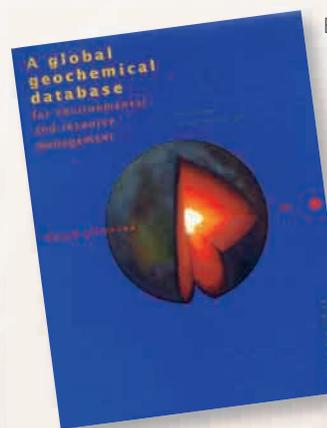
- (a) centrer 75 % de l'activité du PICG sur les cinq Thèmes prioritaires (orientés et utiles pour la société, en nombre limité et ayant trait à des thèmes spécifiques et au contexte bien défini), et ne conserver que 25 % des projets en recherche fondamentale sur les sciences de la Terre ;
- (b) confier l'examen des projets soumis et l'évaluation annuelle des projets en cours à un **Conseil scientifique restreint** en collaboration avec une **équipe d'évaluation élargie** composée d'environ 50 experts qui communiquent par voie électronique ; et
- (c) accompagner la réforme du PICG d'une réforme des Comités nationaux du PICG ; par une plus grande représentativité en établissant des liens plus étroits avec les Commissions nationales pour l'UNESCO.

diminution des coûts de gestion, une augmentation des revenus et, plus important, une recommandation concernant la nécessité d'introduire des réformes fondamentales et complètes dans la structure et le fonctionnement du PICG, ainsi que des actions à plus court terme (voir encadré).

Comme l'illustre l'histoire du PICG, un nombre impressionnant de projets, tous plus divers les uns que les autres, se sont succédé durant ces 40 années, attirant de plus en plus de scientifiques de pays en développement et leur offrant une occasion, sans précédent, de travailler en collaboration avec des spécialistes d'autres pays sur des problèmes d'importance majeure. De nombreux projets ont permis l'organisation d'ateliers de formation, avant ou après des conférences scientifiques annuelles. Toutes ces initiatives ont contribué à renforcer les capacités des étudiants et post-doctorants dans les pays en développement et abouti, bien souvent, à améliorer la qualité de leur diplôme au vu des normes internationales.

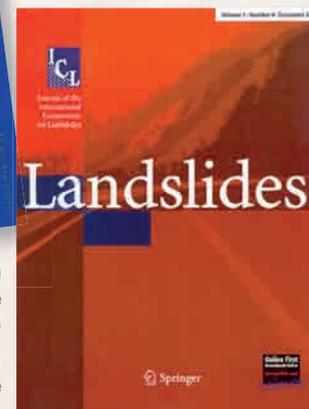
De par leur rôle dans le renforcement des capacités et dans l'importance des analyses et des discussions sur le terrain, les projets approuvés ont souvent revêtu une dimension régionale, malgré un nombre impressionnant de projets de portée mondiale, comme en témoignent certaines réalisations remarquables durables et autonomes, par exemple :

- ▶ la Base de données géochimique globale (*Global Geochemical Database*), PICG 259 : 1995,
- ▶ le Consortium international sur les glissements de terrain (*International Consortium on Landslides*), PICG 425 : 2002,
- ▶ l'Association internationale de géologie médicale (*International Medical Geology Association*), PICG 454 : 2005,
- ▶ la création du Centre international de recherche sur le karst en République populaire de Chine en 2008, après plus de vingt années de projets internationaux de recherche sur le karst dans le cadre du PICG (*International Research Centre on Karst*), PICG 299, 379, 448, 598, et
- ▶ un projet de Centre international de recherche sur la cartographie géochimique mondiale (*International Research Centre on Global Geochemical Mapping*).



Base de données géochimique globale (publié en 1995)

PICG 259 (1988-1992) & PICG 360 (1993-1997)



Consortium international sur les glissements de terrain (publié en 2002)

Journal supporté par l'UNESCO, WMO, le Ministère japonais de l'éducation et l'université de Kyoto

PICG 425 (1998-2002)

Deux exemples d'actions permanentes issues ou stimulées par les projets du PICG

## De 2008 à 2012

Nonobstant l'ampleur des réformes qui ont atteint leur point culminant en 2008, d'aucuns pensent que le processus n'est pas allé assez loin. La même année, au cours d'une réunion des Présidents des quatre Programmes scientifiques intergouvernementaux et internationaux (ISP) au sein de la Commission nationale du Royaume-Uni pour l'UNESCO, j'ai déclaré :

*« ...Je considère que les efforts investis par l'UNESCO et l'UISG pour réformer (récemment) le Programme auraient été plus efficaces et gratifiants s'ils avaient été remaniés en vue d'incorporer les Sciences de la Terre de l'UNESCO dans certains volets de programmes environnementaux mondiaux... et... [que] faute d'avoir évolué vers une structure plus adaptable [du PICG] à une époque où se posent des problèmes de portée mondiale qui exigent de réunir des compétences pluridisciplinaires en quête de solutions, le Programme en a été affaibli. »*

Alors que le besoin d'échanges et de complémentarité entre les sciences pour répondre aux problèmes environnementaux d'envergure mondiale se fait de plus en plus sentir, nécessité s'impose de soumettre chaque proposition de projet à un examen minutieux afin que le Programme conserve sa pertinence, sa flexibilité et son potentiel d'innovation. Dans le passé, le PICG a, certes, été porteur de nombreux projets de dimension internationale. Il n'en a pas moins toujours compté des projets de dimension continentale, dont certains étaient même en avance sur leur époque, comme le projet 475 (2003-2007 – DELTAMAP : Deltas dans la région des Moussons de l'Asie et du Pacifique). Étroitement lié au programme du Réseau Asie-Pacifique de recherche sur les changements planétaires relatif aux « Méga-deltas d'Asie », ce

projet a été conduit par des scientifiques chinois et a donné lieu à une succession de réunions annuelles qui se sont tenues en Thaïlande, au Viet Nam, à Brunei, au Bangladesh et en Chine.

Mais je dois m'en tenir là dans cette brève rétrospective qui commence à prendre des allures de prospective, si ce n'est, peut-être, pour ajouter un conseil. Il serait bon que le Conseil scientifique et les Administrateurs du Programme soient attentifs à la nature et à la faisabilité des futures réformes du fonctionnement du PICG qui pourraient être instaurées dans l'optique de répondre aux besoins essentiels de demain, reconnaissant que les frontières classiques entre les disciplines n'ont qu'une importance secondaire devant la multiplication et l'étendue des défis mondiaux et pluridisciplinaires. Il ne fait aucun doute, au vu des encouragements constants à utiliser des approches de gestion novatrices qui émanent de l'UNESCO et de l'UISG, que le PICG est un dispositif idéal pour tirer parti de cette évolution dans les années à venir.

**Edward Derbyshire**

*Président du PICG 1996-2001*

*Visiting Professor,*

*Royal Holloway, University of London*

Fleuves, Russie.  
© Abé Schlägenhauf

# Sélection de projets du PICG

Le Programme international de géosciences, appelé à l'origine Programme international de corrélation géologique (PICG), est une plate-forme internationale qui réunit des spécialistes des sciences de la Terre pour collaborer à des projets destinés à comprendre la Terre, ses ressources et le rôle des géosciences dans une société durable. L'un des atouts du PICG réside dans le fait qu'il repose sur un réseau international d'infrastructures de recherche et de ressources humaines compétentes, propice à la constitution de partenariats et de formations scientifiques au-delà des frontières politiques. Le PICG accueille favorablement les propositions que lui adressent des équipes multinationales de scientifiques sur des thèmes divers, qu'il s'agisse de thèmes qui intéressent tout particulièrement le PICG, de thèmes annuels spécifiques ou d'autres thèmes pertinents ayant un rapport avec les géosciences fondamentales et appliquées. Toutes les propositions sont examinées par le Conseil scientifique du PICG, dans le cadre d'un processus d'évaluation qui met en avant la qualité scientifique, en donnant une place centrale aux objectifs du PICG.

La liste complète des projets financés est située en annexe. On trouvera dans les

pages suivantes une brève description de quelques exemples de projets du PICG d'excellente qualité qui ont été conduits au cours des quarante années d'existence du Programme. Ces projets sont représentatifs des thèmes prioritaires définis par le Conseil scientifique en 2007 et dans les années qui ont suivi :

- **Changement climatique** : preuves provenant de données géologiques
- **Géorisques** : diminution des risques
- **Hydrogéologie** : géosciences du cycle de l'eau
- **Ressources de la Terre** : pérennité de notre société
- **Terre profonde** : comment contrôle-t-elle l'environnement ?

Un exemple de projet soutenu par le programme 'Jeunes chercheurs' est également présenté.



Récif corallien fossile dans les montagnes.  
© Madonie Geopark



Niveaux sédimentaires vieux de 65 millions d'années,  
témoins de l'extinction de masse à la limite Crétacé-  
Tertiaire, Géoparc de la côte Basque, Espagne.  
© Jon Paul Lordés





# Changement climatique : preuves provenant de données géologiques

Les changements qui se sont produits dans le climat de la Terre et dans l'évolution de la vie sont préservés dans les roches. Archives glaciaires et dépôts de poussières, sédiments terrestres et océaniques, et assemblages de plantes et d'animaux fossiles sont autant de traces qui contribuent à notre connaissance des changements globaux. Plusieurs grandes extinctions se sont accompagnées d'une évolution spectaculaire de l'environnement et de l'écosystème et ont ponctué l'histoire de la Planète. La vie elle-même a marqué de son empreinte l'atmosphère, les océans et la surface de la Terre. Les enseignements que nous livre l'histoire de notre environnement donnent la mesure des défis présents et à venir.

# PICG 493 et 587 : Apogée et déclin du *biota* Vendien (2003-2007 et 2010-2014)

Le projet 493, suivi du projet 587, s'est intéressé au calendrier précis des événements qui se sont produits sur terre au Protérozoïque supérieur (il y a plus de 543 millions d'années) et aux effets des changements environnementaux survenus au cours de cette ère (climat, chimie des océans et de l'atmosphère de la planète, paléogéographie) sur le développement et la diversification des premiers animaux terrestres, parmi lesquels l'apparition de l'extraordinaire faune édiacarienne ou vendienne reconnue dans le monde entier. Cette faune ne ressemblait pas aux animaux actuels. Certains organismes rappelaient un croisement d'animal et de plante, d'autres étaient discoïdes, d'autres encore avaient l'apparence de vers, sans toutefois en être. Parfois plus petits que la taille d'un ongle, ils pouvaient aussi dépasser le mètre. Après l'extinction de ces faunes, d'autres animaux avec lesquels nous sommes plus familiers (pourvus de coquilles et d'yeux) ont fait leur apparition au moment de « l'explosion cambrienne » (il y a 542 millions d'années).

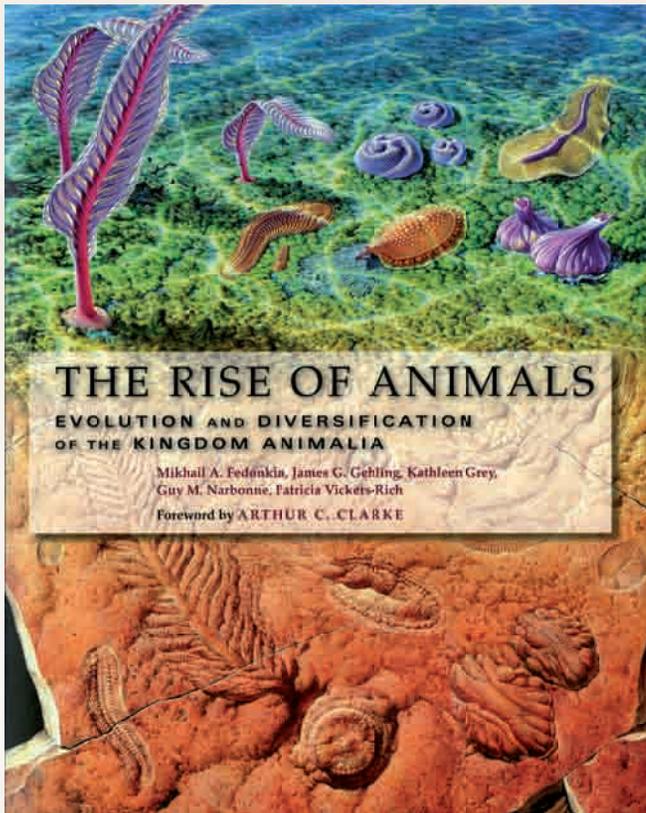
Les *biota* édiacariens ou vendiens sont les mieux préservés le long de la Winter Coast de la Mer Blanche en Fédération de Russie, dans la chaîne des Flinders en Australie du Sud, dans les déserts du sud de la Namibie, le long du fleuve Yang Tsé en Chine et dans les affleurements côtiers de Terre-Neuve. D'autres faunes à la biodiversité réduite dans le nord-ouest du Canada, en Sibérie, dans les montagnes de l'Oural en Russie centrale, en Ukraine, en Mongolie, dans le nord-ouest de l'Argentine, dans le centre du Brésil et au Moyen-Orient ont fait l'objet de recherches et, parallèlement à des sites plus connus, ont livré et continuent de livrer de

nouvelles données fort instructives sur l'expansion puis la disparition de cet assemblage métazoaire unique (animaux multicellulaires), qui s'est développé et a prospéré entre -600 et -543 millions d'années. Il a ensuite disparu assez brutalement, pour ne donner naissance qu'aux quelques groupes d'animaux que nous connaissons aujourd'hui. Élucider les facteurs qui ont présidé à la constitution précise de cet assemblage multicellulaire universellement réparti (facteurs environnementaux, évolution naturelle ou les deux ?) a été, et continue à être, au cœur des activités des chercheurs qui participent à ces deux projets pluridisciplinaires. L'un des objectifs majeurs fut de repousser les limites du savoir, en élargissant l'intervalle d'âge connu de cet assemblage édiacarien ou vendien et en améliorant notre compréhension de la morphologie et du fonctionnement de l'architecture unique de ces étranges animaux primitifs.

Au fil des années, plus de 110 chercheurs originaires de nombreux pays ont contribué aux projets 493 et 587 : Afrique du Sud, Allemagne, Arabie saoudite, Argentine, Australie, Brésil, Canada, Chine, Espagne, États-Unis, Inde, Iran, Iraq, Irlande, Italie, Japon, Namibie, Pays-Bas, Pologne, République tchèque, Royaume-Uni, Russie, Suède, Taïwan de Chine et Uruguay. Ces projets ont mobilisé une équipe pluridisciplinaire composée de sédimentologues, stratigraphes, géochimistes, géochronologues, géologues experts en géologie structurale, paléontologues, biochimistes et experts en morphologie fonctionnelle, de même qu'un artiste spécialisé dans les reconstitutions, de nombreux



Les derniers  
Édiacariens : fossiles  
Pteridinium en  
contrepoint d'un  
paysage moderne  
formé par des  
sédiments marins  
néo-protérozoïques  
(sud de la Namibie).  
Il s'agit des dernières  
traces de divers  
assemblages de ces  
premiers animaux  
sur la planète Terre.  
Reconstitution  
réalisée par l'artiste  
Peter Trusler.  
© Peter Trusler



Publication (par Johns Hopkins University Press, États-Unis) destinée au grand public qui présente un résumé des résultats du projet 493, avec notamment de nombreuses illustrations originales réalisées par l'artiste Peter Trusler. A servi de catalogue pour plusieurs expositions organisées dans le cadre du projet 493 en Asie et en Australie. Gagnant du prestigieux Prix Victorian Premier (Australie) attribué au meilleur ouvrage de vulgarisation scientifique publié durant la période 2005-2007. © Patricia Vickers-Rich

étudiants de 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> cycles, des enfants, des enseignants et des producteurs de documentaires pour les médias.

Les réunions organisées et parrainées par les deux projets ont permis des excursions scientifiques de terrain (par ex. Mer blanche et Sibérie en Russie, Namibie et Argentine) et des

présentations scientifiques lors de conférences, en partenariat avec les réunions du Congrès géologique international qui ont eu lieu en Italie (2004) et en Norvège (2008), le prochain devant se tenir en Australie en 2012. Certaines réunions ont abouti à des publications importantes, comme *Rise and Fall of the Ediacaran (Vendian) Biota*, numéro spécial 287 édité par la Société géologique de Londres en 2007, de même qu'à des articles de recherche ou de vulgarisation en Argentine, en Australie, en Chine, au Japon, en Fédération de Russie et à Taïwan de Chine. Dans un effort de vulgarisation des résultats de recherche, des expositions itinérantes ont été organisées, comme "*Wildlife of Gondwana*", "*The First Animals*" et "*The Artist and the Scientists*". D'autres initiatives ont été lancées, parmi lesquelles la réalisation de matériels pédagogiques et d'ouvrages destinés au grand public (par exemple, *The Rise of Animals* de M.A. Fedonkin), l'émission de timbres en Australie et en Namibie pour accompagner des guides pédagogiques, la création d'un site Internet interactif et vulgarisé ([www.geosci.monash.edu.au/precsite.html](http://www.geosci.monash.edu.au/precsite.html)) ou encore des actions visant à promouvoir la création de documentaires par des sociétés de production audiovisuelle en Australie, en Espagne, aux États-Unis, au Japon, au Royaume-Uni et en Uruguay. Le plus récent, lancé et soutenu par des participants aux projets 493 et 587, est le documentaire intitulé *First Life*, dernier programme de la série d'Attenborough Life Series, qui a reçu trois nominations aux Emmy Awards en septembre 2011.

L'une des réalisations les plus remarquables à l'actif de ce projet est la campagne menée, pendant trois ans, pour récolter plus de 70 000 dollars américain pour financer l'installation de la collection vendienne de 50 pièces dans une salle spéciale de l'Institut paléontologique de l'Académie des sciences de la Fédération de Russie, à Moscou, et la nomination de quatre adjoints à sa conservation.



*Yorgia* imaginaire se détachant sur un fond de nuages au-dessus de Zimnii Gory sur la côte de la Mer blanche, dans le nord de la Russie, l'un des sites activement prospectés par des membres du Laboratoire du Précambrien de l'Institut paléontologique de l'Académie des Sciences de Russie, qui ont pris part au projet 493. Reconstitution destinée à des publications et des expositions. © Peter Trusler

Comprendre la séquence et le rythme d'apparition de ces phénomènes biotiques majeurs dans le passé, en l'occurrence l'essor et la disparition de divers *biota* au Protérozoïque supérieur, et découvrir les causes de ces évolutions, ouvriront la voie à de nouvelles connaissances et prévisions futures des changements climatiques et environnementaux et des forces qui y sont à l'œuvre. Nous serons alors capables de prendre des décisions concernant nos propres comportements de manière plus éclairé et réaliste.



Ouvrage de vulgarisation, co-écrit par Patricia Vickers-Rich, l'un des co-Directeurs des projets 493/587, et le prix Nobel José Ramos-Horta, Président du Timor-Leste, destiné à des scolaires et consacré à l'histoire géologique, notamment aux Édiacariens/Vendiens. Cet ouvrage a été traduit dans 14 langues. © Peter Trusler

**Patricia Vickers-Rich**, *Palaeontology, School of Geosciences, Monash University, Melbourne, Victoria, Australia*; **Mikhail Fedonkin**, *Precambrian Laboratory, Palaeontological Institute and Director, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*; **Jim Gehling**, *Senior Research Scientist, Palaeontology, South Australian Museum, Adelaide, South Australia, Australia (PICG 493 and 587)*; **Guy Narbonne**, *Geological Sciences and Geological Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada (PICG 587)*



エディアカラの不思議な生き物たち

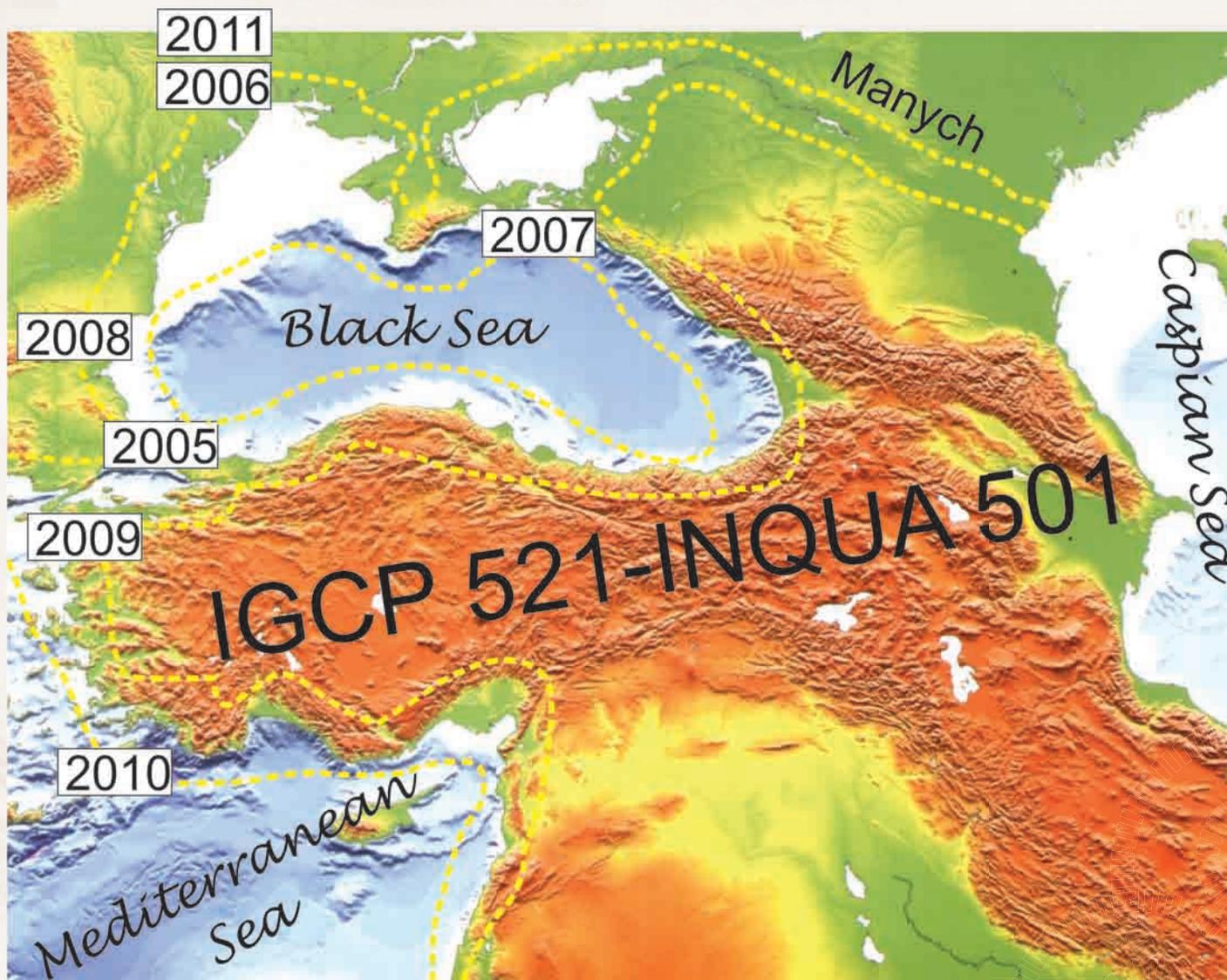




L'exposition sur le Précambrien organisée au musée Fukui Dino (Japon) a suscité un grand intérêt.  
© Fukui Prefectural Dinosaur Museum



PICG 521 : Le Corridor Mer Noire/Méditerranée pendant les 30 000 dernières années : variations du niveau de la mer et adaptation humaine (2005-2009)



Le Corridor Mer Noire/Méditerranée est un système océanographique continu qui s'étend sur une zone couvrant le détroit de Manytch-Kertch (qui comprend la vallée du Manytch, la mer d'Azov et le détroit de Kertch), la mer Noire, le couloir de Marmara (qui comprend le détroit du Bosphore, la mer de Marmara et les Dardanelles), la mer Égée, la Méditerranée Orientale et leurs côtes. Vers la fin du Pléistocène (il y a 126 000 ans), le Corridor était relié à la mer Caspienne via le détroit de Manytch. Ce Corridor est d'une importance stratégique considérable, non seulement pour ses pays côtiers, mais aussi pour les 17 (sinon plus) autres pays qui partagent son bassin versant, d'une superficie équivalente au tiers de celle de l'Europe. Le Corridor constitue un formidable témoin et amplificateur des phénomènes climatiques passés, des variations du niveau de la mer et des changements de ligne de côte, dont les effets ont été particulièrement prononcés dans la mer Noire, compte tenu de sa situation géographique et de son statut de mer semi-fermée.

L'histoire du Corridor au cours des 30 000 dernières années est d'une grande complexité et suscite, aujourd'hui encore, de vives polémiques. Durant la dernière décennie, la communauté internationale a manifesté un immense intérêt pour cette région, évoquée comme le lieu possible de l'origine du Déluge relaté dans la Bible. Dans ce climat de controverses, de nouvelles recherches ont été engagées pour étudier, dans la zone comprise entre les détroits, le régime hydrologique, les conditions de la transition lacustre/marine, ainsi que l'adaptation passée, présente et future des êtres humains aux modifications de l'environnement.

Les Corridor (représenté en pointillés jaunes) et localisation des réunions plénières du projet 521-INQUA 501 au cours de la période 2005–2011 : 2005 – Istanbul, Turquie (côte de la mer de Marmara) ; 2006 – Odessa, Ukraine (région Dniestr-Pivdenny Buh) ; 2007 – Gelendjik, Russie-Kertch, Ukraine ; 2008 – Bucarest, Roumanie-Varna, Bulgarie ; 2009 – Izmir-Çanakkale, Turquie (côte de la mer Égée) ; 2010 – Grèce, Rhodes ; 2011 – Dniestr inférieur et section ukrainienne de la région du Danube inférieur. © Valentina Yanko-Hombach

Aucune étude explorant l'évolution au cours des dernières 30 000 années du Corridor en tant qu'entité homogène n'avait été faite avant que ne soit lancé le projet 521 (2005-2009), en dépit des multiples études géologiques et archéologiques menées localement par des chercheurs isolés. Les données ainsi accumulées étaient donc comme les pièces d'un gigantesque puzzle qui attendaient d'être assemblées grâce aux efforts conjugués de la communauté internationale. L'objectif principal du projet 521, conduit parallèlement à un projet de recherche de l'Union internationale pour l'étude du Quaternaire, appelé INQUA 501 (Corridor mer Caspienne – mer Noire – Méditerranée pendant les 30 000 dernières années : variation du niveau de la mer et stratégies d'adaptation humaine (2005-2011)), était de réunir les divers groupes de chercheurs pour établir une corrélation interdisciplinaire et interrégionale des données géologiques, géochimiques, géophysiques, paléontologiques, archéologiques et historiques relatives à l'ensemble du Corridor et parvenir ainsi à évaluer l'influence des variations du niveau de la mer et des migrations côtières sur l'adaptation humaine au cours des 30 000 dernières années.

Les activités menées dans le cadre du projet ont permis à la communauté internationale de scientifiques appartenant à différentes disciplines d'établir des corrélations entre leurs données, de présenter leurs dernières conclusions lors d'assemblées plénières annuelles, de sessions thématiques, de colloques et d'ateliers, et de publier ces résultats dans des revues et des ouvrages (<http://www.avalon-institute.org/IGCP/index.html>). Des excursions sur le terrain, organisées après des sessions plénières, ont donné aux participants l'occasion de se rendre sur des sites clés du Corridor (voir carte), difficilement accessibles en d'autres circonstances, pour observer, sous la conduite d'experts locaux, certaines particularités remarquables de l'environnement et débattre de questions scientifiques importantes ayant trait à ces





Le terme « volcan de boue » s'applique généralement à une extrusion à la surface d'eau boueuse ou d'argile presque toujours accompagnée d'émanations de méthane. Les volcans de boue fossiles peuvent être utilisés pour les reconstitutions des changements climatiques ou du niveau de la mer et montrent que durant le dernier maximum glaciaire (environ -25 000 à -19 000 ans) le niveau de la mer Noire était plus bas de presque 100 m par rapport à l'actuel.

sites. Quelque 400 spécialistes de 31 pays y ont participé, contribuant à surmonter les barrières linguistiques et politiques et à encourager le dialogue Est-Ouest.

Le bilan a été présenté à des conférences et publié dans sept volumes de résumés-étendus révisés par des pairs, trois volumes spéciaux de la revue *Quaternary International* et trois ouvrages. Les activités des projets ont aussi été diffusées sur trois sites Internet régulièrement actualisés : <http://www.avalon-institute.org/IGCP>, <http://black.sealevel.ca>, et <http://www.bridge.bris.ac.uk/projects/EMBSEC BIO>. Ces informations ont contribué à encourager des réformes dans l'éducation des sciences de la Terre, des sciences comportementales et des sciences de l'atmosphère, renforçant ainsi la compétitivité des jeunes scientifiques orientaux et améliorant leurs perspectives d'emploi.

Le projet a abouti aux résultats suivants : création d'une base de données des datations radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) en mer Noire ; constitution de collections de référence de mollusques et de foraminifères benthiques (composantes importantes de la biomasse des grands fonds marins) du Quaternaire collectés en mer Noire, dans la mer d'Azov et en Méditerranée Orientale (la combinaison de ces deux résultats permettant d'améliorer l'échelle stratigraphique des 30 000 dernières années et d'établir des corrélations pour divers cadres géologiques) ; établissement d'une base de données des pollens d'une centaine de sites relatifs aux modèles de biomisation (végétation du globe) à des intervalles de temps prédéfinis ; mise au point d'un système normalisé de techniques de préparation de palynologie (pollen) et de taxonomie (science consistant à identifier et nommer des espèces) pour étudier les sédiments et les palynomorphes (matières organiques microscopiques et insolubles en milieu acide) présents dans le Corridor et servir de base à des interprétations futures concernant des types d'assemblage similaires en

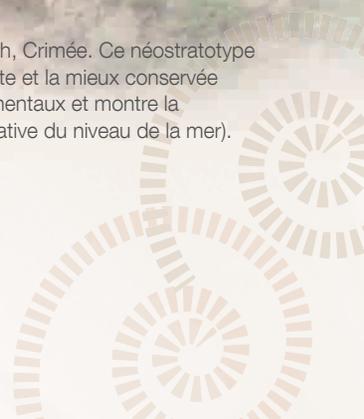
utilisant une nomenclature actualisée ; conception d'une nouvelle approche pour analyser la racémisation des acides aminés (méthode de datation biologique employée pour les ossements et les coquilles) et la datation au radiocarbone par SMA (Spectrométrie de Masse par Accélérateur) des sédiments holocènes carottés de la mer Noire, et explorer les limites et conséquences des moyennes temporelles ; et représentation de courbes de variation du niveau de la mer Noire selon l'échelle des âges radiocarbone et des âges calendaires au cours des 12 000 dernières années.

Le projet a contribué à mettre en évidence l'influence de la tectonique active sur les variations du niveau de la mer et sur les processus côtiers dans le Corridor. Il nous a été possible de décrire l'évolution paléo-océanographique en termes de paléo-températures, de paléo-salinités, de paléo-productivité, de schémas de circulation et de rendement des couloirs de Manytch et de Marmara pendant certains intervalles de temps. Nous avons ainsi été en mesure de tracer l'évolution des masses d'eau dans l'espace et dans le temps, en identifiant leurs sources possibles, et de reconstruire la dynamique de la végétation et du climat pendant le Dernier Maximum Glaciaire (de -26 500 à -19 000 ans). Le projet a également examiné les transmigrations comme moyen d'explorer le milieu vivant dans le nord-ouest de la mer Noire à la limite Pléistocène-Holocène (de -12 000 à -11 000 ans) et les séquences culturelles, l'émergence d'économies productrices de denrées alimentaires dans le sud-est de l'Europe et la collecte de différentes roches utilisées pendant la préhistoire dans différents endroits du Corridor.

Le projet a permis d'élaborer plusieurs modèles mathématiques des transgressions de la mer Noire pendant le Pléistocène supérieur et l'Holocène, des niveaux extrêmes de la mer Noire et de la mer Caspienne depuis le Dernier Maximum Glaciaire, de la sédimentation sur le plateau du nord-ouest de la mer Noire



Le néostratotype Eltigen, péninsule de Kerch, Crimée. Ce néostratotype contient la séquence marine la plus complète et la mieux conservée du Corridor. Elle recouvre des dépôts continentaux et montre la transgression de la mer Noire (remontée relative du niveau de la mer).  
© Valentina Yanko-Hombach





Les ruines d'Ephèse sur la côte ouest d'Asie mineure, Turquie, une ancienne cité grecque, devenue romaine. Ces ruines ont été fouillées et révèlent que de nombreuses parties de la ville furent érigées sur des sédiments marins déposés à de faibles profondeurs et des dépôts lagunaires, indiquant la croissance du delta de la rivière Küçük Menderes aux alentours de la cité d'Ephèse.

© Valentina Yanko-Hombach

qui révèle des périodicités intéressantes de sédimentation en fonction des variations du niveau de la mer et de l'activité hydrodynamique. D'autres modèles mathématiques ont mis en lumière la dynamique des crises écologiques et l'adaptation des populations anciennes en réponse aux modifications des conditions environnementales à la limite entre le Pléistocène supérieur et l'Holocène, permettant ainsi une mesure quantitative de l'impact des changements environnementaux sur l'expansion de l'agriculture à ses débuts et à la transition entre le Mésolithique et le Néolithique, ce qui a contribué à une meilleure connaissance du mode de vie néolithique en Europe.

Du point de vue des théories scientifiques, le projet a fourni des connaissances nouvelles fondamentales sur les principaux mécanismes qui influent sur l'adaptation humaine dans la région ; il a, d'autre part, contribué à approfondir la connaissance des concepts et des processus géologiques linéaires

et non linéaires grâce à des études corrélatives menées sur un large éventail de sites répartis dans l'ensemble du Corridor. En outre, il a permis de mieux comprendre l'influence du changement climatique de notre Planète et/ou de la tectonique active sur les fluctuations régionales du niveau de la mer, l'évolution des zones côtières, la transformation d'environnements lacustres en environnements marins, les écosystèmes et les systèmes sédimentaires, ainsi que la préhistoire et l'histoire de l'adaptation humaine.

Le projet a amélioré les normes des méthodes de recherche en sciences appliquées (comme par exemple la modélisation quantitative de la variation du niveau de la mer avec identification détaillée des facteurs environnementaux en cause et de leur mode d'action). Sa forte composante appliquée a un rapport direct avec les travaux des gestionnaires du littoral qui analysent les



Membres du projet 521 sur le terrain, 2008.  
© Valentina Yanko-Hombach

risques pour l'environnement et le développement durable du Corridor, dans la perspective du changement climatique mondial annoncé pour le siècle en cours.

Quant aux avantages pour la société, le projet a contribué à une meilleure connaissance des liens entre le changement de l'environnement et l'adaptation humaine, pour promouvoir une amélioration des conditions de vie de l'être humain et encourager un usage avisé de la Terre en tant qu'habitat humain.

*V. Yanko-Hombach, Avalon Institute of Applied Science, Winnipeg, Canada; Y. Yilmaz, Kadir Has University, Turkey; P. Dolukhanov (Deceased)*

Istanbul aujourd'hui.  
© Sarah Gaines







## PICG 588 : Se préparer aux changements qui affectent les zones côtières (2010-2014)

Le projet 588 porte sur l'évolution des zones côtières à différentes échelles de temps et d'espace et repose sur les données de recherche recueillies dans le cadre de précédents programmes du PICG relatifs aux zones côtières qui ont été menés pendant plus de trente ans (Projets 61, 200, 274, 437 et 495). Ce projet réunit des scientifiques qui étudient les processus contemporains, les effets et les réponses des environnements côtiers aux variations du niveau de la mer et aux phénomènes extrêmes, en mettant plus spécifiquement l'accent sur l'influence de l'homme et sa réaction aux processus côtiers. Le projet a pour principaux objectifs, non seulement d'examiner la dynamique et l'évolution côtière dans le passé et à l'époque actuelle, mais également d'intégrer une modélisation prédictive de la réponse des systèmes côtiers aux changements climatiques, aux effets des activités humaines et aux risques naturels. Ce projet rassemble des chercheurs qui étudient la dynamique et la vulnérabilité côtière à des échelles de temps allant de quelques minutes à plusieurs millénaires et présentant un intérêt immédiat pour de nombreuses parties prenantes qui s'intéressent à l'avenir des communautés côtières dans le monde.



Côte de Normandie, France.  
© Margarete Patzak

## Changements affectant les zones côtières

Il est acquis que les variations du niveau relatif de la mer, l'évolution du littoral et les événements extrêmes sont responsables des risques côtiers tels que tempêtes et tsunamis. Ces risques se rencontrent tout au long de l'histoire de l'humanité et ont eu des conséquences néfastes sur le bien-être individuel et sur l'environnement en intensifiant ou aggravant sa dégradation. La sensibilisation accrue du public à l'élévation annoncée du niveau de la mer, s'ajoutant aux événements extrêmes récents à l'origine d'effets dévastateurs, a mis clairement en évidence l'intérêt de comprendre l'interaction homme-terre-océan et la dynamique côtière du point de vue socioéconomique. Plus que jamais, la menace imminente de l'élévation du niveau de la mer sur les grandes villes côtières de faible altitude, comme la Nouvelle-Orléans, Shanghai, Venise, et sur les communautés insulaires, telles que les Maldives, Kiribati et Tuvalu, a permis de souligner l'importance d'étudier les variations relatives du niveau de la mer survenues dans le passé, pour être capable

de prédire l'avenir avec un meilleur degré de certitude. De même, des événements extrêmes, comme l'ouragan Katrina, le cyclone Nargis et les tsunamis dans l'océan Indien en 2004 et au Japon en 2011, ont mis en exergue la vulnérabilité des communautés côtières dans le monde. Pourtant celles-ci continuent de croître à un rythme sans précédent et, de ce fait, les populations vulnérables à ces événements sont de plus en plus nombreuses.

## Le temps presse

Ce projet est lié aux thèmes transversaux du temps et de l'impact des communautés humaines sur les paysages côtiers. Il examine les données qui permettront d'évaluer les interactions humaines, la dynamique et la vulnérabilité côtière à différentes échelles de temps, ce qui présente un intérêt immédiat pour de nombreuses parties prenantes s'intéressant

à l'avenir des communautés côtières. L'ensemble des échelles de temps étudiées couvre : les événements catastrophiques ou instantanés (de l'ordre de quelques minutes ou heures), les changements mesurables et prévisibles (de l'ordre de quelques heures ou années) pour des décisions de planification (de l'ordre de quelques années ou décennies) et les changements à l'échelle géologique (de l'ordre de quelques siècles ou millénaires).



Dans le cadre de leur participation au projet 588, Simon Engelhart (University of Pennsylvania) et Andrew Kemp (Yale University) prélèvent des carottes dans les marécages de la côte de Caroline du Nord (États-Unis). Les recherches menées dans cette région ont mis en évidence une augmentation et une inflexion clairement marquées de la vitesse d'élévation relative du niveau de la mer sur la côte Est des États-Unis. © Adam D. Switzer



## Fondements scientifiques des prédictions

Ce projet met à profit les connaissances des communautés côtières et insulaires sur l'évolution des côtes pour étayer nos prévisions dans un contexte chronologique limité. L'examen de la réponse des systèmes côtiers à différentes périodes permet de répondre aux besoins des parties prenantes : les services d'urgence (planification des événements extrêmes), les organismes publics et les assureurs (gestion des ressources et stratégies d'atténuation et/ou d'adaptation à la variation du niveau de la mer, aux inondations et quantification de l'intervalle de récurrence des événements extrêmes) et les ingénieurs spécialistes en génie côtier (planification des mesures de protection contre les variations relatives du niveau de la mer).

Dans le cadre du projet 588, les membres de l'Université de Pennsylvanie traversent les marécages du nord-est des États-Unis pour effectuer des relevés haute résolution du niveau de la mer au cours des 2 000 dernières années. Les recherches effectuées par les participants au projet 588 dans des marécages et des estuaires du monde entier ont contribué à améliorer les connaissances concernant le niveau de la mer sur des périodes allant de plusieurs décennies à plusieurs millénaires.  
© Adam D. Switzer

## Diffusion massive

Par le biais de réunions annuelles, de sessions organisées lors de grandes conférences internationales et d'ateliers, ce projet apporte une contribution substantielle à l'amélioration de la compréhension des variations du niveau marin et de la dynamique côtière à différentes échelles de temps. Les canaux d'information électronique dans le cadre du projet ont permis la transmission de données relatives à des réunions annuelles et thématiques de spécialistes, comme celles relatives aux tsunamis, contribuant ainsi à renforcer la coopération internationale entre scientifiques et à favoriser le transfert des connaissances scientifiques et technologiques, éléments essentiels des études côtières.

D'autres initiatives novatrices concernent l'utilisation des médias sociaux, des blogs et d'un répertoire électronique de prépublications qui améliore l'accès à l'information dans les milieux non spécialisés, tels que les organismes publics, les établissements d'enseignement et le grand public. Ont été mis en place un site Internet spécialisé ([www.coastal-change.org](http://www.coastal-change.org)) et une liste de diffusion électronique qui permet à plus de 300 chercheurs, fonctionnaires, planificateurs et éducateurs d'avoir un accès direct au service de messagerie.

## Contribution au GIEC

Plusieurs questions clés de recherche sur le niveau de la mer dans les années à venir, abordées par ce projet, seront d'une grande utilité pour les prochains rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Elles portent, en particulier, sur les variations du niveau de la mer au cours des derniers siècles ou millénaires, les variations de l'équilibre des masses dans la calotte glacière du Groenland, l'influence des sédiments et de la topographie pendant l'Holocène (qui a commencé il y a 11 000 ans environ) sur la régulation de la dynamique côtière actuelle et les variations régionales de l'élévation passée et future du niveau de la mer consécutives aux changements du champ gravitationnel. Le GIEC a rappelé récemment le rôle du niveau de la mer en tant que baromètre climatique et a attiré l'attention sur les conséquences potentiellement dévastatrices des effets de l'élévation du niveau marin suite au changement climatique. Le GIEC a également souligné notre compréhension imparfaite des principaux mécanismes responsables de la variation récente du niveau de la mer et l'absence de lien entre les tendances géologiques à long terme et les tendances récentes relevées par l'observation. En substance, ce projet est destiné à combler cette lacune importante.

*Adam D. Switzer, Tectonics Group, Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University, Singapore;*

*Benjamin P. Horton, Sea Level Research Laboratory, Department of Earth and Environmental Science, University of Pennsylvania, USA*

'Les questions côtières, qui étaient auparavant la prérogative des disciplines géologiques et géomorphologiques ésoériques, sont aujourd'hui au cœur du débat sur le changement climatique, ses impacts et la nécessité d'adaptation des rivages les plus vulnérables'.

*Colin Woodroffe, auteur principal du Quatrième rapport d'évaluation du GIEC et ancien responsable de projet PICG (projet 274)*



Tranchée paléosismologique montrant les 6 mètres de décalage vertical du sol consécutifs au séisme de Nobi en 1891 (M8.0), Musée de la ville de Motosu, Japon. © Aloé Schliagenhauf



6 m

地震によって隆起した地層

0 m

地震が起きる前の地層



# Géorisques : diminution des risques

Les géorisques incluent les séismes, l'activité volcanique, les glissements de terrain, les tsunamis, les inondations, l'impact de météorites et les risques pour la santé liés aux matériaux géologiques. Ces phénomènes peuvent être locaux, comme les lahars et l'érosion côtière, ou de plus grande envergure allant jusqu'à menacer l'humanité entière comme les éruptions de super-volcans ou les impacts de météorites. Les recherches que mènent les spécialistes des sciences de la Terre contribuent à mieux comprendre ces aléas et à atténuer les risques qui en découlent.

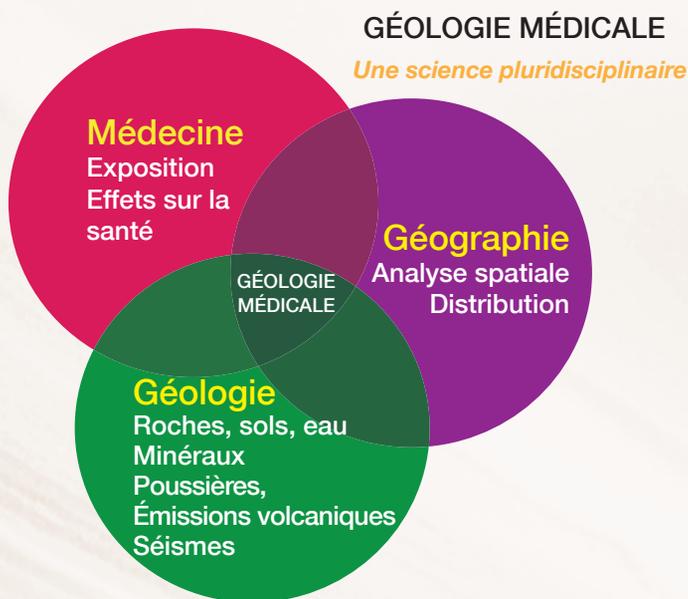
北西側断面

# PICG 454 : Géologie médicale : un nouvel outil de santé publique (2000-2004)

La géologie médicale est la science qui étudie l'impact de notre environnement géologique sur la santé des humains et des animaux. Dans sa forme moderne, cette discipline rassemble des spécialistes en géosciences et des chercheurs en biomédecine et en santé publique qui étudient les problèmes de santé liés à l'environnement. À titre d'exemple, certains problèmes mondiaux relatifs à la santé sont causés par l'absorption d'arsenic, de métaux lourds,

de rayonnements, notamment du radon, de poussières accumulées sur le globe, d'iode, de fluor et de bien d'autres substances. Tous ces éléments sont présents dans le milieu naturel, c'est-à-dire géologique, et presque tous les êtres humains vivant sur terre, sont affectés, sous une forme ou une autre et à des degrés divers, par ces éléments et processus naturels, que ce soit par excès ou par carence.

## La vision prospective du PICG : l'émergence de la géologie médicale



Bien que les facteurs géologiques jouent un rôle capital dans divers problèmes liés à l'environnement influant ainsi sur la santé et le bien-être de milliards d'habitants, ils sont restés méconnus du grand public, des communautés biomédicales, sanitaires et même géoscientifiques pendant de nombreuses années. Face à ce constat, l'Union internationale des sciences géologiques (UISG), par l'intermédiaire de son ancienne Commission des sciences géologiques pour la planification environnementale (COGEOENVIRONMENT), a créé, en 1996, un groupe de travail international sur la géologie médicale dirigé par Olle Selinus du *Geological Survey of Sweden* (SGU). La mission principale de ce groupe était de lancer une campagne internationale de sensibilisation à l'attention des spécialistes des géosciences, des sciences médicales et du grand public.

En 2000, le PICG a créé un nouveau projet intitulé « PICG 454, Géologie médicale » codirigé par les auteurs de cet article. L'objectif premier de ce projet était de favoriser le rapprochement entre scientifiques de pays en développement experts en géologie médicale et collègues d'autres régions du monde. Grâce à cette initiative, des scientifiques et des cliniciens (géoscientifiques, physiciens, géographes, vétérinaires, etc.) de pays développés et de pays en développement ont pu, pour la première fois, se réunir dans un cadre véritablement international et interdisciplinaire pour identifier et aborder les problèmes de santé liés à l'environnement.

## La géologie médicale est la science qui étudie l'impact de notre environnement géologique sur la santé des humains et des animaux.

La même année, Bob Finkelman, spécialiste en géosciences travaillant à l'époque au *US Geological Survey* (USGS), et José

Centeno, toxicologue chimiste travaillant au *US Armed Forces Institute of Pathology* (AFIP), ont rejoint le projet 454. Tous deux ont donné un cours d'une journée à l'occasion de la réunion COGEOENVIRONNEMENT 2001 à Lusaka (Zambie). Cette formation a reçu un accueil enthousiaste, démontrant clairement qu'une journée de formation en géologie médicale pouvait être un moyen efficace de faire progresser les objectifs du projet et les travaux du groupe de travail initial de l'UISG. Une proposition a été élaborée en

vue de présenter ce cours dans d'autres pays en développement également concernés par de graves problèmes de géologie médicale. Elle a été approuvée par le Conseil international des unions scientifiques (CIUS), qui a octroyé une subvention importante pour la diffusion de ce cours de géologie médicale dans le monde entier.

Avec l'appui du PICG, de l'UISG, de COGEOENVIRONNEMENT, de l'USGS, de l'AFIP, du SGU et de pays hôtes, la subvention du CIUS a servi à financer des journées de formation dont le nombre a été beaucoup plus élevé qu'initialement prévu. Jusqu'à présent, ces cours ont été dispensés dans le cadre de plus de 60 manifestations organisées de par le monde, et ont attiré plusieurs milliers d'étudiants et de professionnels. Les scientifiques locaux sont invités à décrire



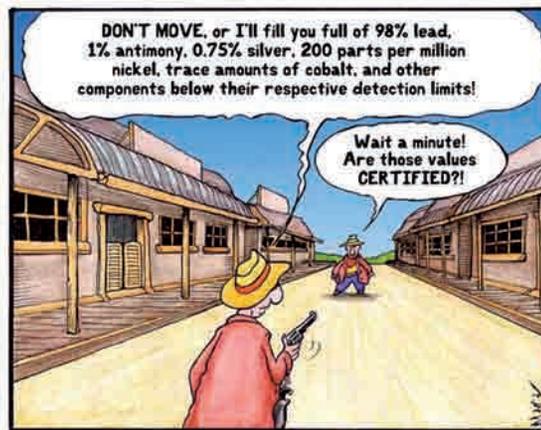
Atelier scientifique sur la géologie médicale en Lituanie, Avril 2006. © Olle Selinus





les travaux de géologie médicale en cours dans leurs régions. Les étudiants sont eux-mêmes encouragés à présenter leurs activités sous forme de posters. Ces cours, dont la durée peut aller d'une journée à plusieurs jours, s'adressent à toute personne intéressée par les effets des matériaux naturels et des phénomènes géologiques naturels sur la santé humaine et animale. Un objectif important de ces cours est de concourir au développement et au renforcement des contacts et des réseaux entre des professionnels de différents pays qui travaillent sur divers aspects des problèmes de santé liés à l'environnement. Les participants sont vivement incités à réutiliser le matériel pédagogique pour dispenser leurs propres cours en géologie médicale dans leur région. Des données et des informations sur les résultats de ce projet ont été publiées dans de nombreuses revues, en particulier la revue de vulgarisation scientifique *Scientific American*.

La géologie médicale attire l'attention sur les risques que l'on encourt en ne vérifiant pas le contenu des substances que nous ingérons. Nous remercions le site Internet suivant : <http://img.moonbuggy.org/analytical-chemists-in-the-wild-west> pour cette image.



Les éléments toxiques présents dans le sol, les roches et l'atmosphère, et issus de la pollution naturelle (due à la chimie des roches) et humaine, peuvent avoir un impact sur la santé humaine. Dans certaines régions du monde, les fines particules de poussières minérales naturelles contenues dans l'atmosphère peuvent atteindre des concentrations comparables à celles que l'on trouve dans certaines industries extractives. Les régions à forte densité démographique, comme l'est de la Chine, peuvent subir des tempêtes de poussières venues des terres arides de l'ouest à tout moment de l'année, mais plus particulièrement au printemps et en automne, comme illustré ici à Lanzhou, dans l'ouest de la Chine : (à gauche) début – 28 avril 2011, (au centre) pic – 29 avril 2011 et (à droite) après le phénomène – 30 avril 2011. Le 29 avril, la densité de particules a atteint un niveau record depuis 9 ans. Vue des monts Guolan Shan sur le versant sud du graben de Lanzhou.  
© Edward Derbyshire

## Impact mondial

Les activités générées par le projet 454 ont eu, et continueront d'avoir, des retombées positives à travers le monde. L'Organisation des Nations Unies a désigné l'UNESCO comme organisme chef de file pour la mise en œuvre de l'Année internationale de la planète Terre (IYPE) et l'un des thèmes phares était *La terre et la santé : Géologie médicale*.

Un recueil intitulé *Essentials of Medical Geology* (800 pages, avec des illustrations en couleur) a été publié par Elsevier (Academic Press) en 2005 par le rédacteur en chef O. Selinus et six co-rédacteurs. Une soixantaine d'éminents spécialistes internationaux y ont contribué, la moitié étant des spécialistes en géosciences et l'autre moitié des spécialistes d'autres disciplines, notamment médicales et vétérinaires. Ce recueil, destiné à des étudiants de premier cycle et à des décideurs, a remporté le prix « Highly Commended » ('à

lire absolument') dans la catégorie Santé publique décerné par la *British Medical Association* en novembre 2005. Il a également obtenu une autre distinction prestigieuse délivrée par l'*Association of American Publishers* en janvier 2006 et a été l'un des deux lauréats de la catégorie Géologie/Géographie des 2005 *Awards for Excellence in Professional and Scholarly Publishing* (Prix d'excellence du monde de l'édition professionnelle et universitaire). En 2007, un troisième prix lui a été décerné par *Choice*, liste annuelle des meilleurs ouvrages universitaires de l'année passée. Depuis, l'ouvrage a été traduit en mandarin et une nouvelle édition revue et corrigée est en préparation.

Cette initiative a abouti à la publication de nombreux autres manuels, comptes rendus et rapports sur la géologie médicale.

## International Medical Geology Association (IMGA) et l'avenir

Un autre résultat direct du projet 454 est la création, en 2006, de l'*International Medical Geology Association* ([www.medicalgeology.org](http://www.medicalgeology.org)) qui regroupe plusieurs sections et divisions régionales du monde entier. Le nombre d'adhérents ne cesse de croître, à mesure que des conférences internationales sont régulièrement organisées, et plusieurs ouvrages et articles nouveaux sont publiés chaque année. L'un des faits les plus remarquables est la création de centres d'excellence en géologie médicale. Les activités de ces centres sont axées sur l'éducation et la recherche à l'échelle régionale ; les trois premiers centres ont été implantés à Porto Rico, en Turquie et en Afrique du Sud.

Il est difficile de prévoir ce que sera demain, mais nous avons la conviction que la géologie médicale est promise à un brillant avenir. L'IMGA, l'un des résultats directs du projet 454, continuera d'être une base solide d'échange d'idées et de diffusion d'information. Les multiples autres activités de géologie médicale mentionnées ci-dessus continueront de stimuler l'enthousiasme et de fédérer les énergies. Les spécialistes en géologie médicale continueront de démontrer les bénéfices matériels qu'ils peuvent apporter à la société en contribuant à améliorer la qualité de vie des populations et des animaux de la planète. Mais surtout, la « révolution » de la géologie médicale illustre le *leadership*, la vision prospective

et l'importance du PICG. Reconnaisant la nécessité de cette sous-discipline, s'ajoutant au soutien financier et moral capital qu'il a fourni durant ses premières années d'existence, le PICG a permis l'aboutissement de cette initiative pluridisciplinaire et favorisé son évolution.

*Olle Selinus, Linneaus University, Kalmar, Sweden;*  
*Peter Bobrowsky, Geological Survey of Canada,*  
*Ottawa, Canada; Edward Derbyshire, Royal Holloway,*  
*University of London, UK*

Fillette pompant de l'eau au Cambodge.  
© UNESCO/Tang Chhin, Sothy



Groupe de bengalis utilisant le filtre familial anti-arsenic de purification de l'eau UNESCO-IHE (Arsenic Removal Family Filter).  
© UNESCO/IHE/Fred Kruis

PICG 490 : Rôle des catastrophes écologiques Holocène dans  
l'histoire de l'humanité  
(2003-2007)



L'étude interdisciplinaire des catastrophes géologiques de l'Holocène (11 000 dernières années) est riche en enseignements pour l'avenir des civilisations et des écosystèmes. Le projet a combiné trois approches : données instrumentales, documents écrits et données sédimentaires. Il a également examiné la capacité de rétablissement des écosystèmes et des civilisations après des catastrophes. Face à la prise de conscience grandissante des répercussions brutales et mondiales que peuvent avoir des événements naturels de grande ampleur, ce projet a été l'occasion d'évaluer le degré de sensibilité de la société moderne aux menaces extrêmes qui pèsent sur le milieu naturel. Outre la communauté des spécialistes des géosciences, le projet a mobilisé des biologistes, des archéologues, des historiens et des météorologues.

Un premier atelier a eu lieu début 2004 en Mauritanie. Il s'est essentiellement intéressé à la transition entre le Sahara humide (« vert ») et le Sahara désertique (« jaune ») qui s'est produite il y a environ 5 000 ans. À cette époque, une faune importante de grands animaux, parmi lesquels des girafes, des hippopotames, des éléphants, des zèbres, du bétail et des chevaux, vivait dans ce qui est aujourd'hui un désert de sable et de roche. Poussées par le changement de climat, les populations ont quitté la région centrale du Sahara pour s'installer sur la côte ou dans la vallée du Nil. Une étude des changements liés à l'extension du Sahel (juste au sud du Sahara) au cours des 50 dernières années, notamment dus au grave déficit des précipitations dans la région au

cours des années 1970, a donc été menée. Les scientifiques du PICG désiraient transmettre les messages suivants : il est essentiel d'étudier le passé, car les géosciences peuvent fournir des informations à très haute résolution temporelle (à l'échelle sociétale) et contribuer à identifier les principaux indicateurs des changements à venir ; des études pluridisciplinaires ont déjà mis en évidence l'impact de changements rapides et catastrophiques sur les sociétés passées ; et la nature (s'ajoutant à l'homme et indépendamment de celui-ci) peut avoir des effets néfastes dont il ne faut pas minimiser l'importance.

Le deuxième atelier, organisé fin 2004 au Mozambique, a été consacré aux inondations, passées et récentes, survenues dans la région équatoriale de l'est et du sud-est de l'Afrique, en comparant les inondations qui se sont produites pendant l'Holocène avec celles des dernières années. Les participants ont rédigé une déclaration reposant

principalement sur l'expérience africaine qui a été diffusée sur le réseau Internet. Il y est souligné que, de toutes les catastrophes naturelles, les inondations sont les plus fréquentes, que celles-ci affectent presque toutes les régions du monde et une grande partie de la population mondiale du fait de la forte concentration d'habitants le long des rivières et dans les plaines inondables. Des liens étroits existent entre les effets catastrophiques des inondations et la transformation des systèmes naturels due à l'action de l'homme.

En mai 2005, une conférence sur l'élévation rapide du niveau de la mer qui s'est tenue

## L'étude interdisciplinaire des catastrophes géologiques de l'Holocène (11 000 dernières années) est riche en enseignements pour l'avenir des civilisations et des écosystèmes.



Tempête de sable sur la vieille ville de Chinguetti, dans l'arrière-pays de la Mauritanie. © Suzanne Leroy



dans le nord de l'Iran a mis l'accent sur les variations très rapides du niveau de la mer Caspienne observées au cours des siècles derniers, c'est-à-dire des variations 100 fois plus rapides que celles des océans. L'assistance, nombreuse, comptait des « utilisateurs finaux », y compris des représentants des autorités portuaires (inquiets de l'envasement rapide qui apparaît lorsque le niveau de la mer s'abaisse) et des organisations régionales de pêche (liées à l'industrie du caviar en particulier). Les compagnies pétrolières étaient également concernées, non seulement dans le bassin de la zone nord qui est très peu profond et propice à la mise en place d'infrastructures en mer, mais aussi dans d'autres secteurs de la mer Caspienne, en raison de l'augmentation des géorisques, tels que glissements de terrain, volcans de boues et émissions de méthane.

La même année, une excursion sur le terrain a été menée dans la pampa argentine, notamment sur les bords du Mar Chiquita. Le niveau de ce lac immense a augmenté extrêmement vite au cours des dernières décennies. Ce phénomène a aussi touché d'autres lacs de la pampa, et le lien avec des périodes de précipitation d'intensité accrue a été clairement établi. Les villageois, qui ont dû déplacer leur village, ont suivi les conseils d'un géologue ayant étudié les variations Holocènes du niveau du lac. La transmission d'information a, dans le cas présent, particulièrement bien fonctionné, car ce scientifique était originaire de l'un de ces villages de sorte qu'une confiance mutuelle a pu s'instaurer facilement.

En juin 2005, la réunion sur l'Arctique canadien a rassemblé des spécialistes et des représentants des sciences physiques, sociales et humaines, des communautés locales et des autochtones. L'un des principaux thèmes de discussion a été l'impact du réchauffement mondial sur la vie des communautés locales. Ce thème a été présenté dans le cadre

d'études historiques et archéologiques axées sur la rapidité du changement climatique. L'histoire des autochtones et leur culture montrent que les peuples primitifs du Nord ont adapté leurs mouvements migratoires et leur mode de vie en fonction de l'évolution de leur environnement terrestre et marin. Les peuples du Nord ont aujourd'hui préservé la continuité de leur culture et leur créativité en dépit des mutations profondes de l'environnement et de la société. Une « déclaration » a été rédigée par les participants et diffusée sur le réseau Internet à l'attention des gouvernements et des autorités en charge de l'environnement, des chercheurs et des organismes de financement.

En septembre 2005, une réunion s'est déroulée dans les Alpes italiennes, sur les bords du lac de Côme, remarquable par sa grande profondeur. L'excursion sur le terrain a conduit les participants sur les lieux d'un gigantesque glissement de terrain qui, en 1618, a détruit le riche village de Piuro. La diaspora marchande qui avait, à l'époque, émigré dans toute l'Europe a abondamment relaté et relayé l'événement. Par ailleurs, la tour moderne de Côme est bâtie sur une plaine alluviale instable qui présente des risques sérieux d'affaissement et de tsunami, comme le montrent deux glissements de terrain sous-marins survenus ces dernières années. Toutefois, malgré les efforts déployés par les scientifiques locaux pour sensibiliser la communauté à cet aléa naturel et à la nécessité de mettre en place des plans d'évacuation, ce risque est jugé trop faible et n'est pas pris au sérieux. Ce type de réaction est, de l'avis général, l'une des difficultés majeures que rencontrent les spécialistes des sciences de la Terre lorsqu'ils transmettent des informations à des responsables politiques et des décideurs locaux.

En septembre 2006, l'atelier organisé en Louisiane a été consacré aux archives géologiques des ouragans passés. L'une des excursions sur le terrain a eu lieu à la

Nouvelle-Orléans, et a permis aux participants d'observer les dommages causés l'année précédente par l'ouragan Katrina. Un géologue a, d'autre part, montré les preuves « concrètes » de la méconnaissance des sédiments du sous-sol et de la mauvaise qualité des ouvrages d'art. L'un des organisateurs, dont la famille avait été évacuée, a conduit les participants jusqu'à l'habitation de ses beaux-parents. Un an après l'événement, leur nouveau logement, comme bien d'autres en différents quartiers de la ville, ne disposait toujours pas des éléments de confort élémentaires. L'extrême défi du gouvernement américain à contribuer au relèvement de la région était bien visible.

La dernière réunion du projet 490 a conduit les participants à Java et à Sumatra, en août 2007. Ces scientifiques ont pu, à cette occasion, gravir ce qui reste du volcan Krakatoa après son éruption en 1883 et le gigantesque tsunami qui s'en est suivi. Les organisateurs ont montré les multiples systèmes de surveillance de l'activité sismique, ainsi que les plans de réduction des effets des tsunamis mis en place dans cette région par le gouvernement indonésien.

En conclusion, les changements rapides de l'environnement qui se sont produits dans le passé et qui parfois furent catastrophiques, ont entraîné la disparition de certaines civilisations anciennes. L'abandon du Groenland par les Norvégiens il y a 600 ans, et le déclin des Mayas, il y a près de 1 100 ans en Amérique centrale, en sont de bons exemples. Les changements rapides de l'environnement n'ont, cependant, pas toujours occasionné la décadence de civilisations anciennes. Bien au contraire, ils ont parfois

même favorisé l'apparition de certaines civilisations : l'assèchement du Sahara a, par exemple, contribué à l'émergence de la civilisation dynastique égyptienne, et les sécheresses en Mésopotamie, il y a 5 000 ans, ont encouragé le développement de centres urbains. Les premières sociétés de type étatique, complexes et très organisées, ont vu le jour à une époque d'aridité croissante dans les zones de moussons qui entourent le globe.

Il est évident que nous vivons dans un monde en perpétuel changement et que la société doit être capable de s'adapter à ces changements pour qu'un rétablissement soit possible. De nos jours, le rythme d'urbanisation va s'accroissant dans le monde et contraint notre société à porter une plus grande attention à l'atténuation des effets de ces changements. Malheureusement, nous ne tirons pas toujours les leçons du passé et cherchons trop souvent à réagir à la situation seulement consécutivement à une catastrophe. Pour améliorer notre résilience aux risques naturels, il faut parfois modifier certaines valeurs sociétales essentielles.

La succession de plusieurs facteurs environnementaux et sociétaux néfastes tendra à affaiblir la résilience d'une société. Le manque de flexibilité d'une société et les effets néfastes provoqués par une accumulation de désastres sont les causes majeures de l'effondrement catastrophique d'une structure sociale.

*Suzanne Leroy, Institute for the Environment,  
Brunel University, UK*



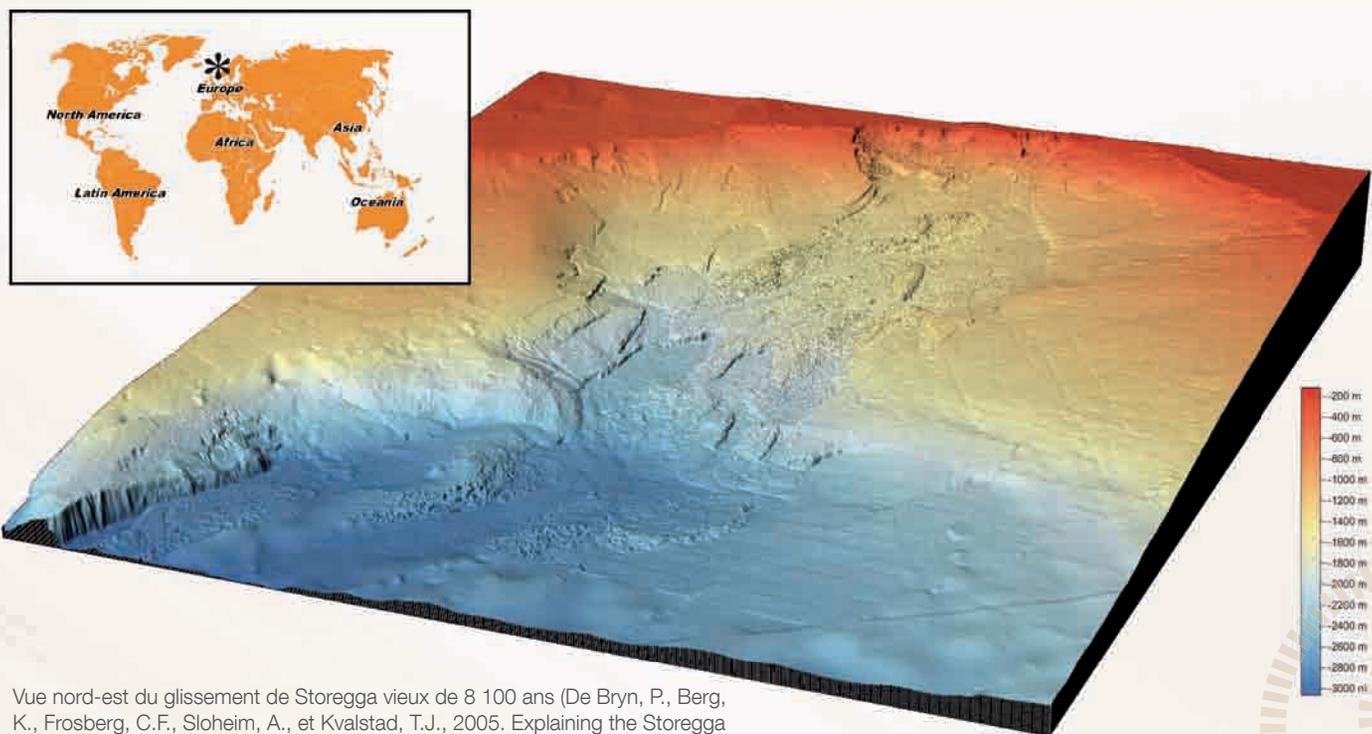
Grands blocs de corail arrachés des récifs et transportés sur la plage par le tsunami dû à l'explosion du volcan Krakatoa en Indonésie, en 1883. © Charlotte Miller



# PICG 511 : Mouvements de masse sous-marins et leurs conséquences (2005-2009)

Presque tous les environnements aquatiques, que ce soient les océans, les lacs, les fjords ou les lignes de rivage, sont le théâtre de mouvements de masse sous-marins. Ces mouvements mobilisent des volumes qui peuvent atteindre plusieurs centaines de kilomètres cubes de matières et

sont, en général, au moins dix fois plus puissants que les mouvements de masse terrestres. Ils apparaissent tout au long de l'histoire géologique jusqu'à nos jours et sont déclenchés par divers mécanismes, tels que tremblements de terre, érosion, dissociation d'hydrates de gaz, diapirisme



Vue nord-est du glissement de Storegga vieux de 8 100 ans (De Bryn, P., Berg, K., Frosberg, C.F., Sloheim, A., et Kvalstad, T.J., 2005. Explaining the Storegga slide. *Marine and Petroleum Geology*, n° 22 pp. 11-19).

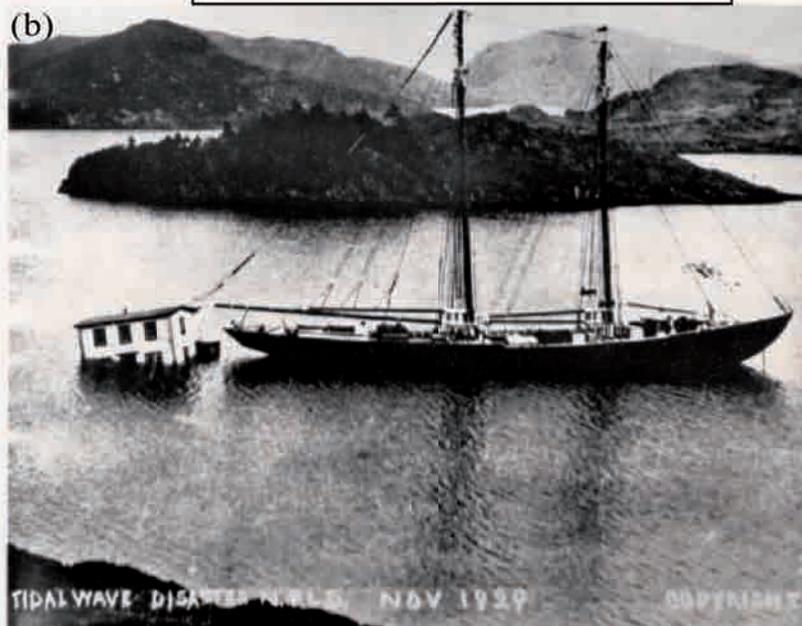
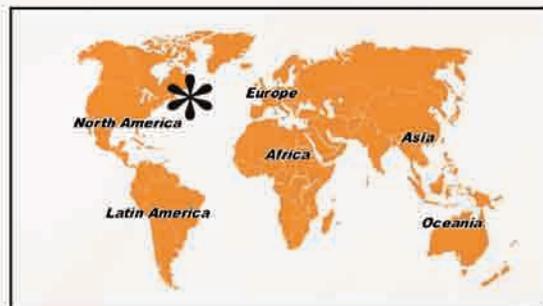
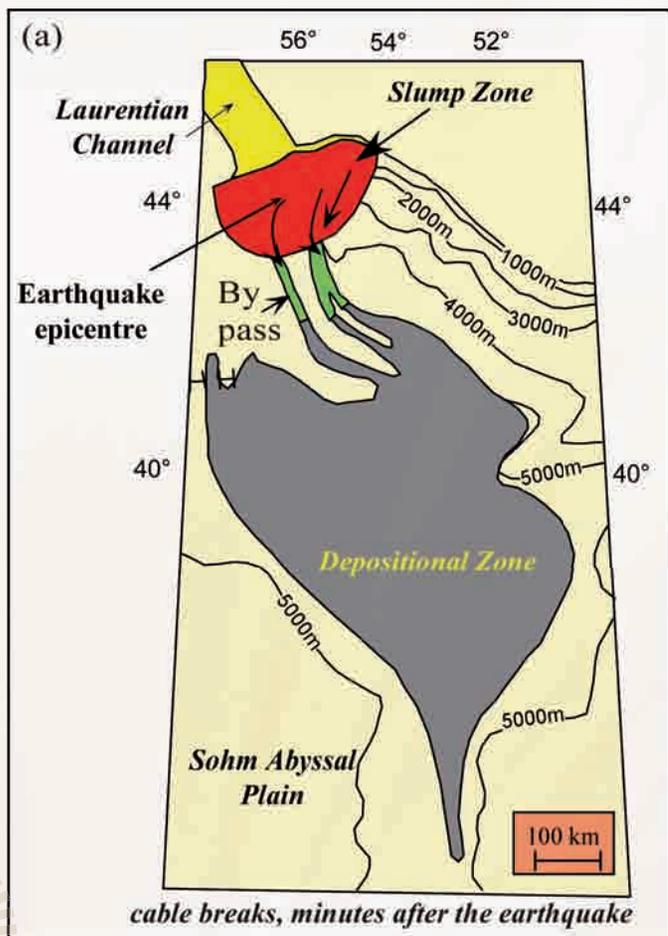
© Jacques Locat

0 km 100 km 200 km 300 km 400 km

(remontée de roches légères au travers de roches plus denses) et action des vagues. À l'image de leurs équivalents terrestres, les mouvements de masse sous-marins sont la conséquence d'un déséquilibre entre les forces de résistance et les forces compressives. Ils occasionnent parfois des dommages considérables, qui peuvent s'étendre sur plus de

1 000 km et mettre en péril des câbles de communication et des infrastructures immergés (pipelines, têtes de puits, fermes aquacoles, infrastructures et communautés côtières). Ils sont aussi responsables de près de 10 % des tsunamis observés.

Au fil des temps géologiques, des mouvements de masse sous-marins de magnitude et de type variables ont façonné



Glissement sous-marin et tsunami des Grands Bancs, au large de la côte de Terre-Neuve, au Canada. (a) carte montrant l'emplacement du point de rupture du câble Transatlantique dans la zone d'arrachement du glissement sous-marin (en rouge) ; (b) goélette au mouillage derrière laquelle flotte une maison de deux étages apportée par le tsunami dans le port de Little Burin (com. pers. de A. Ruffman, photographie de Père James Anthony Miller). (Par Heezen, B.C., et Ewing, M., 1952. Turbidity currents and submarine slumps, and the 1929 Grand Banks earthquake. *American Journal of Science*, n° 250, pp. 849-873). © Jacques Locat



Participants du 3<sup>e</sup> colloque du projet 511 (Santorin, Grèce).  
© Jacques Locat



le fonds des océans ; leurs dépôts jouent aujourd'hui un rôle important dans l'implantation des réservoirs d'hydrocarbures. Deux exemples font date dans l'évolution de notre compréhension des mouvements de masse sous-marins et de leurs conséquences : le glissement des Grands Bancs en 1929 et le glissement de Storegga qui s'est produit il y a 8 100 ans.

Le 18 novembre 1929, un séisme de magnitude 7,2 a secoué les Grands Bancs au sud-ouest de Terre-Neuve, déclenchant un gigantesque mouvement de masse sous-marin (d'un volume estimé à ~150 km<sup>3</sup>) ; celui-ci a provoqué un tsunami qui a détruit un petit village de Terre-Neuve, tuant 27 personnes. Le courant de turbidité généré par le glissement a causé la rupture de câbles sous-marins sur plus de 1 000 km. Un événement semblable s'est produit en Papouasie-Nouvelle-Guinée en 1998, faisant plus de 2 000 victimes.

Plus ancien, le grand glissement de Storegga a entraîné le déplacement d'un volume de 2 500 km<sup>3</sup> de matières et emporté près de 300 km de marge continentale norvégienne. Cet effondrement massif a déclenché un tsunami, dont les effets ont été retrouvés au sud, jusqu'à la côte est de l'Écosse. Situé au-dessus de l'un des plus grands réservoirs de gaz de la mer de Norvège, le glissement de Storegga a fait l'objet d'une étude approfondie des mouvements de masse sous-marins, dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire allant des sciences de la Terre aux techniques de génie civil.

Ces exemples illustrent clairement que les recherches sur les mouvements de masse sous-marins ont des répercussions sur le plan sociétal. Ces mouvements de masse représentent un géorisque majeur en termes de destruction potentielle de structures situées à proximité des côtes, d'installations côtières, de la vie dans les fonds marins et de structures *offshore* reposant sur les fonds marins. Les glissements sous-

marins peuvent déclencher des tsunamis et sont capables de libérer du gaz méthane dans l'eau de mer et l'atmosphère.

Le projet 511 est le fruit d'une initiative communautaire lancée à la suite du 1<sup>er</sup> Colloque international sur les mouvements de masse sous-marins et leurs conséquences (ISSMMTC) qui s'est tenu à Nice (France), en 2003. Il a coïncidé avec la fin du projet COSTA (COntinental Slope sTAbility), une étude internationale sur les mouvements de terrain sous-marins. Depuis, le projet 511 a été à l'origine de nombreux ateliers et conférences, contribuant notamment à la poursuite des séries de conférences ISSMMTC, et à la tenue de ses conférences bisannuelles à Oslo (2005), à Santorin (2007) et à Austin, Texas (2009). Ces conférences ont, à elles seules, donné lieu à la publication de plus de 220 rapports relus par les pairs (également disponibles sous format électronique). La série de conférences ISSMMTC s'est poursuivie dans le cadre du projet 585 E-MARSHAL. Les colloques du projet 511 ont bénéficié, sous des formes diverses, d'un vaste soutien de groupes industriels, d'organismes gouvernementaux et d'organisations non gouvernementales.

Ce projet a conféré une dimension internationale à la question des mouvements de masse sous-marins et à leurs conséquences. Il a encouragé les études dans de multiples domaines, que ce soit des études fondamentales ou des études sur site dans de nombreuses régions du monde, notamment dans les océans Atlantique et Pacifique, dans des mers intérieures comme la Méditerranée, dans des fjords et des lacs, et fait appel aux technologies les plus modernes, comme l'imagerie sonar multifaisceaux, l'imagerie sismique en 3D, ou encore la modélisation de la stabilité des talus, des évolutions post-rupture et des processus de génération, de propagation et de déferlement (run-up) des tsunamis. Il a également constitué un cadre unique pour mettre en évidence

la diversité et la complexité de la géomorphologie et de la géologie de l'environnement sous-marin.

L'un des principaux objectifs du projet 511 a été de promouvoir la science grâce à la mise en réseau de scientifiques et d'ingénieurs du monde entier par le biais de réunions et de conférences, ainsi que par un important soutien financier en faveur de la participation active d'étudiants. Cet objectif a été atteint, comme en témoignent les rencontres qui ont rassemblé plus de 150 scientifiques de 17 pays différents et l'aide financière accordée à de nombreux étudiants et chercheurs de pays en développement. Le projet 511 a contribué à la prise en compte des géorisques marins dans le projet scientifique du Programme intégré de forage océanique (IODP, *Integrated Ocean Drilling Program*). Il a également appuyé des projets IODP destinés à comprendre le rôle de l'écoulement des eaux souterraines dans le déclenchement des mouvements de masse sous-marins.

Les cinq années de coopération sur les mouvements de masse sous-marins dans le cadre du projet 511 ont permis des avancées notables sur un certain nombre de thèmes

importants, parmi lesquels l'écoulement des eaux souterraines le long des marges continentales et les instabilités des talus, les glissements de terrain et les tsunamis, l'utilisation de l'imagerie sismique en 3D pour mettre en évidence les glissements de terrain paléo-sous-marins et les mécanismes de transition entre la rupture de talus et l'évolution post-rupture.

En conclusion, notre connaissance des mouvements de masse sous-marins et leurs conséquences a considérablement progressé grâce au soutien de l'UNESCO et de l'UISG. Ce soutien a permis de disposer d'un cadre particulièrement favorable à l'établissement d'un vaste réseau de recherches au service de la société.

*Jacques Locat, Laboratoire d'études sur les risques naturels, Department of Geology and Geological Engineering, Laval University, Québec, Canada; Juergen Mienert, Department of Geology, University of Tromsø, Norway; Roger Urgeles, Institut de Ciències del Mar (CSIC), Spain*

# PICG 567 : Archéosismologie (2008-2012)

Des séismes dévastateurs se produisent régulièrement le long des failles, à des intervalles de récurrence allant de plusieurs siècles à plusieurs millénaires. Or, on ne dispose d'instruments permettant de les enregistrer que depuis

une centaine d'années. Pour réduire les risques liés aux séismes, des relevés bien antérieurs à ceux fournis par ces instruments sont nécessaires. Les traces archéologiques sont capables de révéler l'activité sismique à l'échelle de plusieurs



Exemple de dommages structuraux d'origine sismique : tambours déplacés d'une colonne du Temple d'Aphrodite, dans la ville romaine d'Aphrodisias dans le sud-ouest de la Turquie, à proximité de la ville moderne de Geyre, à l'ouest de Denizli. © Manuel Sintubin





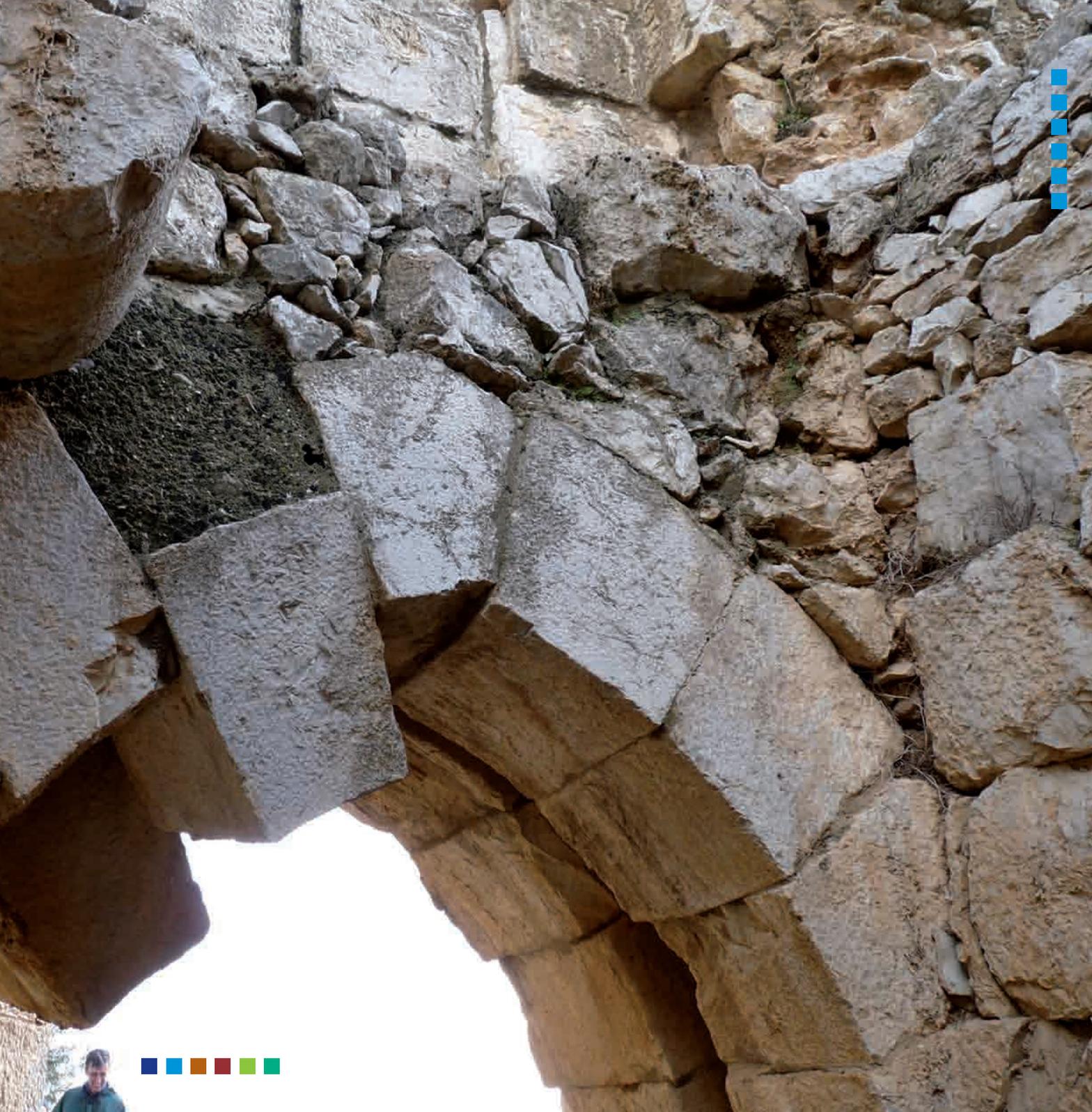
Exemple de dommages structuraux d'origine sismique : déplacement de la clef de voûte d'un porche non loin de la Porte byzantine, dans la ville romaine de Hiérapolis, sud-ouest de la Turquie, à proximité de la ville moderne de Pamukkale, au nord-est de Denizli. © Manuel Sintubin

Exemple de dommages structuraux d'origine sismique : pierres déplacées d'une clef de voûte dans la forteresse médiévale de Nimrod, ou Kal'at Al-Subayba, sur les hauteurs du Golan. © Manuel Sintubin

millénaires, en particulier si elles sont combinées à des documents historiques et des traces géologiques. Le projet 567 du PICG relatif à l'archéologie sismique vise à démontrer que les traces archéologiques peuvent être d'une grande utilité pour l'évaluation du risque sismique à long terme dans des régions prédisposées aux séismes et qui ont hérité d'un patrimoine culturel long et durable.

L'origine de l'archéosismologie (étude des séismes anciens grâce aux indicateurs laissés dans des vestiges archéologiques) remonte aux premières fouilles de Schliemann à Troie, d'Evans à Cnossos et de Schaeffer à Ougarit à la fin du XIX<sup>e</sup> et au début du XX<sup>e</sup> siècles, mais c'est essentiellement une discipline jeune et émergente qui a été accueillie avec bien des réserves par certains sismologues. Nombre d'entre eux doutent que des vestiges tels que des niveaux de





destruction, des ouvrages réalisés par l'homme (comme des viaducs par exemple) et déplacés à cause d'une rupture de surface, des dommages structuraux sur des bâtiments, des traces de réparations, des récits historiques et des mythes, puissent être des indicateurs fiables des séismes passés.

Mais le problème majeur, auquel sont confrontés les spécialistes qui étudient l'aléa sismique, est le fait que les données instrumentales des séismes couvrent une période trop récente et que les relevés historiques sont souvent incomplets. Seule une faible proportion des secousses d'amplitude suffisante ayant frappé une région au fil des siècles et des millénaires est consignée dans les catalogues de sismicité historique ; ces événements manquants dans les relevés sismologiques limitent les évaluations fiables de l'aléa

sismique. Les relevés archéologiques sont donc essentiels pour confirmer et compléter ces archives historiques. Qui plus est, en étendant les relevés sismiques au-delà des sources écrites, l'archéosismologie fait le lien entre la sismicité instrumentale et la sismicité historique d'une part, la paléosismologie et la géologie sismique d'autre part. Combiner l'ensemble des archives potentielles des séismes passés est le seul moyen d'améliorer notre compréhension de l'histoire sismique complexe d'une région. L'archéosismologie constitue ainsi une source légitime et complémentaire d'informations sur l'aléa et les risques sismiques.

Ce qui manquait à l'archéosismologie pour accéder au rang de discipline scientifique fiable, était une méthodologie rigoureuse et transparente. Jusqu'à présent, de nombreux

Excursion organisée par le projet 567 dans la ville nabatéenne de Petra en Jordanie : les participants posent au sommet d'un enchevêtrement de tambours d'une colonne du Grand Temple, dont la chute a probablement été provoquée par un séisme ancien. © Manuel Sintubin



scientifiques ont proposé diverses méthodes de recherche en archéosismologie, mais, dans la plupart des cas, ces procédés sont dérivés d'une discipline unique, alors que l'archéosismologie entend couvrir un large spectre interdisciplinaire via des indices variés. En effet, l'archéosismologie fait appel au savoir-faire d'historiens, d'anthropologues, d'archéologues, de géologues, de sismologues, de géophysiciens, d'architectes et d'ingénieurs en construction. Intégrer les principes et les pratiques d'un éventail aussi étendu de disciplines est le défi majeur de l'archéosismologie, mais aussi son principal intérêt.

Le projet 567 a relevé ce défi, non seulement en réunissant les meilleurs archéosismologues du monde, mais aussi en étoffant ce noyau de professionnels pour y associer de jeunes scientifiques et regrouper ses activités avec celles de paléosismologues et chercheurs en sismicité historique et instrumentale. En partenariat avec nos collègues du groupe de réflexion INQUA (Union internationale pour l'étude du Quaternaire) sur la paléosismologie et la tectonique active, le projet 567 a inauguré un nouveau cycle d'ateliers conjoints sur le terrain. Le premier atelier a eu lieu en 2009, sur le site archéologique de Baelo Claudia dans le sud de l'Espagne ; le deuxième s'est déroulé en 2011, à Corinthe (Grèce) ; un troisième est prévu en 2012, à Morelia (Mexique) ; et un quatrième se tiendra en 2013, à Aix-la-Chapelle (Allemagne).

Ces ateliers, propices à la confrontation d'idées, ont permis des avancées très sensibles dans cette discipline, au point que les indices archéosismologiques sont désormais considérés comme une source complémentaire de données sismiques parmi les diverses approches sismologiques existantes. Tout au long du projet 567, les principes et les pratiques archéosismologiques ont continué d'évoluer, en gardant un lien étroit avec d'autres disciplines liées à la sismologie.

Ces efforts d'intégration transparaissent clairement dans les publications et donnent un aperçu de la complexité de la tâche à laquelle se heurtent les archéosismologues. Un nouvel ouvrage sur l'archéosismologie est prévu en 2012, signe de la contribution durable fournie par le projet 567. La vitalité de cette nouvelle communauté scientifique (active dans les médias sociaux sur le site [www.paleoseismicity.org](http://www.paleoseismicity.org)) a renforcé la visibilité de ces travaux dans les milieux scientifiques, mais aussi auprès du grand public. Le projet 567 a agi comme stimulant, engageant la communauté archéosismologique à prendre une part active aux activités de communication et d'information sur les géosciences, que ce soit auprès des communautés locales lors de chaque atelier de terrain ou auprès des différents médias internationaux.

La région alpine-himalayenne est apparue comme étant un laboratoire naturel idéal. La ceinture alpine-himalayenne est particulièrement intéressante car elle a abrité quelques-unes des civilisations les plus anciennes de l'humanité. On peut donc espérer y trouver des évidences claires de catastrophes sismiques anciennes dans les traces culturelles. Les développements archéosismologiques sont issus des recherches menées en Méditerranée Orientale et au Moyen-Orient, via l'identification de dégâts structurels sur des édifices monumentaux. On est parvenu ici à sortir l'archéosismologie de son « berceau méditerranéen » en l'ouvrant à de « nouveaux territoires » qui partagent un cadre sismotectonique comparable et un contexte culturel et historique voisin. Le projet 567 a établi de nouvelles bases pour de futures recherches archéosismologiques en Chine, en Inde et en République de Corée, ainsi que dans d'autres pays d'Asie centrale et d'Asie du Sud-Est, qui offrent des possibilités nouvelles d'utiliser des sites archéologiques déjà mis au jour comme « sismoscopes ».





Exemple de dommages structuraux d'origine sismique : alignement de vestiges de colonnes de la Cathédrale byzantine (église sud-est), dans la ville gréco-romaine de Hippos (Sussita), surplombant la mer de Galilée (hauteurs du Golan).  
© Manuel Sintubin



Plus largement, l'archéosismologie présente un mandat plus vaste dont les bénéfices sociétaux sont importants. L'exemple de l'effondrement récent de la magnifique citadelle antique de Bam, site inscrit au patrimoine mondial car représentant le plus grand édifice en briques séchées au soleil (pisé) du monde, suite au terrible séisme qui a frappé cette ville iranienne construite à l'Antiquité, a montré que les sites du patrimoine culturel eux-mêmes sont menacés de destruction à cause des séismes. De toute évidence, il devient de plus en plus nécessaire de comprendre comment les structures et les monuments anciens réagissent aux ruptures des failles et aux vibrations du sol. Nos recherches aident aussi à comprendre l'histoire de l'Antiquité, à expliquer pourquoi des villes ont été abandonnées ou pourquoi des sociétés à l'apogée de leur développement ont ensuite connu un déclin, et à analyser pourquoi les lignes de failles suscitent autant d'attrait et amènent les peuples, anciens et modernes, à s'établir dans des zones de danger persistant. En mettant

en lumière la façon dont les ancêtres ont réagi face à des séismes, l'archéosismologie devrait jouer un rôle capital pour mieux préparer les communautés modernes menacées en cas de séismes. À cet égard, l'apport majeur du projet 567 est la mise en place d'une communauté de praticiens active, ouverte à la démarche archéosismologique et prônant une approche holistique pour créer progressivement une culture du risque sismique essentielle dans la région alpine-himalayenne, exposée au risque d'une catastrophe sismique inévitable.

***Manuel Sintubin**, Department of Earth & Environmental Sciences, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium; **Iain Stewart**, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, Plymouth University, UK; **Tina M. Niemi**, Department of Geosciences, University of Missouri-Kansas City, US; **Erhan Altunel**, Department of Geological Engineering, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Turkey*



An aerial photograph of a dry, brown landscape with a complex network of river channels and tributaries, illustrating the hydrological cycle. The water is a dark, shimmering blue, contrasting with the arid, textured ground.

# Hydrogéologie : géosciences du cycle de l'eau

L'eau est indispensable à la vie sur Terre et son utilisation durable est essentielle à la survie de l'humanité. Les ressources en eau de notre planète se composent des eaux de surface et des eaux souterraines, des eaux océaniques et des glaciers. Pour étudier ces ressources en eau, il faut comprendre et gérer le réseau des eaux de surface et des eaux souterraines, y compris les sources, ainsi que les aspects relatifs à la contamination, la vulnérabilité et l'histoire des réseaux hydrographiques.

# PICG 415 : Le projet GRAND – Glaciation et réorganisation du réseau hydrographique en Asie (1997-2001)

Les grandes glaciations survenues au cours des 2,6 derniers millions d'années, c'est-à-dire au cours du Quaternaire, ont à plusieurs occasions et pour des milliers d'années, enfoui sous la glace des paysages aux reliefs élevés et situés sous de hautes latitudes. Mais elles ont aussi eu un formidable impact sur les réseaux de drainage des continents, provoquant l'obstruction des fleuves à écoulement vers le nord et confinant des lacs le long de leurs marges méridionales sud. Les glaciers asiatiques de hautes altitudes ont aussi connu des phases d'expansion et de contraction qui ont influé sur les régimes météorologiques et le climat régional du continent et des vallées au-delà des montagnes. Comprendre ces épisodes glaciaires passés est utile pour évaluer l'impact de l'actuelle fonte des glaciers sur le climat dans un contexte de réchauffement général de la planète, sachant que les eaux douces ont influencé la circulation paléo-océanique et, par là même, le climat passé. C'est dans cet esprit qu'un projet a été créé pour étudier les glaciations passées et le réseau hydrographique en Asie.

L'envergure du projet proposé a nécessité un effort multidisciplinaire et international. Des chercheurs européens et asiatiques de renom, spécialistes du Quaternaire, ont été contactés, ainsi que des chercheurs d'Amérique du Nord ayant déjà étudié, cartographié et modélisé des situations comparables. Une proposition, intitulée « Glaciation et réorganisation du réseau hydrographique en Asie » (GRAND, Glaciation et Réorganisation du Réseau Hydrographique et du Drainage en Asie), a été élaborée puis acceptée donnant le

jour en 1997 au projet 415 ; la direction du projet a été confiée à son auteur, assisté de Rein Vaikmae (Estonie), et de Nat Rutter (Canada) en qualité de Secrétaire du projet.

Ce projet GRAND a pour principaux objectifs d'étudier l'extension et la chronologie de la glaciation du Quaternaire supérieur en Asie et son impact sur le réseau hydrographique de ce continent. Cette question est considérée comme l'une des plus importantes à résoudre dans le contexte du changement climatique global. En effet, les modèles couplés atmosphère-océan (GCM) ont montré que l'extension des calottes glaciaires sur les continents peut influencer sur la circulation atmosphérique et que l'eau douce provenant de la fonte de ces calottes peut modifier la circulation océanique et le climat. Si, comme cela s'est produit en Amérique du Nord, les réseaux fluviaux à écoulement vers le nord qui s'écoulaient vers l'Océan Arctique avaient été obstrués par des calottes glaciaires, les fleuves d'Asie auraient nécessairement dû emprunter de nouveaux tracés vers le sud, en s'écoulant vers la mer d'Aral, la mer Caspienne, la mer Noire et la mer Méditerranée. Par conséquent, une grande partie des masses d'eau douce aurait rejoint les océans de la planète en s'écoulant, non pas vers l'océan Arctique, comme c'est le cas actuellement, mais vers l'océan Atlantique.

Sept groupes de travail (menés par des responsables de groupe) ont été créés : Glaciations du plateau tibétain (Lewis Owen, États-Unis d'Amérique), Réseau hydrographique du plateau tibétain (Frank Lehmkuhl, Allemagne), Relevés

océaniques de l'Arctique d'Eurasie (Leonid Polyak, États-Unis d'Amérique), Pergélisol et glace du sol en Asie (Nikolai Romanovsky, Fédération de Russie), Glaciations en Asie (Valery Astakhov, Fédération de Russie et Julie Brigham-Grette, États-Unis d'Amérique), Lacs proglaciaires et réseaux hydrographiques de Sibérie (Vic Baker, États-Unis d'Amérique) et Modélisation des calottes glaciaires, des océans et du climat (Andrew Bush, Canada). Dix-huit pays ont participé au projet GRAND : Allemagne, Brésil, Canada, Chine, Estonie, États-Unis d'Amérique, Fédération de Russie, France, Inde, Italie, Japon, Lettonie, Mexique, Mongolie, Norvège, Pologne, Royaume-Uni et Suède. Tous les groupes de travail se sont réunis une fois par an dans les lieux suivants : Estonie (1997), Inde (1998), États-Unis d'Amérique (1999), Fédération de Russie (2000) et Allemagne (2001) ; d'autres réunions ont été organisées par des groupes de travail individuels.

Pendant toute sa durée, le projet 415 a travaillé en lien avec les projets suivants : QUEEN (*Quaternary Environment of the Eurasian North*, avec Astakhov pour la coordination scientifique), RAISE (*Russian-American Initiative on Shelf-Land Glacial Maximum*, avec Brigham-Grette pour la coordination scientifique), GLOCOPH (*Global Continental Paleohydrology*), APARD (*Arctic Palaeo-River Discharge*), le projet 396 (Plates-formes continentales au Quaternaire), le projet 464 (Plates-formes continentales pendant le dernier cycle glaciaire) et la *International Permafrost Commission*, organisant plusieurs réunions conjointes et tenant des sessions spéciales à l'occasion de quelques-unes de leurs réunions. Ces liens de collaboration entre le projet 415 et d'autres projets ont été extrêmement féconds et constituent l'une des caractéristiques de ce programme conjoint UNESCO-IJSG.

Les études effectuées dans le cadre du projet GRAND, notamment sur la genèse, la paléofaune et la paléoflore des dépressions où le pergélisol fond, les caractéristiques



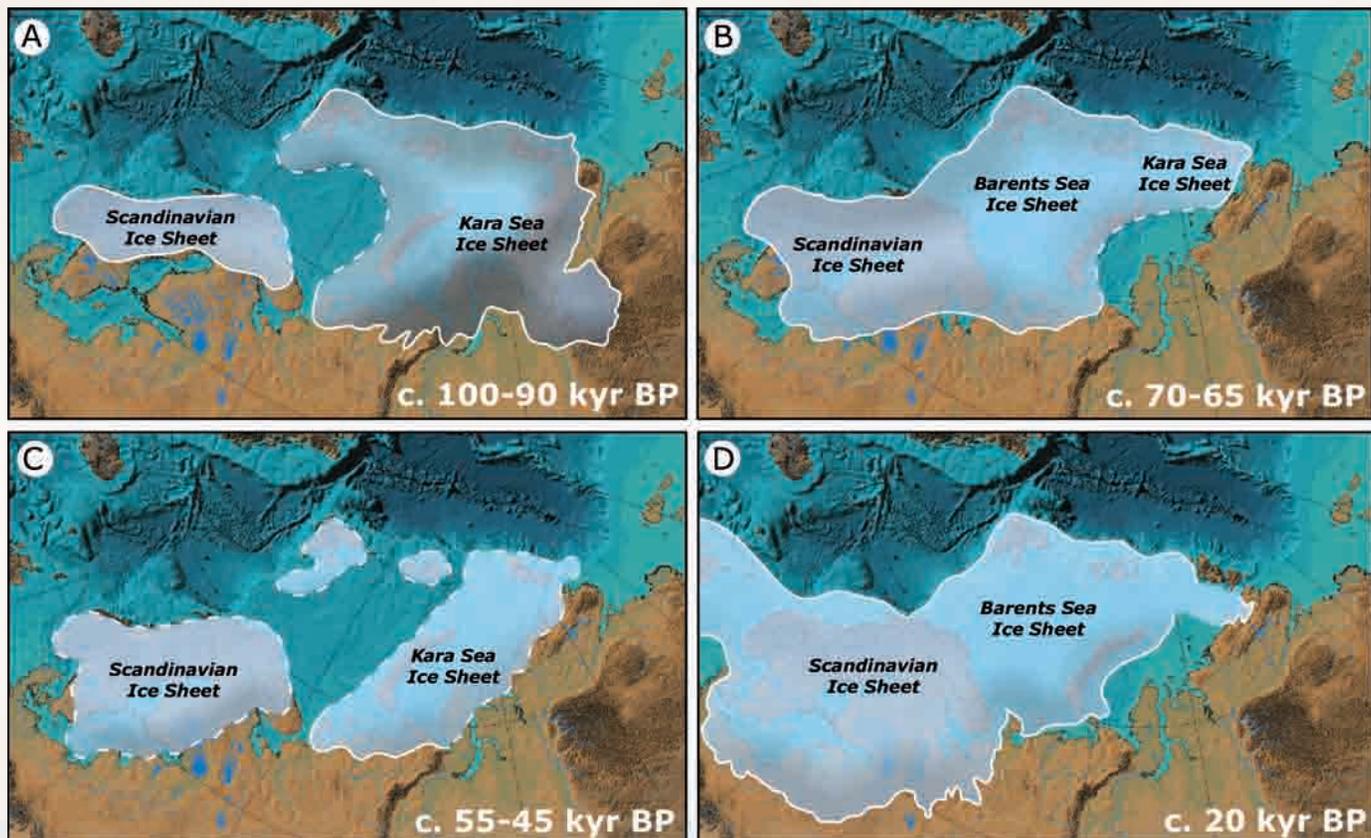
Pinacle de glace et chenal d'eau de fonte supraglaciaire sur le glacier de Baltoro dans les montagnes du Karakorum, dans le nord du Pakistan. D'une longueur d'environ 58 km, le glacier de Baltoro est l'un des glaciers les plus longs, en dehors des régions polaires. Il s'étend sur les pentes de quatre des quatorze sommets mondiaux atteignant les 8 000 mètres d'altitude (le K2 à 8 611 m au-dessus du niveau de la mer, le Gasherbrum 1 à 8 068 m, le Broad Peak à 8 047 m et le Gasherbrum II à 8 035 m) ; ses eaux de fonte alimentent les rivières Braldu et Shigar avant de se jeter dans le fleuve Indus et la mer d'Arabie. © Lewis Owen

cryogéniques (gel-dégel) spécifiques, et la composition isotopique et chimique de la glace, ont confirmé les résultats de QUEEN, selon lesquels la dernière période de glaciation n'a pas affecté le littoral arctique ni les plaines côtières de basse altitude à l'est des montagnes de l'Oural et les fleuves d'Asie ont ainsi pu continuer de s'écouler vers l'océan Arctique lors de cette glaciation. Les carottes prélevées en mer et les relevés sismiques pratiqués dans le bassin de l'océan Arctique, qui ont été étudiés dans le cadre du projet 415 par le groupe de travail sur les Relevés océaniques de l'Arctique d'Eurasie, en liaison avec des relevés continentaux, laissent également supposer que la dernière glaciation n'a pas été très étendue. Ils indiquent, cependant, que la glaciation précédente a été plus étendue et a probablement obstrué et détourné le cours des fleuves de Sibérie s'écoulant vers le sud vers la mer d'Aral, la mer Caspienne et la mer Noire. Le groupe de travail sur les lacs proglaciaires et réseaux hydrographiques de Sibérie a étudié de vastes vallées d'Asie centrale qui, autrefois, charriaient d'énormes masses d'eau douce provenant de la fonte des régions glaciaires du nord vers ces mers situées plus au sud, dans la direction opposée à ce que l'on observe aujourd'hui. Les signes qui démontrent que le flux des fleuves à écoulement vers le nord traversant l'Asie ne s'est pas inversé durant la dernière période de glaciation quaternaire amènent à la conclusion que l'eau douce provenant de cette région n'a pas eu d'influence sur la circulation océanique et n'a pas joué de rôle majeur dans le changement climatique à cette période.

Le projet 415 a porté une attention particulière à l'extension et à la chronologie de la glaciation en Haute Asie (Himalaya et Tibet), et cette composante de l'étude a été confiée à trois groupes de travail. Les relevés pratiqués en Chine et dans le nord de l'Inde ont fourni des mesures paléoclimatiques de haute qualité particulièrement intéressantes sur le changement climatique à long terme qui illustrent le contrôle orbital et les effets d'autres paramètres plus régionaux, comme le soulèvement du plateau tibétain. La circulation océanique générale à cette époque a été affectée par des variations d'intensité pluviométrique et par l'apport d'eau douce provenant de la fonte des glaciers de l'Himalaya. La modélisation de la double composante atmosphère-couche de glace, qui inclut des modèles radiatifs et le rôle des caractéristiques topographiques, a été incorporée dans un modèle de circulation générale (GCM). Le projet 415 a donc permis de mieux comprendre le rôle de la glaciation en Haute Asie sur le contrôle des précipitations au travers des variations sur la ceinture affectée par la mousson.

Les données, analyses et conclusions du projet 415 ont été publiées dans de nombreuses revues, des centaines de résumés et plusieurs numéros spéciaux de revues scientifiques.

*James Teller, Department of Geological Sciences,  
University of Manitoba, Manitoba, Canada*



Reconstruction des calottes glaciaires du Pléistocène supérieur (Weichsélien – il y a 100 000 à 20 000 ans) sur quatre périodes. Les lacs obstrués par les glaces en avant de la marge glaciaire ne sont pas représentés (d'après Larsen, E., Kjaer, K.H., Demidov, I.N., Funder, S., Grosfjeld, K., Houmark-Nielsen, *et al.* 2006. Late Pleistocene glacial and lake history of northwestern Russian Federation. *Boreas* n° 35, pp. 394-424). © Eiliv Larsen

Excursion de terrain, Krossfjorden, Svalbard.  
© UNEP/GRID-Arendal – Environmental  
Photo Library, Peter Prokosch



PICG 299, 379, 448, 513, 598 : Comprendre la nature des systèmes karstiques : plus de deux décennies avec le PICG (1990-2015)



Les paysages et les systèmes aquifères karstiques prennent forme dans des roches très solubles (calcaire, dolomite et gypse par exemple) parcourues par de grandes rivières souterraines qui circulent à travers des grottes creusées par la dissolution de l'eau. Ce type de système karstique couvre environ 15 % de la superficie terrestre du globe et se caractérise par des reliefs spectaculaires. Les paysages karstiques offrent une grande diversité et peuvent prendre l'aspect des pavages pierreux nus et plats du Burren de l'ouest de l'Irlande par exemple, des plaines vallonnées et creusées de dépressions en forme de cuvettes, appelées dolines, ou encore d'imposants pics karstiques qui bordent la rivière Li dans le sud-ouest de la Chine créant un relief iconique si particulier qu'il est reproduit sur les billets chinois de 20 yuans.

Le terme karst vient d'un mot slave *krs* ou *kras* (qui signifie terre aride), issu d'une région située à la limite entre l'actuelle Slovénie et l'Italie et connue pour la forme spectaculaire de ses grottes, rivières souterraines et grandes dépressions fermées. C'est dans cette région qu'est née la géomorphologie karstique moderne, fruit des études d'un géographe serbe, Jovan Cvijić, au début du XX<sup>e</sup> siècle. Le terme karst a fini par être adopté dans le langage international comme terme générique pour décrire ces paysages karstiques dans le monde.

De sérieux problèmes environnementaux se posent dans les régions karstiques. On estime que 20 à 25 % de la population mondiale a accès à l'eau potable provenant, directement ou indirectement, des aquifères karstiques. Mais la qualité de cette eau et son accessibilité sont problématiques puisqu'elle circule, en général, sous terre et qu'elle est donc d'accès

limité en surface. L'effondrement de vides souterrains peut aussi entraîner des dégâts structurels et, parfois même, des pertes de vies humaines.

La beauté et la complexité des systèmes karstiques, les enjeux qu'ils présentent et leur étendue géographique sont autant de raisons qui ont conduit des scientifiques du monde entier à se réunir afin de mettre en place des projets sous les auspices du PICG. En 1990, le premier d'une série de cinq projets a été lancé. Sous le thème « Géologie, climat, hydrologie et formation du karst », ce projet 299 a joué un rôle déterminant dans le développement de contacts internationaux entre des chercheurs spécialistes du karst. Il a également contribué à synthétiser les progrès réalisés dans l'esprit de l'objectif initial du PICG, c'est-à-dire établir des corrélations mondiales, non seulement en établissant des liens forts entre les scientifiques, mais aussi en permettant de comparer les reliefs et les systèmes karstiques à travers le monde. Le rapport final du projet 299, rédigé par des auteurs issus de 15 pays et intitulé *Global Karst Correlation*, décrit en seize chapitres l'évolution, la structure et le comportement des systèmes karstiques dans des zones climatiques arctiques, tempérées, tropicales, méditerranéennes et autres, dont les conditions géologiques sont variées.

Les résultats scientifiques obtenus sous l'égide de l'UNESCO et de l'UISG sont exposés ici. Aux résultats produits par les cinq projets PICG connexes, s'ajoute un autre aboutissement majeur, qui est la création, en 2008, du Centre international de recherche sur le karst (IRCK), un centre de catégorie 2 placé sous l'égide de l'UNESCO et hébergé par l'Institut de géologie du karst de l'Académie des sciences géologiques de Chine.

Projet	Titre	Durée
PICG 299	Géologie, climat, hydrologie et formation du karst	1990-1994
PICG 379	Processus karstiques et cycle du carbone	1995-1999
PICG 448	Corrélations globales de l'hydrogéologie des systèmes karstiques et de ses écosystèmes associés	2000-2004
PICG 513	Étude globale des aquifères karstiques et des ressources en eau	2005-2010
PICG/ASDI 598	Changements environnementaux et pérennité des systèmes karstiques	2011-2015

## Apports du PICG à l'avancement des recherches sur les systèmes karstiques

Les recherches qui sont décrites ici ont été, comme dans le cas des autres projets PICG, engagées et conduites par des scientifiques à l'échelle individuelle et par des laboratoires dans différentes régions du monde. Mais, comme elles s'inscrivaient dans le cadre du PICG, leur impact en a été renforcé. En premier lieu, une remarquable synergie est née des échanges (organisés ou fortuits) entre scientifiques lors des quelques 30 conférences qui se sont déroulées dans divers pays, grâce à l'appui des projets relatifs au karst menés au titre du PICG. Ces conférences, dont les présentations des nouveaux résultats scientifiques constituaient l'objectif principal, ont aussi eu comme corollaire inéluctable de favoriser les rencontres entre scientifiques lors des excursions sur le terrain, des repas et des pauses café. Un des atouts du PICG, est de faciliter les discussions informelles qui bien souvent sont propices à l'émergence d'idées nouvelles ou de projets prometteurs.

Les très nombreuses excursions sur le terrain organisées dans les plus grands sites karstiques du monde grâce aux projets du PICG ont renforcé cet effet de synergie. Parcourir ces paysages iconiques (et parfois sous terre, en l'occurrence) sous la conduite d'experts locaux a permis de découvrir différents aspects des systèmes karstiques et de le comparer en notant leurs points communs et leurs différences. Les connaissances ainsi acquises ont été soigneusement examinées pour mieux comprendre les analogies et les caractéristiques communes relevées sur les différents terrains karstiques de par le monde et, par là même, pour faire une analyse plus précise des éléments de base et des fondements des systèmes karstiques.

# Contributions scientifiques et sociétales des projets PICG concernant les systèmes karstiques

Les principales contributions des projets PICG concernant le karst sur le plan technique sont exposées ci-après. Des avancées significatives ont été accomplies dans la compréhension et la quantification de la dynamique des

systèmes karstiques, un cadre conceptuel d'une grande utilité pour appréhender le fonctionnement des interactions hydrologiques, chimiques, biologiques et humaines au sein des systèmes karstiques.

## Meilleure qualité d'interprétation des relevés effectués dans les systèmes karstiques

Dans les régions karstiques, les grottes, les sédiments et les autres éléments qui les caractérisent sont conservés en profondeur et pendant de longues périodes. Ils y demeurent donc intacts (et déchiffrables ultérieurement par des scientifiques) pendant des millions d'années.

L'étude des climats passés est l'une des clés pour comprendre la dynamique du changement climatique. L'importance d'une telle étude est d'autant plus grande aujourd'hui où les effets des activités humaines et les coûts potentiels qui y sont associés sont clairement visibles. Des recherches sont en cours depuis plusieurs décennies déjà, pour identifier des traces de conditions climatiques passées dans des systèmes naturels. Ces traces sont conservées sous différentes formes dans les grottes. Par exemple, les minéraux contenus dans les stalactites (ces concrétions en forme de pics de glace qui pendent du plafond de certaines grottes) et d'autres

formations similaires recèlent des informations chimiques qui sont véritablement la mémoire des conditions climatiques passées de la région qui abrite la grotte. Un très bel exemple de ce type d'enregistrements a été publié dans la revue *Science* par une équipe internationale participant au projet 448 ; elle y présente l'interprétation de données relatives à la mousson en Asie sur plus de 160 000 ans établie sur la base de relevés effectués sur des stalagmites recueillis dans la grotte Dongge, dans la province de Guizhou (Chine).

Le PICG a contribué à ces travaux en favorisant les contacts internationaux de façon à coordonner l'interprétation de ces données. Certes, les relevés climatiques d'une grotte ne reflètent que les conditions qui sont propres à ce lieu, et bien d'autres relevés et analyses seront nécessaires avant de pouvoir comprendre les schémas spatio-chronologiques des changements climatiques survenus dans le passé.

## Géochimie des systèmes karstiques et conséquences sur le cycle du carbone

L'étude de l'évolution des systèmes karstiques repose sur une compréhension précise des interactions qui existent entre les eaux naturelles et les roches qu'elles dissolvent. Les processus chimiques ont fait l'objet d'abondantes études, s'ajoutant à d'innombrables publications et communications de données à l'occasion de conférences organisées avec l'appui du PICG, qui ont permis aux scientifiques d'accomplir des progrès considérables dans leur compréhension de la formation des reliefs et des aquifères karstiques.

Une prolongation de ces travaux auxquels des scientifiques associés au PICG ont apporté des contributions particulièrement importantes s'est matérialisée tout d'abord avec le projet 379, « Processus karstiques et cycle du carbone ». La dissolution du calcaire dans des environnements karstiques entraîne la libération de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) dans l'atmosphère. Le puits (par opposition à une source) de  $\text{CO}_2$  atmosphérique qui en résulte a une incidence sur les concentrations globales en  $\text{CO}_2$  atmosphérique, responsables du changement climatique dû aux activités humaines. Les processus exacts de ces interactions eau-roche n'ont attiré que peu d'attention en raison de l'existence d'une source de  $\text{CO}_2$  liée chimiquement dans les océans qui, sur de longues périodes, est supposée s'équilibrer à l'échelle globale. Mais ces processus peuvent s'équilibrer ou non à l'échelle de quelques décennies ou de quelques siècles, en particulier à cause des changements environnementaux rapides qui sont en cours dans le monde. Dans le cadre du projet 379, un ouvrage intitulé *Karst Processes and the Carbon Cycle* a été édité et le projet 598 en assure le suivi. Des scientifiques chinois du Centre IRCK de Guilin travaillent actuellement en collaboration avec des collègues du monde entier pour établir un réseau mondial de sites de surveillance chargés de mesurer plus précisément ce puits de carbone dans le but d'observer sa variation en fonction des conditions géologiques et climatiques.

Rivière Cheran, Géoparc du Massif  
des Bauges, France. © Gilles Lansard

## Ressources en eau et problèmes environnementaux en domaine karstique

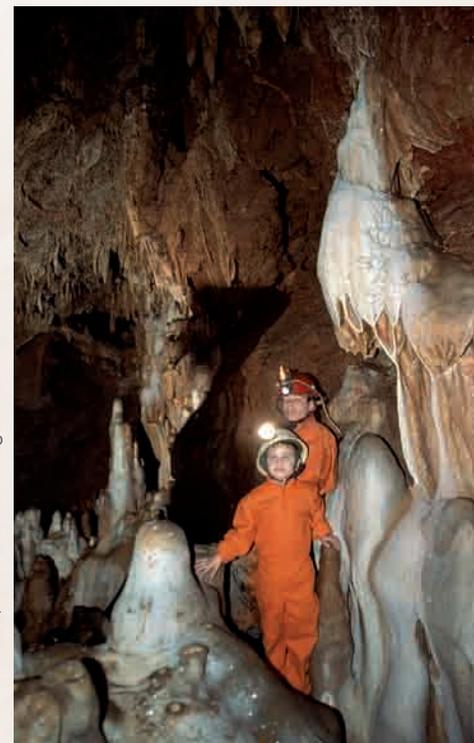
Sur le plan sociétal, dans le cadre du PICG, la contribution la plus importante apportée à la science des domaines karstiques provient des études et des formations consacrées au développement et à la protection des ressources en eau du karst, qui revêtent des dimensions aussi bien écologiques (projet 448 : Corrélation globale de la géologie du karst et de ses écosystèmes associés) que des dimensions humaines (projet 513 : Étude mondiale des aquifères et ressources en eau du karst). Sachant que plus d'un milliard de personnes sont plus ou moins tributaires de l'eau provenant des aquifères karstiques, les enjeux sont loin d'être négligeables. À cause de la grande perméabilité des aquifères karstiques, l'eau s'écoule sous terre plutôt qu'en surface, de sorte que l'accès à cette eau pour satisfaire les besoins humains est plus difficile. Les problèmes sont particulièrement importants dans les régions caractérisées par un climat de mousson avec une saison sèche prolongée. Les eaux souterraines des zones karstiques sont souvent polluées. Contrairement aux eaux de puits ou de source que l'on trouve dans d'autres contextes géologiques,

et qui sont le plus souvent de bonne qualité, dans les systèmes karstiques, des polluants peuvent s'infiltrer rapidement dans le sol sans être réellement filtrés, et se propager tout aussi rapidement par les cours d'eau souterrains jusqu'à l'eau des sources ou des puits. L'exploitation des ressources en eau du karst exige parfois des techniques spéciales. De nombreuses contributions ont été apportées au fil des années par les chercheurs qui ont travaillé et communiqué leurs résultats dans le cadre de ces projets PICG, notamment dans divers domaines, comme le traçage des eaux souterraines, la géophysique, les méthodes de cartographie des cours d'eau souterrains. Une initiative d'envergure (sous l'impulsion de participants espagnols et européens) a été menée pour mettre au point des méthodes de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines.

## Partenariats et renforcement des capacités

Les résultats les plus tangibles sont sans doute dans le domaine des partenariats et des formations. Les projets PICG concernant le karst ont organisé des publications et des conférences conjointes avec les commissions sur le karst de l'Association internationale des hydrogéologues, de l'Union géographique internationale et la Commission sur la spéléogénèse et l'hydrogéologie de l'Union

Enfants dans la grotte Doxa, Géoparc de Psiloritis, Grèce. © K. Paragamian



internationale de spéléologie. Outre les multiples occasions ainsi créées échanger idées, expériences et perspectives, ces initiatives ont permis d'identifier des objectifs communs et d'éviter des redondances, aboutissant à une rentabilité accrue.

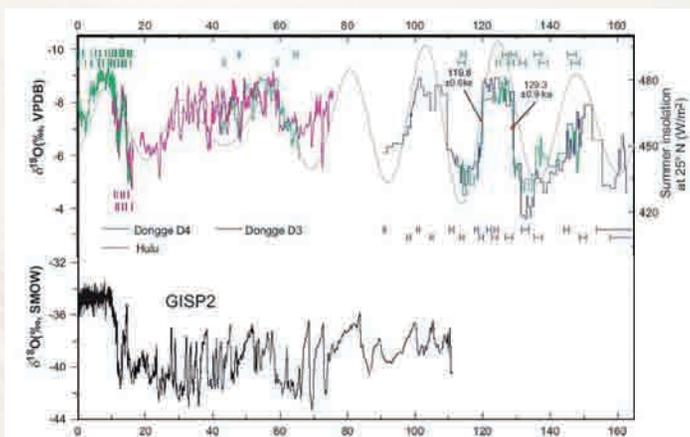
Dans maints pays en développement possédant de larges régions karstiques, des problèmes environnementaux se posent. Dans ces régions, de nombreux scientifiques ont pu profiter soit directement de financements PICG pour participer à des conférences internationales, soit indirectement de formations organisées sous les auspices des programmes du PICG et de l'UNESCO. Deux exemples marquants en permettent l'illustration.

Un premier exemple concerne le projet chinois sur l'Environnement et la Santé en Chine (*China Environmental Health Project*), qui bénéficie de multiples sources de financement, notamment de l'Agence des États-Unis pour le développement international, du ministère chinois de la Terre et des Ressources et du ministère chinois des Technologies. L'une des composantes du projet, le renforcement des capacités dans le domaine du karst, a mis en place des laboratoires de développement des Systèmes d'Informations

Géographiques et du traçage des eaux souterraines en Chine. À lui seul, ce projet a formé plus de 1 500 chinois, scientifiques, étudiants, fonctionnaires d'administrations locales et provinciales et membres de la population.

Autre résultat majeur, le Centre international de recherche sur le karst (IRCK) est l'aboutissement de la longue histoire des projets PICG liés au karst. Il a vu le jour à l'issue d'un accord signé entre le gouvernement de la République populaire de Chine et l'UNESCO en décembre 2008. Situé à Guilin, il est le premier centre de catégorie II consacré aux géosciences ; autre originalité, fonctionnant sous les auspices de l'UNESCO et dans le cadre du PICG, ce centre international de recherche interdisciplinaire sur le karst n'a aucun équivalent dans le système des Nations Unies. Ses objectifs sont d'améliorer la compréhension des systèmes karstiques à l'échelle mondiale, de préserver l'équilibre écologique des milieux karstiques et de promouvoir le développement socioéconomique durable des régions karstiques qui sont l'un des systèmes environnementaux les plus fragiles du monde. Ce Centre a pour objet de développer les contacts internationaux grâce à la recherche scientifique, à des publications et à la coopération internationale, et de devenir ainsi un lieu d'échange de données scientifiques sur la dynamique karstique et l'utilisation durable des ressources du karst, de même que sur la protection environnementale. Il permet également de mener des activités consultatives, de fournir des informations techniques et de dispenser des formations en vue d'élaborer et d'appliquer de nouvelles méthodes intégrées de réhabilitation de terrains rocheux désertifiés et de restauration écologique de régions karstiques.

Bien que la recherche scientifique pure et appliquée soit destinée à améliorer la compréhension des ressources karstiques, le Centre met un accent particulier sur l'organisation de formations sur le karst à l'échelle internationale. Plusieurs cours mis en place en 2009 et 2010 ont remporté un vif succès



Variations isotopiques de l'oxygène dans les stalagmites D3 et D4 de Libo, Province du Guizhou (Chine) et comparaison avec l'insolation en été à 25°N de latitude. © Yuan Daoxian

et permis de former un grand nombre d'étudiants de tous pays et, plus spécialement, de pays possédant des ressources karstiques, comme le Brésil, l'Inde, l'Indonésie, l'Ouganda et

## Perspectives

Dans le domaine des recherches sur le karst, les perspectives restent prometteuses ; d'importantes découvertes ont déjà été faites, mais des questions demeurent sans réponse. Les partenariats entre l'UNESCO et l'UISG continueront d'être une plate-forme active en faveur des échanges et des contacts internationaux en karstologie, par le biais du projet 598 : Changements environnementaux et pérennité des systèmes karstiques (2011-2015) et par le biais du Centre international de recherche sur le karst (IRCK). Tandis que les pays qui ont le plus largement soutenu les projets PICG liés au karst (Chine, Espagne, États-Unis d'Amérique et Slovénie notamment) poursuivent leurs efforts en ce sens, l'intérêt ne cesse de croître. Le projet 513 qui s'est achevé en 2010, a mobilisé la participation active de 44 pays ; quant au projet 598, ses co-responsables sont originaires d'Asie, d'Europe et d'Amérique du Nord et, pour la première fois, de l'hémisphère Sud (Brésil). Le projet 598 a également reçu un appui supplémentaire de l'Agence suédoise de coopération internationale au développement (ASDI) en raison des cours de formation qu'il organise et qui valorisent clairement la composante Renforcement des capacités.

le Pérou. Une nouvelle série de formation continue est prévue prochainement.

Le Centre lui-même continue de se développer et dispose, au sein de l'Institut de géologie du karst de Guilin, d'installations perfectionnées et parfaitement équipées pour relever les défis du XXI<sup>e</sup> siècle. L'essentiel du soutien financier dont il bénéficie provient du gouvernement chinois, créant ainsi des conditions propices aux rencontres entre le *leadership* administratif chinois et le *leadership* scientifique international. 13 pays sont représentés par les membres actuels du comité académique du Centre et il est prévu d'ici à 2020 d'augmenter les effectifs du personnel du Centre à 60 personnes.

Nous-mêmes et nos successeurs espérons pouvoir annoncer de nouveaux succès soutenus par le PICG à l'occasion de son 50<sup>e</sup>, et peut-être même de son 75<sup>e</sup> anniversaire !

*Chris Groves, Hoffman Environmental Research Institute, Western Kentucky University, USA; Yuan Daoxian and Zhang Cheng, International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, China and Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, China*







# Ressources de la Terre : pérennité de notre société

Les ressources géologiques de la terre comprennent essentiellement les minéraux, les hydrocarbures, les terres rares, l'énergie géothermique, l'air et l'eau. Une approche durable de leur utilisation est vitale pour le bien-être futur de la société. La prise en compte de l'environnement dans l'exploitation de ces ressources est un défi pour la recherche scientifique en géosciences ; il en va de même pour les progrès technologiques.

# PICG 357 : La matière organique et les gisements minéraux (1993-1997)

Presque tous les domaines de l'activité humaine, notamment l'agriculture, le bâtiment, l'industrie manufacturière, les transports, l'électronique, les arts et les sciences, sont

tributaires des minéraux et, par conséquent, de leur extraction. Les métaux précieux (or, argent et éléments du groupe platine), comme d'autres métaux, tels que le cuivre,

Vue de Muruntau, la plus grande mine d'or à ciel ouvert du monde, 3 km sur 2 km et 330 m de profondeur  
(Photo avec l'aimable autorisation de R. Seltmann). © Jan Pašava



le plomb, le zinc, l'étain et l'uranium, sont d'une importance fondamentale pour la qualité de vie dans un monde qui donne une place de plus en plus grande aux technologies de pointe, de même qu'à l'amélioration du développement de la société humaine de demain. Pour pouvoir identifier un nombre suffisant de sources de ces métaux industriels, il importe d'en comprendre les processus de formation. La matière organique, on le sait depuis longtemps, est souvent associée à des accumulations de métaux. Une étude de corrélation spécifique, mise au point en 1993 par le projet PICG 357, a rassemblé quelque 200 spécialistes des géosciences de 31 pays : Afrique du Sud, Allemagne, Argentine, Australie, Bulgarie, Canada, Cuba, Chine, Équateur, Espagne, Estonie, États-Unis d'Amérique, Fédération de Russie, Finlande, France, Guinée, Hongrie, Inde, Italie, Japon, Kazakhstan, Mongolie, Nigéria, Pakistan, Pologne, République tchèque,

Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Suisse et Tunisie. Le principal objectif de cette initiative était d'aider à mieux comprendre les différents rôles de la matière organique dans les gisements de minerai afin d'améliorer le rendement des activités d'exploration et d'extraction de métaux qui sont vitaux pour la société humaine moderne. Les travaux du projet 357 ont montré que la matière organique peut être un facteur déterminant dans la précipitation des métaux et un agent important dans le transport de métaux vers les sites de dépôt. Ils ont également mis en évidence que, bien souvent, les roches métasédimentaires riches en matière organique (schistes noirs) font office de sources de métaux pour divers gisements de minerai. Les exemples ci-dessous décrivent quelques-uns de ces métaux qui se développent en présence de matière organique, dont certains sont couramment employés de nos jours.

## Gisements de métaux précieux (or, argent et platinoïdes)

Le prix des métaux précieux a traditionnellement été beaucoup plus élevé que celui des métaux industriels courants, compte tenu de leur utilisation comme monnaie. Pourtant, aujourd'hui, on les considère surtout comme des placements et des matières premières industrielles.

Il est à noter que 65 % du volume total des réserves en or de l'ex-URSS proviennent de gisements aurifères présents dans des métasédiments riches en matière organique. L'un des plus gros gisements aurifères du monde (le gisement de Muruntau contenant plus de 100 millions d'onces d'or) est situé dans le désert Kyzyl Kum en Ouzbékistan. Des études effectuées par des scientifiques russes dans le cadre du projet 357 ont montré que, outre des intrusions de graphite, les roches riches en matière organique étaient une source

importante de métaux, un résultat particulièrement utile pour améliorer l'efficacité des activités d'exploration similaires de gisements aurifères géants dans d'autres régions du monde.

Une découverte majeure concernant une nouvelle source de métaux précieux a été faite dans le sud-ouest du gisement de cuivre de type Kupferschiefer, en Pologne, par une équipe de scientifiques polonais et allemands participant au projet 357. Ils ont montré que cette minéralisation était due en grande partie à la réduction de la matière organique, qui avait facilité la précipitation de l'or et des platinoïdes (métaux associés au platine) provenant de fluides métallifères. Grâce à cette découverte, l'exploration de gisements similaires de minerais d'or, de platine et de palladium dans d'autres régions du monde a été plus efficace.



# Gisements de cuivre

Le cuivre est couramment employé dans de nombreuses activités quotidiennes. Il entre, pour 65 % environ, dans des applications électriques. Le cuivre joue, par exemple, un rôle essentiel dans le rendement énergétique ; une tonne de cuivre utilisée de manière judicieuse dans le secteur énergétique permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 200 tonnes par an en moyenne. Le quart de la quantité totale de cuivre extraite dans le monde est utilisé dans le secteur du bâtiment, tandis que le secteur des transports en utilise 7 % environ. Les 3 % restants sont utilisés dans les pièces de monnaie, les sculptures, les instruments de musique et les ustensiles de cuisine.

Les études menées au titre du projet 357 dans l'un des principaux gisements de cuivre du monde, au Chili, ainsi qu'au sud de l'Amérique du Nord, ont fourni d'importants résultats concernant des gisements stratiformes de cuivre (dépôts de minerai dans certaines couches rocheuses), qui sont la principale source de ce métal. Elles ont montré que la matière organique avait probablement un rôle essentiel dans la formation de gisements économiquement aussi importants, offrant ainsi un nouvel outil qui devrait grandement faciliter les prospections futures.



Nouveau type de minéralisation de métaux précieux associé à des minerais sédimentaires de cuivre, découverts en Pologne (grains d'or de couleur jaune avec oxyde de fer de couleur grise) (Photo avec l'aimable autorisation d'A. Piestrzynski).  
© Jan Pašava

Les recherches du projet 357 sur les gisements sédimentaires de cuivre en Pologne, qui font partie des plus grosses réserves de cuivre du monde, ont aussi mis en évidence l'importance de la matière organique dans l'accumulation des métaux, et ont contribué à l'amélioration des modèles de genèse du cuivre et à la facilitation des activités d'exploration de cette précieuse ressource.

# Gisements de sulfures zinc-plomb

L'homme utilise des composés minéraux contenant du zinc depuis plus de 2 500 ans. Près de la moitié du zinc disponible actuellement dans le monde est utilisée dans le secteur du bâtiment, de l'industrie automobile et de l'électroménager, où ce métal est principalement utilisé comme revêtement galvanisé de protection de l'acier et du fer. Environ 70 % du plomb dans le monde est utilisé pour la fabrication de batteries, essentiellement pour l'industrie automobile.

L'une des plus importantes sources industrielles de zinc et de plomb est constituée de gisements de type MVT (Mississippi Valley Type) formés dans des carbonates, où l'on peut trouver du bitume et du pétrole liquide. Aucun modèle de genèse n'existait pour cette catégorie de gisement jusqu'à ce qu'une évaluation critique du rôle de la matière organique dans la formation de gisements MVT ne soit entreprise par le projet 357. Des groupes de scientifiques des États-Unis d'Amérique et du Royaume-Uni participant au projet ont mis au point un nouveau modèle relatif à l'origine de ces gisements,

dans lequel la matière organique joue un rôle majeur dans la localisation des accumulations de métaux (transport de métaux par des complexes organiques et diverses réactions d'oxydo-réduction). Ces résultats faciliteront considérablement les futures activités d'exploration des ressources zinc-plomb de ce type.

## Gisements d'étain

Sur le plan industriel, l'étain est principalement utilisé dans des alliages. Il est aussi employé comme revêtement anticorrosion sur d'autres métaux. Certains composés organiques à base d'étain servent de fongicides et d'insecticides dans l'agriculture et d'autres sont présents dans des équipements technologiques de pointe.

Une étude conjointe tchèque, chinoise et canadienne, menée dans le cadre du projet 357, sur les gisements d'étain du site de Dachang, la plus importante source d'étain de Chine, a montré que la matière organique jouait un rôle clé pour déterminer la capacité de formation de ce minerais dans les systèmes magmatiques ; il s'agit là d'un résultat important pour

l'exploration future de types similaires de sources d'étain dans le monde.

## Gisements d'uranium

L'uranium est un élément radioactif principalement utilisé pour produire de l'énergie nucléaire ; son utilisation soulève de graves questions en raison des dangers liés à l'élimination des déchets radioactifs à longue durée de vie et au haut niveau de radioactivité que son utilisation génère. Des progrès notables ont été accomplis en la matière grâce à une coopération, dans le cadre du projet 357, entre le Canada, les États-Unis d'Amérique, la France, le Gabon et le Royaume-Uni et axée sur les réacteurs naturels de fission riches en bitumes solides à Oklo (Gabon). Il est ressorti que la matière organique présente dans le minerai d'uranium jouait un rôle déterminant dans l'immobilisation et l'accumulation de radionucléides. Ces résultats sont très instructifs pour des sites similaires de confinement à long terme des déchets nucléaires d'origine humaine.

*Jan Pašava, Czech Geological Survey, Czech Republic*



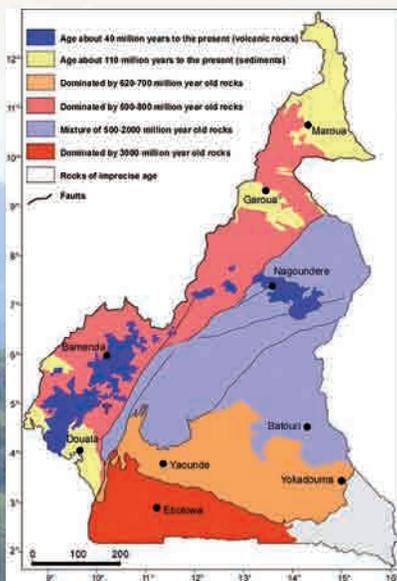
# PICG 470 : La ceinture panafricaine néo-protérozoïque d'Afrique centrale (2002-2006)



Paysage type des hauts plateaux de l'alignement volcanique du Cameroun. Ici, dans la région de Dschang au Cameroun : soutenir une agriculture durable est à l'évidence un combat de tous les jours.

© S. Felix Toteu

Carte géologique du Cameroun.  
© S. Felix Toteu



Ces dernières années, en Afrique, le secteur des géosciences a bénéficié d'importants investissements internationaux pour répondre à une forte hausse de la demande en ressources minérales et énergétiques dans le monde. De nombreux pays africains ont ainsi lancé de nouveaux programmes nationaux de cartographie géologique.

L'une des régions du continent qui pose aujourd'hui encore bien des énigmes d'ordre géologique se situe en Afrique centrale ; elle englobe le Cameroun, la République centrafricaine (CAF), le Tchad, le Congo, la République démocratique du Congo (COD), la Guinée équatoriale et le Gabon, en dépit de quelques progrès accomplis dans ces deux derniers pays, probablement du fait d'une intense activité d'exploration pétrolière et minière à l'heure actuelle.

Le projet 470 est le premier projet mis en œuvre dans cette vaste région au titre du PICG. En 2002, époque de son lancement, la recherche géoscientifique en Afrique centrale était confrontée à de multiples difficultés, parmi lesquelles un volume limité de données modernes, des cartes géologiques obsolètes datant de l'ère coloniale ou élaborées dans les années 1980 pour des projets de prospection minière, une répartition inégale des relevés topographiques, ainsi qu'un manque de communication entre les projets, en particulier au niveau international. L'établissement de corrélations transfrontalières sur la base des apports régionaux n'a donc pas été simple.

Le projet 470 avait pour objectif de combler ces lacunes. Il était axé sur les roches de l'ère précambrienne, c'est-à-dire datant de plus de 570 millions d'années, dont est constitué le socle de la majeure partie de la région et qui renferment l'essentiel des ressources minérales. Sur le plan géologique, la région comprend deux grands ensembles : d'une part, la bordure nord du craton Congo (une grande partie du plateau continental qui est restée relativement préservée

pendant 2 000 millions d'années, voire plus), qui couvre la majeure partie de la partie sud du Cameroun, le Gabon et la Guinée équatoriale et, d'autre part, la ceinture panafricaine qui fait partie d'un réseau de ceintures collisionnelles entourant les principaux cratons africains et qui couvre le centre et le nord du Cameroun, le Tchad et la République centrafricaine. Ces ceintures se sont formées à la suite d'un épisode de convergence, survenu il y a environ 600 millions d'années, pour former le Gondwana occidental, un ancien 'supercontinent' méridional qui s'est divisé en donnant notamment les continents africain et sud-américain tels que nous les connaissons aujourd'hui.

Dans le cadre de ses activités, le projet a mis en place un réseau de coopération avec des chercheurs d'Afrique, d'Europe, d'Amérique du Nord et d'Amérique du Sud. Des ateliers de terrain ont été organisés annuellement dans les pays d'Afrique centrale concernés, et de nouvelles données ont été obtenues dans les différents laboratoires du réseau. Des spécialistes étrangers des géosciences ont ainsi pu, pour la première fois depuis des décennies, procéder à des études de terrain en République centrafricaine et au Tchad. L'Université de Kinshasa a également accueilli sa première réunion géologique depuis l'indépendance de la République démocratique du Congo, en 1960.

Un autre résultat important du projet 470 a été de rompre l'isolement de nombreux chercheurs de la région. Des excursions sur le terrain ont permis à de jeunes scientifiques de profiter des compétences de collègues plus expérimentés, nombreux sont ceux dont la carrière doit beaucoup à ce projet. Cinq d'entre eux ont obtenu depuis leur doctorat grâce aux programmes de recherche menés en coopération entre des universités et des instituts de recherche de la région et de pays européens. Les établissements les plus actifs ont été les Universités de Yaoundé (Cameroun), Ndjamena (Tchad), Bangui (CAF), Kinshasa (COD), Kiel (Allemagne), Orléans et

Toulouse (France) et du Kansas (États-Unis d'Amérique), l'Institut de recherches géologiques et minières (Cameroun), le CRPG-CNRS de Nancy (France), le *Geological Survey* du Danemark et du Groenland, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (France) et le Musée royal de l'Afrique centrale (Belgique). Ces établissements ont favorisé le développement d'une vaste base de données régionale qui permet de mieux comprendre l'architecture géologique de la région. Une nouvelle carte transfrontalière avec les données géologiques et les gisements de minerai a été publiée pour la région de l'Afrique centrale ; la carte du Cameroun datant de l'époque précoloniale a été actualisée et la chronologie de l'évolution des roches du socle précambrien a été affinée (voir carte). Cette différenciation chronologique facilite l'interprétation des données géologiques et permet ainsi de mieux orienter l'exploration des ressources minérales. Les résultats du projet 470 ont aussi contribué à favoriser des projets internationaux de cartographie géologique en cours. Les nouvelles données collectées ont été d'une importance cruciale pour finaliser la partie Afrique centrale de la 2<sup>e</sup> édition de la Carte tectonique de l'Afrique, publiée en 2011. En 2008, le Cameroun a été l'un des premiers pays africains à participer à *OneGeology*, initiative qui a pour but de rendre accessible par Internet une carte géologique du monde assemblée à partir de données cartographiques géologiques fournies par chaque pays.

Le projet 470 a achevé ses activités fin 2006 mais à l'image des répliques qui font suite à un grand tremblement de terre, ses effets continuent de se faire sentir. Il est resté actif grâce à la publication de ses résultats. Il a donné un nouvel élan à des initiatives de coopération ayant stagné des années durant, comme par exemple les projets de coopération entre le Musée royal de l'Afrique centrale et l'Université de Kinshasa. Il a également permis de mettre en œuvre de nouvelles études régionales, comme le projet en collaboration entre les Universités de Ngaoundéré (Cameroun), Ndjamena (Tchad) et Orléans (France), sous l'égide de l'Agence Universitaire



Les distances à parcourir pour mener des recherches sur le terrain sont longues, comme on le voit ici pour une excursion sur le terrain organisée par le PICG en République démocratique du Congo. Les collines au loin sont en roche résiliente (quartzite), qui sert de référence cartographique pour la région.  
© S. Felix Toteu

de la Francophonie (2006-2008). En 2009, le Directeur du projet 470 a pu participer à l'initiative African Alive Corridors organisée par le *African Earth Observatory Network* (AEON) de l'Université du Cap.

L'expérience acquise grâce à la mise en place de projets PICG en Afrique montre que la réussite d'un projet tient en grande partie à la motivation d'un petit noyau de participants qui sont au cœur du projet, ainsi qu'au soutien politique, logistique et financier d'institutions de la région, à commencer par l'institution hôte du chef du projet. Même modeste, ce soutien est important pour la visibilité des institutions et la visibilité du PICG. Cette expérience a aussi mis en évidence plusieurs aspects importants à prendre en compte pour assurer le succès du PICG en Afrique. Nécessité s'impose, par exemple, de créer des Comités nationaux du PICG ou de redynamiser les Comités existants s'il y a lieu (jusqu'à présent, 35 % seulement des pays africains, actifs ou non, sont dotés d'un Comité national). Les Comités nationaux jouent un rôle

essentiel pour promouvoir l'implication de pays Africains dans le PICG, sachant que 7 % seulement des projets scientifiques du PICG dans le monde ont jusqu'à présent été consacrés à l'Afrique et que 5 % seulement des chefs de projets sont africains. On note toutefois quelques signes encourageants ; la communauté géoscientifique africaine, par le biais de la Société géologique de l'Afrique, s'emploie activement à faire connaître le PICG et ses avantages et à en faire bénéficier les institutions et les responsables africains qui travaillent dans le domaine des sciences de la Terre. L'Agence suédoise de coopération internationale au développement (ASDI) finance actuellement un programme de quatre ans destiné à appuyer le développement du PICG en Afrique sous la forme d'ateliers de formation et de soutien direct octroyé à des projets individuels.

**S. Felix Toteu, Earth Sciences Unit,  
UNESCO Nairobi Office, Kenya**

# PICG 473 : Intégration SIG de la métallogénie d'Asie centrale (2002-2007)

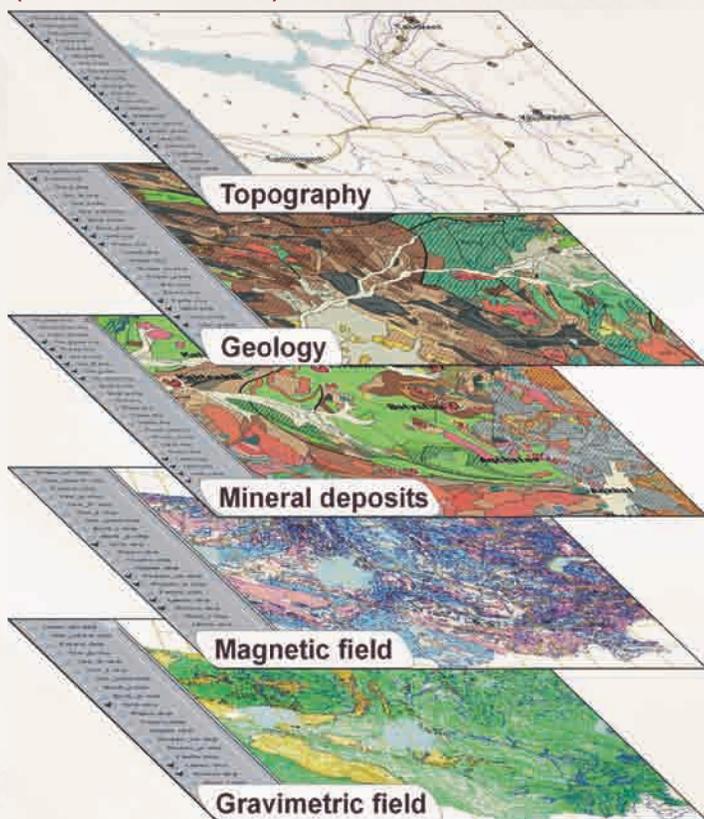
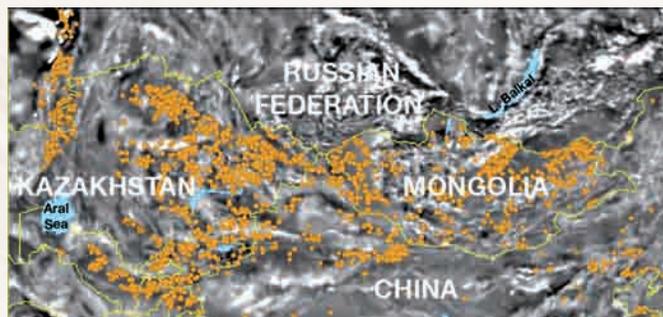


Schéma montrant la composition d'un SIG classique avec ses couches thématiques. © Reimar Seltmann



Superposition de la répartition des gisements et occurrences aurifères (ronds jaunes) en Asie centrale, depuis le Kazakhstan jusqu'à la Mongolie en passant par la Chine, avec la « Carte des anomalies magnétiques du monde » (UNESCO, CGMW 2007). © Reimar Seltmann

L'Asie centrale, l'une des provinces les plus riches en ressources minérales du monde, est considérée comme l'un des futurs greniers de la planète avec d'immenses ressources en hydrocarbures, métaux d'importance stratégique et matières premières parfois encore inexploitées et même inexplorées.

Le projet 473, qui fait suite à son prédécesseur, le projet 373, « Granites minéralisés d'Eurasie » (1997-2002) a tiré largement parti des infrastructures de recherche déjà existantes dotées d'un réseau international bien établi (qui regroupe environ 300 scientifiques appartenant à 30 pays différents et organisés en 20 équipes centrales) coordonné par le *Centre for Russian and Central EurAsian Mineral Studies* (CERCAMS) hébergé dans les locaux du *Natural History Museum*, à Londres. Ce projet était, à l'origine, une proposition pilote soumise au titre de Projets jeunes scientifiques. Il est devenu par la suite un projet PICG à part entière. Ses recherches avaient pour but de développer le savoir-faire disponible dans la région, d'appliquer les techniques informatiques modernes des Systèmes d'information géographique (SIG), et de combler l'écart entre des connaissances dépassées et des évaluations jugées incompatibles avec les normes internationales. La contribution de l'industrie minière internationale au financement du projet a été exceptionnellement élevée (proche d'1 million de dollars américain sur les six ans du projet) ; il fallait qu'il en soit ainsi pour espérer être à la hauteur de l'objectif ambitieux du projet, à savoir créer une base

Excursion de terrain dans le Tian-shan  
(Chine), 2007. © Stéphane Dominguez





Vue de l'exploitation à ciel ouvert du gisement de porphyres de cuivre de Kounrad, Kazakhstan. © London Natural History Museum – Robin Armstrong

de données des gisements en ressources minérales de la région qui soit accessible au public et y associer des cartes thématiques géoscientifiques. Les recherches conduites ont permis de mieux comprendre les processus de formation des gisements en ressources minérales et de catalyser les activités de prospection et d'exploitation durable des ressources minérales en Asie centrale.

Un cadre de recherches approprié a été mis en place grâce au succès des négociations menées concernant l'implication de partenaires d'Asie centrale, notamment pour faciliter l'accès à des données, des cartes et des rapports locaux non publiés rédigés en langue russe. Plusieurs pays, le Kazakhstan, le Kirghizistan et l'Ouzbékistan, de même que la Fédération de Russie, la Mongolie et la Chine, ont apporté leur soutien institutionnel pour couvrir la contribution aux recherches des pays concernés et leur aide au partage des frais de main d'œuvre et de voyage. Pendant la phase pilote

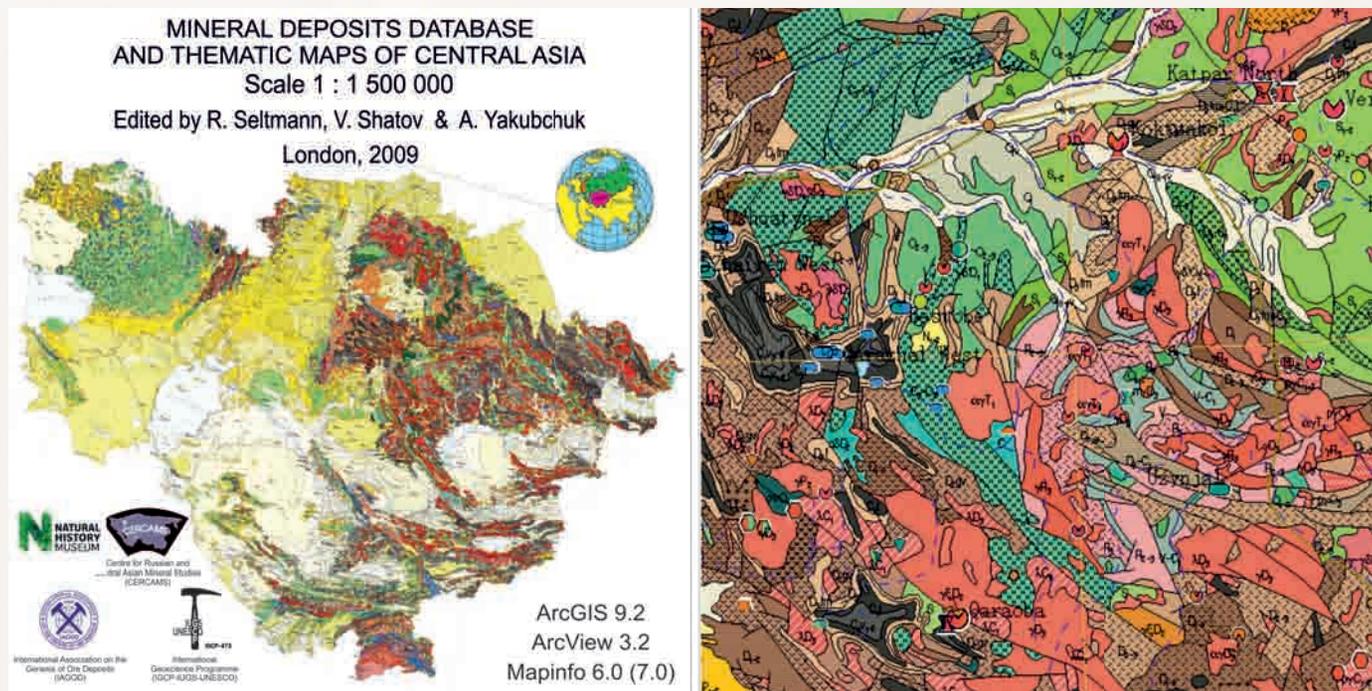
des recherches, la nouvelle carte géologique de base de l'Asie centrale (*New geological base map of Central Asia*) a été élaborée (échelle 1/1 500 000, format SIG ArcView) en partenariat avec la Commission de la carte géologique du monde et l'UNESCO. Des couches géophysiques et topographiques y ont été incorporées. La base de données SIG a été créée et diffusée aux équipes associées au projet en vue d'une mise à jour périodique. Les recherches portant sur les potentiels minéraux, les ceintures métallogéniques prévisibles et les types de gisements non conventionnels ont mis en évidence des problèmes qui ont été examinés dans le cadre d'études de cas tout au long du projet. Les données disponibles et les données nouvelles ont été intégrées en vue de la combinaison des unités géotectoniques d'Asie centrale et de son inventaire minéral. Grâce à cette approche, il est devenu possible de comparer l'évolution métallogénique, la croissance de la croûte continentale pendant les processus orogéniques et de concevoir un modèle métallogénique-

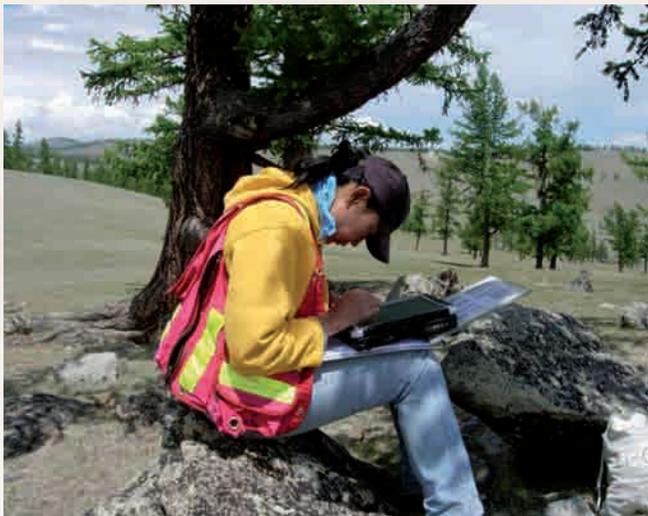
géodynamique unifié de l'Asie centrale. Certains gisements de ressources minérales ont fait l'objet d'études menées conjointement par des partenaires locaux et des chercheurs étrangers sur le terrain et selon des méthodes de laboratoire modernes.

Pour obtenir des données sur la géochimie des minerais, les roches minéralisées, les altérations de surface et les roches encaissantes pour chaque type de gisement, on a choisi plusieurs lieux appropriés pour des études de cas (par ex. Muruntau, Kumtor, Verkhnee Kairakty, Jubilejnoe, Kalmakyr, Kounrad et Dzhezkazgan). L'objectif était de mettre au point des modèles de genèse des grands gisements minéraux, et les résultats ont été publiés dans des revues internationales à comités scientifiques de lecture (voir [www.nhm.ac.uk/](http://www.nhm.ac.uk/)

cercams). Les recherches interdisciplinaires ont porté notamment sur la classification d'environ 1 800 gisements contenus dans les formations « hôtes » selon l'époque, le type de gisement et le cadre métallogénique, et sur l'élaboration d'une base de données relative à ces gisements. Les recherches et études de corrélation complexes ont été réalisées par des équipes de scientifiques appartenant à des disciplines complémentaires et possédant des compétences techniques et méthodologiques en matière de techniques SIG et un savoir-faire géodynamique-métallogénique. Elles ont abouti à la compilation d'un ensemble de cartes géologiques, géodynamiques et métallogéniques de l'Asie centrale au 1/1 500 000<sup>e</sup> d'après SIG, permettant d'évaluer le potentiel minéral de la zone étudiée.

Couverture du CD élaboré dans le cadre du projet ; plus de 40 compagnies minières et établissements de recherche en ont fait l'acquisition, pour l'évaluation des ressources minérales et pour des études universitaires. © Reimar Seltmann





Étudiant de Mongolie en post-doctorat lors d'une session de formation sur le terrain. © London Natural History Museum – Robin Armstrong

Sur la base de la première version expérimentale du logiciel *ArcView*, les composants de base d'un logiciel SIG plus professionnel *ArcInfo/ArcMap* relatif aux gisements minéraux d'Asie centrale ont été assemblés. Le produit complet, avec mises à jour et remises à niveau annuelles, a été édité à l'issue du projet en 2007. L'équipe en charge du projet a mis au point un modèle de données et une version « brute » de la base de données a été remaniée et transmise à des experts locaux afin d'être complétée. Des couches cartographiques organisées par thématique ont été numérisées et associées à la base de données des gisements. L'association d'une couche cartographique à une carte géologique récente, dont les droits de copyright sont détenus par le projet, était une première pour la région, de même que sa combinaison avec d'autres couches relatives aux gisements minéraux, au champ de gravité terrestre et aux caractéristiques magnétiques. Cette condition préalable était nécessaire pour la présentation de questions techniques (questions sur l'utilisation de la plate-forme SIG) et la faisabilité de l'analyse spatiale, deux outils qui sont caractéristiques

des SIG modernes et que réclament les « utilisateurs finaux ». Une évaluation et un traitement d'images prises par satellite ont également été entrepris. Le chef de ce projet a obtenu l'autorisation officielle des autorités de la Mongolie, de la Russie, de la Chine, de l'Ouzbékistan, du Kazakhstan, du Tadjikistan et du Kirghizstan d'impliquer des experts nationaux dans les recherches. Une coopération a été mise en place avec des équipes de Russie, de Mongolie et de Chine, qui ont également proposé d'étendre l'étude SIG de la métallogénie à leurs régions voisines d'Asie centrale.

En sus de la plate-forme SIG pour l'Asie centrale qui constitue la réalisation principale du projet et qui est désormais disponible sur CD-ROM en format *ArcGIS*, avec une base de données *MS Access* reliée à des cartes comportant des couches vectorielles thématiques, les études de cas ont, en l'espace de cinq ans, produit plus de 200 publications (y compris 50 textes originaux dans des revues à comité de lecture, des livrets-guides annuels de référence et des monographies spéciales révisées). Entre 2002 et 2007, plus d'une centaine de visites d'experts et de formations consacrées à la région étudiée ont eu lieu dans des centres européens de recherche et la moitié des participants étaient des étudiants de 3<sup>e</sup> cycle ou de doctorat. Le réseau de recherche a contribué au développement, à la formation et à l'échange de savoirs, essentiellement par le biais du programme hôte du CERCAMS. Des subventions au profit de l'éducation et des bourses de formation en laboratoire pour des jeunes scientifiques (des femmes, pour moitié) originaires de pays en développement ont été octroyées et des projets conjoints ont été menés en coopération pour promouvoir le transfert de connaissances ; des matériels et des logiciels ont été fournis pour faciliter la coordination du projet de recherche grâce à l'utilisation d'une plate-forme commune, à la mise au point de modules de cyberformation, à l'organisation de cours de formation aux techniques SIG au *Natural History Museum*

de Londres et à l'Institut de recherche géologique russe (VSEGEI) de Saint-Pétersbourg, ainsi que des cours et des excursions portant sur différents types de minéraux, des modèles prévisionnels d'exploration et des études d'altération.

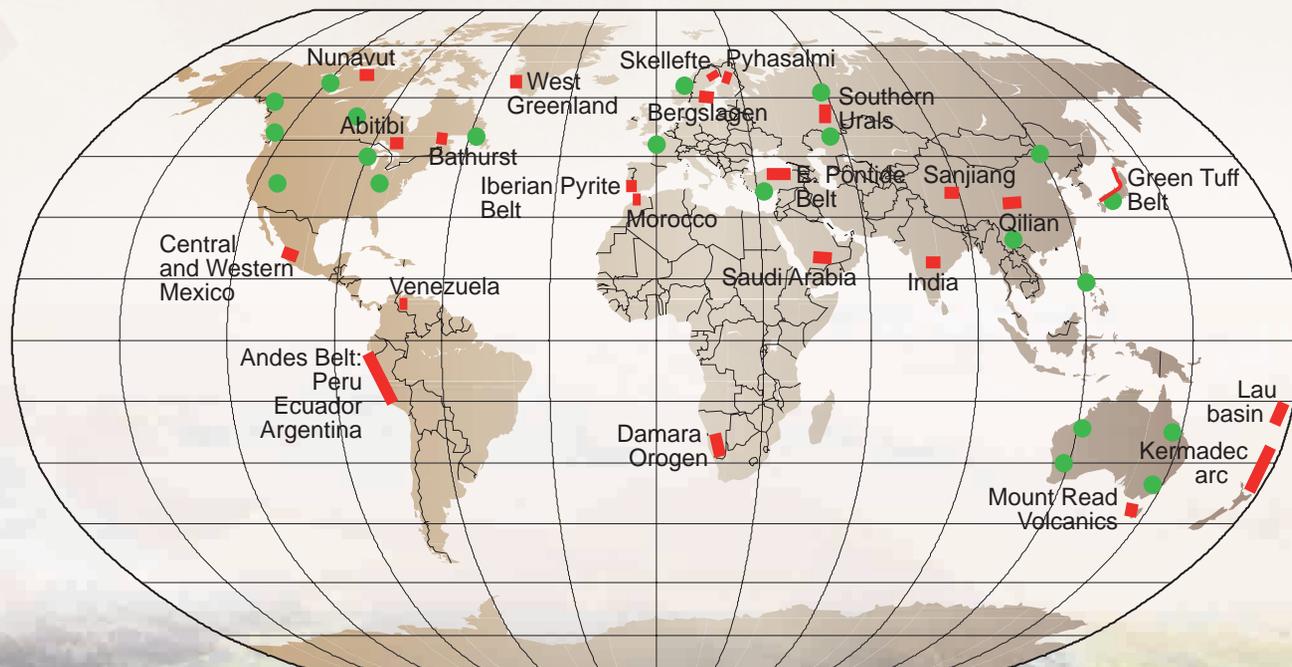
Le projet 473 a contribué à l'Année internationale de la planète Terre (IYPE) et œuvré en partenariat avec l'Association internationale d'études de la genèse des minerais (IAGOD), la Société de géologie appliquée aux gîtes minéraux (SGA), la Société des géologues économiques (SEG), d'autres projets PICG (486 et 502), le Programme UISG-UNESCO pour la durabilité des ressources minérales (« *Mineral Resource Sustainability Programme* », MRSP, en remplacement de l'ancien programme de modélisation des gîtes minéraux – DMP), et l'Association internationale de volcanologie et de chimie de l'intérieur de la Terre (IAVCEI). Le point culminant de ces efforts a été la compilation d'un DVD intitulé « *Promoting responsible mineral resource management on planet Earth* » (Promouvoir une gestion responsable des ressources minérales sur la planète Terre).

**Reimar Seltmann**, *Centre for Russian and Central EurAsian Mineral Studies, Natural History Museum, Mineralogy Department, UK*



Cartographie de terrain.  
© Marble Arch Caves Geopark

# PICG 502 : Comparaison globale des provinces de sulfures massifs volcanogéniques (VMS) (2004-2009)



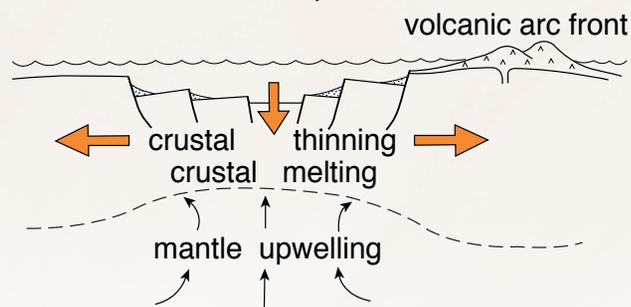
— Régions d'étude  
du projet PICG-502

● Autres provinces VMS

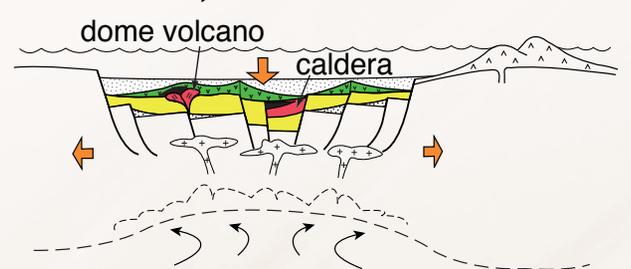
Les gisements contenant des sulfures massifs volcanogéniques (VMS) sont des accumulations de minéraux sulfurés métalliques qui se sont déposés par précipitation sur les fonds marins ou juste au-dessous, dans un contexte de volcanisme. Les gisements minéralisés sont présents sous forme regroupée dans ce que l'on appelle des champs miniers ou des districts, et ils sont situés dans des successions de bassins marins qui se sont formés à la suite de l'extension de la croûte terrestre. Les gisements minéralisés sont constitués de strates datant de plusieurs milliards d'années ou d'origine plus récente. À l'heure actuelle, on peut aussi observer leur formation active sur des sites hydrothermaux (fumeurs noirs) localisés sur les fonds marins. Généralement de forme discoïdale, ils mesurent entre 10 et 50 m d'épaisseur et ont un diamètre compris entre 100 et 1 000 m. Un gisement VMS contient en moyenne un million de tonnes de minerais sulfurés massifs, mais les très gros gisements peuvent contenir jusqu'à 300 millions de tonnes de minerais. Ces gisements, que l'on trouve dans de nombreux pays, constituent l'une des principales sources de zinc, de cuivre, de plomb, d'argent et d'or dans le monde.

L'objectif du projet 502, communément appelé « Projet VMS global », a été de créer un réseau international de scientifiques intéressés par les dépôts VMS et d'avancer collectivement dans la compréhension du lieu, âge et manière dont se forment les dépôts VMS pendant l'évolution des blocs de la marge de la plaque en extension. Pour que cette avancée soit possible, il était indispensable de comparer et de mettre en regard la géologie des grands districts VMS du monde, de façon à faire la distinction entre les caractéristiques communes d'importance essentielle et les innombrables autres variations de moindre importance. Outre la création de bases de données géologiques pour chaque district VMS, des ateliers de terrain ont été organisés dans un maximum de grands districts, afin de permettre aux membres du réseau PICG 502 de comparer les districts VMS et de promouvoir le transfert

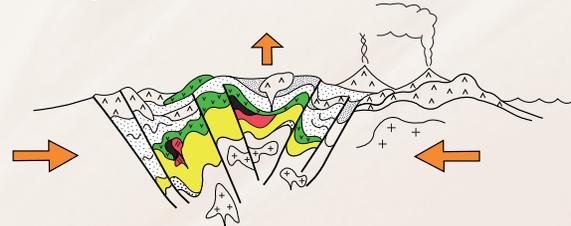
### A: crustal extension, basin subsidence



### B: waning extension, volcanism, ore formation, continued subsidence



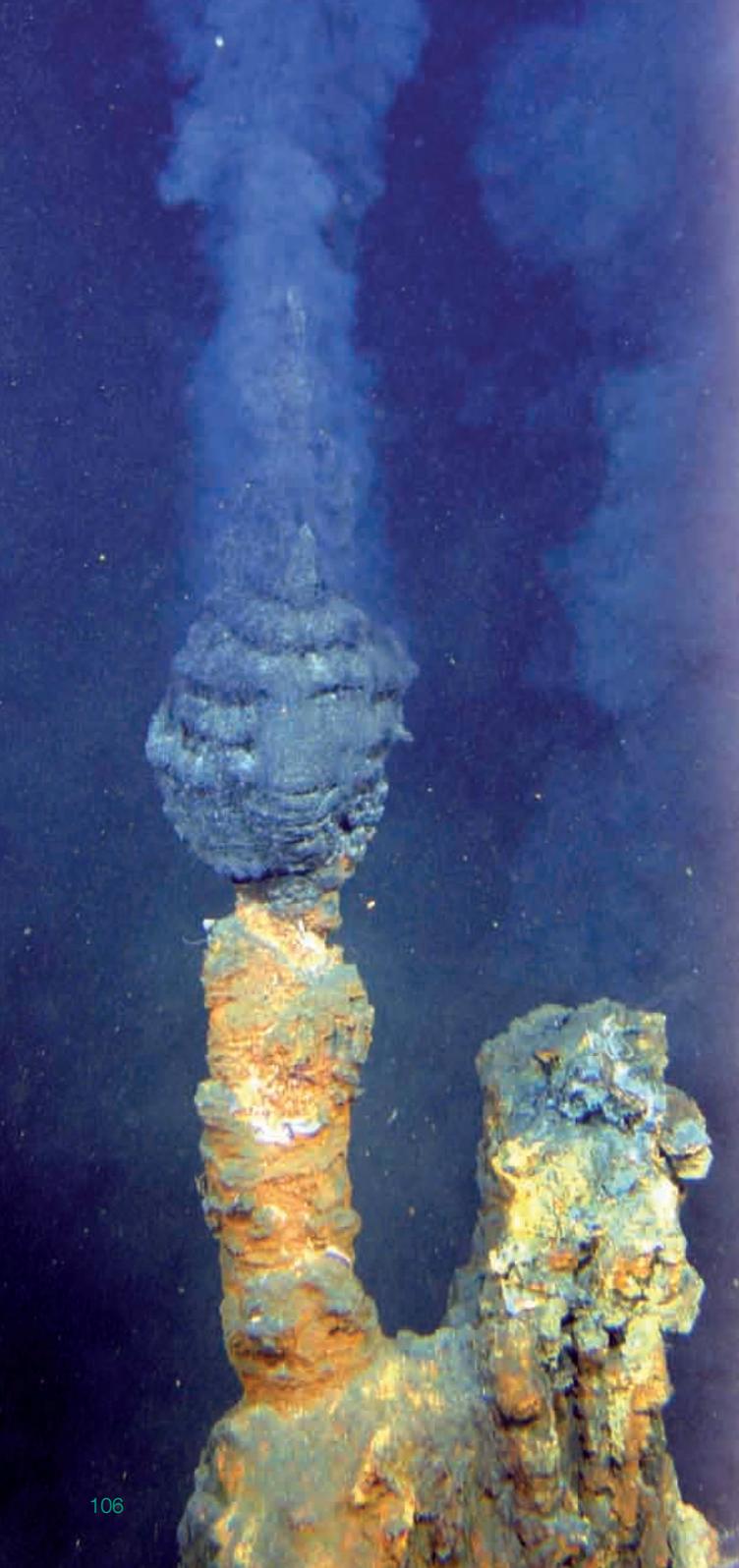
### C: compression, basin inversion



	Felsic volcanic rocks		Sedimentary rocks
	Andesitic volcanic rocks		Massive sulphide
	Basaltic volcanic rocks		

Cycle d'évolution de nombreux districts VMS. © Rodney Allen





d'idées, de résultats et de technologies nouvelles entre les différents groupes de scientifiques dans un environnement optimal, sur le terrain et en laboratoire. Ces connaissances devaient être ensuite mises à profit pour améliorer l'exploration de ces gisements minéralisés et conduire à de nouvelles activités minières dans les pays en développement et dans des régions minières déjà existantes.

Le réseau de scientifiques s'est constitué progressivement tout au long de la durée du projet. Il a été fait appel à des chercheurs, des étudiants en doctorat et des scientifiques impliqués dans l'exploration et l'exploitation de minéraux, y compris des scientifiques d'instituts de recherche et de régions minières, de même qu'à des scientifiques provenant de pays en développement. Durant la dernière année du projet, un réseau de 221 géoscientifiques appartenant à 43 pays différents avait été créé. Chaque district VMS (au total, une vingtaine) était doté d'un coordinateur régional, et une équipe scientifique locale composée de 5 à 20 scientifiques intéressés par les dépôts VMS était constituée et affectée à chaque district minier. Ces équipes locales étaient invitées à proposer, programmer et organiser un atelier de terrain, d'une durée d'une à deux semaines, dans leur pays et leur district VMS, avec l'aide des directeurs du projet. Au cours du projet, des ateliers de terrain se sont déroulés dans 11 des grandes régions minières VMS du monde : Skelleftea (Suède), Ceinture Pyriteuse Ibérique (Espagne et Portugal), Ceinture des Pontides orientales, (Turquie), Bathurst (Canada), Orogénie du Damara (Afrique du Sud et Namibie), Arc du nord-est d'Honshu (Japon), montagnes de l'Oural central (Fédération de Russie), ceinture calédonienne (Royaume-Uni et Irlande), Bergslagen (Suède), Roudnyi Altaï (Kazakhstan et Fédération

Systèmes hydrothermaux (fumeurs noirs) formant un dépôt de sulfure massif sur les fonds marins, volcan Brothers, arc des Kermadec (photo avec l'aimable autorisation de GNS Science, Nouvelle-Zélande).  
© Cornel de Ronde



Observation de carottes avec l'aide de géologues miniers, dans le cadre d'un atelier organisé à la mine Hajjar, au Maroc, 2009. © Rodney Allen

de Russie) et ceinture plissée de l'Hercynien (Maroc). Pour de nombreux participants, ces ateliers de terrain ont été le point culminant du projet. Ils ont rassemblé des scientifiques locaux, des personnels de l'industrie minière, des étudiants et des experts de tous pays et ils ont favorisé le foisonnement d'idées nouvelles, le renforcement de la collaboration scientifique et la création de liens d'amitié. Les participants au projet ont également tiré grand parti des rencontres avec les différentes cultures des pays dans lesquels se sont tenus ces ateliers. La plupart de ces ateliers se sont déroulés juste après une conférence internationale au cours de laquelle le projet 502 avait organisé une session scientifique sur les gisements minéralisés VMS, ou à la suite de leurs propres colloques.

Au total, durant les cinq années de sa mise en œuvre, le projet a organisé 29 réunions scientifiques, cours et ateliers pratiques. Les financements fournis par l'UNESCO et l'UISG ont permis à des étudiants en doctorat et à des scientifiques de pays en développement (entre 4 et 6) de participer à chaque réunion et atelier de terrain. Des financements complémentaires, obtenus auprès d'autres sources, organismes nationaux, universités et industries minières, ont été employés pour couvrir le coût des recherches et de l'organisation des réunions et ateliers de terrain.

Le projet 502 a produit un certain nombre de publications scientifiques, dont la plus remarquable est le numéro thématique de la revue *Mineralium Deposita*, publié en 2011, sur les principaux thèmes et controverses ayant trait au milieu géologique et à la genèse des dépôts VMS. Parmi les résultats moins visibles, mais non moins importants, il faut citer l'instauration d'une collaboration nouvelle et le renforcement des échanges entre des scientifiques de pays en développement et de pays développés intéressés par les gisements minéralisés VMS, ainsi que l'expérience acquise par des étudiants et des scientifiques de pays en développement grâce aux visites organisées dans les grandes régions minières du monde. L'avantage majeur du projet est d'ordre sociétal pour les pays où l'amélioration des connaissances sur les gisements minéralisés de sulfures massifs volcanogéniques et le savoir-faire en matière d'exploration des gisements se traduira par de nouvelles activités minières susceptibles de créer des richesses, d'accroître les perspectives d'emploi et d'élever le niveau de vie.

*Rodney Allen, Lulea University of Technology, Sweden and Boliden Mineral, Sweden; Fernando Tornos, Instituto Geológico y Minero de España, Spain; Jan Peter, Geological Survey of Canada, Canada; Namik Çagatay, Istanbul Technical University, Turkey*

Bénéficiaires potentiels de nouvelles mines de métaux au Maroc.

© Leslie Albin



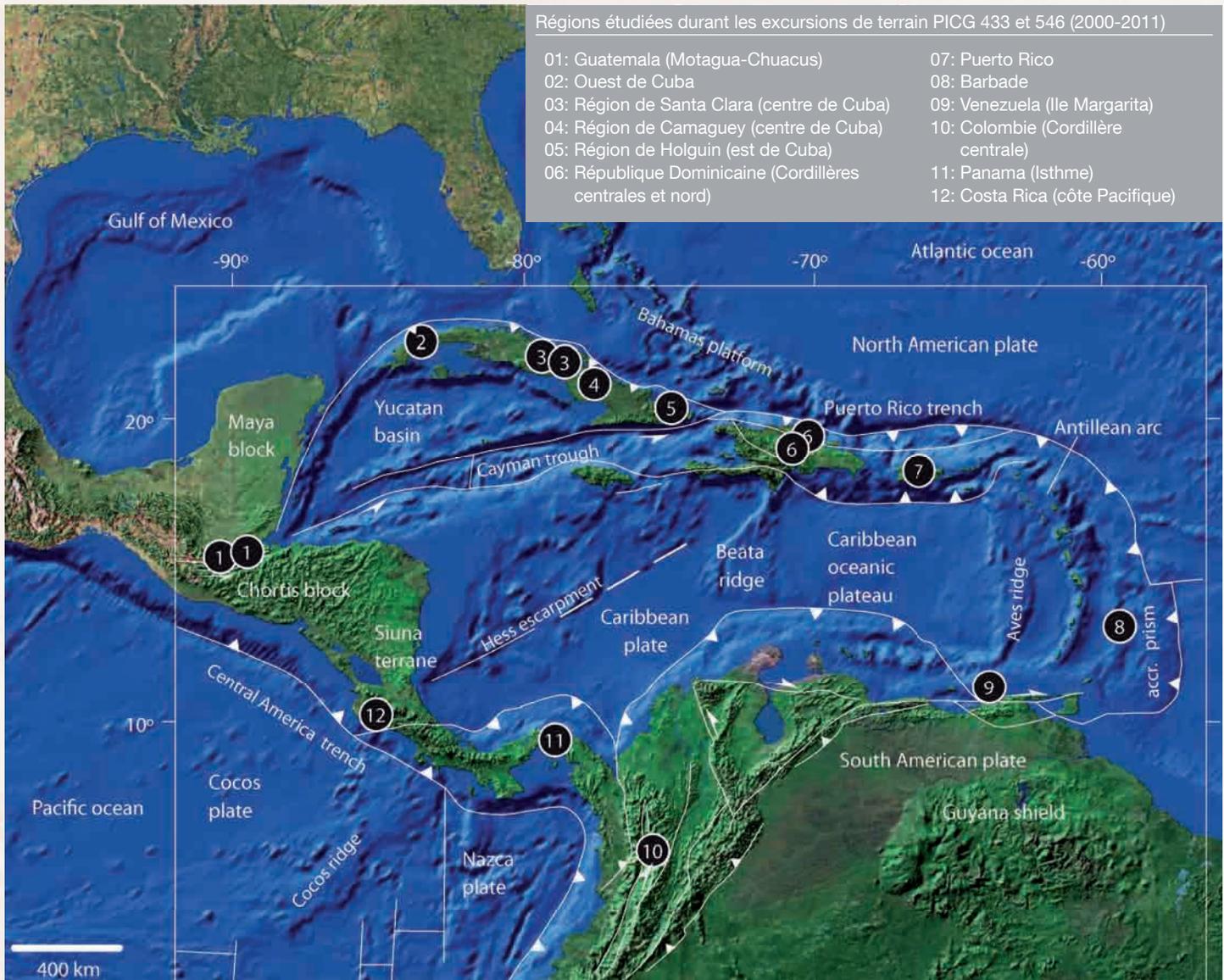




# Terre profonde : comment contrôle-t-elle notre environnement ?

Notre environnement habitable à la surface de la Terre résulte et dépend des processus qui se déroulent dans la Terre profonde. Les chercheurs en géosciences utilisent notamment des techniques géophysiques pour étudier ces processus, tels que les variations du champ magnétique terrestre ou la tectonique des plaques, dans le but de mieux comprendre le fonctionnement de cette planète vivante qu'est notre Terre. La compréhension de ces processus est également utile pour l'exploration des ressources naturelles, la répartition et la gestion des ressources en eaux souterraines ou encore la caractérisation et l'atténuation des aléas naturels, comme les séismes.

# PICG 433 : Tectonique des plaques des Caraïbes (2000-2004) et PICG 546 : Zones de subduction des Caraïbes (2007-2011)



Localisation des excursions sur le terrain organisées par les projets 433 et 546 (2000-2011). © Antonio Garcia-Casco

De 2000 à 2005, puis de 2007 à 2011, deux projets ont été successivement entrepris pour encourager et soutenir les études géologiques dans la région des Caraïbes. Les connaissances accumulées par ces projets au terme de ces dix années de recherche multidisciplinaire représentent une avancée majeure pour le développement scientifique et académique de la région, pour la prospection des ressources naturelles sur ce territoire et, plus spécialement, pour la société qui est ainsi dotée des connaissances nécessaires à un cadre plus précis pour la prévention des géorisques.

Ces deux projets ont organisé une trentaine de réunions et d'ateliers de terrain dans divers pays : Allemagne, Barbade, Brésil, Colombie, Costa Rica, Cuba, Espagne, États-Unis d'Amérique, Guatemala, Italie, Panama, République dominicaine, Royaume-Uni et Venezuela. Les chercheurs et les étudiants qui ont participé à ces projets étaient originaires des pays suivants : Allemagne, Argentine, Australie, Autriche, Barbade, Brésil, Canada, Chili, Chine, Colombie, Costa Rica, Cuba, Espagne, États-Unis d'Amérique, France, Guatemala, Hongrie, Italie, Jamaïque, Japon, Mexique, Nouvelle-Zélande, Nicaragua, Panama, Pays-Bas, Pérou, Pologne, Porto Rico, République dominicaine, Royaume-Uni, Suisse, Trinidad et Tobago et Venezuela. Les résultats des projets sont accessibles aux adresses suivantes : <http://www.ig.utexas.edu/CaribPlate/CaribPlate.html> et <http://www.ugr.es/~agcasco/igcp546/>.

De 2000 à 2005, puis de 2007 à 2011, deux projets ont été successivement entrepris pour encourager et soutenir les études géologiques dans la région des Caraïbes.

L'objectif premier de ces projets était de stimuler le débat et de rechercher un consensus sur les modèles de tectonique des plaques en lien avec l'origine et l'évolution de la plaque caraïbe. Des progrès majeurs ont été accomplis pour clarifier et affiner les modèles et pour améliorer la compréhension des aspects critiques de la géologie régionale et locale, des ressources naturelles et des événements géologiques potentiellement catastrophiques. Si quelques scientifiques continuent de privilégier l'hypothèse selon laquelle la plaque caraïbe s'est formée in-situ (c'est-à-dire entre les deux plaques Amériques lors de la fragmentation, pendant le Jurassique, du supercontinent permien-triasique appelé la Pangée), d'autres – une majorité de scientifiques probablement – considèrent qu'elle s'est formée dans le Pacifique et

qu'elle a dérivé en direction de l'est des Amériques à partir du Crétacé moyen (il y a 120 millions d'années environ) jusqu'à sa position actuelle entre l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud. Cette dérive a été possible parce qu'un bassin océanique (la Téthys de l'espace proto-caraïbe ou américain, occupant l'espace situé entre les deux Amériques qui s'est formé pendant la rupture de la Pangée) s'est refermé par subduction. Cette dérive se poursuit aujourd'hui, comme l'indiquent les mesures relevées par le

Système de positionnement global (GPS) et les processus géologiques actifs, tels que le volcanisme de l'arc des Petites Antilles et les violents séismes, tels ceux survenus en 1976 au Guatemala (de magnitude 7,5 faisant 23 000 victimes) et en 2010 à Haïti (de magnitude 7,0 faisant 316 000 victimes).







Les deux projets ont produit une grande quantité de publications scientifiques, notamment deux éditions spéciales consacrées aux Caraïbes, qui ont été publiées dans la revue *Geologica Acta*. Ces ouvrages et d'autres documents publiés par des participants aux projets fournissent une compilation des différentes thèses qui ont cours actuellement sur l'origine et l'évolution des Caraïbes et des régions adjacentes. Leurs auteurs formulent des questions et des réponses qui, en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle, constituent une base utile pour orienter et encourager les recherches ultérieures.

Un autre résultat essentiel de ces projets a été de créer une plate-forme qui sert de cadre communautaire pour favoriser la communication et les échanges entre des spécialistes des géosciences et des étudiants intéressés par divers aspects des systèmes géotectoniques. La formation de chercheurs et d'étudiants locaux à l'utilisation d'outils pour analyser les complexes rocheux et les risques géologiques a été, dans les deux projets, une composante importante. Des cours ont, par exemple, été dispensés à l'Université de San Carlos de Guatemala (Guatemala), à l'Université de Grenade (Espagne), à l'Escuela de Cuadros del Ministerio de la Industria Básica (la Havane), à l'Université de Stanford (États-Unis d'Amérique) et à l'Université de Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Colombie).

Traversée d'une rivière pour accéder aux sites d'échantillonnage, lors d'une excursion sur le terrain organisée en 2010 au Panama.

© Antonio Garcia-Casco

D'autres résultats concernent les livrets-guides d'excursion, où sont rassemblées des données géologiques élémentaires d'une grande utilité, des photographies, des cartes et des coupes transversales des zones clefs des Caraïbes et des régions adjacentes. La communauté scientifique et non spécialisée a accès à ces livrets-guides sur les sites Internet des deux projets. Ils sont disponibles pour la région ouest de Cuba, la région de Santa Clara, la région centre de Cuba, la Cordillère centrale de la République dominicaine, la ceinture médiane et la Cordillère septentrionale de la République dominicaine, la vallée de Motagua et la région de Chuacus au Guatemala, l'Isthme de Panama, l'Île de Margarita au Venezuela et la Cordillère centrale de Colombie, ainsi que la région de Camaguey dans le centre de Cuba.

Les résultats scientifiques des projets 433 et 546 ont fait considérablement progresser la compréhension de l'histoire géologique complexe des Caraïbes et, plus particulièrement, les processus géologiques qui se sont déroulés dans le passé et qui ont façonné l'évolution actuelle et future du territoire. Ces recherches ont encouragé de nouvelles études locales et régionales qui, au-delà de la tectonique des Caraïbes, abordent des questions plus fondamentales relatives à la tectonique des plaques, aux ressources naturelles et à la prévention des géorisques.

***Manuel A. Iturralde-Vinent**, Museo Nacional de Historia Natural, Cuba; **Antonio García-Casco**, Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, Spain and Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-Universidad de Granada, Spain; **Uwe Martens**, Tectonic Analysis Ltd., Walnut Creek CA, USA; **Edward G. Lidiak**, Department of Geology and Planetary Science, University of Pittsburgh, USA*



Étudiants de la *Escuela Centroamericana de Geología* (Costa Rica) au cours d'une excursion sur le terrain sur le thème « Ceintures de roches de haute pression dans la région centrale du Guatemala : la suture de Motagua et le complexe Chuacús », Guatemala (2007). © Antonio Garcia-Casco





Apprendre comment les sédiments actuels se déposent, pour comprendre les conditions de sédimentation du passé.  
© Aloé Schlagenhaut



# Jeunes chercheurs

Le Projet Jeunes chercheurs du PICG encourage la coopération internationale entre chercheurs de pays en développement et de pays développés débutant leur carrière. Il a pour objectif de recruter de jeunes scientifiques et de les former à la mise en place de futurs projets en coopération. Un projet dure trois ans et concerne un minimum de trois jeunes chercheurs appartenant à deux pays différents au moins, l'auteur principal de la proposition étant originaire d'un pays en développement.

# PICG 586Y : Processus géodynamiques dans les Andes entre 32° et 34°S de latitude – Interactions entre processus court et long termes (2010-2012)

Ce Projet Jeunes chercheurs est un effort de recherche multinational et multidisciplinaire à l'échelle régionale. Il rassemble de jeunes chercheurs de pays en développement et de pays développés. Il vise à stimuler les échanges et les liens entre chercheurs appartenant à différents instituts scientifiques en Amérique et en Europe. Les établissements participants sont l'Université du Chili (Chili), l'Institut argentin de la neige, glaciologie et des sciences environnementales (Argentine), l'Université nationale de Comahue (Argentine), le Centre international de recherche sur les tremblements de terre Montessus de Ballore (Chili), l'Université de Syracuse (États-Unis d'Amérique), et l'Institut de recherche pour le développement et l'Université de Toulouse (France).

Le projet analyse les interactions qui existent entre les mécanismes à l'origine de la formation des Andes et les mécanismes qui sculptent leur paysage. Les marges continentales convergentes et les zones de subduction sont des caractéristiques de premier ordre de la tectonique des plaques terrestres. Les tensions générées aux limites de ces plaques convergentes entraînent une déformation interne de la lithosphère, provoquant un soulèvement topographique et, par réaction, des processus de surface directement induits et souvent régis par des mécanismes de rétroaction. Les interactions complexes des déformations et des processus de surface dans l'orogénèse des Andes associée à une subduction constituent le thème central de ce projet de recherche.

Ascension de l'Aconcagua (Camp 2) pendant la campagne de terrain d'été du projet 586Y le long du transect 32°40'S, en 2010.  
© Laura Giambiagi

Bien que la période de temps durant laquelle s'est formée la cordillère des Andes soit très réduite, il en va autrement de l'amplitude et de la vitesse des processus qui régissent la croissance des Andes. Les recherches multidisciplinaires menées au titre du projet 586Y ont pour but d'étudier les interactions entre la tectonique (comment et dans quel délai s'est formée la cordillère) et les processus de surface (mouvements de masse, érosion fluviale et altération) depuis le Miocène (il y a environ 23 millions d'années) jusqu'à nos jours, en vue de mieux comprendre l'évolution des Andes chiliennes et argentines dans la zone située entre 32° et 34°S de latitude. Plus précisément, elles visent à expliciter les relations mutuelles qui existent entre les mécanismes endogènes (à l'intérieur de la Terre) et exogènes (à – ou à proximité de – la surface de la Terre) dans l'orogénèse, l'évolution topographique, le développement des bassins et les occurrences de méga-glissements de terrain le long de ce segment des Andes.

Les recherches intègrent les processus géodynamiques qui affectent ce secteur des Andes en appliquant une approche multidimensionnelle comportant des études sur le terrain

et des études analytiques dans des domaines, tels que la géologie structurale, la géomorphologie, la géophysique, la géotechnique, la géochronologie, l'analyse des bassins, la pétrologie, la sismologie, la minéralogie et l'analyse isotopique. Elles aident à mieux comprendre la façon dont les Andes se sont formées et ont évolué en tant que système dynamique. Les données sismologiques fournissent des informations sur l'état actuel des structures rocheuses, et une analyse géotechnique de leur lien probable avec les glissements de terrain est en cours.

Les objectifs spécifiques du projet sont, notamment, de comprendre les interactions entre la tectonique, l'érosion, la sédimentation et le climat dans la partie sud des Andes centrales et les mécanismes de rétroaction associés, de comprendre l'évolution géomorphologique-tectonique de la partie sud des Andes centrales durant le Pliocène-Quaternaire (depuis les 5,3 derniers millions d'années), d'élucider les rapports entre la répartition spatio-temporelle des glissements de terrain et l'activité néotectonique et de gérer les risques sismiques et les risques de glissements de terrain dans la région.



Les Andes représentent un formidable laboratoire de terrain de l'orogénèse moderne et un lieu idéal pour étudier les relations entre les processus tectoniques et géomorphologiques de surface.

De plus, les rapports étroits qui existent entre la déformation active et le soulèvement, la croissance crustale associée, l'activité sismique et une grande transition climatique régissant les processus d'érosion font de cette ceinture orogénique formée par subduction un laboratoire naturel important, propice à l'étude de l'influence du climat et de la tectonique sur l'orogénèse. Un élément fondamental du projet est la prise

en compte d'études disparates, mais interconnectées, qui nécessitent que les membres du groupe entretiennent des contacts et le dialogue aussi bien sur le terrain qu'autour d'une table.

Les études de ce type ne sont pas monnaie courante dans les Andes. Une initiative conjointe associant des spécialistes des géosciences argentins, chiliens, français et américains vient cependant d'être lancée, et ses résultats préliminaires illustrent, d'ores et déjà, l'importance d'un travail en collaboration.

Sommet de l'Aconcagua, transect 32°40'S, en 2010.

© Laura Giambiagi





Équipe du projet 586Y travaillant le long du transect Río Blanco.  
© Laura Giambiagi



Couches verticales résultant d'une déformation tectonique, dans la région de Cajón del Maipo (Chili), le long du transect 33°40'S.  
© Laura Giambiagi





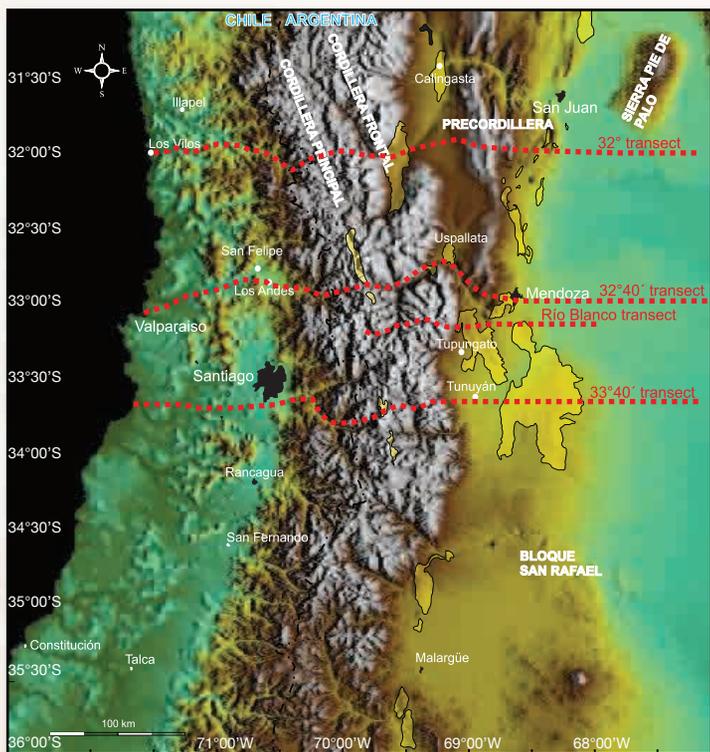
Vue du grand glissement de terrain à proximité de la ville de Las Cuevas (Argentine), non loin de la frontière entre l'Argentine et le Chili, le long du transect 32°40'S.  
© Laura Giambiagi

Pour mener à bien ce projet, quatre transects ont été retenus le long de l'orogène andin :

- ▶ à 32°S le long des fleuves Blanco et los Patos (Argentine)
- ▶ à 32°40'S le long des vallées des fleuves Aconcagua (Chili) et Mendoza (Argentine)
- ▶ à 33°S le long de du fleuve Rio Blanco (Cordón del Plata, Argentine)
- ▶ à 33°40'S le long des vallées des fleuves Maipo (Chili) et de Tunuyán (Argentine)

Différentes études intégrées ont été effectuées le long de ces transects, et d'autres sont en cours dans des domaines tels que la géologie structurale et la tectonique, la géomorphologie et la stratigraphie Quaternaire, l'analyse des glissements de terrain, la pétrographie et l'origine des roches, ainsi que l'analyse sismique. Pour chaque transect, les résultats de plusieurs études seront pris en compte et analysés.

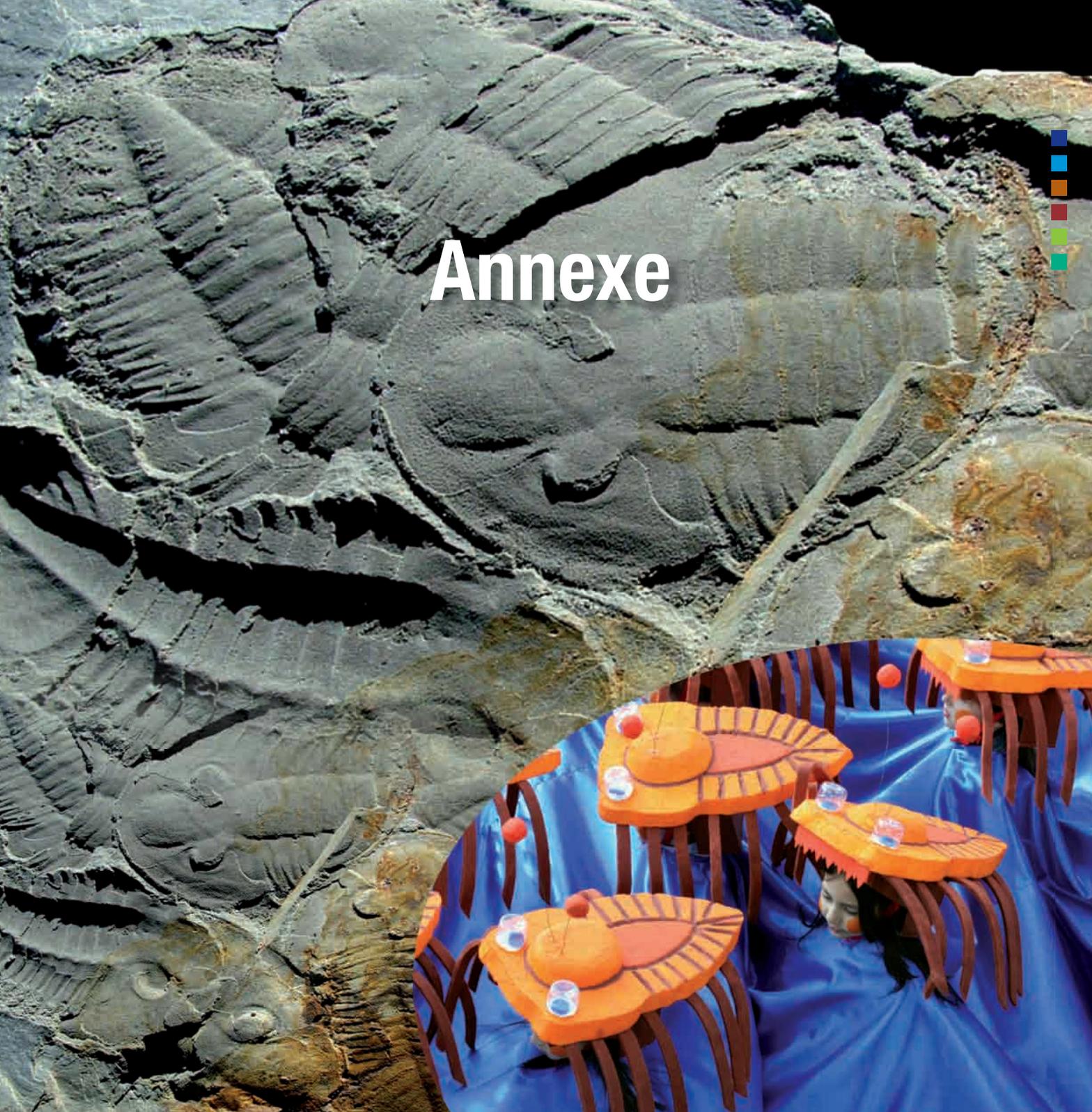
Plusieurs résultats attendus du projet se rapportent à sa dimension scientifique. Toutefois, l'un d'eux est directement lié à l'impact sociétal et concerne la détection des lieux sensibles aux géorisques. Les pouvoirs publics et la société disposeront ainsi de connaissances de base sur les géorisques qui leur seront utiles pour prendre des décisions éclairées et optimales.



© Laura Giambiagi

*Luisa Pinto, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Chile; Laura Giambiagi, IANIGLA CCT Mendoza, Argentina; Maisa Tunik, Departamento de Geología y Petróleo, Universidad Nacional del Comahue, Argentina; Sergio Sepúlveda, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Chile; Stella Maris Moreiras, IANIGLA CCT Mendoza, Argentina; Marcelo Farías, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Chile; Greg Hoke, Department of Earth Sciences, Syracuse University, USA*

# Annexe



# Index scientifique des projets du PICG

## BASSINS SÉDIMENTAIRES ET PROCESSUS DES MARGES CONTINENTALES :

32, 124, 132, 369, 419, 464, 482, 489, 585.

## CEINTURES OROGÉNIQUES :

ALPINE-MÉDITERRANÉENNE : 5, 198, 382.

CIRCUM-ATLANTIQUE : 233.

CIRCUM-PACIFIQUE : 7, 30, 110, 114, 115, 116, 171, 267, 272, 335, 359, 383, 436.

## CHANGEMENTS CLIMATIQUES, VARIATIONS DU NIVEAU DE LA MER, PALÉOCLIMATOLOGIE :

349, 374, 386, 413, 428, 476, 481, 499, 500, 503, 507, 515, 518, 521, 555, 596.

## CORRÉLATIONS :

2, 5, 6, 7, 25, 32, 96, 99, 107, 108, 118, 144, 148, 165, 166, 200, 203, 216, 220, 226, 245, 262, 306, 373, 378, 381.

## GÉOCHIMIE :

92, 154, 217, 257, 293, 360, 519.

## GISEMENTS ET RESSOURCES MINÉRALES, PROCESSUS DE FORMATION DES MINÉRAIS :

GISEMENTS DE MINÉRAIS : 3, 32, 60, 132, 156, 161, 226, 247, 277, 282, 318, 325, 342, 357, 443, 450, 486, 502, 514, 557, 606.

RESSOURCES MINÉRALES : 126, 143, 157, 166, 220, 320, 473, 479.

PROCESSUS DE FORMATION DES MINÉRAIS, METALLOGENIE : 6, 23, 26, 91, 111, 169, 197, 254, 255, 291, 302, 336, 373, 427, 473, 540, 600.

## HYDROGÉOLOGIE – EAUX SOUTERRAINES :

146, 158, 184, 219, 324, 391, 519, 523, 529, 565, 581, 582, 604.

## KARST :

299, 379, 448, 513, 598.

## MAGMATISME : CADRE, COMPOSITION ET PROCESSUS :

26, 30, 120, 163, 227, 235, 249, 282, 290, 314, 315, 336, 364, 426, 427, 510.

## MÉTAMORPHISME :

185, 285, 291, 294.

## OPHIOLITES :

39, 161, 195, 197, 256, 364.

## OROGENÈSES :

453, 600.

PRÉCAMBRIENNE : 164, 215, 440.

PAN-AFRICAINE : 164, 288, 348, 419, 470.

CALÉDONIENNE : 27, 60.

VARISQUE : 5, 469.

ALPINE : 105, 185.

## PALÉOGÉOGRAPHIE :

GONDWANA : 236, 237, 288, 321, 351, 359, 368, 376, 411, 421, 436, 450, 471, 478.

TÉTHYS, PÉRITÉTHYS : 4, 25, 169, 198, 203, 262, 276, 287, 329, 343, 359, 362, 369, 494.

## PALÉONTOLOGIE :

261, 328, 335, 366, 380, 406, 410, 469, 491, 493, 499, 572, 574, 596.

## RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE :

AFRIQUE : 108/144, 127, 145, 164, 183, 210, 227, 234, 302, 348, 363, 391, 419, 431, 470, 482, 485, 529, 594, 601.

ASIE : 169, 171, 218, 220, 224, 246, 283, 285, 296, 306, 321, 347, 350, 361, 383, 411, 415, 434, 473, 475, 480, 507, 516, 581.

CARAÏBES : 165, 364, 433, 546.

EUROPE : 86, 124, 133, 185, 326, 346, 356, 373, 378, 521.

AMÉRIQUE DU SUD : 42, 44, 108/144, 120, 192, 193, 201, 202, 204, 211, 242, 245, 249, 270, 271, 279, 281, 297, 301, 322, 342, 345, 381, 586, 604.

## RÉPARTITION STRATIGRAPHIQUE :

PRÉCAMBRIEN : 2, 22, 91, 99, 108, 144, 160, 204, 234, 236, 247, 257, 371, 418.

ARCHÉEN : 92, 273, 280, 599.

PROTÉROZOÏQUE : 29, 99, 118, 156, 179, 215, 217, 302, 303, 319, 320, 363, 368, 426, 478, 493, 509, 512, 587.

PALÉOZOÏQUE : 267, 271, 276, 580.

PRÉCAMBRIEN-CAMBRIEN : 29, 156, 303, 319, 478.

PALÉOZOÏQUE INFÉRIEUR : 41, 192, 193, 270, 351, 366, 410, 421, 491, 503, 591, 596.

PALÉOZOÏQUE SUPÉRIEUR : 42, 193, 211, 421, 470, 491, 499, 575, 596.

MÉSOZOÏQUE : 8, 133, 183, 272.

TRIAS : 4, 106, 142, 203, 359, 458, 467, 572.

JURASSIQUE : 171, 322, 458, 506.

CRÉTACÉ : 58, 191, 242, 262, 350, 362, 434, 463, 494, 507, 555.

CÉNOZOÏQUE : 133, 183, 449, 518.

PALÉOGÈNE : 174, 286, 301, 308, 326, 393, 522.

NÉOGÈNE : 25, 38, 41, 96, 114, 117, 128, 246, 326, 329, 355.

QUATÉNAIRE : 24, 41, 61, 201, 218, 253, 274, 281, 296, 353, 367, 378, 396, 405, 437, 495.

## RISQUES : RISQUES NATURELS ET RISQUES SISMQUES :

146, 250, 425, 430, 457, 487, 490, 511, 526, 567, 571, 585, 588, 594, 601, 606.

## ROCHES SÉDIMENTAIRES :

115, 116, 187, 269, 344, 347, 374, 432, 447, 463, 545, 580.

## TECTONIQUE, GÉODYNAMIQUE :

100, 202, 206, 356, 400, 480, 508, 524, 546, 574, 586, 600.

## TERRE PROFONDE ; PROCESSUS DE LA CROÛTE ET DU MANTEAU :

304, 345, 400, 414, 420, 430, 474, 482, 559.



# Liste des projets du PICG – de 1974 à 2011

## (335 projets financés parmi 606 dossiers soumis)

No.	Titre	Responsable(s) de projet	Durée
1	Accuracy in Time	C.W. Drooger (Netherlands)	1974-1979
2	Correlation of the Precambrian in Mobile Zones	G. Choubert, A. Faure-Muret, (France)	1974-1980, O.E.T. (1 year prolongation without funding)
3	Ore Deposits Separated by Continental Drift	W.E. Petrascheck and F. Hermann, (Austria)	1974-1978
4	Upper Triassic of the Tethys Realm	H. Zapfe (Austria)	1974-1982, O.E.T.
5	Correlation of Prevariscan and Variscan Events of the Alpine-Mediterranean Mountain Belt	H. Flugel (Austria) and F. Sassi (Italy), C. Spassov (Bulgaria)	1976-1986, O.E.T. 1987-1988
6	Correlation of Diagnostic Features in Ore Occurrences of Base Metals in Dolomites and Limestones	L. Kostelka (Austria)	1974-1979
7	South West Pacific Basement Correlation	R.A. Cooper and G.W. Grindley (New Zealand)	1974-1978
8	Mesozoic Chronostratigraphy, New Zealand-New Caledonia	J.A. Grant Mackie (New Zealand)	1974-1979
22	Precambrian in Younger Fold Belts	V. Zoubek (former Czechoslovakia)	1974-1980, O.E.T.
23	Genesis of Kaolins	M. Kuzvart (former Czechoslovakia)	1974-1980
24	Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere	V. Šibrava (former Czechoslovakia)	1974-1983
25	Stratigraphic Correlation of the Tethys-Paratethys Neogene	J. Seneš (former Czechoslovakia)	1974-1983
26	Mineralization Associated with Acid Magmatism	M. Štemprok (former Czechoslovakia)	1974-1980
27	The Caledonide Orogen	B.A. Sturt (Norway)	1974-1985
28	Terminología Geocientífica en América Latina: ALEGEO	C. Petzall (Venezuela)	1974-1980
29	Precambrian-Cambrian Boundary	J.W. Cowie (UK)	1974-1984, O.E.T. 1985-87
30	Circum Pacific Plutonism	P.C. Bateman (USA)	1974-1981
32	Stratigraphic correlations between sedimentary basins in the ESCAP region: Mineral Resources Section	ESCAP (Thailand)	1974-1982, O.E.T.
38	Pre-Pleistocene Tillites	W.B. Harland, (UK)	1974-1978
39	Ophiolites	N.A. Bogdanov, (former USSR)	1974-1980
41	Neogene-Quaternary Boundary	K.V. Nikiforova (former USSR)	1974-1984
42	Upper Palaeozoic of South America	A.C. Rocha-Campos (Brazil)	1974-1982
44	Lower Palaeozoic of South America	J.C.M. Turner (Argentina)	1976-1982
53	Ecostratigraphy	A.J. Boucot (USA)	1974-1984, O.E.T. 1985-1986
58	Mid-Cretaceous Events	R.A. Reymont (Sweden)	1974-1982, O.E.T. 1983-1985
60	Caledonian Stratabound Sulphides	F.M. Vokes (Norway)	1974-1983, O.E.T. 1984-1985
61	Holocene Sea-level Changes	A.L. Bloom (USA)	1974-1982, O.E.T.
86	Eastern European Platform (S.W. Border)	K.B. Jubitz (former German Democratic Republic)	1974-1985
91	Metallogeny of the Precambrian	A.V. Sidorenko (former USSR)	1974-1985
92	Archaean Geochemistry	A.M. Goodwin (Canada)	1974-1983

- 96 **Messinian Correlation**  
M.B. Cita (Italy)  
1975-1979
- 98 **Standards for Computer Applications in Resource Studies**  
A.L. Clark (USA)  
1975-1980
- 99 **Geochronological Correlation of Precambrian Sequences in Stable Zones**  
M. Bonhomme (France)  
1975-1979
- 100 **International Tectonic Lexicon**  
F. Delany (France)  
1975
- 105 **Continental Margins in the Alps**  
D. Bernoulli (Switzerland)  
1975-1980
- 106 **Permo-Triassic Stage of Geological Evolution**  
D.L. Stepanov, (former USSR)  
1975-1985
- 107 **Global Correlation Epochs of Tectogenesis**  
V.E. Khain (former USSR)  
1975-1980
- 108/144 **Precambrian of West Africa and its correlation with Eastern Brazil**  
Y. Yacé, (Côte d'Ivoire)  
1975-1983, O.E.T. 1984-1985
- 110 **Evolution of the South West Pacific Plate Boundaries**  
G.H. Packham (Australia)  
1975-1980
- 111 **Genesis of Manganese Ore Deposits**  
G. Grasselly (Hungary)  
1975-1985
- 114 **Biostratigraphic Datum-Planes of the Pacific Neogene**  
N. Ikebe (Japan)  
1976-1982
- 115 **Siliceous Deposits in the Pacific Region**  
J.R. Hein (USA)  
1975-1981
- 116 **Circum-Pacific Turbidites**  
H. Okada (Japan)  
1976
- 117 **Geological Events at the Mio-Pliocene Boundary**  
J. Aubouin, J.J. Bizon, J.P. Rampnoux and J. Sigal (France)  
1976-1986
- 118/99 **Upper Precambrian Correlations**  
R. Trompette (France)  
1975-1980
- 120 **Magmatic Evolution of the Andes**  
U. Cordani (Brazil) ; E. Linares (Argentina)  
1975-1985
- 124 **North-West European Tertiary Basin**  
H. Tobien (Germany)  
1975-1982
- 126 **Optimum Estimation of Reserves**  
M. David (USA)  
1976
- 127 **Revision of the "Continental terminal" Concept in Africa**  
F. Tessier (France)  
1975-1980
- 128 **Late Cenozoic Magnetostratigraphy**  
G. Kukla (USA)  
1976-1982, O.E.T.
- 129 **Lateritization Processes**  
Geological Survey of India  
1975-1983
- 132 **Basins of iron formation deposition**  
A.F. Trendall (Australia)  
1975-1980
- 133/89 **Geochronology of Mesozoic and Cenozoic Deposits of Europe**  
Calibration of stratigraphic methods  
G.S. Odin (France), I. Wendt (Germany)  
1975-1979/1978
- 142 **Palaeomagnetic Studies in the Permo-Triassic of the "Gondwana" Continent**  
IGCP National Committee, Madagascar  
1976
- 143 **Remote Sensing and Mineral Exploration**  
W.D. Carter and L.C. Rowan (USA)  
1976-1982
- 144 **Precambrian of West Africa (accepted for merger with N° 108)**  
P. Tapsoba (Burkina Faso)  
1976
- 145 **West African Biostratigraphy and its Correlations**  
O.S. Adegoke, I. De Klasz (Nigeria), and M. Moullade (France)  
1976-1981
- 146 **River Flood and lake-level Changes**  
R. Paepe and L. de Meyer (Belgium)  
1976-1984
- 148 **Quantative Stratigraphic Correlation Techniques**  
J. M. Cubitt, J.C. Brower and J.E. Robinson (USA)  
1976-1983, O.E.T. 1984-1986
- 154 **Global Exchange and Processing of Information in Geochemistry**  
H. de la Roche, J.M. Stussi and Ph. Grandclaude (France)  
1977-1983
- 156 **Phosphorites of the Proterozoic-Cambrian**  
P.J. Cook and J.H. Shergold (Australia)  
1977-1988
- 157 **Early Organic Evolution and Mineral and Energy Resources**  
P.A. Trudinger, M.R. Walter and D.M. Mckirdy (Australia)  
1977-1988
- 158 **Palaeohydrology of the Temperate Zone**  
L. Starkel (Poland) and B. Berglund (Sweden)  
1977-1988
- 160 **Precambrian Exogenic Processes**  
J. Veizer (Canada)  
1977-1986
- 161 **Sulfide Deposits in Mafic and Ultramafic Rocks**  
A.J. Naldrett (Canada)  
1977-1987



- 163 **Design and Generation of a World Data Base for Igneous Petrology**  
F. Chayes (USA)  
1977-1984
- 164 **Pan-African Crustal Evolution**  
A. Al-Shanti (Saudi Arabia)  
1978-1984
- 165 **Regional Stratigraphic Correlation of the Caribbean**  
J.L. Yparraguirre (Cuba)  
1983-1989; O.E.T. 1990
- 166 **Correlation of Coal-bearing Formations**  
P.P. Timofeev (former USSR)  
1978-1987
- 169 **Geotectonic Evolution and Metallogeny in the Eastern Mediterranean and Western Asia**  
S. Jankovic (former Yugoslavia) and W.E. Petrascheck (Austria)  
1979-1984, O.E.T. 1985
- 171 **Circum-Pacific Jurassic**  
G.E.G. Westermann (Canada)  
1981-1985, O.E.T. 1986-1987
- 174 **Geological Events at the Eocene-Oligocene Boundary**  
Ch. Pomerol (France)  
1980-1985
- 175 **Chronostratigraphic Precision**  
N.F. Hughes (UK)  
1981-1983, O.E.T. 1984-1985
- 179 **Stratigraphic methods as applied to the Proterozoic record**  
J. Fabre, J. Sarfati, N. Clauer (France) and G.M. Young  
1981-1986
- 183 **West, African Mesozoic and Cenozoic Correlation**  
M. Moullade (France), O.S. Adegoke (Nigeria), B. Peybernes (France)  
1981-1985, O.E.T. 1986-1987
- 184 **Palaeohydrology of Low Latitude Deserts**  
C.R. Lawrence (Australia)  
1981-1985
- 185 **Peri-Aegean Blue Schists**  
I. Godfriaux (Belgium)  
1981-1985
- 187 **Sliceous Deposits**  
J.R. Hein (USA)  
1982-1986
- 191 **Cretaceous Palaeoclimatology**  
E.J. Barron (USA)  
1982-1986
- 192 **Cambro-Ordovician Development in Latin America**  
B. Baldis and G. Aceñolaza (Argentina)  
1982-1986
- 193 **Siluro-Devonian of Latin America**  
M.A. Hünicken (Argentina)  
1982-1986
- 195 **Ophiolites and Lithosphere of Marginal Seas**  
L. Beccaluva (Italy) and N. Bogdanov (former USSR)  
1982-1986
- 196 **Calibration of the Phanerozoic Time Scale**  
G.S. Odin and N.H. Gale (France)  
1983-1983
- 197 **Metallogeny of Ophiolites**  
S. Karamata (former Yugoslavia)  
1982-1986; O.E.T. 1987-1988
- 198 **Evolution of the Northern Margin of the Tethys**  
M. Rakús (former Czechoslovakia)  
1983-1988
- 199 **Rare Events in Geology**  
K.J. Hsü (Switzerland)  
1983-1988
- 200 **Sea-level Correlation and Applications**  
P.A. Pirazzoli (France)  
1983-1987
- 201 **Quaternary of South America**  
H.H. Camacho (Argentina)  
1983-1987
- 202 **Megafaults of South America**  
F. Hervé (Chile)  
1983-1986, O.E.T. 1987
- 203 **Permo-Triassic Events of Eastern Tethys Region and their Intercontinental Correlation**  
Z.Y. Yang (China)  
1983-1987
- 204 **Precambrian Evolution of the Amazonian Region**  
W. Teixeira and C.C.G. Tassinari (Brazil)  
1983-1987
- 206 **Comparison of Active Faults**  
R.C. Buckman (USA), G.Y. Ding and Y.M. Zhang, and Y.M. Zhang (China)  
1983-1988
- 210 **Continental Sediments in Africa**  
C.A. Kogbe, (France) E. Klitzsch (Germany) and J. Lang (France)  
1983-1987 O.E.T. 1988
- 211 **Late Palaeozoic of South America**  
A.J. Amos and S. Archangelsky (Argentina)  
1984-1988; O.E.T. 1990
- 215 **Proterozoic Fold Belts**  
R. Caby (France)  
1984-1989; O.E.T. 1990
- 216 **Global Biological Events in Earth History**  
O.H. Walliser (Germany)  
1984-1991
- 217 **Proterozoic Geochemistry**  
K.C. Condie (USA)  
1984-1990
- 218 **Quaternary Processes and Events in South-East Asia**  
N. Thiramongkol (Thailand), B.K. Tan (Malaysia) and H.M.S. Hartono (Indonesia)  
1984-1988
- 219 **Comparative Lacustrine Sedimentology through Space and Time**  
K. Kelts (Switzerland)  
1984-1990
- 220 **Correlation and Resource Evaluation of Tin and Tungsten Granites in South-East Asia and the Western Pacific Region**  
S. Suensilpong (Thailand) and T. Nozawa (Japan)  
1984-1988

- 224 **Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia**  
K. Ichikawa (Japan)  
1985-1990
- 226 **Correlation of Manganese Sedimentation to Palaeoenvironments**  
B. Bolton (Australia), S. Roy (India)  
1986-1990, O.E.T. in 1991
- 227 **Magmatism and Evolution of Extensional Regions of the African plate**  
A.B. Kampunzu (former Zaire) and R.T. Lubala (France)  
1985-1989; O.E.T. 1990
- 233 **Terranes in the Circum-Atlantic Palaeozoic Orogens**  
J.D. Keppie (Canada) and R.D. Dallmeyer (USA)  
1985-1990, O.E.T. in 1991
- 234 **Precambrian Volcano-Sedimentary Complexes in West Africa**  
I. Yace (Cote d'Ivoire), M.A. Rahaman (Nigeria)  
1989-1994
- 235 **Metamorphism and Geodynamics**  
L.L. Perchuk (former USSR) and M. Brown (UK)  
1985-1989; O.E.T. 1990
- 236 **Precambrian Events in the Gondwana Fragments**  
D.J. Ellis (Australia)  
1986-1990, O.E.T. in 1991
- 237 **Floras of the Gondwanic Continents**  
O. Rösler (Brazil)  
1985-1990, O.E.T. in 1991
- 239 **Exploitation of IGBADAT**  
F. Chayes (USA)  
1985-1989
- 242 **Cretaceous of Latin America**  
W. Volkheimer, J.A. Salfity (Argentina)  
1986-1990
- 245 **Non-Marine Cretaceous Correlation**  
N.J. Mateer (USA), Chen Pei-ji (China)  
1986-1991
- 246 **Pacific Neogene Events in Time and Space**
- R. Tsuchi (Japan)  
1985-1991, O.E.T. 1992
- 247 **Precambrian Ore Deposits related to Tectonic Styles**  
G. Gaál (Finland), Zhang Yixia (China)  
1986-1991, O.E.T. 1992
- 249 **Andean Magmatism and its Tectonic Settings**  
M.A. Parada (Chile), C. Rapela (Argentina)  
1986-1990, O.E.T. 1991
- 250 **Regional Crustal Stability and Geological Hazards**  
Chen Qingxuan (China)  
1986-1987; O.E.T. 1990
- 252 **The Past and Future Evolution of Deserts**  
N. Petit-Maire (France)  
1987-1991
- 253 **Termination of the Pleistocene**  
J. Lundqvist (Sweden)  
1989-1994
- 254 **Metalliferous Black Shales**  
J. Pašava (Czech Republic)  
1987-1991, O.E.T. in 1992
- 255 **Kibaran Metallogeny**  
W. Pohl (Germany), A. Ntungicimpaye (Burundi), D.P.M. Hadoto (Uganda)  
1987-1991
- 256 **Ophiolite Genesis and Evolution of Oceanic Lithosphere**  
N. Bogdanov (former USSR), L. Beccaluva (Italy)  
1988-1992
- 257 **Precambrian Dyke Swarms**  
H.C. Halls (Canada)  
1987-1991
- 259 **International Geochemical Mapping**  
A.G. Damley (Canada)  
1988-1992
- 260 **Earth Glacial Record**  
M. Deynoux (France)  
1987-1991
- 261 **Stromatolites**  
S. Awramik (USA)  
1987-1991, O.E.T. 1992
- 262 **Tethyan Cretaceous Correlation**  
G. Császár (Hungary), H. Kollmann (Austria)  
1987-1991, O.E.T. 1992
- 264 **Remote Sensing Spectral Properties**  
G.L. Raines, M.H. Podwisocki (USA)  
1987-1991
- 267 **Palaeozoic Terranes in the Circum-Pacific Orogens**  
M.J. Rickard (Australia), Guo Lingzhai (China)  
1989-1993
- 269 **A Global Data Base in Sedimentary Petrology**  
N. Nishiwaki-Nakajima (Japan)  
1988-1992
- 270 **Early Palaeozoic Events in Latin America**  
F.G. Aceñolaza, O.L. Bordonaro (Argentina)  
1988-1992
- 271 **South American Palaeozoic Conodontology**  
M.A. Hünicken (Argentina), M. Suarez Riglos (Bolivia)  
1988-1992, O.E.T. 1993
- 272 **Late Palaeozoic and Early Mesozoic Circum-Pacific Events**  
J.M. Dickins (Australia), Yang Zunyi (P.R. of China)  
1988-1992
- 273 **Achaean Cratonic Rocks of Kasai**  
B.T. Rumyegeri, D. Kapenda (former Zaire)  
1988-1992, O.E.T. 1993
- 274 **Coastal Evolution in the Quaternary**  
O. Van de Plassche (Netherlands)  
1988-1992, O.E.T. 1993
- 275 **Deep Geology of the Baltic Shield**  
R. Gorbatshev (Sweden), F.P. Mitrofanov (former USSR)  
1989-1993
- 276 **Palaeozoic of the Tethys**  
D. Papanikolaou (Greece), P. Sassi (Italy), A.K. Sinha (India) from 1991  
1988-1992, O.E.T. 1993-1994



- 277 **Phanerozoic Oolitic Ironstones**  
J. Petránek (former Czechoslovakia)  
1988-1992
- 279 **Terranes in Latin America**  
G.F. Toussaint (Colombia), F. Herve (Chile)  
1988-1992, O.E.T. 1993
- 280 **The Oldest Rocks on Earth**  
A. Kröner (Germany)  
1988-1992, O.E.T. 1993
- 281 **Quaternary Climates of South America**  
J. Argollo Bautista (Bolivia)  
1989-1993
- 282 **Rare Metal Granitoids**  
Zhu Jinchu (China), P.J. Pollard (Australia)  
1989-1993
- 283 **Evolution of the Palaeoasian Ocean**  
Xiao Xuchang (China), N.L. Dobretsov  
(former USSR), R.G. Coleman (USA)  
1989-1993
- 285 **Metamorphism in Eastern Asia**  
Cheng Yuqi, Dong Shenbao (China)  
Provisionally for 1990
- 286 **Early Palaeogene Benthos**  
L. Hottinger (Switzerland), E. Caus (Spain)  
1990-1994
- 287 **Tethyan Bauxites**  
A. Dangić (former Yugoslavia), A.  
Mindszenty (Hungary), L. Simone (Italy)  
1989-1993, O.E.T. in 1994
- 288 **Gondwanaland Sutures and Fold Belts**  
R. Unrug (USA), G.R. Sadowski (Brazil)  
1990-1995, O.E.T. in 1996
- 290 **Anorthosites and Related Rocks**  
M. Higgins (Canada), J.-C. Duchesne  
(Belgium)  
1990-1994
- 291 **Metamorphic Fluids and Mineral Deposits**  
W. Frank, W. Prochaska (Austria)  
1989-1993
- 293 **Geochemical Event Markers in the  
Phanerozoic**  
H.H.J. Geldsetzer (Canada), Xu Dao-Yi  
(China)  
1990-1993
- 294 **Very Low Grade Metamorphism**  
R.E. Bevins, D. Robinson (UK)  
1989-1993
- 296 **Quaternary in the Asia/Pacific Region**  
J.L. Rau (Thailand), V. Šibrava (Czech  
Republic)  
1989-1993
- 297 **Geocryology of the Americas**  
A.E. Corte (Argentina), Cui Zhijiu (China)  
1989-1993
- 299 **Geology, Climate, Hydrology and Karst  
Formation**  
Yuan Daoxian (China), H. Hotzl (Germany),  
J.W. Hess (USA)  
1990-1994
- 301 **Palaeogene of South America**  
N. Malumián (Argentina), S. Benitez  
(Ecuador)  
1991-1995, O.E.T. in 1996
- 302 **The Structure and Metallogenesis of  
Central African Late Proterozoic Belts**  
M. Wendorff (Botswana), W.M. Katekeshia  
(former Zaire)  
1990-1994
- 303 **Precambrian/Cambrian Event Stratigraphy**  
M. Brasier (UK), K.J. Hsü (Switzerland)  
1990-1993
- 304 **Lower Crustal Processes**  
B.J. Hensen (Australia), L.Ya. Aranovich  
(Russian Federation)  
1990-1994
- 306 **Stratigraphic Correlation in South-East  
Asia**  
Dang Vu Khuc (Vietnam), H. Fontaine  
(France)  
1992-1995, O.E.T. in 1996
- 308 **Palaeocene/Eocene Boundary Events**  
M.-P. Aubry (France)  
1990-1994, O.E.T. in 1995
- 314 **Alkaline and Carbonatitic Magmatism**  
L. Kogarko (Russian Federation), J. Keller  
(Germany), K. Bell (Canada)  
1991-1995
- 315 **Rapakivi Granites and Related Rocks**  
I. Haapala (Finland), R.F. Emslie (Canada)  
1991-1995, O.E.T. in 1996
- 317 **Palaeoweathering Records and  
Palaeosurfaces**  
M. Thiry, J.-M. Schmitt (France)  
1991-1995, O.E.T. in 1996
- 318 **Marine Polymetallic Oxides**  
J.R. Hein (USA), Dasgupta (India)  
1991-1995
- 319 **Global Palaeogeography of the Late  
Precambrian and Early Palaeozoic**  
K.B. Seslavinsky (Russian Federation), T.P.  
Crimes (UK)  
1992-1996, O.E.T. in 1997
- 320 **Neoproterozoic Events and Resources**  
N. Christie-Blick (USA), M. Semikhatov  
(Russian Federation)  
1991-1996
- 321 **Gondwana Dispersion and Asian Accretion**  
Ren Jishun (China), J. Charvet (France), S.  
Hada (Japan), I. Metcalfe (Australia)  
1991-1995, O.E.T. in 1996
- 322 **Jurassic Events in South America**  
A.C. Riccardi (Argentina), J. Mojica  
(Colombia)  
1992-1996, O.E.T. in 1997
- 324 **GLOBALS: Global Limnogeology**  
L. Cabrera, P. Anadon (Spain)  
1991-1995
- 325 **Palaeogeography and Authigenic Minerals**  
J. Lucas, L. Prévôt (France)  
1991-1995
- 326 **Oligocene-Miocene Transition in the  
Northern Hemisphere**  
M.A. Akhmetiev (Russian Federation), S.  
Lucas (USA), F. Steininger (Austria)  
1992-1996
- 328 **Palaeozoic Microvertebrates**  
S. Turner (Australia), A. Blicek (France)  
1991-1995, O.E.T. in 1996
- 329 **Neogene of the Paratethys**  
N. Krstić (former Yugoslavia), F. Marinescu

- (Romania)  
1992-1996, O.E.T. in 1997
- 335 **Biotic Recovery from Mass Extinctions**  
D.H. Ervin, E.G. Kauffman (USA)  
1993-1997
- 336 **Intraplate Magmatism and Metallogeny**  
M.L. Zientek (USA)  
1992-1996
- 339 **Geomagnetic Equator**  
Nguyen Thi Kim Thoa (Viet Nam)  
1992-1995
- 341 **Southern Hemisphere Palaeo- and Neoclimates**  
W. Volkheimer (Argentina), P.P. Smolka (Germany)  
1993-1997, O.E.T. in 1998
- 342 **Age and Isotopes of South American Ores**  
M. Zentilli (Canada), C. Dtassinari (Brazil), F. Munizaga (Chile)  
1992-1996, O.E.T. in 1997
- 343 **Stratigraphic Analysis of Peritethyan Basins**  
J. Cavalier (France), E. Dudich (Hungary)  
1992-1996
- 344 **Biosedimentology and Correlation Microbial Buildups**  
J. Cavalier (France), E. Dudich (Hungary)  
1992-1996
- 345 **Andean Lithospheric Evolution**  
M.C. Gardeweg (Chile), R. Pankhurst (UK), C. Rapela (Argentina)  
1993-1997
- 346 **Neogeodynamica Baltica**  
R.G. Garetsky, E.A. Levkov (Belarus), G. Schwab (Germany)  
1994-1997, O.E.T. in 1998
- 347 **Correlation of Ganges-Brahmaputra Sediments**  
Md. Hussain Monsur (Bangladesh)  
1995-1999, O.E.T. in 2000
- 348 **The Mozambique and Related Belts**  
S. Muhongo (Tanzania), S. Berhe (USA)  
1993-1997
- 349 **Desert Margins and Palaeomonsoons since 135 kys BP**  
A.K. Singhvi (India), An Zhisheng (China), E. Derbyshire (UK)  
1993-1997
- 350 **Cretaceous Environmental Change in E & S Asia**  
H. Okada (Japan)  
1993-1997, O.E.T. in 1998
- 351 **Early Palaeozoic Evolution in NW Gondwana**  
B.A. Baldis, F. G. Aceñolaza (Argentina)  
1993-1997, O.E.T. in 1998
- 353 **The Last Interglacial Period in the Circum-Arctic**  
J.V. Matthews Jr. and A. de Vernal (Canada)  
1993-1997
- 354 **Economic Superaccumulations of Metals in Lithosphere**  
Pei Rongfu (China), P. Laznicka (Canada), J. Kutina (USA), D.V. Rundquist (Russian Federation), I. Plimer (Australia), T. Nakajima (Japan)  
1995-1999, O.E.T. in 2000
- 355 **Neogene Evolution of Pacific Ocean Gateways**  
S. Nishimura (Japan), J. Sopaheluwakan (Indonesia)  
1993-1997
- 356 **Carpatho-Balkan Plate Tectonics and Metallogeny**  
E. Vétó-Akos (Hungary), J. Lexa (Slovakia), S.N. Vlad (Romania)  
1993-1997, O.E.T. in 1998
- 357 **Organics and Mineral Deposits**  
J. Pašava (Czech Republic)  
1993-1997
- 359 **Correlation of Tethyan, Circum-Pacific and Marginal Gondwanan Permo-Triassic**  
Yin Hongfu (China), J.M. Dickins (Australia), A. Baud (Switzerland), Yang Zunyi (China)  
1993-1997
- 360 **Global Geochemical Baselines**  
A.G. Darnley (Canada), J.A. Plant (UK), A.J. Bjørklund (Finland)  
1993-1997
- 361 **East Asia Activated Zones**  
R. Barsbold, O. Gerel (Mongolia)  
1993-1997, O.E.T. in 1998
- 362 **Tethyan and Boreal Cretaceous**  
J. Michalk (Slovakia), H. Leereveld (Netherlands)  
1993-1997, O.E.T. in 1998
- 363 **Lower Proterozoic of Sub-Equatorial Africa**  
M. Kanika (former Zaire), S. Master (Zimbabwe)  
1994-1998
- 364 **Caribbean Volcanic Arcs and Ophiolites**  
G. Draper (USA)  
1994-1998
- 366 **Ecological Aspects of the Cambrian Radiation**  
A. Zhuravlev, R. Riding (UK)  
1994-1997
- 367 **Late Quaternary Coastal Records of Rapid Change**  
D.P. Scott (Canada)  
1994-1998
- 368 **Proterozoic Events in East Gondwana Deposits**  
M. Yoshida (Japan), M. Santosh (India), C.R. Dissnayake (Sri Lanka)  
1995-1999, O.E.T. in 2000
- 369 **Peritethyan Rift Basins**  
W. Cavazza (Italy), A. Robertson (UK), P. Ziegler (Switzerland)  
1994-1998; O.E.T. in 1999
- 371 **North Atlantic Precambrian (COPENA)**  
R.P. Gorbatshev (Sweden), C.F. Gower (Canada)  
1994-1998, O.E.T. in 1999
- 373 **Correlation, Anatomy and Magmatic-Hydrothermal Evolution of Ore-Bearing Felsic Igneous Systems in Eurasia**  
R. Seltmann (Germany), R. Grauch (USA), A.A. Kremenetsky (Russian Federation)  
1997-2001, O.E.T. in 2002
- 374 **Palaeoclimatology and Palaeo-Oceanography from Laminated Sediments**



- A.E.S. Kemp (UK)  
1994-1998
- 376 **Laurentian-Gondwanan Connections**  
V.A. Ramos (Argentina), F. Hervé (Chile), J.D. Keppie (Mexico)  
1994-1998, O.E.T. in 1999
- 378 **Circumalpine Quaternary Correlations**  
C. Schlüchter (Switzerland), N.J. Vivic (Slovenia)  
1994-1997, O.E.T. in 1998
- 379 **Karst Process and Carbon Cycle**  
Yuan Daoxian (China)  
1995-1999
- 380 **Biosedimentology of Microbial Buildups**  
C. Monty (France)  
1995-1999, O.E.T. in 2000
- 381 **South Atlantic Mesozoic Correlation**  
E.A.M. Koutsoukos (Brazil), P. Bengtson (Germany)  
1995-1999, O.E.T. in 2000
- 382 **Seismotectonics and Seismic Hazard Assessment of the Mediterranean Basin**  
D. Giardini (Italy), K. Makropoulos (Greece), J. Mezcuca (Spain), S. Riad (Egypt)  
1996-2000
- 383 **Palaeostress, Neotectonics, Geodynamics and Natural Hazards in West Pacific/Asia**  
R.H. Findlay (Papua New Guinea)  
1996-2000
- 384 **Impact and Extraterrestrial Spherules**  
C.H. Detre (Hungary), A. Bevan (Australia), B.P. Glass (USA), K. Jakabská (Slovakia), Z. Ouyang (China), E. Papp (Australia), A. Raukas (Estonia), G. Udubasa (Romania)  
1996-2000
- 386 **Response of the Ocean/Atmosphere System to Past Global Changes**  
H.H.J. Geldsetzer (Canada), D.M. Banerjee (India), L.R. Kump (USA)  
Z. Sawlowicz (Poland), H. Strauss (Germany)  
1996-2000, O.E.T. in 2001
- 389 **Geoenvironmental Evaluation of Coastal Belts in Arab Countries**  
Z.M. Zaghloul, Ferial El-Bedewy (Egypt)  
1995-1999
- 391 **Sand Accumulations and Groundwater in the Sahara**  
Farouk El-Baz (USA), Ibrahim Himida (Egypt)  
1995-1999
- 393 **Neritic Middle-Upper Eocene**  
E. Caus (Spain)  
1996-2000, O.E.T. in 2001
- 396 **Continental Shelves in the Quaternary**  
W. W.-S. Yim (China), P.J. Davies (Australia)  
1996-2000
- 400 **Geodynamics of Continental Rifting**  
D. Delvaux (Belgium), A. Khan (UK)  
1996-2000
- 404 **Terrestrial Carbon in the Past 125 Ka**  
H. Faure (France), A. Velichko (Russian Federation)  
1996-2000
- 405 **Anthropogenic Impact on Weathering Processes**  
P. Sulovsky, J. Zeman (Czech Republic)  
1996-2000, O.E.T. in 2001
- 406 **Circum-Arctic Palaeozoic Vertebrates**  
M.V.H. Wilson (Canada), T. Märss, P. Männik (Estonia)  
1996-2000, O.E.T. in 2001
- 408 **Rocks and Minerals at Great Depth and on the Surface**  
F.P. Mitrofanov (Russian Federation), D.M. Guberman (Russian Federation), H.-J. Kämpel (Germany)  
1998-2002
- 410 **The Great Ordovician Biodiversification Event**  
B.D. Webby (Australia), F. Paris (France), M.L. Droser (USA)  
1997-2001, O.E.T. in 2002
- 411 **Geodynamics of Gondwanaland-derived Terranes in E & S Asia**  
S. Hada (Japan), I. Metcalfe (Australia), J.H. Kim (Korea), Tran Van Tri (Vietnam), Jin Xiouchi (China)  
1998-2002, O.E.T. in 2003
- 413 **Understanding Future Dryland Changes from Past Dynamics**
- D. Thomas (UK), A.K. Singhvi (India)  
1998-2002, O.E.T. in 2003
- 414 **Seismic Ground Motion in Large Urban Areas**  
G.F. Panza (Italy)  
1997-2001
- 415 **Glaciation and Reorganization of Asia's Drainage**  
J.T. Teller (Canada), R. Vaikmae (Estonia)  
1997-2001
- 418 **Kibarian Events in Southwestern Africa**  
R.M. Key (UK), R. B. Mapeo (Botswana)  
1997-2001, O.E.T. in 2002
- 419 **Foreland Basins of the Neoproterozoic Belts in Central-to-Southern Africa and South America**  
M. Wendorff (Botswana), P.L. Binda (Canada)  
1998-2002
- 420 **Phanerozoic Crustal Growth**  
Bor-ming Jahn (France), N.L. Dobertsov (Russian Federation)  
1997-2001
- 421 **North Gondwanan Mid-Palaeozoic Biodynamics**  
R. Feist (France), J.A. Talent (Australia)  
1997-2001, O.E.T. in 2002
- 425 **Landslide Hazard Assessment and Cultural Heritage**  
K. Sassa (Japan)  
1998-2002, O.E.T. in 2003
- 426 **Granite Systems and Proterozoic Lithospheric Processes**  
J. S. Bettencourt (Brazil), O. T. Rämö (Finland), W. R. Van Schmus (USA)  
1998-2002, O.E.T. in 2003
- 427 **Ore-Forming Processes in Dynamic Magmatic Systems**  
C.M. Leshner, S.-J. Barnes (Canada), H.M. Prichard (UK)  
1998-2002
- 428 **Climate and Boreholes**  
V. Čermák (Czech Republic), H. N. Pollack (USA), C. Clauser (Germany)  
1998-2002, O.E.T. in 2003

- 429 **Organics in Major Environmental Issues**  
J. Pašava (Czech Republic), J. Jenik (Czech Republic)  
1998-2002
- 430 **Mantle Dynamics and Natural Hazards**  
M.F.J. Flower (USA), V.I. Mocanu (Romania), R.M. Russo (USA), Nguyen Trong Yem (Viet Nam), Ma Zongjin (China)  
2000-2004
- 431 **African Pollen Database**  
A.M. Lezine (France), A. Sowunmi (Nigeria)  
1998-2002
- 432 **Contourites, Bottom Currents and Palaeocirculation**  
D.A.V. Stow (UK), I.N. McCave (UK), J.-L. Faugeres (France)  
1998-2001
- 433 **Caribbean Plate Tectonics**  
M.A. Iturralde-Vinent (Cuba), E.G. Lidiak (USA)  
2000-2004
- 434 **Land-Ocean Interactions during the Cretaceous in Asia**  
H. Hirano (Japan)  
1999-2003, O.E.T.
- 436 **Pacific Gondwana Margin**  
R.J. Pankhurst, (UK), J.D. Bradshaw (New Zealand), L. Spalletti (Argentina)  
1999-2003
- 437 **Coastal Environmental Change during Sea-Level Highstands**  
C.V. Murray-Wallace (Australia)  
1999-2003
- 440 **Rodinia Assembly and Breakup**  
R. Unrug (USA), C. McA. Powell (Australia)  
1999-2003, O.E.T.
- 442 **Raw Materials of Neolithic Artefacts**  
D. Hovorka (Slovakia), G. Trnka (Austria)  
1999-2002 (on hold)
- 443 **Magnesite and Talc-Geological and Environmental Correlations**  
M. Radvanec (Slovakia), W. Prochaska (Austria), A.C. Gondim (Brazil), Cai Kequn (China)  
2000-2004
- 447 **Proterozoic Molar-tooth Carbonates**  
X. Meng (China), D.G.F. Long (Canada), R. Bourrouilh (France)  
2001-2005
- 448 **World Correlation on Karst Ecosystems**  
Yuan Daoxian (China), C. Groves (USA), G. Messina (Italy)  
2000-2004
- 449 **Global Correlation of Late Cenozoic Fluvial Deposits**  
D. Bridgland (UK)  
2000-2004
- 450 **Proterozoic Sediment-Hosted Base Metal Deposits of Western Gondwana**  
S.S. Iyer (Canada), A.F. Kamona (Namibia), A. Misi (Brazil), J. Cailteux (DR Congo)  
2000-2004
- 453 **Modern and Ancient Orogens**  
J.B. Murphy (Canada), J.D. Keppie (Mexico)  
2000-2004
- 454 **Medical Geology**  
O. Selinus (Sweden), P. Bobrowsky (Canada), E. Derbyshire (UK)  
2000-2004
- 455 **Basement Volcanoes Interplay and Human Activities**  
A. Tibaldi (Italy), M. Garcia (Spain), A.M. Lagmay (Philippines), V.V. Ponomareva (Russian Federation)  
2001-2005
- 457 **Seismic Hazard and Risk Assessment in North Africa**  
D. Benouar (Algeria), G. Panza (Italy), A. El-Sayed Attia (Egypt), T. Benaissa (Morocco), M. Chadi (Tunisia), S. Abdennur (Libya)  
2001-2005
- 458 **Triassic/Jurassic Boundary Events**  
J. Pálffy (Hungary), S.P. Hesselbo (UK), C. McRoberts (USA)  
2001-2005
- 459 **Terrestrial Carbon Cycle**  
J.-L. Probst (France), L. François (Belgium), P.J. Depetris (Argentina), J. Mortatti (Brazil)  
2001-2005
- 463 **Upper Cretaceous Oceanic red beds**  
C. Wang (China), M. Sarti (Italy), R.W. Scott (USA), L.F. Jansa (Canada)  
2002-2006
- 464 **Continental Shelves During the Last Glacial Cycle: Knowledge and Applications**  
F.L. Chiocci (Italy), A.R. Chivas (Australia)  
2001-2005
- 467 **Triassic Time and Trans-Panthalassan Correlations**  
M. J. Orchard (Canada), L. Krystyn (Austria), J. Tong (China), S. Lucas (USA), H. Campbell (New Zealand), F. Hirsch (Japan), K. Ishida (Japan), Y. Zacharov (Russian Federation)  
2002-2006 (OET in 2007)
- 469 **Late Variscan Terrestrial Biotas and Palaeoenvironments**  
C. J. Cleal (UK), B.A. Thomas (UK), S. Opluštil (Czech Republic), Y. Tenchov (Bulgaria), E. Zodrow (Canada)  
2003-2007
- 470 **The 600 Ma Pan-African belt of Central Africa**  
F. Toteu (Cameroon)  
2002-2006
- 471 **Evolution of Western Gondwana during the Late Palaeozoic**  
C.O. Limarino (Argentina), L.A. Buatois (Argentina)  
2002-2006
- 473 **GIS Metallogeny of Central Asia**  
R. Seltmann (UK), A. Dolgoplova (Kazakhstan)  
2002-2006 (OET in 2007)
- 474 **Images of the Earth's Crust**  
Bruce R. Goleby (Australia), L.D. Brown (USA), F.A. Cook (Canada), G.S. Fuis (USA), R.W. Hobbs (UK), D.M. Finlayson (Australia), Songlin Li (China), O. Oncken (Germany)  
2003-2007
- 475 **Deltas in the Monsoon Asia-Pacific Region (DeltaMAP)**  
S. Goodbred, Jr. (USA), Y. Saito (Japan)  
2003-2007



- 476 **Monsoon Evolution and Tectonic-Climatic Linkage in Asia**  
R. Tada (Japan), Hongbo Zheng (China), Boo-Keun Khim (Republic of Korea), P. Clift (UK), S. A. Gorbarenko (Russian Federation), B.N. Nath (India)  
2003-2007
- 478 **Neoproterozoic-Early Palaeozoic Events in South-West-Gondwana**  
C. Gaucher (Uruguay), P. C. Boggiani (Brazil), A. Braun (Germany), H. Frimmel (Germany), J.B. Germs (South Africa), Poiré (Argentina)  
2003-2007
- 479 **Sustainable Use of Platinum Group Elements**  
J. E. Mungall (Canada), M. Iljina (Finland), C. Ferreira-Filho (Brazil)  
2003-2007
- 480 **Tectonics of Central Asia**  
B. Natal'in (Turkey), A. Yin (USA), A. M. C. Şengör (Turkey), M. Kuzmin (Russian Federation), Shuwen Dong (China)  
2005-2009
- 481 **Dating Caspian Sea Level Change**  
S.B. Kroonenberg (Netherlands), S. Leroy (UK)  
2003-2007
- 482/489 **Geodynamics of the East African Rift System / Geophysical Characteristics and Evolution of the South-western Branch of the East African Rift System**  
G. Mulugeta (Sweden)/ A. Atekwana (USA), M.P. Modisi (Botswana), M.N. Sebagenzi (D.R. Congo), J.J. Tiercelin (France)  
2003-2007
- 485 **The Boundaries of the West African Craton**  
N. Ennih (Morocco), J-P. Liégeois (Belgium)  
2003-2007
- 486 **Au-Ag-Telluride-Selenide Deposits**  
N. J. Cook (Norway), K. Kojonen (Finland)  
2003-2007
- 487 **Seismic Microzoning of Latin American Cities**  
J. L. Alvarez Gómez (Cuba), A. Giesecke (Peru), G. F. Panza (Italy)  
2004-2008
- 490 **Environmental Catastrophes**  
S. Leroy (UK)  
2003-2007
- 491 **Middle Palaeozoic Vertebrate Biogeography, Palaeogeography and Climate**  
M. Zhu (China), G. Young (Australia)  
2003-2007
- 493 **The Rise and Fall of the Vendian Biota**  
M. Fedonkin (Russian Federation), P. Vickers-Rich (Australia), J. Gehling (Australia)  
2003-2007
- 494 **Dysoxic to Oxic Change in Ocean Sedimentation During the Middle Cretaceous: A Study of the Tethyan Realm – “Young Scientists Project”**  
Xiumian Hu (China), K. Bak (Poland), J. Wendler (Germany), N. Tur (Russian Federation)  
2003-2005
- 495 **Quaternary Land-Ocean Interactions**  
A. Long (UK), S. Islam (Bangladesh)  
2004-2008
- 497 **The Rheic Ocean**  
U. Linnemann (Germany), R. D. Nance (USA), M. de Wit (South Africa), E. Bozkurt (Turkey), P. Kraft (Czech Republic), F. Pereira (Portugal), R. A. Strachan (UK)  
2004-2008
- 499 **Devonian Land-Sea Interaction: Evolution of Ecosystems and Climate in the Devonian**  
P. Königshof (Germany), J. Lazauskiene (Lithuania), E. Schindler (Germany), Volker Wilde (Germany) and N. Yalçın (Turkey)  
2004-2008
- 500 **Dryland Change: Past, Present, Future**  
D. Thomas (UK)  
2004-2008
- 501 **Soil Regeneration with Erosion Products and Other Wastes**  
F. J. A. S. Barriga (Portugal), W. S. Fyfe (Canada), O. Leonardos (Brazil), Shengrong Li (China)  
2004-2005
- 502 **Global Comparison of Volcanic-hosted Massive Sulphide Districts**  
R. Allen (Sweden), F. Tornos (Spain), J. Peter (Canada), N. Çagatay (Turkey)  
2004-2008
- 503 **Ordovician Palaeogeography and Palaeoclimate**  
T. Servais (France), D.A.T. Harper (Denmark), J. Li (China), A. Munnecke (Germany), W. Owen (UK), P.M. Sheehan (USA)  
2004-2008
- 506 **Marine and Non-marine Jurassic**  
Jingeng Sha (China), Nicol Morton (France), W. A.P. Wimbledon (UK), Paul E. Olsen (USA), Alberto G. Riccardi (Argentina), Grzegorz (Gregory) Piefirkowski (Poland), Yongdong Wang (China)  
2005-2006 (2009)
- 507 **Palaeoclimates of the Cretaceous in Asia**  
Yong Il Lee (Korea), Xiaojiao Wan (China), Takashi Sakai (Japan), and Krishnan Ayyasami (India)  
2006-2010
- 508-Y **Volcano Collapse and Fault Activity - “Young Scientists Project”**  
I. Alejandro Petrinovic (Argentina), C. Corazzato (Italy), T. Toulkeridis (Ecuador), A. Concha Dimas (Mexico)  
2005-2007
- 509 **Palaeoproterozoic Supercontinents and Global Evolution**  
S.M. Reddy (Australia), D.A.D. Evans (USA), R. Mazumder (India)  
2005-2009
- 510 **A-type Granites and Related Rock through Time**  
Roberto Dall’Agnol (Brazil), Carol D. Frost (USA), O. Tapani Rämö (Finland), L.J. Robb (South Africa)  
2005-2009
- 511 **Submarine Mass Movements and Their Consequences**  
Jacques Locat (Canada), Juergen Mienert and Roger Urgeles (Spain) - (IOC link)  
2005-2009

- 512 **Neoproterozoic Ice Ages**  
Graham Shields (Australia), Emmanuelle Arnaud (Canada)  
2005-2009
- 513 **Karst Aquifers and Water Resources**  
Chris Groves (USA), Yuan Daoxian (China), Bartolome Andreo-Navarro (Spain), Heather Viles (UK)  
2005-2009
- 514 **Fluvial Palaeosystems: Evolution and Mineral Deposits**  
N. Patyk-Kara (Russian Federation), A. Duk-Rodkin (Canada), Baohong HOU (Australia), Li Ziyang (China), Vladimir Dolgoplov (Kazakhstan)  
2005-2009
- 515 **Coastal Vulnerability Related to Sea Level Change**  
U. Simeoni (Italy), Maria Snoussi (Morocco), Zdravko Belberov (Bulgaria), François Sabatier (France)  
2005-2009
- 516 **Geological Anatomy of East and South East Asia**  
Ken-ichiro Hisada (Japan), Punya Charusiri (Thailand), Byung-Joo Lee (Rep. of Korea), Xiaochi Jin (China)  
2005-2009
- 518 **Fluvial Sequences as Evidence for Landscape and Climatic Evolution in the Late Cenozoic**  
David Bridgland (UK)  
2005-2006
- 519 **Hydrogeology, Hydrochemistry and Management of Coastal Aquifers on the Atlantic Coast of South America**  
Emilia Bocanegra (Argentina), Emilio Custodio (Spain), Marisol Manzano (Spain), Gerson Cardoso (Brazil), Jenny Reynolds Vargas (Costa Rica),  
2005-2009
- 521 **Black sea Mediterranean Corridor during the last 30 ky: Sea level change and human adaptation**  
Valentina Yanko-Hombach (Canada), Yucel Yilmaz (Turkey), Pavel Dolukhanov (UK)  
2005-2009
- 522 **Dawn of the Danian**  
Jeffrey D. Stilwell (Australia), Claudia Del Río (Argentina)  
2005-2006
- 523 **GROWNET – Gobar Ground Water Network**  
Shrikant Daji Limaye (India), Antony J Reedman (UK)  
2005-2009
- 524 **Arc-Continent Collision**  
Denis Brown (Spain), Chi-Yue Huang (Taiwan of China)  
2007-2009
- 526 **Risks Resources and Record of the Past on the Continental Shelf**  
Francesco L. Chiocci (Italy), Lindsay Collins (Australia), Michel Michaelovitch de Mahiques (Brazil), Renée Hetherington (Canada)  
2007(-2011)
- 529 **Availibility of Groundwater Resources in Selected Urban Areas in Southern African Development Community (SADC) Region**  
Imasiku A. Nyambe (Zambia)  
2007-2011
- 534 **Reconstruction of the Past Coastal Environments and its Management**  
Marta Pappalardo (Italy), Florina Grecu (Romania)  
2007(-2011)
- 540 **Gold-bearing Hydrothermal Fluids of Orogenic Deposits**  
P.S. Garofalo (Italy), J.R.Ridley (USA), Vsevolod Prokof'ev (Russian Federation)  
2007-2011
- 543 **Low-temperature Thermochronology: Applications and Inter-laboratory Calibration**  
Massimiliano Zattin (Italy), J. I. Garver (USA), Vitaliy A. Privalov (Ukraine), Alexei V. Soloviev (Russian Federation), Cornelia Spiegel (Germany), Maarten de Wit (South Africa), Dewen Zheng (China)  
2007-2010
- 545 **Clays and clay minerals in Africa**  
Georges-Ivo E. Ekosse (South Africa)  
2007-2011
- 546 **Subduction zones of the Caribbean**  
Antonio Garcia-Casco (Spain), Uwe Martens (USA)  
2007-2011
- 555 **Rapid Environmental/Climate Change in the Cretaceous Greenhouse World**  
Chengshan Wang (China), Robert Scott (USA), Hugh Jenkyns (UK), Michael Wagreich (Austria), William Hay (USA); Zakharov Y.D. (Russian Federation)  
2007-2010
- 557 **Diamonds, Xenoliths and Kimberlites**  
Holger Sommer (Botswana), Klaus Regenauer-Lieb (Australia), Christoph Hauzenberger (Austria) Jonathan Kashabano (Tanzania), Gétan Moloto-A-Kenguemba (Central African Republic)
- 559 **Crustal Architecture and Landscape Evolution**  
Bruce R. Goleby (Australia)  
2008-2012
- 565 **Geodetic Monitoring of the Global Water Cycle**  
Hans-Peter Plag (USA), Richard S. Gross (USA), Markus Rothacher (Germany), Norman L. Miller (USA), Susanna Zerbini (Italy), Chris Rizos (Australia)  
2008-2012
- 567 **Earthquake Archaeology – Archaeoseismology along the Alpine-Himalayan Seismic Zone**  
Manuel Sintubin (Belgium), Iain Stewart (UK), Tina Niemi (USA), Erhan Altunel (Turkey)  
2008-2012
- 571 **Radon, Health and Natural Hazards**  
Gavin K. Gillmore (UK), Robin G.M. Crockett (UK), Frederic Perrier (France), Tadeusz Przylibski (Poland), Vivek Walia (Taiwan of China), Bikram Jit Singh Bajwa (India)  
2009-2013
- 572 **Permian-Triassic Ecosystems**  
Zhong Qiang Chen (Australia), Richard J. Twitchett (UK), Jinnan Tong (China), Margret L. Fraiser (USA), Sylvie Crasquin (France), Steve Kershaw (UK), Thomas J. Algeo (USA),



- Kliti Grice (Australia)  
2008-2012
- 574 **Bending and Bent Orogens, and Continental Ribbons**  
Stephen T. Johnston, (Canada), Gabriel Gutierrez-Alonso (Spain), Arlo Weil (USA)  
2009-2013
- 575 **Pennsylvanian Terrestrial Habitats and Biotas of Southeastern Euramerica**  
Christopher J. Cleal (UK), Stanislav Opluštil (Czech Republic), Isabel van Waveren (Netherlands), Mihai E. Popa (Romania), Barry A. Thomas (UK)  
2010-2014
- 580 **Application of Magnetic Susceptibility on Palaeozoic Sedimentary Rocks**  
Anne-Christine da Silva (Belgium), Michael T. Whalen (USA), Jindrich Hladil (Czech Republic), Daizhao Chen (China), Simo Spassov (Belgium), Frederic Boulvain (Belgium), Prof. Devleeschouwer Xavier (Belgium)  
2009-2013
- 581 **Evolution of Asian River Systems**  
Hongbo Zheng (China), Liviu Giosan (USA new co-leader 2010), Ryuji Tada (Japan), Peter Clift (UK), Masood Ahmad (India), Zheng-Xiang Li (Australia), Kuo-Yen Wei (Taiwan of China)  
2009-2013
- 582 **Tropical Rivers: Hydro-Physical Processes, Impacts, Hazards and Management**  
Edgardo M. Latrubesse (Argentina), Rajiv Sinha (India), Jose C. Stevaux (Brazil)  
2009-2013
- 585 **E-MARSHAL: Earth's continental MARGins: aSsessing the geoHAzard from submarine Landslides**  
Roger Urgeles (Spain), David Mosher (Canada), Jason Chaytor (USA), Michael Strasser (Germany)  
2010-2014
- 586-Y **Geodynamic Processes in the Andes 32°-34°S**  
Laura Giambiagi (Argentina), Luisa Pinto (Chile), Maisa Tunik (Argentina), Sergio Sepúlveda (Chile), Stella Maris Moreiras (Argentina), Marcelo Farías (Chile), Greg Hoke (USA)  
2010-2012
- 587 **Identity, Facies and Time – the Ediacaran (Vendian) Puzzle**  
Mikhail Fedonkin (Russian Federation), Patricia Vickers-Rich (Australia), Jim Gehling (Australia), Guy Narbonne (Canada)  
2010-2014
- 588 **Preparing for Coastal Change**  
Adam D. Switzer (Malaysia), Craig Sloss (Australia), Benjamin Horton (USA), Yongqiang Zong (China)  
2010-2014
- 591 **The Early to Middle Palaeozoic Revolution**  
Bradley D. Cramer (USA), Živilė Žigaitė (Lithuania), Thijs R.A. Vanderbroucke (France), Kathleen Histon (Italy), Renbin Zhan (China), Guillermo L. Albanesi (Argentina), Michael J. Melchin (Canada), Mikael Calner (Sweden)  
2011-2015
- 594 **Impact of Mining on the Environment in Africa (Sponsored by the Swedish International Development Cooperation Strategy)**  
Bohdan Kříbek (Czech Republic), Ewa Cukrowska (South Africa), Benjamin Mapani (Namibia), Imasiku Nyambe (Zambia)  
2011-2014
- 596 **Climate Change and Biodiversity Patterns in the Mid-Palaeozoic**  
Peter Königshof (Germany), Thomas J. Suttner (Austria), Iliana A. Boncheva (Bulgaria), Nadezhda G. Izokh (Russian Federation), Phuong Ta Hoa (Vietnam), Thasinee Charoentitirat (Thailand), Johny A. Waters (USA), Wolfgang Kiessling (Germany)  
2011-2015
- 597 **Amalgamation and Breakup Pangæa: the Type Example of the Supercontinent Cycle**  
J. Brendan Murphy (Canada), J. Duncan Keppie (Mexico), Cecilio Quesada (Spain), Bill Collins (Australia)  
2011-2015
- 598 **Environmental Change and Sustainability in Karst Systems (Sponsored by the Swedish International Development Cooperation Agency)**  
Zhang Cheng (China), Augusto Auler (Brazil), Jiang Yongjun (China), Martin Knez (Slovenia), Bartolomeo Andreo-Navarro (Spain), Yuan Daoxian (China), Chris Groves (USA)  
2011-2014
- 599 **The Changing Early Earth (Sponsored by the Swedish International Development Cooperation Agency)**  
Jaana Halla (Finland), Kent C. Condie (USA), Roberto Dall'Agnol (Brazil), Mudlappa Jayananda (India), Martin J. Van Kranendonk (Australia), Hugh Rollinson (UK), Gary Stevens (South Africa), Jin-Hui Yang (China)  
2011-2014
- 600 **Metallogenesis of Collisional Orogens (Sponsored by the Swedish International Development Cooperation Agency)**  
Zengqian Hou (China), David Leach (USA), Jeremy Richards (Canada), Richard Goldfarb (USA)  
2011-2014
- 601 **Seismotectonics and Seismic Hazards in Africa (Sponsored by the Swedish International Development Cooperation Agency)**  
Mustapha Meghraoui (France), Vunganai Midzi (South Africa), Atalay Ayele (Ethiopia), Djillali Benour (Algeria)  
2011-2014
- 604 **Groundwater and Wetlands in Ibero-America**  
Emilia Bocanegra (Argentina), Gerdon Cardoso (Brazil), Emilio Custodio (Spain), Teresita Betancur (Colombia), Marisol Manzano (Spain)  
2011-2015
- 606 **Addressing Environmental and Health Impacts of Major and Abandoned Mines in Sub-Saharan Africa (Sponsored by the Swedish International Development Cooperation Agency)**  
Theo C. Davies (South Africa), Benjamin Mapani (Namibia)  
2011-2014

Pour plus d'information, veuillez contacter :

UNESCO

Secrétariat du PICG

Division des sciences écologiques et des sciences de la Terre

1 rue Miollis, 75732 Paris cedex 15, France

courriel : [igcp@unesco.org](mailto:igcp@unesco.org)



# *Les sciences de la Terre au service de la société*



Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture

Secteur des  
sciences exactes  
et naturelles



9 789230 010416

