

Programme national inter-organismes

" Paléo-environnements, Paléoclimats" (PALEO2)

Attendus de l'appel d'offre 2010

Le climat de la Terre et son évolution résultent de forçages externes au système Terre et de forçages liés à la dynamique interne de la planète et d'interactions et rétroactions complexes qui agissent à toutes les échelles de temps et d'espace. Les changements à basse et haute fréquence du climat et de l'environnement global ne peuvent se comprendre que via l'étude des nombreux processus et rétroactions agissant entre les divers compartiments du système Terre. La très basse fréquence, de forte amplitude, définit l'évolution lente à l'échelle géologique (milliard à million d'années). A ces variations lentes, des mécanismes à plus haute fréquence imposent des changements plus rapides voire abrupts (quelques années). L'amplitude de ces changements est liée aux caractéristiques des forçages à haute fréquence et des non-linéarités du système, mais dépend de l'état moyen et donc des conditions imposées par les forçages à long terme. Cette cascade de fréquences des processus définit ainsi un continuum depuis le milliard d'années jusqu'aux échelles millénaires et séculaires voire interannuelles. C'est avec une vision intégrée de l'évolution conjointe du climat et de l'environnement que se définit ce nouveau programme INSU et InEE qui associe dès cette année l'IRD, notamment pour les thèmes 3, 4 et 5, et associera progressivement d'autres partenaires, autour de priorités thématiques conjointes et évolutives.

Ce premier appel d'offre encourage les projets impliquant une démarche fortement interdisciplinaire selon les 5 thèmes suivants. Les demandes peuvent être rédigées en anglais pour faciliter une évaluation internationale. Les chevauchements potentiels avec les autres appels d'offre de l'INSU¹ (SYSTER, INTERRVIE, LEFE/EVE, EC2CO, etc) seront examinés à la réception des dossiers et éventuellement redistribués vers le programme approprié.

Thèmes retenus

1)- Conséquences des orogénèses sur les écosystèmes, la biodiversité et le climat global

Les forçages à très longue période continuent à influencer les époques plus récentes couvrant le **Phanérozoïque** (540 Ma à 0 Ma), où leur fonctionnement peut être exploré avec plus de finesse². Les processus tectoniques peuvent également agir à haute fréquence. Des mouvements de faible amplitude relative sont suspectés être à l'origine de **modifications climatiques majeures dans des fenêtres temporelles courtes (10⁵ à 10⁶ ans)** : ouverture/fermeture de passages océaniques, mouvements rapides de blocs continentaux, surrection de barrières orographiques et climatiques et effets de seuil, etc. Il en résulte de nombreuses problématiques scientifiques couvrant un large spectre, l'accent de l'AO est mis notamment sur les questions suivantes :

¹ <http://www.insu.cnrs.fr/a3105.appels-offres-insu-2010.html>

² Les mouvements tectoniques, à la fois horizontaux (mouvement des plaques continentales) et verticaux (surrection et érosion subséquente de chaînes de montagnes, activité des zones de subduction) ont des impacts climatiques, géochimiques et biologiques majeurs en modulant les transferts d'éléments des continents vers les océans, en contrôlant la circulation océanique, et en modelant la surface des continents.

- Peut-on confirmer, sur des exemples précis, le rôle de l'**ouverture et de la fermeture des passages océaniques** (agissant seuls) sur le climat global du mésozoïque et sur l'évolution biologique (Drake, Tasmanie-Antarctique, Feroe-Groenland, Panama, ...)
- Comment quantifier l'**impact de la surrection rapide de chaînes de montagnes** sur le cycle des éléments, en particulier du carbone et des nutriments, sur le climat et sur la diversité biologique ?
- Quel est le rôle des **déséquilibres dans le cycle géologique du carbone organique** en réponse à ces forçages tectoniques ? En particulier, dans quelles mesures la surrection de chaînes de montagne modifie-t-elle la composante organique du cycle du carbone et l'évolution climatique de notre planète.

Les **approches comparatives** seront à privilégier, par exemple moussons Asie/Afrique, systèmes Himalaya/Andes, passages océaniques antarctique, arctique, pacifique/atlantique, etc. mettant en exergue notamment les **interactions** et **rétroactions**.

2)- Le rôle de la transition végétale-arborée dans le fonctionnement du système Terre

L'**évolution biologique** à la surface de la Terre module et est modulée par les modifications environnementales globales, notamment la biodiversité et ses fonctionnalités qui répondent elles-mêmes aux forçages externes au système Terre et aux forçages liés à la dynamique interne de la planète. L'appel d'offre est **focalisé sur l'apparition des écosystèmes arborés et de leurs impacts sur le fonctionnement du système Terre**, notamment les impacts pédologiques, hydrologiques, radiatifs, biogéochimiques, climatiques, ... Cette étude s'inscrit dans la compréhension des rôles fonctionnels des systèmes arborés, en négatif des déforestations massives à l'ère Anthropocène.

Cette évolution majeure peut être étudiée en établissant dans quelle mesure les **changements de biodiversité** systématique sont **corrélés** à des **événements environnementaux**. Un effort particulièrement important est requis en **milieu continental** où les **données** paléontologiques restent éparées temporellement et spatialement. Répondre à cette problématique nécessite un **effort accru et coordonné** de recherche de données bien datées, dans des zones géographiques peu explorées, en envisageant la panoplie la plus large possible d'indicateurs paléo-environnementaux, y compris d'origine biologique.

Conjointement, la **représentation des intrications entre biodiversité, géochimie et climat** doit dépasser une approche souvent très réductrice des interactions Climat-Environnement, souvent simplifiée à des variations de quelques paramètres (température, précipitation, pH et alcalinité océanique, ...), face à la potentialité extrême qu'a le vivant de s'adapter. Les liens simples de cause à effet valables pour des perturbations extrêmes trouvent là leur limite et seules des **collaborations étroites entre les différentes disciplines** (biologie, évolution, paléontologie, géochimie, climatologie, ...) permettront d'avancer sur ces questions d'**interactions** et de **rétroactions**.

3) – La réponse des environnements aux réchauffements climatiques abrupts

Les cinq **grands forçages** (évolution du vivant, constante solaire, géocroiseurs, tectonique, échanges entre Terre profonde et enveloppes superficielles) interagissent avec les transitions climatiques cycliques et abruptes déterminant le plus court terme. Il s'agit des variations cycliques de l'insolation, dues au forçage orbital, et des **accidents climatiques** dont la dynamique reste largement à explorer. Les processus associés aux ruptures, **transitions rapides** d'ordre **millénaire à décennal**, doivent constituer un objectif majeur des travaux conduits par la communauté en réponse aux inquiétudes liées au changement climatique actuel. Un **accent** particulier sera mis sur des **épisodes de réchauffement abrupt**. Les données instrumentales nous renseignent sur l'amplitude et la rapidité du changement climatique d'origine anthropique, les archives paléoclimatiques (sédiments continentaux, marins et glaciaires) sont à même d'explorer les mécanismes initiateurs de ces accidents climatiques.

Dans ce contexte l'**accent** sera mis sur les **impacts des transitions rapides et ruptures climatiques** sur les environnements, notamment les réponses de la **biodiversité** et des **écosystèmes à un réchauffement**. Elles impliquent des mécanismes complexes et très largement méconnus d'interaction et de rétroaction nécessitant des approches innovantes entre les différentes disciplines (biologie, évolution, paléontologie, géochimie, climatologie, ...).

4)- Climat et Sociétés : migrations et invasions

A l'heure où les changements climatiques dus à un accroissement des gaz à effet de serre sont perceptibles, leurs impacts, en particulier dans les zones les plus sensibles et les moins aptes à s'adapter doivent être étudiés. Ces zones, plus vulnérables, ont un intérêt socio-économique majeur, d'autant plus qu'elles sont souvent les plus peuplées.

L'étude du passé fournit un moyen très puissant d'étudier l'effet des **variations climatiques** sur les redistributions et déplacements des **populations végétales et animales**, sur les **ressources** et les **sociétés humaines**, notamment les **régimes d'invasion**, sous réserve de s'appuyer sur une **approche multi-paramétrique** (archéologique, historique, bio-archéologique, paléoécologique, climatique, géomorphologique, géochimique, etc ...). **combinée à la modélisation** des processus notamment ceux assurant les **interactions** et les **rétroactions**.

Les groupes humains se sont en effet développés conjointement à des fluctuations climatiques³ et des changements paléo-environnementaux importants, passant par des **états de crises** impulsant des ruptures dans l'**évolution du développement des sociétés**. Un accent sera mis notamment sur les **événements de désertification** qui peuvent toucher tous les continents ; les facteurs intriqués de désertification pouvant être historiques, évolutifs, climatiques et anthropiques.

5) – Dynamique de l'environnement et des sociétés humaines face aux variations du milieu.

L'identification des interactions entre les changements environnementaux et la vie des sociétés et leur évolution est au cœur de cette thématique. Ces interactions peuvent être appréhendées par divers aspects comme les études de l'impact des variabilités de l'environnement (climat, risque, milieu...) sur l'évolution culturelle et économique des sociétés depuis l'exploitation, la gestion et la transformation des anthroposystèmes, les stratégies et les modes d'occupation des sols et des territoires. **Les relations climat – société – environnement** peuvent être abordées par différentes disciplines ou modèles (archéologique, historique, bio-archéologique, paléoécologique, climatique, géomorphologique et géochimique...). **La dynamique de l'environnement, de la biodiversité doit être considérée en étroite relation avec les changements climatiques, mais aussi avec l'impact et la nature des activités humaines**. En effet, les techniques d'exploitation des espèces à des fins agraires par des sociétés rurales, non mécanisées (domestication, espèces commensales, parasites...) doivent être considérées. Éléments de temporalités et de dynamiques évolutives, les rythmes et les changements d'usage, les diffusions et les transmissions des techniques doivent faire partie de cette approche.

³ Il est rappelé que les forçages à long terme, incluant la tectonique et les échanges avec la Terre profonde, ont défini un mode climatique globalement froid depuis l'Oligocène, soit un mode climatique particulièrement inhabituel à l'échelle de l'histoire de la Terre. Ce mode froid a été brutalement perturbé au cours du Miocène de manière globale et régionale, à une époque clé dans l'évolution du buisson évolutif qui a mené à l'espèce humaine. De plus, se sont superposées des oscillations climatiques rapides (10^4 à 10^3 ans) qui ont eu un impact direct sur les peuplements tout au long du Quaternaire.

Efforts méthodologiques

L'acquisition de données est primordiale dans la reconstruction des paléoenvironnements et des paléoclimats, et doit être menée en lien très étroit avec la modélisation numérique des processus et du climat. Au-delà des aspects purement descriptifs de la reconstruction des paléoclimats et paléoenvironnements, il est devenu nécessaire de mieux prendre en compte les modalités, mécanismes et processus mis en jeu. On a longtemps considéré les objets à l'échelle "globale" (matière organique totale, "terre globale", océan, continent ...) alors que certaines interrogations d'aujourd'hui seront résolues en considérant la plus petite des échelles (molécules spécifiques, "région", bassin versant, platier continental ...). L'interprétation des données obtenues à petite échelle en utilisant les clés identiques à celles qui sont utilisées à l'échelle "globale" induisent souvent des contradictions, voire des oppositions avec les scénarii consensuels préalablement définis à grande échelle. Cet apparent paradoxe est le résultat d'une méconnaissance des processus mis en jeu et de leurs imbrications les uns avec les autres. Aussi, pour accompagner ce nécessaire changement d'échelle faut-il conjointement :

- 1- augmenter la résolution temporelle et spatiale des données⁴ ;
- 2- régionaliser au maximum la modélisation des processus ;
- 3- revisiter les principes et concepts de base qui prévalaient à l'échelle "globale" ;
- 4- agréger les paramétrisations des modèles à petite échelle (introduction de types de processus génériques) ;
- 5- améliorer la paramétrisation des processus humides de l'atmosphère⁵.

Les efforts devraient porter plusieurs niveaux :

- **Compréhension des proxies**, afin de mieux préciser les approximations effectuées dans les concepts généraux et les modèles en usage:
 1. potentialité des nouveaux proxies (indicateurs paléontologiques, isotopes, éléments traces, marqueurs des conditions oxiques, mesures paléomagnétiques, biomarqueurs moléculaires etc.),
 2. contrainte des effets d'enfouissement, de diagenèse et des traitements de laboratoire sur le signal original des proxies,
 3. agrégation de proxies de suivi des populations végétales, animales et humaines
 4. propagation des incertitudes en fonction des échelles considérées et validité des postulats de base,
 5. paramétrisation des liens proxies - conditions paléoenvironnementales et climatiques, par une triple approche « observation, expérimentation, modélisation ».
- **Livraison de nouvelles données** pour combler les lacunes spatiales et temporelles:
 1. re-analyser certaines données et bases de données existantes, et développer l'usage de bases de données inter-opérables entre les différentes disciplines,
 2. revaloriser la recherche d'observation, sur le « terrain », en facilitant les missions de terrain et de prospection,
 3. développer de nouvelles technologies analytiques,
 4. encourager les plateformes technologiques communes et la mutualisation des équipements, permettant ainsi une meilleure structuration de la communauté,
 5. mieux tirer bénéfice des sites-chantiers communs d'étude (bassins versants, embouchures de fleuves, régions côtières, ...), permettant l'inter-calibration

⁴ Les projets valorisant des investissements nationaux comme le TGE ECORD/IODP ou ICDP seront fortement appréciés.

⁵ Représentation très pauvre des types de précipitations par les modèles de climat, manque de connaissance des processus locaux comme la convection, ...

des proxies, l'observation intensive des conditions actuelles et récentes, et la modélisation à haute résolution.

Une gestion pluridisciplinaire de l'approche et de l'effort de recherche dans les domaines des sciences humaines, des sciences du vivant et de la Terre est fortement encouragée. Des efforts importants sont ainsi recommandés sur la géochronologie (pour la datation précise et la synchronisation des enregistrements), la méthodologie (des approches originales sont nécessaires pour traiter de manière rigoureuse l'hétérogénéité des données quantitatives et qualitatives), le développement de "proxies" marqueurs de processus physiques et socio-économiques (en particulier des marqueurs des activités humaines), l'acquisition d'archives (y compris la re-analyse de données existantes), de nécessaires retours au terrain et un développement de la modélisation (simulations climatiques, modélisations des proxies). La mise en place de nouvelles approches peut nécessiter la confrontation et/ou l'utilisation de plusieurs technologies disponibles ou non en France. Cet accès aux technologies au plus haut niveau international doit être facilité. L'objectif s'inscrit dans la caractérisation et la chronologie précises des événements climatiques, biogéochimiques, écosystémiques et socio-culturels, depuis des états anciens non-anthropisés jusqu'aux processus actuels, dans le but de comprendre les processus et de produire des modèles prédictifs : **le passé est un laboratoire permettant de valider nos modélisations des processus à l'œuvre qui pourront progressivement alors devenir prédictifs.**

Un effort particulier doit être consenti sur la construction d'outils de modélisation couplant les processus pilotant l'histoire des paléoenvironnements et des paléoclimats. L'expérience montre que des outils numériques initialement développés pour des problématiques couvrant des échelles de temps très courtes (par exemple les modèles de circulation de l'atmosphère) trouvent un champ d'application extrêmement vaste dans le passé, des échelles temporelles millénaires aux échelles géologiques. Inversement, des outils numériques développés pour les longues échelles de temps peuvent également trouver un champ d'application à plus courte échelle (rôle de l'altération continentale par exemple). Il faut motiver la transgression des échelles temporelles et des disciplines par l'imbrication des outils numériques.

Fléchage de zones privilégiées (*non restrictif*)

Le **pourtour Méditerranéen** a connu l'avènement et la chute de grandes civilisations en relation avec des changements environnementaux : changements climatiques, variations du niveau marin... Ces derniers ont eu des impacts sur les ressources agricoles, forestières, hydrologiques, halieutiques, sur la biodiversité, la qualité des sols. C'est d'autant plus vrai que la région Méditerranéenne se situe à la transition entre deux systèmes climatiques, ce qui lui confère le statut de « hot-spot » de la biodiversité. Ces études peuvent en amont du Chantier Méditerranée contribuer à la définition de l'action PaléoMEX.

D'autres régions sont également dignes d'intérêt : les **régions côtières** sont sensibles aux fluctuations du trait de côte et donc de la circulation océanique. Leur économie est souvent dépendante des ressources marines. Le **continent sud-américain** apparaît dans une telle perspective comme un exemple particulièrement sensible où les variations à diverses échelles se manifestent particulièrement bien tout comme l'impact sur les sociétés. Les **régions intertropicales** voient les changements climatiques amplifiés par une démographie galopante : problèmes de biodiversité, déforestation, ressources en eau, dégradation des sols, désertification, Les **zones de montagnes** montrent des signes tangibles de réchauffement: fonte des glaciers (tempérés et tropicaux), évolution de l'enneigement hivernal avec ses répercussions pour le tourisme et les pratiques agro-pastorales, les régimes hydrologiques, la fonte du pergélisol d'altitude et les glissements de terrain associés ... C'est là que se trouve la majorité des sources des grands fleuves qui alimentent les plaines. La diversité topographique y engendre une grande diversité biologique. Elles se prêtent également à des études de

dynamique des écosystèmes grâce à l'abondance des archives (naturelles et historiques) et aux forts gradients spatiaux liés aux reliefs. Enfin, le **domaine arctique** s'avère un territoire particulièrement approprié en raison de réponses similaires aux changements climatiques, d'une histoire climatique jusqu'ici peu connue, et constitue un chantier sur lequel la communauté française sera amenée à se positionner.

Cette notion de chantier devient évidemment plus diffuse pour les études portant sur le passé géologique, mais ne perd pas son sens. Le volet « passé lointain » permet d'aborder l'étude de l'impact sur le climat, la biodiversité, les cycles biogéochimiques des orogènes, depuis leur formation jusqu'à leur démantèlement. Ce volet est donc potentiellement capable de fournir des instantanés de l'impact des orogènes à divers moment de leur évolution (étude à court terme temporel) et un film continu de cet impact (sur de longues échelles de temps). De même, l'extension des zones polaires et leur réponse/rôle en rapport avec l'évolution du système Terre constituent des chantiers de choix. Enfin, d'une manière encore plus générale, l'**étude des milieux continentaux** (climat, biodiversité en zone continentale) dans le passé géologique doit être **favorisée**. Les données quantitatives dans ces milieux sont encore trop rares, rendant difficile la validation de modèles climatiques.

Contacts :

- *Denis-Didier Rousseau, Chargé de mission INSU*

- *Stéphanie Thiébault, directrice scientifique adjointe INEE*