

PROJET EQUIPEX ASTER/CEREGE

# Des accélérateurs pour la géochimie

Édouard Bard  
Les recherches réalisées au CEREGE d'Aix-en-Provence vont bénéficier d'une

formidable accélération dans tous les sens du terme. En effet, l'Agence nationale de la recherche a retenu le projet ASTER-CEREGE dans le cadre de l'appel d'offre EQUIPEX du grand emprunt national.

Ce projet, coordonné par le Pr Édouard Bard, directeur-adjoint du CEREGE, sera doté par l'ANR de 2,7 millions d'euros pour des équipements analytiques et environ un million d'euros destinés à leur fonctionnement jusqu'en 2020.

La plateforme de géochimie isotopique ASTER-CEREGE sera administrée par l'université Paul Cézanne Aix-Marseille en collaboration avec les autres tutelles de l'UMR-6635 CEREGE : le CNRS/INSU, le Collège de France et l'IRD, et en partenariat avec un laboratoire de l'INRA installé sur le même campus du Technopôle Méditerranéen de l'Arbois à Aix-en-Provence.

L'objectif du projet ASTER-CEREGE est d'étendre et de diversifier la gamme instrumentale de nos équipements en géochimie isotopique et de les élever au meilleur niveau international actuel. Le projet est composé de trois volets d'instrumentation complémentaires : un spectromètre de masse par accélérateur (AMS) miniature dédié spécifiquement à la mesure du carbone 14 de micro-échantillons gazeux et solides (photo 1) ; un spectromètre de masse à source plasma et multicollecteur (MC-ICPMS photo 2) ; une source d'ions plus performante pour l'accélérateur ASTERisques de 5 MV déjà présent sur le site (photo 3). Ces trois volets d'équipement seront utilisés de façon combinée pour des recherches axées sur des thématiques scientifiques au cœur des grands débats de société en cours.

## Étude du cycle du carbone

Le <sup>14</sup>C d'origine naturelle ou artificielle (thermonucléaire), est le meilleur traceur géochimique dont nous disposons pour étudier le cycle du carbone et en déterminer les constantes de temps.

Les objectifs scientifiques de notre projet concernent la compréhension et le suivi du cycle du carbone et des échanges naturels et anthropiques de CO<sub>2</sub> entre l'atmosphère, l'océan, la végétation et les sols grâce au traçage par le <sup>14</sup>C.

L'AMS a permis de mesurer le <sup>14</sup>C dans des échantillons de moins d'un milligramme de carbone, décuplant l'utilité de ce traceur géochimique, devenu quantifiable dans pratiquement toutes les phases organiques et minérales, solides, liquides ou gazeuses contenant du carbone. Développée dans les années 1980, l'AMS a supplanté les techniques de comptage de la radioactivité du <sup>14</sup>C, mais plusieurs aspects rendent les analyses difficiles et onéreuses, notamment l'utilisation d'un accélérateur de haute tension (3 MV) et d'une source d'ions issus de pastilles de carbone solide.

Des innovations techniques conduites en Europe et aux États-Unis ont abouti récemment à une modernisation de l'AMS. Un accélérateur de quelques centaines de kV permet de miniaturiser le système. Une source à gaz carbonique ouvre la voie à des analyses encore plus sélectives sur des échantillons purifiés de très petite taille (< 0,2 mg de carbone).

## Les variations passées du niveau marin

Nos études sont fondées sur la datation d'archives naturelles (coraux, stalagmites) par les méthodes des séries de l'uranium et du thorium (voir p. 11 de *La Lettre* n°28, un bref article décrivant nos travaux récents sur les récifs fossiles de Tahiti).

Les données obtenues sont cruciales pour quantifier et comprendre la réponse des calottes de glace polaires aux variations du climat, ainsi que les impacts sur le littoral actuel.

Ces questions sont au cœur des débats en cours sur les conséquences du réchauffement climatique et sur la prévision de la remontée probable du niveau marin.

L'équipe du CEREGE s'est positionnée parmi les leaders mondiaux pour la reconstitution du niveau marin grâce aux datations de coraux fossiles, à l'aide de spectromètres de masse à thermo-ionisation (TIMS) de conception ancienne (années 1990). L'acceptation du projet EQUIPEX ASTER-CEREGE devrait permettre de maintenir cette compétitivité par l'acquisition d'un spectromètre à source plasma double focalisation à secteur magnétique et multicollection (MC-ICPMS). Cette technologie ouvre de nouveaux domaines en géochimie et en géochronologie.

L'instrument de type MC-ICPMS qui intégrera la plateforme ASTER-CEREGE viendra en complément des deux TIMS qui composent l'actuel parc analytique du CEREGE, et sera le premier instrument de seconde génération spécifiquement dimensionné pour les analyses isotopiques des séries U-Th en France. Ceci devrait permettre d'accroître considérablement notre rythme de production d'analyses ainsi que leur précision. En complément, une jouvence des salles blanches annexées au laboratoire de spectrométrie de masse est prévue afin de constituer une plateforme de pointe.

## D'autres applications de la géochimie isotopique

D'autres applications seront envisagées, notamment celles liées au troisième volet d'équipement avec l'installation d'une nouvelle source d'ions pour l'accélérateur ASTERisques, opérationnel depuis 2007 sur le campus du CEREGE. Cette acquisition permettra d'augmenter l'efficacité d'ionisation des échantillons et donc de dépasser les limitations actuelles à l'interprétation des données que constitue la précision limitée par la statistique de comptage et la quantité des mesures effectuées.

Cette modernisation d'ASTERisques sera déterminante pour mener à bien les projets du CEREGE fondés sur la mesure d'autres cosmonucléides que le <sup>14</sup>C, notamment le béryllium 10 (<sup>10</sup>Be) et le chlore 36 (<sup>36</sup>Cl). Notre équipe conduit les analyses de ces isotopes dans des carottes superficielles et profondes de la calotte glaciaire de l'Antarctique. Ces études permettent par exemple de reconstituer les variations de l'activité solaire, notamment pour les périodes récentes des derniers millénaires aux dernières décennies (voir article p.32). L'objectif est de quantifier les évolutions récentes des forçages climatiques naturels du Soleil et des volcans pour les comparer à la perturbation anthropique due aux gaz à effet de serre (programme ANR VolSol, coordonné par É. Bard).

Dans le cadre du projet ASTER-CEREGE, nous étudierons les perturbations géochimiques d'autres éléments, notamment des métaux, en réponse aux changements naturels globaux et aux multiples pressions anthropiques.

En parallèle à ces recherches fondamentales de forte actualité scientifique et en pointe au niveau international, notre projet représente également une ouverture vers des sujets de recherche valorisée (qualité des sols et des eaux, contrôle des émissions de carbone et de certains radioéléments, matériaux du nucléaire, etc.). Ce volet appliqué nécessitera de nouveaux développements méthodologiques pour utiliser pleinement nos outils. La plateforme de géochimie ASTER-CEREGE continuera, à ce titre, à assurer sa participation aux activités de deux pôles de compétitivité "Gestion des Risques et Vulnérabilité des Territoires" et "Eau".

1. Spectromètre de masse par accélérateur (AMS) miniature dédié spécifiquement à la mesure du carbone 14 de micro-échantillons gazeux et solides (exemple du système MICADAS développé par l'ETH de Zürich). Photo : H.-A. Synal

2. Spectromètre de masse à source plasma et multicollecteur (MC-ICPMS, exemple du système développé par Nu Instruments).

3. Spectromètre ASTERisques (Accélérateur pour les Sciences de la Terre et les Risques) déjà installé sur le campus du CEREGE. Le projet EQUIPEX concerne l'installation d'une nouvelle source d'ions plus performante (ici, à gauche). Photo : G. Aumâtre, CEREGE



Pr Édouard BARD  
Évolution du climat et de l'océan