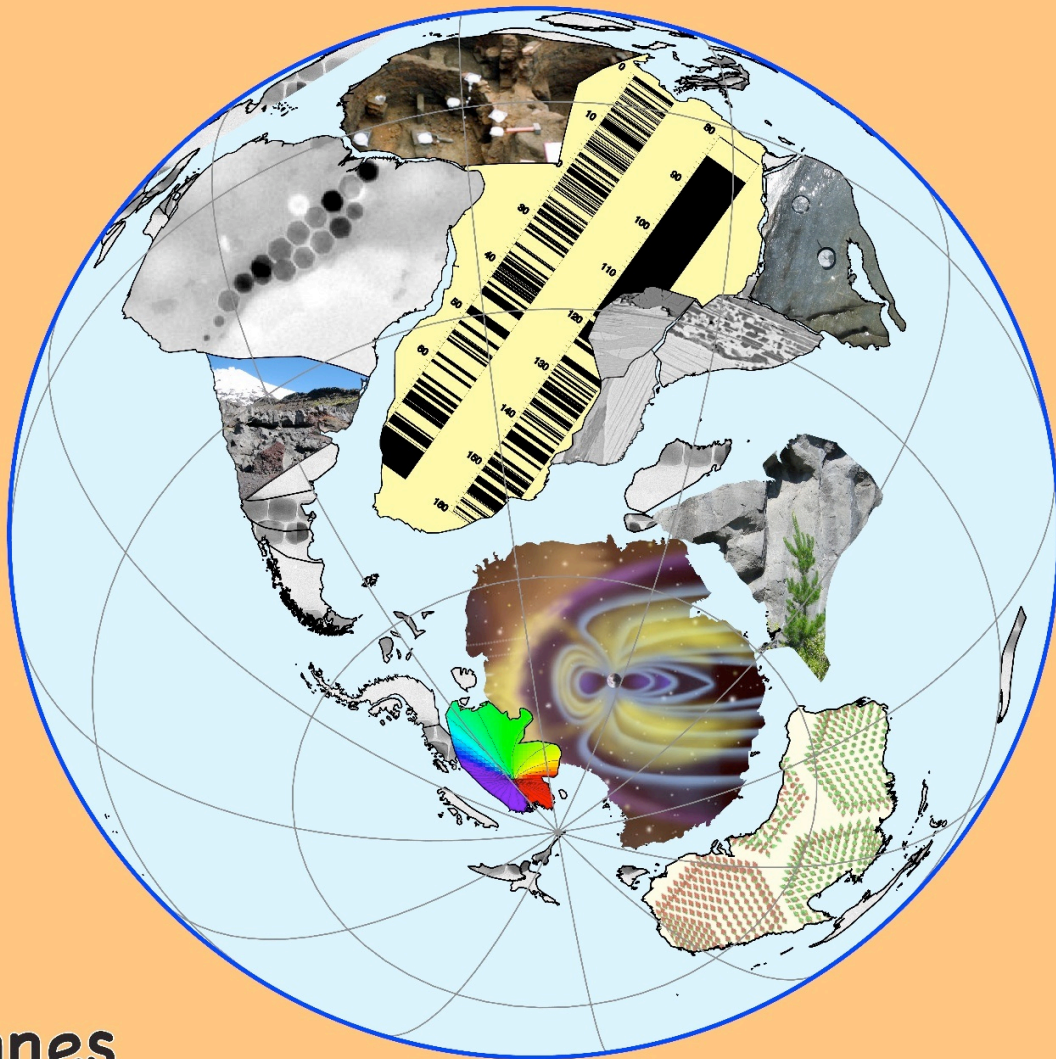


# Paléomagnétisme et Magnétisme des Roches en France



Rennes  
31 mai - 1er juin 2010

Université de Rennes 1  
Campus de Beaulieu,  
CAREN, Bat14B  
Observatoire de Rennes

## Contacts

Annick Chauvin  
Géosciences Rennes  
[annick.chauvin@univ-rennes1.fr](mailto:annick.chauvin@univ-rennes1.fr)  
(33) 2 23 23 60 92

Pierrick Roperch  
Géosciences Rennes (IRD)  
[pierrick.roperch@univ-rennes1.fr](mailto:pierrick.roperch@univ-rennes1.fr)  
(33) 2 23 23 52 16



# Colloque National Paléomagnétisme et Magnétisme des Roches Rennes, 31 mai -1 juin 2010

## 1er journée

8h45 Accueil des participants - mise en place des posters pour les deux sessions

-----

Présentation des différentes équipes de paléomagnétisme et Magnétisme des roches en France : Thèmes de recherche - Equipements – Collaborations  
Animateur : Pierrick Roperch

9h30- **Annick Chauvin**  
9h40 *Laboratoire de Paléomagnétisme de Géosciences Rennes*

9h40- **Yves Gallet**  
9h50 *Laboratoire de Paléomagnétisme de l'IPGP*

9h50- **Pierre Camps**  
10h00 *Laboratoire de Paléomagnétisme de Géosciences Montpellier*

10h00- **Charles Aubourg**  
10h10 *Magnétisme structural dans l'équipe Géosciences & Environnement Cergy*

10h10- **Claire Carvallo**  
10h20 *Magnétisme des roches à l'IMPMC*

10h20- **Jérôme Gattacceca**  
10h30 *Laboratoire de Paléomagnétisme du Cerege*

-----

10h30-11h00 pause café – Séance Posters

-----

Communications scientifiques  
Animateur : Jean-Pierre Valet

11h00- **Pierre Camps, Gregory Fanjat, Mireille Perrin, Ken Hoffman, et Thierry Poidras**  
11h15 *Enregistrements volcaniques Australasiens de transitions de polarité du Champ Magnétique Terrestre : Evidences paléomagnétiques pour une possible influence du manteau sur la geodynamo ?*

11h15- **Yves Gallet, Vladimir Pavlov, Magali Ader, Galen Halverson**  
11h30 *Fréquence des inversions magnétiques ou fréquence des superchrons durant le Précambrien*

- 11h30-11h45 **Didier Vandamme**  
*Paléomagnétisme Néoprotérozoïque en Afrique*
- 11h45-12h00 **Charles Poitou, Jean Besse et Jean-Pierre Valet**  
*Le champ magnétique terrestre et la dérive des plaques continentales au Précambrien*
- 12h00-12h25 **Jean-Pascal Cogne et Jean Besse**  
*Anomalie(s) de l'inclinaison paléomagnétique Méso-Cénozoïque en Asie: causes géomagnétiques vs. causes tectoniques*

-----  
12h30-14h00 repas

---

Communications scientifiques  
Animateur : Philippe Lanos

- 14h00-14h15 **Nicolas Warme Aurélia Alligri, Yves Gallet, Maxime Le Goff et Agnès Genevey**  
*L'archéomagnétisme appliqué aux fours culinaires du haut Moyen Age : 10 ans d'activité dans le cadre de l'archéologie préventive*
- 14h15-14h30 **Agnès Genevey, Yves Gallet, Jean Rosen et Maxime Le Goff**  
*Variations de l'intensité du champ magnétique terrestre en Europe de l'Ouest au cours des derniers 800 ans : Applications en géomagnétisme et en archéologie*
- 14h30-14h45 **Annick Chauvin, Pierrick Roperch, Jean-Luc Le Pennec et Francisco Valdez.**  
*Variation séculaire à basse latitude. Résultats paléomagnétiques et archéomagnétiques en Equateur*
- 14h45-15h00 **Erwan Thebault. Javier Pavon-Carrasco et Yves Gallet**  
*Modélisation bayésienne des variations du champ archéomagnétique en Europe durant les deux derniers millénaires*
- 15h00-15h15 **Catherine Kissel et l'équipe CHRONOMAG du LSCE.**  
*Application du magnétisme à l'étude de la dynamique rapide (centennale à millénaire) des masses d'eaux océaniques. Exemple de la dernière période glaciaire.*

-----  
15h15-15h45  
Pause café - Posters

---

Animateur : Guillaume Dupont-Nivet

- 15h45- **Charles Aubourg, Jean-Pierre Pozzi et Myriam Kars**  
16h00 *Les paragéneses magnétiques des roches sédimentaires non métamorphiques*
- 16h00- **Maud Moulin, Frédéric Fluteau, Vincent Courtillot et Xavier Quidelleur**  
16h15 *Reconstruction de la séquence éruptive du Lesotho (Trapps du Karoo).*
- 16h15- **Christine Franke , Médard Thiry, Maria Jelenska, Magda Kadzialko-  
16h30 Hofmokl, France Lagroix, David Parcerisa, Adam Szuszkiewicz, Krzysztof Turniak, et Kouakou Yao**  
*Stabilité des surfaces continentales et évolution géodynamique des socles Paléozoïques : Exemple pour la reconstruction de la paléosurface triasique*
- 16h30- **Jean-Bernard Edel**  
16h45 *La chaîne varisque au Carbonifère: une histoire tectonique polyphasée – Les enseignements du paléomagnétisme en zone orogénique.*
- 16h45- Discussion autour des Posters  
19h30

-----  
*Repas dans un restaurant à Rennes*

-----

## Seconde journée

8h30 Accueil des participants

Communications scientifiques

Animateur : Sonia Rousse

- 9h00- **Aude Isambert, François Guyot, Nicolas Menguy, Jean-Pierre Valet**  
9h15 *Diversité des populations bactériennes magnétotactiques en eau douce*
- 9h15- **Eva Moreno**  
9h30 *Variations des propriétés magnétiques et données d'XRF dans les sédiments marins en relation avec l'impact de la super-éruption Toba de 73ka à Sumatra*
- 9h30- **Yu-Min Chou, S-R., Song, C. Aubourg, T-Q., Lee, E-C., Yeh**  
9h45 *L'enregistrement paléomagnétique du séisme de Chi-Chi (Mw 7.6, 1999)*
- 9h45 **Jérôme Gattacceca**  
10h00 *Paléomagnétisme et Planétologie : Résultats récents sur des échantillons lunaires Apollo*
- 10h00- **François Leveque**  
10h15 *Imagerie géophysique et propriété magnétique*

-----  
10h15-11h00

Pause café – Posters

---

Animateur :

11h00 **France Lagroix**

11h15 *Application du magnétisme à l'étude de dépôts de loess*

11h15- **Jérôme Gattacceca**

11h30 *Développements instrumentaux en microscopie magnétique*

11h30- **Discussion**

12h00 *Développements en minéralogie magnétique*

-----  
12h00-13h30 repas

-----  
13h30- **Discussion**

16h00 (modérateurs Mireille Perrin / Annick Chauvin)

*Prospective Instrumentation, Partage des instruments*

Prospective Recherche – Suite à donner au colloque

**Posters :**

- Poster 1 **Claire Bouligand et Jonathan Glenn**  
*Cartographie de l'altération hydrothermale au Yellowstone à l'aide des méthodes magnétiques*
- Poster 2 **Julie Carlut et J-P Pozzi**  
*Paléomagnétisme de dépôts calcitiques*
- Poster 3 **Claire Carvallo, Ph. Saintavit, M.-A. Arrio, Y. Guyodo, R. L. Penn, B. Forsberg, A. Rogalev, F. Wilhelm, A. Smekhova**  
*Etude de l'auto-inversion de l'aimantation dans les basaltes océaniques à l'aide de mesures de XMCD*
- Poster 4 **Pauline Coster et Mouloud Bennami**  
*Magnétostratigraphie complète des dépôts du Miocène continental du bassin de Mae Moh (Thaïlande) et la révision de l'âge des localités à hominoïdes au Nord de la Thaïlande*
- Poster 5 **François Demory**  
*Parc instrumental du laboratoire de magnétisme du CEREGE (Aix en Provence).*
- Poster 6 **Guillaume Dupont-Nivet, Roderic Bosboom, Hemmo Abels, Carina Hoorn, Wout Krijgsman, ZhaoJie Guo and the Asian Climate and Tectonic team**  
*Changements climatiques et tectoniques pendant la collision Inde-Asie*
- Poster 7 **ChuanXin Li, Guillaume Dupont-Nivet and ZhaoJie Guo**  
*Magnétostratigraphie du bassin d'avant pays du Tien Shan Nord, section de Taxi He, Chine*
- Poster 8 **Guoqiao Xiao, Hemmo A. Abels, Zhengquan Yao, Guillaume Dupont-Nivet, Frederik J. Hilgen**  
*Aridification de l'Asie liée à la première étape de la transition Éocène-Oligocène dans les enregistrements continentaux dominés par l'obliquité (Bassin de Xining, Chine)*
- Poster 9 **Mark Sier, Guillaume Dupont-Nivet, Christopher J. Campisano, Ramon Arrowsmith, Erin DiMaggio, Kaye Reed, Charles Lockwood, Christine Franke,**  
*Magnétostratigraphie de la formation à hominidés de Hadar (Ledi-Geraru, Ethiopie), evidence régionale de changements environnementaux ca. 3.2 Ma*
- Poster 10 **Grégory Fanjat, V. Shcherbakov, P. Camps, F. Barou, G. Plenier, and P. Rochette**  
*Fabrique d'AMS anormales dans des coulées de laves : Une approche expérimentale et numérique.*
- Poster 11 **Frederic Fluteau**  
*De l'apport du paléomagnétisme en modélisation climatique*
- Poster 12 **Christine Franke, Eric Robin, Susann Henkel, Alexandra Courtin-Nomade, et Ulrich Bleil**  
*Succession des sulfures de fer dans les sédiments de la Mer Noir*
- Poster 13 **Christine Franke, Selma Baati, Martine Audiguier, Sophie Ayrault,**

Philippe Bonté, Olivier Evrard, et Catherine Kissel

*Variabilité saisonnière du transport des matières en suspension dans le bassin versant de la Seine*

- Poster 14 **Gwenael Hervé, Annick Chauvin et Philippe Lanos**  
*Archéomagnétisme au premier millénaire av. J.-C. en France: contribution à l'étalonnage des variations du champ géomagnétique à des fins de datation*
- Poster 15 **Fabien Humbert, L. Louis and P. Robion**  
*Anisotropie de propriétés physiques dans des échantillons du forage du "Taiwan Chelungpu Fault Drilling Project" (TCDP)*
- Poster 16 **Myriam Kars**  
*Formation continue de minéraux magnétiques pendant le métamorphisme d'enfouissement de bas degré (< 3km)*
- Poster 17 **Catherine Kissel**  
*Le laboratoire de paléomagnétisme du LSCE*
- Poster 18 **Philippe Lanos et Philippe Dufresne**  
*Datations archéomagnétiques et modélisation chronologique*
- Poster 19 **Lucie Menabreaz**  
*Champ géomagnétique et <sup>10</sup>Beryllium dans les sédiments*
- Poster 20 **Yves Gallet, Agnès Genevey, Maxime Le Goff, M. al Maqdissi, P. Butterlin**  
*Archéomagnétisme en Syrie : Evolution du champ géomagnétique et chronologie archéologique*
- Poster 21 **Thierry Poidras**  
*Système Embarqué d'Orientation et de Positionnement dédié aux Sciences de la Terre.*
- Poster 22 **Pierrick Roperch, César Arriagada et Annick Chauvin**  
*Sur l'intérêt de combiner données d'ASM et d'aimantations rémanentes pour mieux contraindre l'évolution tectonique des régions déformées : quelques exemples dans la chaîne andine.*
- Poster 23 **Pierrick Roperch, Victor Carlotto, Gilles Ruffet, Michel Fornari**  
*Rotations tectoniques le long de la zone de transfert d'Abancay (Andes du sud du Pérou).*
- Poster 24 **Pierrick Roperch et Annick Chauvin**  
*Peut-on déterminer des paléointensités sur des roches pyroclastiques ?*
- Poster 25 **Sonia Rousse**  
*Atelier de Magnétisme (UMR 5563- Toulouse)*
- Poster 26 **Brigitte Smith, Charles Aubourg et Safar Ali Eshraghi**  
*Rotations paléomagnétiques récentes dans la province de Fars (Zagros, Sud de l'Iran) et implications tectoniques*
- Poster 27 **Lionel Sonnette, Jean-François Stéphan, Jacques Angelier, Pierre Rochette et Jérôme Gattacceca**  
*Potentiel magnétique de la couverture sédimentaire méso-cénozoïque des arcs de Nice et Castellane, résultats paléomagnétiques et ASM préliminaires*





## **Le magnétisme structural dans l'équipe Géosciences & Environnement Cergy**

**Charles Aubourg, Philippe Robion, Laurent Louis**

Depuis 1992, nous avons développé un laboratoire dédié aux applications du magnétisme structural à l'Université de Cergy Pontoise. Par magnétisme structural, nous incluons l'utilisation de la fabrique magnétique, du paléomagnétisme, et du magnétisme des roches essentiellement des les zones externes des chaînes de montagne. Nous couplons ces techniques à d'autres techniques de fabrique mesurées en routine, et développées spécifiquement à Cergy ; comme l'anisotropie des vitesses acoustiques, l'anisotropie de la porosité en utilisant les ferrofluides, ou l'analyse d'image.

Nous avons étudié différentes chaînes plissées dans différentes régions du globe, Alpes, Corbières, Iran, Pakistan, et les Rocky mountains. Nous avons aussi abordé d'autres thématiques comme la caractérisation pétrophysique des gouges de failles (Safod, Chi-Chi, Nankai), des roches réservoirs, des pierres de construction, ou encore des dykes.

Des développements analytiques sont en cours, avec en particulier l'anisotropie de conductivité électrique.

## **Les paragénèses magnétiques des roches sédimentaires non métamorphiques**

**Charles Aubourg<sup>1</sup>, J-P Pozzi<sup>2</sup>, M. Kars<sup>1,2</sup>.**

1 Géosciences & Environnement Cergy. Université Cergy Pontoise

2 ENS Paris.

Nous avons développé une technique de suivi magnétique sous stress thermique permettant de suivre la formation des minéraux magnétiques à des très faibles concentrations (Cairanne et al., 2004 ; Aubourg et al., 2008 ; M. Kars, cette réunion). Ceci nous a permis de montrer qu'à partir de 70°C, des minéraux magnétiques se forment dans des roches argileuses, où des associations de sulfure de fer, d'oxyde de fer, et de matière organique sont naturellement présents. Nous retrouvons la signature de ces minéraux magnétiques néoformés dans des échantillons naturels provenant de contextes géologiques très différents.

La formation de minéraux magnétiques sous faible température a des conséquences très importante en paléomagnétisme, en particulier pour l'interprétation des réaimantations. Nous présenterons un modèle simple qui discute d'une de ces implications dans le cadre spécifique de la magnétostratigraphie.

## Cartographie de l'altération hydrothermale au Yellowstone à l'aide des méthodes magnétiques

**Claire Bouligand<sup>1</sup> & Jonathan Glen<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Université Joseph-Fourier, CNRS, BP53, 38041 Grenoble Cedex 9, France.

<sup>2</sup> U.S. Geological Survey, 345 Middlefield Rd, MS989, Menlo Park, CA, USA 94025

Le parc du Yellowstone présente une activité hydrothermale très importante du fait de son histoire magmatique récente. Les zones d'altération hydrothermale ont été cartographiées dans le parc à l'aide d'observations de terrain et d'imageries aériennes. Néanmoins ces méthodes permettent uniquement la détection des zones d'altération affleurant en surface. Les levés magnétiques peuvent aider la détection de l'altération hydrothermale enfouie en sub-surface, comme cela a été démontré par un levé aéromagnétique de haute résolution effectué dans le parc du Yellowstone. Ce levé montre en effet des anomalies magnétiques négatives à l'aplomb des zones altérées suggérant l'existence en profondeur d'un large volume de roches désaimantées par l'altération hydrothermale du substratum volcanique (Finn et Morgan, 2002). Le but de cette étude était de tester et étendre les conclusions de ces auteurs. Bien que le levé aéromagnétique utilisé dans cette étude soit de résolution relativement élevée, comparé aux levés aéromagnétiques typiques, celle-ci est insuffisante pour permettre une cartographie précise de l'altération hydrothermale. Nous avons donc acquis des profils magnétiques au sol au travers de quatre sites hydrothermaux dans le parc du Yellowstone (Norris Geyser Basin, Lower Geyser Basin, Lone Star Geyser et Smoke Jumper Hotsprings). Ces mesures ont été complétées par des mesures de gravité (acquises sur les mêmes profils) dans le but de contraindre la géométrie en profondeur des structures géologiques. Nous avons également effectué des mesures de susceptibilité magnétique, rémanence et densité sur des échantillons à l'affleurement et dans des forages réalisés dans le parc du Yellowstone durant les années 60-70 pour caractériser les propriétés physiques des unités altérées et non-altérées. Les levés magnétiques au sol dans les zones non-altérées montrent de nombreuses anomalies magnétiques de courte longueur d'onde et large amplitude indiquant l'existence de nombreux contrastes d'aimantation dans le sous-sol. Par contre, les mesures acquises à l'aplomb des zones altérées présentent un signal très différent caractérisé par des anomalies magnétiques de très faible amplitude confirmant une désaimantation des roches superficielles. Ces nouvelles données seront utilisées pour cartographier la distribution des propriétés magnétiques et de densité et évaluer la géométrie des zones d'altération en profondeur en relation avec les structures géologiques ayant pu faciliter la circulation des fluides hydrothermaux.

## Australasian volcanic records of the Earth's magnetic field during polarity transitions : Paleomagnetic evidences for a possible mantle influence over the geodynamo ?

**P. Camps** <sup>(1)</sup>, **G. Fanjat** <sup>(1)</sup>, **M. Perrin** <sup>(1)</sup>, **K Hoffman** <sup>(2)</sup>, and **T. Poidras** <sup>(1)</sup>.

(1) Géosciences Montpellier, CNRS and Université Montpellier 2, FRANCE.

(2) Cal. Poly. State University, San Luis Obispo, California, USA

Since three years, we are conducting a regional, temporally comprehensive paleomagnetic study focussed on lavas from Australasia in order to investigate the geomagnetic field behavior, especially during polarity reversals and events, since the Mesozoic. Most available transitional field data are associated with the last 2 Ma of geodynamo history with the number of existing records becoming increasingly sparse as one proceeds back through the tertiary and into the late Mesozoic. Yet, only through a temporally long view can we recognize whether any systematics are present and, if so, whether any spatial changes in the underlying dynamo process has occurred over geological time. Further, these unresolved questions are strongly tied to the controversy as to whether or not core mantle interactions impose an observable influence on the transitional field. We already studied two polarity reversals and one excursion in Australia (Quamby Fall reversal at Tweed volcano, Queensland, ~25.6 Ma (Hoffman et al., PEPI, 2008); Liverpool reversal at Liverpool range, NSW, ~35 Ma; Barrington Top excursion, NSW, ~50 Ma). More recently, we resampled two polarity reversals of late Miocene age (~ 9.0 Ma) recorded successively in the Akaroa volcano, South Island New Zealand.

The transitional VGPs do not appear to be randomly distributed, but rather show a preference to reside either in and about Australasia or in the South Atlantic, even though they represent more than 40 Ma of geomagnetic behavior. More unexpected, intensity determinations from the Liverpool lava flows yielded values stronger during the transitional period than during the stable period that preceded the reversal. Old paleointensity determinations by Sherwood and Shaw (1986) on Akaroa sequence seem to show the same trend. These observations are opposite to what is generally observed during a polarity reversal. An increase in intensity during the reversal would provide an extreme example of increasing secular variation during the reversal. However, the experimental method used for determining the paleointensities from Akaroa lava flows, method of Shaw, is questioned by the scientific community. A check of these data by the conventional Thellier method is in progress.

## Etude de l'auto-inversion de l'aimantation dans les basaltes océaniques à l'aide de mesures de XMCD

**C. Carvallo, Ph. Saintavit, M.-A. Arrio, Y. Guyodo, R. L. Penn, B. Forsberg, A. Rogalev, F. Wilhelm, A. Smekhova.**

Dans les basaltes océaniques, une auto-inversion de l'aimantation peut résulter d'une oxydation extrême à basse température de la titanomagnétite, qui produit un magnétisme de type N dans la classification de Néel. Des titanomagnétites montrant une inversion de type N en-dessous de la température ambiante ont été identifiées dans des échantillons de basaltes océaniques prélevés durant la campagne ODP 197. Afin de mieux comprendre le mécanisme de l'auto-inversion, nous avons mesuré des spectres de dichroïsme magnétique circulaire des rayons-X (XMCD) au seuil K du Fer, à température ambiante et à basse température, sur un échantillon de titanomagnétite de type N, ainsi que sur des échantillons de magnétite et de maghémite purs. Le spectre XMCD de la titanomagnétite de type N à 20 K est inversé par rapport au spectre à 300 K, ce qui montre que l'aimantation sur les sites octaédriques et tétraédriques s'inverse à basse température. Des calculs multiplets du XMCD au seuil K du Fer permettent d'identifier les contributions des différents sites dans les spectres mesurés. Ce mécanisme pourrait également causer une auto-inversion au dessus de la température ambiante, et avoir d'importantes conséquences sur la fiabilité des mesures paléomagnétiques.

## Variation séculaire à basse latitude. Résultats paléomagnétiques et archéomagnétiques en Equateur.

**Annick Chauvin<sup>1</sup>, Pierrick Roperch<sup>2</sup>, Jean-Luc Le Pennec<sup>3</sup>, Francisco Valdez<sup>4</sup>**

Augmenter le nombre de données archéomagnétiques pour l'hémisphère sud permettrait de mieux contraindre les modèles géomagnétiques globaux pour les derniers millénaires. Nous présenterons des résultats paléomagnétiques obtenus sur des unités volcaniques du volcan Tungurahua et des résultats archéomagnétiques acquis sur 5 unités du site archéologique de Rumipampa à Quito.

Sur le Tungurahua, peu de coulées de lave sont datées mais de nombreux âges  $C^{14}$  sont disponibles sur des coulées pyroclastiques permettant ainsi de décrire l'évolution récente du volcan [Le Pennec et al., 2008]. Dans ces coulées pyroclastiques, nous avons prélevé des clastes juvéniles de lave. Les résultats pour le flux pyroclastique de l'année 2006 confirment la fiabilité de l'enregistrement magnétique porté par ces clastes. Nos données confirment la diminution de l'intensité du champ géomagnétique sur la période historique, depuis des valeurs de  $39.7 \pm 3.6 \mu T$  en 1773,  $36.9 \pm 2.0 \mu T$  en 1886 et  $32.3 \pm 1.8 \mu T$  en 2006 ; cette dernière valeur est très proche de l'intensité prévue par l'IGRF ( $29.4 \mu T$ ). On observe parallèlement de fortes variations de l'inclination magnétique, en accord avec les prédictions du modèle GUFM.

Dans l'intervalle 500-1000 BP les paléointensités obtenues sur les flux pyroclastiques sont autour de  $50 \mu T$ . Ces fortes paléointensités correspondent à des directions magnétiques avec des inclinations et des déclinaisons négatives s'écartant jusqu'à près de  $30^\circ$  de la direction du champ dipolaire axial.

Les données archéomagnétiques obtenues sur le site de Rumipampa confortent les résultats obtenus sur les roches volcaniques du Tungurahua.

Les prédictions des modèles globaux Cal3k.3 et Arch3k.1 sont plus en accord avec ces nouvelles données en terme de variations directionnelles qu'en terme de paléointensité. Il apparaît également que le modèle Cal3k.3 minimise l'amplitude de la variation séculaire observée près de l'équateur. Ceci pourrait être dû à un effet de lissage induit par les enregistrements sédimentaires servant à bâtir le modèle.

## The Paleomagnetic Record Of Chi-Chi Earthquake: (Mw 7.6, 1999)

**Y-M. Chou<sup>1,2</sup>, S-R., Song<sup>1,3</sup>, C. Aubourg<sup>2</sup>, T-Q., Lee<sup>3,4</sup>, E-C., Yeh<sup>3,5</sup>**

1. *Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan R.O.C.*
2. *Géosciences & Environnement Cergy, Université de Cergy-Pontoise, Cergy, France*
3. *International Laboratory (LIA) ADEPT, CNRS-NSC, France-Taiwan*
4. *Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan R.O.C.*
5. *Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan R.O.C.*

Taiwan Chelungpu-fault Drilling Program (TCDP) provided a rare opportunity to observe modern fault rupture after the 1999 Chi-Chi earthquake (Mw 7.6). Here, we show the feasibility to have a paleomagnetic record of Chi-Chi earthquake and also provide the mechanisms of magnetic imprint.

From unaltered cores of Hole-B, the U-channel of FZB1136 (Chi-Chi fault zone at depth 1,136m), FZB1194, FZB1243 and one wall rock at depth 1,133m were sampled for paleomagnetic research.. The results show that a well-defined characteristic remanent magnetization (ChRM) and paleomagnetic component ( $D=348^\circ$ ,  $I=48^\circ$ ,  $K=140$ ,  $\alpha_{95}=2^\circ$ ) close to the modern dipole is recovered all along the ultracataclasite layer of FZB1136. By contrast, multiple paleomagnetic components, reverse and normal, are observed in the wall rock and in ultracataclasite layers FZB1194 and FZB1243. We, therefore, interpret the FZB1136 ChRM as a paleomagnetic record of the Chi-Chi earthquake.

For comprehension of magnetic carriers of the FZB 1136, several magnetic proxies (NRM thermal demagnetization, S-ratio, magnetic susceptibility) and microscopy investigations (SEM, TEM, TXM) are used. We distinguish the mm-thick principal slip zone (PSZ) at 1,136.38m from the ~20 cm former ultracataclasite. The ChRM in the PSZ resides in fine-grained magnetite ( $Fe_3O_4$ ). In the former ultracataclasite, 60% of the ChRM resides in goethite ( $\alpha-FeOOH$ ) and 40% in magnetite and pyrrhotite. Euhedral goethite is firmly identified through TEM inspection of ultra fine section of ultracataclasite (<150 nm). The presence of authigenic goethite indicates that co-seismic fluids were present in the ultracataclasite. We propose that goethite formed post-seismically on cooling of these fluids. Fluids likely promoted the earthquake nucleation and thermal pressurisation.

We propose the following scenario: 1) during Chi-Chi earthquake (co-seismic), iron-rich fluids filled the ~20cm ultracataclasite layer. Because of high temperature within the PSZ, and randomization of the initial fabric, the former magnetization is totally removed. Former magnetization in the ultracataclasite is partially removed due to the action of hot fluids 2) After Chi-Chi earthquake (post-seismic), the cooling in the PSZ triggers the record of a thermoremanent magnetization (TRM) in magnetites. In the ultracataclasite, the growth of goethite leads to a chemical remanent magnetization (CRM). Magnetite and pyrrhotite record a TRM on cooling.

The largest portion of the paleomagnetic record of Chi-Chi earthquake is thus a combination of CRM and TRM, carried by goethite and magnetite respectively, and is acquired post-seismically.

## Anomalie(s) de l' inclinaison paléomagnétique Méso-Cénozoïque en Asie: causes géomagnétiques vs. causes tectoniques.

**J.P. Cogné & J. Besse**

Nous présentons une nouvelle analyse de l' anomalie d' inclinaison paléomagnétique faible Méso-Cénozoïque en Asie, basée sur une compilation de l' ensemble des données paléomagnétiques publiées jusque fin 2008. Nous montrons que cette anomalie se décompose en 2 composantes principales: d' une part une anomalie liée à la tectonique active Cénozoïque de déformation du continent Eurasiatique sous l' effet de la collision de l' Inde, à laquelle se superpose, d' autre part, une anomalie "régionale" distribuée sur tout le continent est asiatique. Nous montrons que cette dernière n' est pas principalement due à des mécanismes d' aplatissement de l' inclinaison liés aux processus d' acquisition de l' aimantation par les sédiments, mais qu' elle est plus probablement le résultat de 2 causes distinctes, et peut-être complémentaires, (i) une persistance, sur plusieurs dizaines de millions d' années de composantes non dipolaires, et plus exactement octupolaires, dans le champ magnétique global, et/ou (ii) un ensemble de mouvements tectoniques Cénozoïques relatifs entre Europe (Eurasie de l' Ouest) et Sibérie/Chine (Eurasie de l' Est) jusqu'ici peu caractérisés. Sur la base des anomalies de paleolatitudes engendrées par ces anomalies d' inclinaison, nous discutons les 2 hypothèses.



## A complete magnetic polarity stratigraphy of the Miocene continental deposits of Mae Moh basin, northern Thailand and a reassessment of the age of Hominoid bearing localities in Northern Thailand

**Pauline Coster et Mouloud Bennami**

Université Poitiers; [mbenammi@univ-poitiers.fr](mailto:mbenammi@univ-poitiers.fr)

Northern Thailand comprises more than 40 Tertiary intermontane basins. These basins, tectonically interpreted as grabens or half grabens, have yielded hominoid fossils and rich Neogene mammal faunas. Relative ages provided by biochronological studies are controversial and neither absolute ages nor correlations with marine deposits are available. A precise temporal framework provided by magnetic-polarity stratigraphy is therefore crucial to understand the evolution of these Southeast Asian mammalian faunas, to estimate the timing and duration of basin formation, and finally to allow correlations with other Neogene hominoid localities of the Old World. A complete magnetostratigraphic study, which significantly extends previous paleomagnetic investigations, has been conducted in the Miocene sequence of Mae Moh Basin, Lampang Province, northern Thailand. Based on the biostratigraphic constraints, the 15 polarity zones recognized from the composite section have been correlated with Chrons C5ACr-C5r.3r, between 14.1 and 12.0 Ma. The present study provides a high-resolution magnetostratigraphic reference for the continental middle Miocene of all Southeast Asia. By correlation with the Miocene sequence of the nearby basin of Chiang Muan, the large-bodied hominoid (*Khoratpithecus chiangmuanensis*)-bearing levels can be precisely dated between 12.4 and 12.2 Ma.

## Changements climatiques et tectoniques pendant la collision Inde-Asie

**Guillaume Dupont-Nivet (1,3), Roderic Bosboom (1), Hemmo Abels (1), Carina Hoorn (2), Wout Krijgsman (1), Zhaojie Guo (3) and the Asian Climate and Tectonics team**

(1) Faculty of Geosciences, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands (gdn@geo.uu.nl)

(2) Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, University of Amsterdam, Kruislaan 314, 1098 SM Amsterdam, The Netherlands

(3) Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education (Peking University), Beijing, China (zjguo@pku.edu.cn)

The impact of the Indo-Asia continental collision on climate may be twofold: (1) Globally, the orogenesis increases consumption of atmospheric CO<sub>2</sub> leading to Cenozoic global cooling. This mechanism, rather than the opening of a sea passage around Antarctica, is now believed to have pre-conditioned the Eocene-Oligocene transition with the onset of Antarctic ice-sheet formation at 34.0 Ma. (2) Regionally, uplift of the Tibetan Plateau and the retreat of an epicontinental sea formerly extending over Eurasia triggers dramatic aridification and cooling of continental Asia and the onset of the Asian monsoons. To test these hypotheses, we have started building the critical paleoenvironmental information that is essentially lacking in the Paleogene period when these events are taking place. We provide evidence based on pollen analysis of significant Tibetan uplift prior to ca. 36 Ma. However, we also show that regional aridification on the Tibetan Plateau is precisely dated at the 34 Ma Eocene-Oligocene transition. Building on these results, we have tackled two essential questions: What are the cause, age and consequences of the epicontinental sea retreat? What is the precise timing of the Indo-Asia collision and how much continental shortening must be accommodated by continental deformation?

## La chaîne varisque au Carbonifère: une histoire tectonique polyphasée – Les enseignements du paléomagnétisme en zone orogénique.

**Jean-Bernard Edel**

EOST-UMR7516 Institut de Physique du Globe de Strasbourg

Cet exposé résume 30 ans d'études paléomagnétiques sur la chaîne varisque d'Europe (Massif Armoricaire, Massif Central, Maures, Corse-Sardaigne, Ardennes, Vosges, Forêt-noire, Odenwald, Spessart, Massif de Bohême, Sudetes). Dès les premiers travaux sur les formations volcano-sédimentaires dévono-dinantiennes des Vosges et du Massif Central, deux conclusions s'imposaient : 1) l'essentiel des aimantations caractéristiques mises en évidence sont des réaimantations acquises à différents stades de l'orogénèse, 2) d'amples mouvements de rotation ont eu lieu au cours du Carbonifère. Alors que dans les années 80-90 les réaimantations faisaient fuir la plupart des paléomagnéticiens ou étaient volontairement ignorées, la conjugaison de ces deux observations présentait au contraire un grand intérêt car les directions des (ré)aimantations forment des groupes bien individualisés qui permettent de suivre une évolution thermique et tectonique de près de 60 Ma.

Si on s'intéresse à une orogénie (ici varisque ou alpine) en pratiquant un paléomagnétisme conventionnel, l'étude est généralement vite terminée, faute de matériaux. Les formations permettant un test de pli sont de rares sédiments et des formations volcaniques stratifiées présentes dans quelques massifs seulement, donc insuffisants pour suivre l'évolution de toute la chaîne. L'intérêt des réaimantations est qu'on ne recherche pas seulement les tests de pli positifs, mais également des groupements de directions in situ. On peut alors compléter l'échantillonnage par des formations métamorphiques et plutoniques pour lesquelles l'attitude tectonique est généralement inconnue. C'est d'ailleurs dans ces dernières qu'on trouve généralement les aimantations les plus vieilles. L'inconvénient est qu'on ne met en évidence que des mouvements relatifs et non absolus.

Mises à part les réaimantations du Permien moyen-supérieur qui sont le plus souvent portées par l'hématite, les mêmes trois groupes de directions normales et inverses in situ apparaissent dans tous les massifs de la chaîne, où elles sont généralement portées par de la magnétite. Lorsque le test du pli est possible, il est clairement négatif. Ce sont les directions A1 (300-310 Ma), B (315-320 Ma), Cp (328-320 Ma). Elles impliquent deux phases de rotations successives de 70° (Cp-B) et 45° (B-A1) autour d'un pôle situé sur la marge sud-est de Baltica. Ces mouvements ont lieu dans un contexte de convergence entre Afrique et Baltica et d'extension NW-SE (direction actuelle) et/ou de raccourcissement NNE-SSW dans la chaîne. Les mouvements antérieurs à 328 Ma n'ont pu être détectés que dans les Vosges du Nord et le Centre Bohême. Dans les Vosges, une étude très détaillée sur des formations plutoniques à grains fins montre une rotation antihoraire de 35° du massif, suivi d'un basculement de près de 50° vers le sud-est, dans la direction d'extension mise en évidence par l'étude d'ASM sur les mêmes roches ainsi que par la sismique réflexion ECORS. Les mêmes mouvements ont affecté le Centre Bohême. Ces rotations antihoraires sont associées à d'amples cisaillement dextres NW-SE (failles de Bray, de Thuringe-Bavière, de l'Elbe) et sénestres NNE-SSW (faille du Fossé rhénan). Elles ont lieu entre 334 et 330 Ma, à une époque clé de l'orogénèse où la

subduction au Nord est bloquée et où la compression NW-SE fait place à une compression NE-SW.

Si le nord et le centre de la chaîne montrent une évolution commune après 330 Ma, dans le Sud on assiste encore à d'amples mouvements relatifs pendant la période tardi-varisque. Dans le sud du Limousin par exemple, la coexistence de réaimantations B fortement basculées et des directions B classiques indique un fort plissement du socle d'axe NW-SE vers 320-315 Ma, résultant du serrage NE-SW. Plus au Sud de la chaîne, le bloc Maures - Estérel - Corse - Sardaigne se caractérise par des directions variées dans les formations volcaniques et plutoniques d'âge 310-260 Ma, interprétées soit en terme de rotations relatives, soit de rotation globale. Dans ce dernier cas, les différentes directions représentent différents stades d'un même mouvement. Une étude toute récente permet de lever le doute car la présence de direction N90°-N110° dans des formations datées à 310-305 Ma du nord de la Corse et du nord de la Sardaigne, en accord avec les directions et âges du sud de la Sardaigne montrent qu'une rotation de près de 90° a affecté l'ensemble du bloc corso-sarde vers 300 Ma. Cette rotation est d'ailleurs compatible avec une rotation de 90° des contraintes et est à mettre en relation avec les amples cisaillements dextres qui ont affecté le sud de la chaîne vers 300 Ma.

## **Abnormal AMS fabric in lava flows: An experimental and a numerical approach.**

**G. Fanjat <sup>(1)</sup>, V. Shcherbakov <sup>(2)</sup>, P. Camps <sup>(1)</sup>, F. Barou <sup>(1)</sup>, G. Plenier <sup>(1)</sup>, and P. Rochette <sup>(3)</sup>**

(1) Géosciences Montpellier, CNRS et UM2, Montpellier, France

(2) Geophysical Observatory, Borok, Russia.

(3) CEREGE, Aix Marseille 3, France

Paleomagnetic studies of volcanic sequences come up against the difficulty to know, when those present a dip, if this one have a topographic or a tectonic origin. Does a post-emplacement tilting occur? The analyse of the anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) of the lava can bring some clues to answer this question (Henry et al, JVGR, 2003). An expected result is a normal magnetic fabric corresponding to the case where the minimum axis K3 of AMS is perpendicular to the flow plane and the maximum axis K1 is parallel to the flowing direction (Bascou et al, JVGR, 2005). Such a study has been carried out on a sequence of 19 successive lava flows at mount Rabouillères from Kerguelen Archipelago. Surprisingly, in this lava pile 70 % of the flows yielded abnormal AMS fabrics, which are either of inverse origin (a switch between K1 and K3 axes due to the presence of SD grains) or of a more complex unknown origin. The aim of the present study is to propose a physical interpretation of these abnormal fabrics. First, we carried out a comprehensive rock magnetic analysis relying on low and high-temperature thermomagnetic curves, anisotropy of remanent magnetization (AARM and ATRM), first order reversal curves (FORCs) and ore-microscopic observations. We clearly demonstrated that the abnormal fabric are due to the presence of clusters of interacting single domain grains of magnetite in interstitial glass. The distribution of these clusters seems to be directly controlled by the silicate framework. In order to compare the magnetic with the crystallographic fabric, we also performed lattice preferred orientations (LPO) of plagioclases and clinopyroxenes by means of high-resolution EBSD measurements. Best minerals able to carry information about lava flow direction are plagioclases. They show a clear LPO in agreement with the geologic flow direction, both for the normal and abnormal magnetic fabrics. Second, from these observations, we are developing a numerical model to assess the influence of such interacting grains on magnetic susceptibility. In our model, the magnetic susceptibility of a single SD grain submitted to a strong interaction field and to a small external field is calculated from a random distribution of the easy axis of magnetization over its volume. The magnetic susceptibility increases as a function of the interaction field. In case of an cluster of interacting SD grains the distribution function is no longer uniform. The susceptibility depends on anisotropy of distribution of easy axes of magnetization. This model is still in progress,

## De l'apport du paléomagnétisme en modélisation climatique

**Frédéric Fluteau**

Labo de paléomagnétisme – IGP

L'histoire du climat terrestre est encore largement méconnue. Complémentaire des données, la modélisation numérique est un outil puissant (malgré ces imperfections) pour analyser les causes et les mécanismes des changements climatiques à l'échelle des temps géologiques. A ces échelles de temps, la paléogéographie joue un rôle prépondérant. Les reconstructions paléogéographiques reposent d'abord sur des données paléomagnétiques et les données cinématiques des océans (jusqu'à 180 Ma) pour fixer la position des continents dans le passé, mais il est également nécessaire de localiser les paléorivages et prendre en compte les paléoreliefs (localisation et altitude). De la qualité de ces reconstructions et leurs inévitables incertitudes dépend notre capacité à simuler les climats passés. L'utilisation croissante de modèles climatiques couplant l'atmosphère et l'océan implique également de reconstruire la bathymétrie et en particulier les passages maritimes entre les bassins océaniques. L'évolution de la distribution continent-océan résultant de la dérive des continents et des variations du niveau marin agit de manière directe sur la circulation atmosphérique, en modifiant le chauffage continental mais également de manière indirecte en raison des nombreux mécanismes de rétroaction au sein du système climatique ou en modulant par exemple, l'altération chimique des silicates au sein du cycle du carbone. Différents exemples illustreront les effets directs et indirects à l'échelle des temps géologiques.

Les éruptions volcaniques peuvent également perturber le système climatique lorsque des aérosols sulfatés issus de la conversion chimique dans l'atmosphère du SO<sub>2</sub> se forment. Ceci a été établi dans le cas d'éruptions explosives récentes (Pinatubo, 1991) et historiques (Tambora, 1815). Mais l'impact dépend également de la séquence éruptive comme nous l'avons montré pour l'éruption du Laki en 1783 en Islande (Chenet et al., 2005). À l'échelle des temps géologiques, nous sommes confrontés à deux types d'éruptions susceptibles de perturber le climat: (1) des éruptions explosives dont l'ampleur est sans commune mesure avec les éruptions récentes, par exemple le Toba (73 ka) et (2) la mise en place de grandes provinces basaltiques (Deccan, Karoo, Sibérie,...). L'analyse de la variation séculaire enregistrée dans les traps montre que des volumes de basalte très importants (~ 10<sup>4</sup> km<sup>3</sup>) ont été émis en un siècle ou même moins (Chenet et al., 2008, 2009). L'effet radiatif induit par ces émissions volcaniques est susceptible de perturber fortement le climat. Un modèle simulant l'effet radiatif des aérosols sulfatés a été développé et implémenté dans le modèle couplé océan-atmosphère (IPSLCM4) de l'IPSL (Khodri et Fluteau, 2009 ; 2010). Après une étude de l'impact du volcanisme sur le dernier millénaire, ce modèle a été employé pour quantifier l'impact climatique des aérosols sulfatés d'une grosse éruption explosive comme le Toba (73 ka) et d'un (petit) pulse volcanique du Deccan.

## Variabilité saisonnière du transport des matières en suspension dans le bassin versant de la Seine

**Christine Franke<sup>1,\*</sup>, Selma Baatiz, Martine Audiguier<sup>1</sup>, Sophie Ayrault<sup>3</sup>, Philippe Bonté<sup>3</sup>, Olivier Evrard<sup>3</sup>, et Catherine Kissel<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Mines ParisTech, Geosciences, 35 rue St. Honoré, 77305 Fontainebleau Cedex, France.

<sup>2</sup> Ecole Nationale des Pont et Chaussées, 6-8 av. Blaise-Pascal, Cité Descartes, 77455 Champs-sur-Marne Cedex2, France.

<sup>3</sup> Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), CEA-CNRS-UVSQ / IPSL, Campus du CNRS, Bâtiment 12, Avenue de la Terrasse, 91198 Gif-sur-Yvette Cedex, France

Ce travail est une application innovatrice des techniques physico-chimiques à l'étude des sédiments fluviaux. L'objectif est de suivre les changements des matières en suspension le long du bassin versant de la Seine. Le projet est de chercher à discriminer les apports naturels et anthropiques et leurs changements temporels en relation avec les conditions météorologiques et les saisons. On détermine d'abord la distribution régionale des matières en suspension, puis on y recherche des traceurs environnementaux en focalisant sur la reconnaissance des particules lourdes et/ou magnétiques. Ceci pour remonter, d'une part aux mécanismes liés au transport fluvial, aux différentes sources d'apport et leur distribution régionale, et d'autre part aux altérations in situ, en particulier celles liées aux conditions géochimiques de l'eau et des sédiments de fond (pH, oxygène dissout, Eh, etc.). Pour parvenir à cela, nous avons combiné les techniques d'étude du magnétisme des roches (hystérésis magnétique, en collaboration au LSCE) et de la microscopie électronique à balayage (MEB). Cette approche interdisciplinaire affine et élargit les analyses des échantillons prélevés lors du travail de thèse de Laure Tessier (2003, LSCE) en mettant en œuvre une méthode récemment publiée par Franke et al. (2009). Les résultats préliminaires montrent une augmentation générale de la concentration des éléments magnétiques dans les échantillons prélevés en hivers par rapport à ceux des mêmes stations en été. Cette augmentation semble plus liée à un changement qualitatif des phases qu'à une augmentation de la concentration des phases, avec transformation des oxydes de fer vers des formes réduites, en particulier la magnétite. Chaque section du réseau fluvial de la Seine montre une signature spécifique des matières en suspension, dépendant des intrants régionaux, en particulier la couverture pédologique et les sources de pollution potentielles. Néanmoins, une analyse systématique et détaillée des composés magnétiques des matières en suspension permet de mettre en lumière l'influence respective des apports naturels et anthropiques et les effets du climat sur l'assemblage des particules métalliques et leur transfert dans le bassin versant de la Seine.

Franke, C., Kissel, C., Robin, E., Bonté, P., and Lagroix, F., 2009. Magnetic particle characterization in the Seine river system: Implications for the determination of natural versus anthropogenic input, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 10, Q08Z05, doi:10.1029/2009GC002544.

**Succession des sulfures de fer dans les sédiments de la Mer Noir**  
**Christine Franke<sup>1</sup> \*, Eric Robin<sup>2</sup>, Susann Henkel<sup>3</sup>, Alexandra Courtin-Nomade<sup>4</sup>,**  
**and Ulrich Bleil<sup>5</sup>**

*1 Ecole des Mines de Paris, Centre des Géosciences, 35 rue St. Honoré, 77305 Fontainebleau Cedex, France. (christine.franke@mines-paristech.fr)*

*2 Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), CEA-CNRS-UVSQ / IPSL, Campus du CNRS, Bâtiment 12, Avenue de la Terrasse, 91198 Gif-sur-Yvette Cedex, France*

*3 Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Research, Marine Geochemistry, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven, Germany*

*4 Laboratoire Groupement de Recherche Eau Sol Environnement (GRESE), Université de Limoges, FST, 123, avenue A. Thomas, 87060 Limoges Cedex, France*

*5 University of Bremen, Department of Geosciences, Klagenfurter Strasse, 28359 Bremen, Germany*

Cette étude représente une approche multidisciplinaire de la géochimie et du magnétisme environnemental. C'est l'application des techniques de minéralogie magnétique pour mieux comprendre (appréhender) les processus physico-chimiques des milieux anoxiques pendant le dépôt et la diagenèse précoce. Ces techniques ont été appliquées à une carotte des sédiments récents de la Mer Noire, carotte GC 214, récupérée à 1686 m de profondeur à l'ouest de la presque île de Crimée en 2007 pendant la mission en mer M72/1 du RV Meteor.

Les analyses géochimiques des eaux interstitielles et de la phase solide indiquent une évolution des dépôts en fonction de leur profondeur, donc éventuellement liée à l'enfouissement. Il y a appauvrissement en oxygène de la colonne d'eau, oxydation anaérobie du méthane (AOM) et réduction micro-biotique du sulfate lié à l'AOM. Ces processus conduisent au développement d'un assemblage complexe de sulfures de fer. Les mesures détaillées de la susceptibilité et de la rémanence magnétique indiquent un profil stratifié, avec des assemblages minéralogiques différenciés aux limites souvent nettes. Des analyses supplémentaires en magnétisme environnemental, comme les cycles d'hystérésis magnétiques montrent des valeurs élevées de la coercivité dans ces horizons. Ceci suggère la présence de la greigite (Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub>), ferrimagnétique et métastable, comme la phase majeure porteuse du signal magnétique.

Des analyses chimiques, analyses spectrales EDS attachées à un microscope électronique à balayage (MEB), ont été effectuées sur des particules séparées par magnétisme et densité. La classification chimique automatisée (ACC) de ces analyses a permis l'identification et la quantification des phases ferreuses présentes (greigite, Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub> ; pyrrhotite Fe<sub>7</sub>S<sub>4</sub> ; pyrite FeS<sub>2</sub> ; et monosulfures FeS), en relation avec la profondeur des dépôts.

L'analyse statistique des classifications chimiques (ACC) a permis de calculer des bilans matière entre les différentes phases de sulfures présents. Il est ainsi apparu une nette corrélation entre la teneur des différents sulfures de fer et la signal magnétique. Cette relation, ouvre la possibilité de relier la concentration absolue en particules avec le signal magnétique. De plus, des analyses  $\mu$ -DRX au synchrotron sur sections polies a permis de suivre en détail les chemins réactionnels de la formation des sulfures de fer de long du profil d'enfouissement. Ces résultats ont conduit à développer un modèle conceptuel des successions paragenétiques dans ce (paléo)environnement géochimique particulier.



## Stabilité des surfaces continentales et évolution géodynamique des socles Paléozoïques : - Exemple pour la reconstruction de la paléosurface triasique

**Christine Franke<sup>1</sup>, Médard Thiry<sup>1</sup>, Maria Jelenska<sup>2</sup>, Magda Kadzialko-Hofmokl<sup>2</sup>, France Lagroix<sup>3</sup>, David Parcerisa<sup>4</sup>, Adam Szuszkiewicz<sup>5</sup>, Krzysztof Turniak<sup>5</sup>, et Kouakou Yao<sup>1</sup>**

(1) Mines ParisTech, Géosciences, Fontainebleau, France. christine.franke@mines-paristech.fr

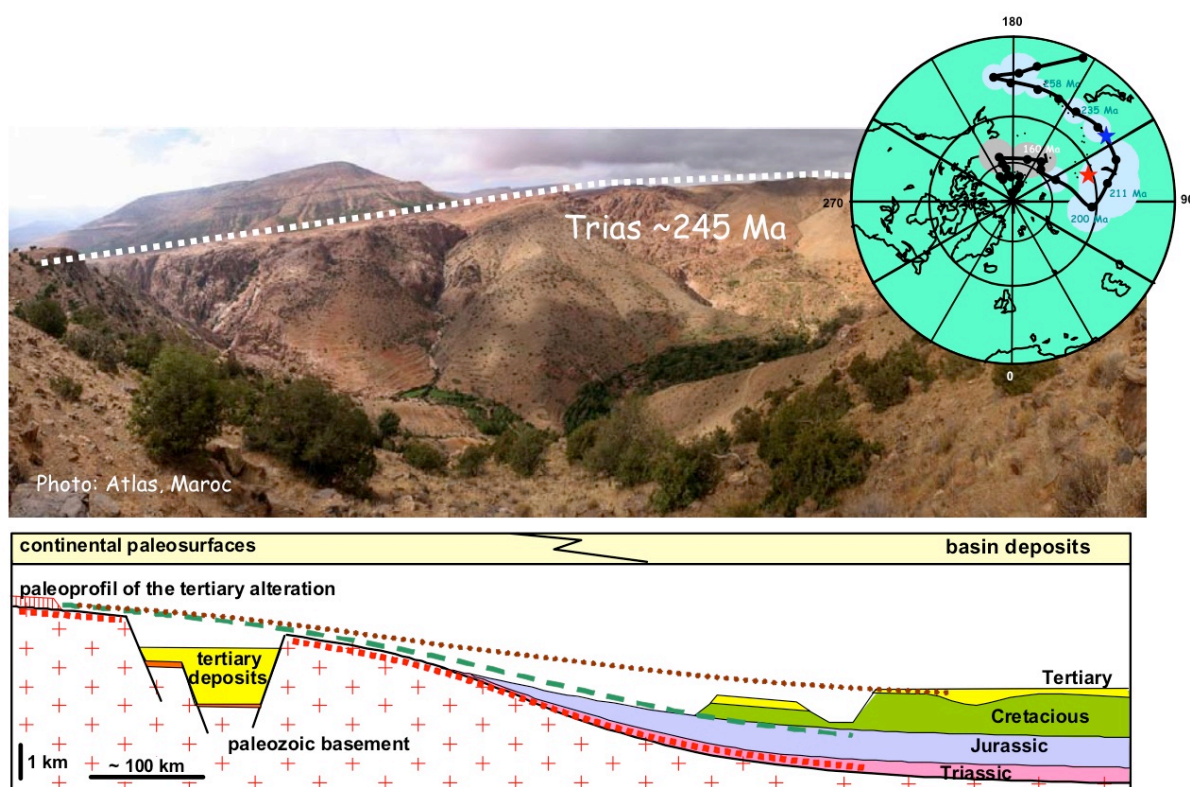
(2) Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland.

(3) Institut de Physique du Globe de Paris, Paléomagnétisme, Paris, France.

(4) Universidad Polytechnica de Catalunya, Dpt. d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals, Manresa, Spain.

(5) University of Wrocław, Institute of Geological Sciences, Wrocław, Poland.

La reconstruction des paléosurfaces constitue un outil unique pour accéder à l'évolution des anciens continents. Les paléosurfaces contribuent à l'étude des changements globaux par les paléoaltérations qui leurs sont liées et elles jalonnent la géodynamique des massifs cristallins dépourvus de dépôts sédimentaires. Jusqu'à récemment, la difficulté majeure de leur étude résidait dans leur datation. Cette présentation est centrée sur les socles cristallins du Paléozoïque européens. Ces socles montrent souvent des re-aimantations d'âge permo-triasique. Par ailleurs, il avait été montré que des albitisations du socle étaient liées à la paléosurface triasique du Massif Central. Nous avons entrepris la datation de ces albitisations à l'échelle européenne dans le double but de : (1) renforcer les arguments concernant l'origine supergène de ces albitisation, (2) démontrer l'ubiquité de ces albitisations dans les massifs cristallins européens. Des coupes ont été échantillonnées dans les granites et les porphyres albitisés des Sudètes (SW de la Pologne) et de la cordillère catalane (NE Espagne). Les datations paléomagnétiques confirment l'âge triasique de ces faciès albitisés. Seront également présentés la pétrographie et la minéralogie de ces albitisations, ainsi que le contexte paléogéographique et géochimique avancé pour leur formation. La reconnaissance de la paléosurface triasique fournit des jalons spatio-temporels pour l'ablation de ces massifs depuis de Trias et des contraintes pour la modélisation géodynamique de l'évolution des massifs paléozoïques européens et les bassins adjacents.



## Fréquence des inversions magnétiques ou fréquence des superchrons durant le Précambrien

**Yves Gallet<sup>1</sup>, Vladimir Pavlov<sup>2</sup>, Magali Ader<sup>1</sup>, Galen Halverson<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>IPGP, <sup>2</sup>IPG Moscou, Russie, <sup>3</sup>Univ. McGill, Canada  
(Oral)*

Les données paléomagnétiques permettant de décrire la géométrie et l'évolution du champ géomagnétique durant le Précambrien sont encore très peu nombreuses. Pour cette raison, nous effectuons des investigations magnétostratigraphiques sur des coupes sédimentaires en Sibérie et en Oural datées entre ~1050 et ~800 Ma. Celles-ci permettent d'établir une séquence exceptionnelle comptant près d'une centaine d'inversions géomagnétiques. Les directions de polarités normale et inverse sont antipodales et montrent clairement que la propriété d'asymétrie du champ géomagnétique durant le Précambrien proposée par différents auteurs -ce qui pourrait le cas échéant refléter une plus grand part de champ non-dipolaire- n'est pas valide, au moins pour la période concernée. Nous mettons également en évidence des transitions brutales dans le processus qui génère les inversions géomagnétiques, des périodes de fréquence élevée des inversions géomagnétiques avoisinant de longs intervalles de temps de polarité constante dont un est sans doute un nouveau superchron.

Ce travail sera poursuivi ces deux prochaines années (projet INSU 2010), avec de nouvelles coupes échantillonnées en Sibérie et une collaboration plus étroite avec les modélisateurs du champ magnétique et de l'histoire thermique de la Terre.

Archéomagnétisme en Syrie :  
Evolution du champ géomagnétique et chronologie archéologique

**Yves Gallet<sup>1</sup>, Agnès Genevey<sup>2</sup>, Maxime Le Goff<sup>1</sup>, M. al Maqdissi<sup>3</sup>, P. Butterlin<sup>4</sup>**

*<sup>1</sup>IPGP, <sup>2</sup>C2RMF, <sup>3</sup>Direction Générale des Antiquités et des Musées –DGAM-, Syrie, <sup>4</sup>Univ. Versailles-St Quentin*

Nous avons établi de nombreuses collaborations avec des archéologues travaillant en Syrie. Ces collaborations nous offrent la possibilité d'échantillonner presque chaque année de nouveaux fragments de céramiques ou de briques, dont l'analyse permet de construire progressivement la courbe détaillée des variations de l'intensité du champ magnétique au Moyen-Orient au travers des huit derniers millénaires. Au delà de l'intérêt de détailler le comportement du champ magnétique durant l'Holocène, nous cherchons à tester notre hypothèse d'une relation entre la variation séculaire du champ magnétique, avec notamment l'apparition des jerks archéomagnétique et le climat à une échelle de temps pluri-décennale. Par ailleurs, l'amélioration de la courbe de référence des variations de l'intensité géomagnétique au Moyen-Orient nous permet désormais de tester des chronologies archéologiques, avec par exemple l'identification de phases de reconstruction dans le Grand Palais Royal de Mari datant du début du second millénaire avant J-C.

## Variations de l'intensité du champ magnétique terrestre en Europe de l'Ouest au cours des derniers 800 ans : Applications en géomagnétisme et en archéologie

**Agnès Genevey <sup>a</sup>, Yves Gallet <sup>b</sup>, Jean Rosen <sup>c</sup> et Maxime Le Goff <sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, UMR CNRS 171, Palais du Louvre, Porte des Lions, 14 quai F. Mitterrand, 75001 Paris, France*

<sup>b</sup> *Equipe de Paléomagnétisme, Institut de Physique du Globe de Paris, UMR CNRS 7154, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France*

<sup>c</sup> *UMR CNRS 5594, ARTeHIS, Faculté des Sciences, 6 Bd Gabriel, 21000 Dijon, France*

Depuis plusieurs années, nous avons focalisé nos études d'archéointensité en Europe de l'Ouest sur la période [1200 -1850] qui précède les premières mesures directes en intensité. L'objectif de cette étude était de tester notre capacité à retracer des variations rapides (à l'échelle de quelques dizaines d'années) de l'intensité avec une question sous-jacente qui est celle de la fiabilité et de la précision des données d'intensité et des enjeux qui sont ceux de l'utilisation et de l'interprétation de ces variations rapides par le géomagnétisme et pour la datation d'objets archéologiques. Le dernier millénaire est très favorable pour mener à bien cette étude en raison d'une part des nombreuses possibilités d'échantillonnage et d'autre part grâce aux datations précises des lots accessibles pour nos mesures. Nous avons ainsi analysé en intensité plus de 40 lots de fragments de carreaux et de céramiques échantillonnés en France et en Belgique et précisément datés, parfois à quelques années près, entre 1200 et 1850. Des comparaisons entre méthodes d'analyse, des tests de cohérence à l'échelle du fragment, du lot et entre lots de même âge ont été effectués pour s'assurer de la fiabilité de ces données. Nos résultats mettent en évidence des variations cohérentes et rapides de l'intensité au cours des derniers 800 ans marquées par deux maxima observés vers la fin du XIV<sup>ème</sup> et du XVI<sup>ème</sup> siècle. Ceux datés après 1600 nous permettent également de discuter des différents modèles proposés jusqu'à présent pour l'évolution de la partie dipolaire du champ entre 1590 et 1840. Finalement, un premier exemple de datation basée sur cette courbe de variations des intensités géomagnétiques en Europe de l'ouest nous permettra de discuter de son potentiel comme outil de datation en archéologie.

## Archéomagnétisme au premier millénaire av. J.-C. en France: contribution à l'étalonnage des variations du champ géomagnétique à des fins de datation

**Gw. Hervé (1,2)\*, A. Chauvin (2), Ph. Lanos (1)**

(1) CRPAA-IRAMAT, UMR 5060 CNRS – Université de Bordeaux, Maison de l'Archéologie, Pessac, France

(2) Géosciences-Rennes, UMR 6118 CNRS – Université de Rennes 1, Rennes, France

\* Doctorant financé par une allocation ministérielle Bordeaux 3.

Depuis les travaux précurseurs d'Emile Thellier, de nombreuses contributions ont permis d'améliorer notre connaissance des variations du champ géomagnétique en France. Les courbes d'étalonnage couvrent désormais les deux derniers millénaires pour l'intensité (Gomez-Paccard et al., 2008) et les trois derniers pour la direction (Gallet et al., 2002). Cependant, la datation archéomagnétique des structures de combustion ne reste applicable avec une précision suffisante qu'aux deux derniers millénaires. La base de données de référence ne comporte encore qu'une vingtaine de directions pour le premier millénaire avant J.-C. Il est en effet plus difficile de trouver pour cette période des structures de combustion, à la fois suffisamment cuites et bien datées. Dans cette étude, nous présentons 25 nouveaux points de référence pour la direction et 8 pour l'intensité. Les fours et foyers étudiés, situés sur l'ensemble du territoire français, proviennent de fouilles préventives ou de fouilles programmées comme à Bibracte (Nièvre), Lattes (Hérault) et Vix (Côte d'Or). La datation de ces structures est assurée par le mobilier archéologique et si possible par d'autres méthodes chronométriques (radiocarbone, dendrochronologie). Entre 15 et 20 prélèvements sont en général effectués suivant la méthode du chapeau de plâtre. Au laboratoire, les prélèvements ont été découpés en cubes de 1.8 cm de côté, après induration quasi-systématique au silicate de sodium. La direction d'aimantation thermorémanente (ATR) est obtenue par désaimantations thermique et/ou par champ alternatif. Sur l'ensemble des structures, l'anisotropie de l'ATR a été testée et si besoin, une correction a été appliquée. Un bon regroupement des directions d'aimantation est généralement obtenu avec des  $\alpha_{95}$  compris entre 0.8° et 2.5°. Les archéointensités ont été obtenues par le protocole de Thellier-Thellier avec application des corrections d'anisotropie et de vitesse de refroidissement. Ces résultats de direction et d'intensité permettent d'améliorer significativement la résolution des courbes de référence pour le premier millénaire avant J.-C. Ils confirment les fortes variations du champ magnétique terrestre, principalement en déclinaison et en intensité au cours de cette période.

Gallet, Y., Genevey, A. et Le Goff, M., 2002, Three millenia of directionnal variation of the Earth's magnetic field in western Europe, as revealed by archaeological artefacts, *Physics of the Earth and planetary interiors*, 131, p.81-89

Gomez-Paccard M., Chauvin, A., Lanos, Ph., Thiriot J., 2008 New archeointensity data from Spain and the geomagnetic dipole moment in Western Europe over the past 2000 years, *Journal of Geophysical Research*, 113, B09103, doi:10.1029/2008JB005582

## Anisotropy of physical properties in discrete samples from the Taiwan Chelungpu Fault Drilling Project (TCDP)

**F. Humbert<sup>1</sup>, L. Louis<sup>1</sup> and P. Robion<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Géosciences et Environnement Cergy (GEC), Université de Cergy-Pontoise (UCP), France*

The Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project (TCDP) was initiated in 2002 in order to locate the slip zone and investigate the faulting mechanism of the Mw 7.6 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake. We collected samples at various locations in order to analyze the effect of long term deformation and fault activity on the rocks cm-scale physical properties and microstructures. We were particularly interested on the influence of lithologies in response to long term tectonic stress, and on the potential impact of highly localized deformations on background anisotropies and microstructures. We measured in all samples the anisotropy of magnetic susceptibility (AMS), the anisotropy of anhysteretic remanent magnetization (AARM), the magnetic mineralogy, the anisotropy of P-wave velocity (APV) perpendicular to the bedding strike and the anisotropy of shear-wave polarization (ASP) parallel to the depth direction. We first investigate the contrasting source of APV and ASP in siltstone and sandstone, the two end-member lithologies encountered. In particular, the anisotropy in sandstone arises from a vertical set of intragranular cracks with normal parallel to the strike of the bedding (~N15). The in-situ formation of these microcracks network is confirmed by the AARM data, as remanent magnetic minerals (magnetite) appear to mimic their preferred orientation. In a second study, we took a closer look at samples retrieved in the vicinity of the faults. Based on APV, magnetic mineralogy determination and microstructural observations, we are able to single out samples from the footwall of Fault Zone B1136. Whereas same data in all the other samples suggest that the organization of the microstructure is only controlled by sedimentary processes and horizontal shortening under remotely applied stresses.

**KEYWORDS:** Chelungpu Fault; Continental drilling; Magnetic susceptibility; Acoustic velocity; Anisotropy.

## Diversité des populations bactériennes magnétotactiques en eau douce

**Aude Isambert<sup>1</sup>, François Guyot<sup>1</sup>, Nicolas Menguy<sup>2</sup>, Jean-Pierre Valet<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>IPGP, <sup>2</sup>IMPMC

Les bactéries magnétotactiques (BMT) synthétisent des magnétosomes, constitués de cristaux de magnétite ou de greigite entourés d'une membrane biologique. Ces cristaux, assemblés sous forme de chaînes, agissent comme l'aiguille d'une boussole et permettent aux cellules de s'orienter dans le champ magnétique terrestre à la recherche de conditions favorables à leur développement. Les magnétosomes fossiles pourraient ainsi contribuer significativement aux propriétés magnétiques des sédiments et des sols. La taille, la morphologie, les caractéristiques cristallographiques, chimiques et magnétiques de ces cristaux et enfin leur organisation sous forme de chaînes peuvent d'ailleurs être considérées comme des biomarqueurs potentiels révélateurs de traces de vie au sein d'environnements terrestres et extraterrestres. Une population naturelle de BMTs provenant de la Seine est en cours d'étude. A l'heure actuelle, 17 morphotypes différents ont été reconnus sur des critères morphologiques uniquement (nombre de cristaux de magnétites, distribution statistique de taille et de forme, organisation au sein des cellules, taille et forme des cellules bactériennes...). Un défi majeur aujourd'hui est d'augmenter la concentration des BMTs vivantes extraites de milieux naturels en vue (1) de les trier par souche bactérienne afin d'étudier leur signature magnétique particulière (2) de déterminer la diversité des espèces présentes sur le terrain au moyen de techniques d'analyses ADN, (3) et enfin de réaliser leur mise en culture afin d'accroître la quantité de magnétites disponibles pour nos expériences futures.

## Neoformation of magnetic minerals in claystones during early burial (<3 km)

**Myriam Kars**

*Géosciences & Environnement Cergy. Université Cergy Pontoise*

Many geological processes lead to mineralogical transformations, and in particular transformation which involves iron. As a result, new magnetization in rocks, called CRM (Chemical Remanent Magnetization), has been observed in many different geological settings, including burial. CRM is carried by new formed grains that passed their blocking volume, typically few tens of nanometer. During burial, the new grains formed during elevation of temperature carry a CRM. In order to investigate this process, we undertook an experimental study aiming at reproducing burial transformation by heating reference samples of claystones at 70°C and 90°C for a few days.

Claystone fragments (~1-2 g), enclosed in confined little flask were placed in an oven and heated. During the experiment, the Earth's magnetic field is removed and an upward magnetic field of 2 mT is applied. We measured repeatedly the resulting remanent magnetization recorded in the rock at room temperature. The net remanence is a combination of a CRM carried by grains above the blocking volume, and a thermo viscous magnetization (TVRM) carried by ultrafine grains. At the end of the experiment, samples are thermally demagnetized from 100°C to 600°C to identify the minerals responsible for the measured CRM.

For all experiments, we observed that the remanence of the samples increases rapidly until it reaches a stationary plateau at which no subsequent change occurs for days. This suggests that production of magnetic minerals is very fast at geological time.

When heating claystones at 70°C for 10 days, the CRM is carried by goethite and by magnetite. When heating claystones successively at 70°C for 25 days and at 90°C by 29 days, we observe that the stationary plateau remanence is higher at 90°C than that at 70°C. At the end of the experiment, the resulting CRM resides in an iron sulfide, probably pyrrhotite, and fine grained magnetite.

The results of this preliminary study indicate that rapid neoformation of minute amounts of goethite, pyrrhotite and magnetite occurs successively with increasing temperature. Measurements performed on natural samples from the basin of Paris support our experimental data.



Application du magnétisme à l'étude de la dynamique rapide (centennale à millénaire) des masses d'eaux océaniques. Exemple de la dernière période glaciaire.

**C. Kissel pour l'équipe ChronoMag du LSCE.**

Une synthèse des résultats obtenus au LSCE sur les sédiments marins de l'Atlantique nord et de l'océan Indien et déposés pendant la dernière période glaciaire sera présentée afin de montrer le potentiel de ces études pour reconstituer les changements passés de la dynamique océanique.

Les résultats sont obtenus sur des sédiments déposés rapidement, avec des taux de l'ordre de 20 à 40 cm/1000 ans. Ils sont basés sur une utilisation couplée des propriétés magnétiques des sédiments en tant que traceurs de la circulation océanique profonde et du signal de champ magnétique à haute résolution pour une stratigraphie commune. Les variations sub-orbitales (centennales à millénaires) seront examinées ainsi que les déphasages voire opposition de phase spatio-temporels entre les événements reconnus dans ces archives sédimentaires. Une comparaison avec les signaux climatiques obtenus dans les carottes de glace sera également montrée et discutée.

Ces études génèrent un certain nombre de questions scientifiques qui seront présentées avec les projets mis en place ou en prévision.

## Application du magnétisme à l'étude de dépôts de loess

**France Lagroix**

*IPGP*

Les dépôts de loess du Pléistocène, incluant ses sols intercalés, recouvrent principalement les surfaces continentales à moyenne latitude de l'Asie, de l'Europe et de l'Amérique du Nord. Les géoscientifiques, de diverses disciplines ont su saisir l'opportunité présentée par les dépôts de loess pour approfondir notre connaissance du climat ancien vu par les continents. Paléomagnéticiens et magnéticiens des minéraux ont déjà contribué de façon significative mais principalement à travers les séquences loessiques du plateau de Chine. L'échelle de temps fut contrainte par la séquence des inversions de polarité géomagnétique et des particules ferrimagnétiques de petite taille (environ 30 nanomètres) identifiées comme la source des maxima en susceptibilité magnétiques observés uniquement dans les sols. Des modèles semi-quantitatifs reliant la susceptibilité magnétique aux précipitations annuelles sont proposés mais ceux-ci concernent des étendues géographiques restreintes à une échelle locale voir régionale. Par le biais de séquences de loess en Alaska et en Europe, nous allons explorer les connexions entre le loess et ses sols associés, le magnétisme et le climat.

## Datations archéomagnétiques et modélisation chronologique

**Philippe Lanos et Philippe Dufresne**

CNRS, UMR 5060 « Institut de Recherche sur les Archéomatériaux »  
Centre de Recherche en Physique Appliquée à l'archéologie, Université Bordeaux 3  
et UMR 6118 Géosciences-Rennes, Université Rennes 1  
[Philippe.Lanos@Univ-Rennes1.fr](mailto:Philippe.Lanos@Univ-Rennes1.fr)

L'approche statistique bayésienne permet de calculer les dates calendaires de structures archéologiques d'argile cuite (fours, terres cuites architecturales, céramiques) à partir de mesures archéomagnétiques univariées (inclinaison, déclinaison ou intensité), directionnelles (inclinaison et déclinaison) ou encore vectorielles (avec les trois paramètres simultanément).

Le logiciel *RenDateModel*, développé à Rennes, permet de calculer et de présenter les datations selon une approche identique à celle utilisée pour la calibration des âges radiocarboniques, ce qui assure une standardisation de la présentation des résultats au moins pour ces deux méthodes. De plus, nous généralisons la notion de densité prédictive de la mesure qui, dans le cas de l'archéomagnétisme, permet de déterminer un degré de crédibilité sur la datation.

Plus largement, l'outil *RenDateModel* permet de combiner un ensemble de résultats de datation issus de différentes méthodes de datation avec des informations de chronologie relative (contraintes stratigraphiques) et avec des informations chrono-typologiques. Nous illustrons ce type d'analyse chronologique avec l'exemple de l'Atelier de potier gallo-romain de Contours à Saint-Pargoire (Hérault) qui a fait l'objet d'une fouille programmée extensive en 2004, sous la direction de S. Mauné, R. Bourgaut et A. Chartrain. Un très riche ensemble de fours, dont en particulier cinq unités empilées en succession stratigraphique, a permis la mise en œuvre de plusieurs approches chronologiques : archéomagnétisme, radiocarbone, chrono-typologie et stratigraphie. Nous montrons au travers de cet exemple précis comment il est possible de construire un scénario chronologique en tenant compte de l'ensemble des informations chronologiques disponibles. Les incertitudes intervenant à tous les stades de l'analyse chronologique globale sont prises en compte grâce à la formulation bayésienne. L'objectif final est d'obtenir des distributions de date *a posteriori*, permettant d'estimer des intervalles de date de plus forte densité de probabilité (*HPD interval*), à un niveau de probabilité fixé (95%), pour la dernière utilisation des différents fours du site.

## Magnétostratigraphie du bassin d'avant pays du Tien Shan Nord, section de Taxi He, Chine

**ChuanXin Li (1), Guillaume Dupont-Nivet (1,2) , and Zhaojie Guo (1)**

(1) Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education (Peking University), Beijing, China (zjguo@pku.edu.cn)

(2) Faculty of Geosciences, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands (gdn@geo.uu.nl)

The Tian Shan range formed in the late Cenozoic in response to the northward propagation of deformation related to the India-Eurasia continental collision. Precise timing of the Tian Shan uplift is required to understand possible mechanisms of continental lithosphere deformation and interactions between climate, tectonism and erosion. Here, we provide magnetostratigraphic age control on the northern Chinese Tian Shan foreland successions. A thorough rock magnetic analysis identifies hematite and magnetite bearing alluvial deposits in the upper portion of the sampled stratigraphy as more reliable paleomagnetic recorders than magnetite bearing fluvial and lacustrine deposits that are often magnetized in the lower part of the record. As a result, a robust correlation to the geomagnetic polarity time scale is obtained from 6 Ma to 2 Ma while a tentative correlation is proposed from 6 to 16 Ma. Sediment accumulation rates increase from 155 to 260 m/Myr at 3.9±0.4 Ma. This change coincides with a gradual lithologic transition from fluvial (sandstone dominated) to alluvial (conglomerate dominated). This change is so drastic that it more likely corresponds to an approaching erosional source associated to tectonically increased subsidence rather than differential compaction alone. Clear evidences for growth strata starting at an estimated age of ca. 2 Ma provide a minimum age for the folding. These results are compared to previous magnetostratigraphic studies from the same and other section of the northern Tian Shan foreland deposits. This enables critical assessment of the reliability of magnetostratigraphic dating and the significance of sediment accumulation rate variations with respect to facies variations and growth strata. Our results in the Taxi He section provide a sequence of events that is consistent with enhanced tectonic forcing starting at ~4 Ma although a climatic contribution must be considered given the close relationship of these ages with the Pliocene climate deterioration.

## Reconstruction de la séquence éruptive du Lesotho (Trapps du Karoo).

**Maud Moulin<sup>1</sup>, Frédéric Fluteau<sup>1</sup>, Vincent Courtillot<sup>1</sup> et Xavier Quidelleur<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>IPGP, <sup>2</sup>Univ. Orsay*

Bien que la mise en évidence d'une corrélation temporelle entre la mise en place des grandes provinces ignées et les extinctions en masse, suggère une relation de cause à effet entre ces deux grands types d'événements, cette dernière reste mal comprise. On peut se demander, en particulier, pour quelles raisons des trapps apparemment identiques pourraient être liés à des extinctions d'intensités variables.

Il a été montré que de nombreux facteurs, directement liés ou non aux éruptions volcaniques, pouvaient jouer un rôle clé sur les conséquences destructives de la mise en place des trapps. L'un d'entre eux, sur lequel nous avons choisi de nous concentrer, consiste à avoir une bonne connaissance de la manière (durée et volume) dont se mettent en place les coulées de lave.

Pour cela, nous avons tenté de reconstruire la séquence éruptive du Lesotho, l'une des plus volumineuses des trapps du Karoo. Ces derniers ne peuvent cependant être associés qu'à une extinction mineure, proche de la limite Pliensbachien-Toarcien.

La reconstruction de l'histoire éruptive des trapps nécessite d'avoir accès au nombre, aux volumes et à la durée de chacun des épisodes volcaniques. Nous avons essayé d'atteindre ce but en employant une approche multi-techniques déjà utilisée avec succès dans le cadre de l'étude des trapps du Deccan (Chenet et al., 2009). Elle consiste à combiner des analyses géochronologiques (K-Ar), paléomagnétiques (variation séculaire) et volcanologiques. Les niveaux d'altération entre coulées sont également pris en compte pour tenter d'estimer la durée des épisodes. Nous avons échantillonné trois séquences volcaniques au sein des parties nord (Moteng Pass et Oxbow) et sud (Naude's Nek) de la séquence éruptive du Lesotho.

Notre étude géochronologique a fourni des résultats identiques à ceux de Jourdan et al. (2007), permettant de mettre en évidence que la majeure partie des laves du Lesotho s'est mise en place en un temps relativement court, autour de 180 Ma (Toarcien inférieur). Mais la méthode ne permet pas d'estimer l'âge absolu ni la durée à mieux que 1 ou 2 millions d'années près. Le volcanisme aurait pu débiter quelques millions d'années plus tôt dans le Pliensbachien supérieur.

A une échelle de temps plus restreinte, la magnétostratigraphie de haute résolution obtenue pour chaque coupe échantillonnée, nous permet de montrer que chacune d'entre elles s'est construite en une succession de « pulses » volcaniques. Sur la base des observations archéomagnétiques de la vitesse de la variation séculaire, on estime que chacun d'entre eux s'est mis en place en un temps relativement court, inférieur au siècle. Nous tentons actuellement de corréliser ces pulses aux extrémités nord et sud de la province du Lesotho afin de reconstruire la séquence éruptive complète et d'obtenir une estimation des volumes de lave associés.

## **Système Embarqué d'Orientation et de Positionnement dédié aux Sciences de la Terre.**

**Thierry Poidras**

*Géosciences Montpellier*

La communauté scientifique exprime le besoin d'orienter (3D) et de positionner (2D) de façon précise l'objet de ses études sur le terrain pendant les missions d'échantillonnage ou de repérage. Le système de mesure présenté est portable, précis, rapide et simple d'utilisation.

L'outil d'orientation est associé à un ordinateur équipé d'un GPS et d'un logiciel de traitement des données couplé à un SIG (Système d'Information Géographique). L'utilisateur effectue la mesure en quelques secondes, repère son objet sur la carte du site d'étude et y ajoute ses commentaires et documents géoréférencés.

## Le champ magnétique terrestre et la dérive des plaques continentales au Précambrien

**Charles Poitou, Jean Besse et Jean-Pierre Valet**

*IPGP*

De la formation de la Terre (4.5 milliards d'années) à l'explosion de la vie (540 millions d'années), le Précambrien couvre la majeure partie de l'histoire de notre planète. Paradoxalement, c'est l'ère géologique pour laquelle nous avons le plus d'incertitudes. Les scénarii d'évolution du système Terre sont essentiellement établis à partir d'hypothèses difficilement démontrables expérimentalement. De plus, les traces fossiles de ces époques reculées ont été effacées par l'érosion ou recyclées lors de la subduction des plaques tectoniques. De surcroît, le métamorphisme et l'altération hydrothermale des roches produisent une image floue de l'histoire géologique primitive. Ainsi, les données paléomagnétiques sur cette période sont peu nombreuses et ceci tient à la difficulté de retrouver une aimantation d'origine dans des roches ayant eu une histoire longue et complexe. Un des objectifs principaux de ce travail de thèse était d'acquérir de nouvelles données de paléodirections et de paléointensités tout en s'assurant de la bonne conservation du signal magnétique original. Les résultats obtenus sur trois zones d'études (une en Australie sur le craton de Pilbara et deux en Inde sur les cratons de Bundelkhand et de Dharwar) ont permis de montrer que le paléomagnétisme du Précambrien, et plus particulièrement de l'Archéen et du Protérozoïque ancien va rester certainement une ascèse assez longue. Néanmoins, les observations du champ qui sont faites en terme d'inversions et de paléointensités montrent un champ vigoureux, qui présente de nombreuses similitudes avec le champ magnétique récent. Suivant cette hypothèse et l'analyse des données paléomagnétiques, les applications paléotectoniques ne nous ont jamais amenés à retrouver des vitesses de dérives des plaques de l'ordre du mètre par an mais plutôt des vitesses plus similaires à celles de dérives des plaques actuelles.

## Peut-on déterminer des paléointensités sur des roches pyroclastiques ?

**Pierrick Roperch et Annick Chauvin**

Pour l'étude de la variation séculaire du champ géomagnétique, les données paléomagnétiques sur roches volcaniques proviennent essentiellement des coulées de laves. Peu d'études ont été réalisées sur des roches pyroclastiques (Genevey et al., 2002 ; Lanza et Zanella, 2003) et les études de paléointensité sont encore plus rares (Paterson et al., 2010). Nous avons travaillé sur deux types de roches pyroclastiques : des ignimbrites massives qui se mettent en place à des températures très élevées et des coulées pyroclastiques à blocs et clastes dont la température de mise en place est plus basse.

Les ignimbrites enregistrent fidèlement la direction du champ magnétique et sont souvent utilisées dans les études de paléomagnétisme appliqué à la géodynamique. Nous avons réalisé une étude détaillée de l'ignimbrite à clastes lithiques de l'aéroport d'Arequipa (Pérou), datée à  $1,63 \pm 0,07$  Ma (Paquereau et al., 2008). Cette ignimbrite présente des variations importantes de minéralogie magnétique et un niveau d'oxydation élevé. L'étude de l'aimantation des clastes lithiques dont la minéralogie et l'histoire thermique sont différentes de celle de la matrice permet de mieux contrôler la nature de l'aimantation portée par cette roche. Aussi, nous avons comparé les paléointensités obtenues sur les échantillons de roche totale et les clastes. Il s'avère qu'elles sont similaires (avec une moyenne de  $51,0 \pm 7,1$   $\mu$ T), et ce pour des minéralogies magnétiques variées (Titanomagnétite, Titanohématite). Ces observations suggèrent que l'aimantation rémanente portée par l'ignimbrite étudiée est une aimantation thermorémanente et que par conséquent ces roches pourraient, dans des cas similaires, être utilisées pour des déterminations de paléointensité.

Si les éruptions d'ignimbrites massives et volumineuses sont des événements volcaniques assez rares, les flux pyroclastiques à cendres, blocs et clastes sont plus fréquents. Ils incorporent souvent des charbons de bois calcinés permettant des datations  $C^{14}$  et peuvent constituer des matériaux intéressants pour l'étude de la variation séculaire récente. Nous avons échantillonné quelques coulées pyroclastiques des volcans Andins (Tungurahua en Equateur, Villarica et Mocho-Choshuenco au Chili). L'échantillonnage a été effectué uniquement sur des clastes de laves juvéniles à la différence de Paterson et al. (2010) qui ont travaillé sur des clastes lithiques. Les premiers résultats acquis indiquent que ces clastes portent une aimantation thermorémanente, fidèle au vecteur champ magnétique.

*Genevey, A., Y. Gallet and G. Boudon (2002) Secular variation study from non-welded pyroclastic deposits from Montagne Pelée volcano, Martinique (West Indies), Earth and Planetary Science Letters, 201, 369-382*

*Lanza, R., and E. Zanella (2003), Paleomagnetic secular variation at Vulcano (Aeolian Islands) during the last 135 kyr, Earth Planet. Sci. Lett., 213, 321 – 336, doi:10.1016/S0012-821X(03)00326-1.*

*Paquereau-Lebti P, Fornari M, Roperch P, Thouret J-C, Macedo O, (2008). Paleomagnetism, magnetic fabric, and  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  dating of Pliocene and Quaternary ignimbrites in the Arequipa area, southern Peru. Bull Volc, 70: 977-997.*

*Paterson, G. A., A. R. Muxworthy, A. P. Roberts, and C. Mac Niocaill (2010), Assessment of the usefulness of lithic clasts from pyroclastic deposits for paleointensity determination, J. Geophys. Res., 115, B03104, doi:10.1029/2009JB006475.*



## Sur l'intérêt de combiner données d'ASM et d'aimantations rémanentes pour mieux contraindre l'évolution tectonique des régions déformées : quelques exemples dans la chaîne andine.

**Pierrick Roperch<sup>1</sup>, Cesar Arriagada<sup>2</sup>, Annick Chauvin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> IRD, LMTG & Géosciences Rennes, campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France

<sup>2</sup> INGEMMET, Av. Canada 1470, San Borja, Lima 41 & UNSAAC, Cuzco, Peru

<sup>3</sup> UMR 6118, Géosciences Rennes, 35042 Rennes Cedex, France.

Les travaux précédents dans les Sierras Pampeanas (Aubry et al., 1996), dans la Puna (Coutand et al., 1999) et l'Altiplano (Roperch et al., 2000), montrent que les sédiments enregistrent une anisotropie de la susceptibilité magnétique (l'ASM) liée à la compression andine. Des résultats plus récents de la région de Puna et dans les Andes du sud du Pérou confirment l'intérêt de réaliser des études communes de l'anisotropie de la susceptibilité magnétique et des aimantations rémanentes caractéristiques pour comprendre l'évolution tectonique des régions déformées.

La compaction et la contrainte tectonique sont les deux facteurs principaux contrôlant les ellipsoïdes triaxiaux bien définis de l'ASM dans ces couches rouges continentales. La contrainte tectonique est généralement enregistrée au début de la déformation. Quand les sédiments ne sont pas fortement déformés, la linéation magnétique se comporte apparemment comme un marqueur passif enregistrant des rotations tectoniques autour d'axes verticaux mais aussi horizontaux. Une linéation magnétique non-horizontale en coordonnées in situ suggère un plissement non-cylindrique et/ou l'interférence de deux phases de déformation compressive et de rotation tectonique. La linéation magnétique est souvent un bon marqueur pour détecter une histoire complexe de plissement si la dernière phase de déformation n'est pas suffisamment importante pour modifier la fabrique magnétique initiale.

## Rotations tectoniques le long de la zone de transfert d'Abancay (Andes du sud du Pérou).

**Pierrick Roperch**<sup>1</sup>, **Victor Carlotto**<sup>2</sup>, **Gilles Ruffet**<sup>3a,b</sup>, **Michel Fornari**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> IRD, LMTG & Géosciences Rennes, campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France

<sup>2</sup> INGEMMET, Av. Canada 1470, San Borja, Lima 41 & UNSAAC, Cuzco, Peru

<sup>3a</sup> CNRS (CNRS/INSU) UMR 6118, Géosciences Rennes, 35042 Rennes Cedex, France.

<sup>3b</sup> Université de Rennes 1, Géosciences Rennes, 35042 Rennes Cedex, France

<sup>4</sup> Géosciences Azur, Parc Valrose, Université de Nice-Sophia Antipolis, Nice

Nous présentons de nouveaux résultats paléomagnétiques de 72 sites sur 94 sites prélevés dans quatre blocs différents le long d'un transect entre Nazca et Cuzco où les structures générales des Andes péruviennes sont fortement déviées et forment la déflexion d'Abancay. À l'est de Nazca, 22 sites ont été prélevés dans des roches volcaniques avec des nouvelles datations <sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar indiquant un volcanisme actif pendant le Miocène inférieur sur le bord occidental de la Cordillère occidentale. Aucune rotation significative ( $-2.3^{\circ} \pm 7.7^{\circ}$ ) n'est enregistrée dans cette région de la Cordillère occidentale depuis le début du Miocène.

A environ 100km plus à l'est en Cordillère occidentale, nous avons prélevé deux blocs structuraux limités par des failles importantes. Dans le bloc de Chalhuanca entre les villes de Chalhuanca et Abancay, une rotation antihoraire de  $65.0^{\circ} \pm 11.1^{\circ}$  est enregistrée dans des couches rouges continentales du Paléocène-Eocène et les sédiments réaimantés au contact des dykes appartenant au complexe intrusif magmatique d'Andahuaylas-Yauri de l'Eocène tardif. Dans le même bloc, les calcaires d'âge Crétacé terminal enregistrent la même rotation. La rotation diminue vers l'est en allant vers Cusco. Le bloc d'Anta, à l'est du bloc de Chalhuanca, enregistre une rotation antihoraire de  $35.6^{\circ} \pm 12.8^{\circ}$ . Au sud de Cuzco, les résultats paléomagnétiques dans le bassin des couches rouges de l'Eocène ne montrent pas de rotation tectonique significative ( $-4.5^{\circ} \pm 8.4^{\circ}$ ). La très forte rotation antihoraire du bloc de Chalhuanca au sud de la déflexion d'Abancay suggère des décrochements sénestres majeurs entre l'Eocène supérieur et le Miocène inférieur le long du système de failles d'Abancay. Ces décrochements facilitent la déformation oroclinale enregistrée par l'avant-arc [Roperch et autres, 2006].

*Roperch et al. (2006) Tectonics, 25, TC3010, doi:10.1029/2005TC001882.*

Magnétostratigraphie de la formation a hominidés de Hadar (Ledi-Geraru, Ethiopie), evidence régionale de changements environnementaux ca. 3.2 Ma

**Mark Sier (1), Guillaume Dupont-Nivet (1), Christopher J. Campisano (2), Ramon Arrowsmith (3), Erin DiMaggio (3), Kaye Reed (2), Charles Lockwood (3), Christine Franke (4), Silja Hüsing (1)**

(1) Utrecht University; Faculty of Geosciences; Paleomagnetic Laboratory - "Fort Hoofddijk"; Budapestlaan 17; 3584 CD Utrecht; The Netherlands

(2) Arizona State University; Institute of Human Origins; School of Human Evolution and social Change, PO Box 874101; Tempe, AZ 85287-4101; USA

(3) Arizona State University, School of Earth and Space Exploration, Tempe, AZ 85287-1404; USA

(4) Department of Anthropology, University College London, Gower Street, London WC1E 6BT, United Kingdom

(5) Ecole des Mines de Paris, Centre des Geosciences, 35 rue St. Honore, 77305 Fontainebleau, France

To date and characterize depositional environments of the hominin-bearing Hadar Formation, magnetostratigraphy was applied to Pliocene lacustrine sediments from the eastern part of the Hadar Basin (Ledi-Geraru research area). Characteristic geochemistry and lithologic features of three tuffaceous horizons at the bottom, middle and top of the stratigraphy are recognized as the Sidi Hakoma Tuff (SHT), Triple Tuff-4 (TT-4) and the Kada Hadar Tuff (KHT), respectively, previously dated by  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  in other part of the basin. Demagnetizations and rock magnetic analysis of paleomagnetic samples collected at regular  $\sim 50$  cm intervals on a total stratigraphic thickness of  $\sim 230$  meters between the SHT and the KHT enable us to isolate paleomagnetic directions from a primary detrital remanent magnetization mostly carried by (titano-)magnetites basaltic in origin. These results indicate two paleomagnetic reversals bracketing a reversed polarity interval identified as the Mammoth event (chron 2An.2r). The average paleomagnetic direction, consistent with existing paleomagnetic data, indicates a post-3 Ma counterclockwise vertical-axis tectonic rotation ( $\sim 5\text{-}10^\circ$ ) of the Hadar Basin and pervasive shallowing of paleomagnetic inclination ( $\sim 5\text{-}10^\circ$ ) related to sedimentation and compaction. Ages of tuffaceous layers and of paleomagnetic reversals show excellent consistency between  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  dating and the most up to date astronomically tuned polarity time scale. Linear interpolations indicate constant sediment accumulation rates ( $\sim 90$  cm/kyr) throughout the section, except for the uppermost part which shows a threefold increase between the top of the Mammoth 2An.2r chron and the KHT. Along with existing chronostratigraphic results from the Hadar Basin, we show that the steady-state deposition, taking place in an eastward tilting basin since  $\sim 3.4$  Ma, was regionally disrupted ca. 3.2 Ma by a relatively short-lived but significant change in environmental conditions. This disruption may have resulted in evolutionary changes previously documented in *Australopithecus afarensis*.

## Recent paleomagnetic rotations and in the Fars Arc Province (Zagros, Southern Iran) and tectonic implications

**B. Smith<sup>1</sup>, C. Aubourg<sup>2</sup>, A. Eshraghi<sup>3</sup>**

(1) *Université de Montpellier 2, CNRS-INSU, Géosciences Montpellier, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier, France*

(2) *Université Cergy Pontoise, CNRS-INSU. Laboratoire de Tectonique. 5, mail Gay Lussac. Neuville-sur-Oise. 95031 Cergy. France.*

(3) *Geological Survey of Iran, Azadi Sq., Meraj Blvd., Tehran, Iran*

A paleomagnetic study, including magnetic fabric analysis and paleo-direction determination, has been conducted in the vicinity of the dextral strike-slip system of the Kazerun fault which marks the western boundary of the Fars Arc in the Eastern Zagros. The purpose was to provide a quantitative assessment of the amount and timing of the vertical axis rotations associated with the activity of this transfer fault system, but also at the scale of the whole Fars area. In an integrating approach, we then compared our paleomagnetic results with those provided by tectonics, seismology and geodesy, in order to better understand the kinematics of the Fars Arc at different geographical and time scales.

24 sites (370 cores) have been sampled in both limbs of several folds, so that a fold test could be performed. The rocks sampled are Paleocene carbonates in four folds and Mio-Pliocene siltstones and marly limestones in the six others. Rockmagnetic investigations point to ubiquitous presence of magnetite as magnetic recorder, with a minor amount of either magnetic sulfide in reduced environment or hematite in red beds.

Secondary magnetizations are common and often large but a ChRM, mostly of reversed polarity, could be determined in most samples at all the sites. Based on the fold test analysis, the magnetization is found to be ante-tectonic in six folds, syntectonic in one and post-tectonic in the three others. The amount of rotation of the ante-tectonic magnetization is moderate ( $\leq 25^\circ$ ) and is always smaller for secondary magnetization. These results are in agreement with the polyphase nature of the Upper Cenozoic deformation in Zagros and emphasize its present day activity.

Our results demonstrate that the rotations are dominantly clockwise at the regional scale in the vicinity of the dextral segments of the Kazerun or Kareh Bas faults, but are locally anticlockwise in the bended thrust terminations of these faults. This is particularly well documented in the Mand anticline and suggests that a blind segment of the Kazerun fault is presently propagating southward, below this presently growing fold. At the scale of the Fars Arc, our results confirm previous paleomagnetic results and assumptions according to which rotations would be respectively clockwise in the west and anticlockwise in the east. They support a late amplification of the Fars Arc curvature as a result of South-westward propagation of the Zagros deformation front and emphasize the fundamental role of transfer fault played by the KZF system.

Potentiel magnétique de la couverture sédimentaire méso-cénozoïque des arcs de Nice-Castellane, résultats paléomagnétiques et d'ASM préliminaires.

**Lionel Sonnette<sup>1</sup>, Jean-François Stéphan<sup>1</sup>, Jacques Angelier<sup>1†</sup>, Pierre Rochette<sup>2</sup> et Jérôme Gattacceca<sup>2</sup>**

1. Geoazur, Observatoire de la Côte d'Azur, France.

2. Cerege, Aix en Provence, France.

e-mails : [sonnette@geoazur.obs-vlfr.fr](mailto:sonnette@geoazur.obs-vlfr.fr)

Les formations sédimentaires méso-cénozoïques dans les régions de Nice et Castellane présentent des structures arquées très prononcées. Dans ces deux arcs du nord-ouest au sud-est on passe de structures orientées N-S à des structures E-W. Le dôme du Barrôt et le massif de l'Argentera-Mercantour délimitent la bordure Nord de notre secteur d'investigation à savoir la branche orientale de l'arc de Castellane et l'arc de Nice. A notre connaissance aucune étude du magnétisme des roches n'a été réalisée dans les formations sédimentaires méso-cénozoïques de cette région. Seules les pélites rouges permienes du massif de l'Estérel, du dôme de Barrôt, de la vallée de la Tinée et de la Roya ont attirés l'attention de la communauté scientifique pour d'une part valider l'usage de l'ASM comme marqueur de la déformation; et d'autre part pour tenter d'expliquer l'orientation structurale insolite du dôme de Barrôt et du massif de l'Argentera, respectivement E-O et NO-SE, par rapport aux massifs cristallins externes plus au nord (Pelvoux, Belledonne et Mont-Blanc).

Nous avons échantillonné 1.597 échantillons sur 53 sites dans l'ensemble de la série sédimentaire dans les marnes noires callovo-rauraciennes du Jurassique; les marnes noires à glauconie néocomiennes du Crétacé inférieur; les marnes cénomaniennes du Crétacé supérieur; les marnes bleues priaboniennes de l'Eocène et les niveaux argileux des grès d'Annot d'âge Oligocène. Sur chacun des sites nous avons réalisé une étude des fabriques magnétiques et paléomagnétique. Malgré la très faible concentration générale en grains ferromagnétiques, nous obtenons des fabriques tectoniques de type II-III dominées par les minéraux paramagnétiques et proposent des directions de raccourcissement N-S dans la branche orientale de l'arc de Castellane et NNO-SSE à NE-SO dans l'arc de Nice. Quant aux résultats paléomagnétique, l'analyse des diagrammes de Zijderveld permet d'envisager l'existence de rotations dans cette region.

## Modélisation bayésienne des variations du champ archéomagnétique en Europe durant les deux derniers millénaires

**Erwan Thébault<sup>1</sup> (IPGP), Javier Pavon-Carrasco<sup>2</sup> et Yves Gallet<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>IPGP, <sup>2</sup>Univ. Complutense de Madrid*

De nombreuses études archéomagnétiques récentes ont permis d'enrichir considérablement la base des données de direction et d'intensité du champ magnétique en Europe. Comparée à d'autres régions du monde, l'Europe dispose ainsi d'un échantillonnage temporel et d'une densité spatiale des données archéomagnétiques inégalés sur une période couvrant les deux derniers millénaires. Une modélisation à l'échelle européenne permettrait en principe de représenter ces données en espace-temps à haute résolution et de réaliser des modèles prédictifs en n'importe quel point de l'Europe dans l'intervalle de temps couvert par les données. Un tel modèle pourrait être ultérieurement utilisé comme un outil de datation archéologique, en particulier dans les régions européennes où les données sont encore peu nombreuses. Nous avons donc représenté les données par une méthode potentielle héritée des harmoniques sur calotte sphérique en traitant le problème inverse par une approche Bayésienne. Cette approche nous permet de calculer les coefficients du modèle et leur densité de probabilité sans ajout d'information /a priori/ parfois trop drastique. Nous sommes ainsi en mesure de mieux tester la robustesse de certaines variations apparentes du champ magnétique terrestre, de discuter la cohérence des erreurs sur les données de la base des données européennes et, finalement, de conclure sur la capacité des données à contraindre spatialement et à haute résolution un modèle régional.

## Couplage "paléomagnétisme - géochimie des cosmonucléides" dans les sédiments marins : test de l'hypothèse d'un forçage orbital de la géodynamo : le projet "ANR – MAGORB.

**Nicolas THOUVENY, Didier BOURLES, Lucie MENABREAZ (CEREGE)**

**Jean Pierre VALET (IPGP), Eva MORENO (MHNP), Frank BASSINOT (LSCE)**

La détection de périodes orbitales dans le spectre paléomagnétique, comme l'occurrence des baisses d'intensité du champ liées à des excursions et/ou inversions dans des contextes paléoclimatiques particuliers (Thouveny et al., EPSL 2008) semblent supporter l'hypothèse, émise voici presque un siècle, d'un effet de la précession astronomique, donc potentiellement de son angle d'ouverture (obliquité), sur la dynamique des fluides du noyau. Cependant, la précision et la fiabilité des séries temporelles étudiées sont actuellement insuffisantes pour valider cette hypothèse. Le Projet MAGORB, financé par l'ANR Blanc de 2010 à 2013, qui associe le CEREGE, l'IPGP et le LSCE, va associer des données de paléodirection et de paléointensité du champ dérivées de l'aimantation rémanente des sédiments océaniques, avec les variations de la concentration normalisée de Béryllium 10 dans ces mêmes sédiments. Le Be-10, nucléide cosmogénique voit sa production, modulée par la protection magnétosphérique, donc soumise aux variations du champ dipolaire et notamment à son effondrement (perte de 90% du moment du dipôle) lors des excursions et des inversions.

Au cours des derniers 780 mille ans (époque normale BRUNHES), les nombreuses « crises d'asthénie » associées à des excursions du champ semblent être intervenues dans un contexte paléoclimatique/orbital particulier. Nous avons donc sélectionné des carottes sédimentaires couvrant le (les 2) dernier(s) Ma, dans la zone équatoriale (modulation optimale du bombardement cosmique), et sur différentes bandes de longitudes (contrôle de la redistribution du Be-10 par la circulation océanique). Les sites ont été choisis sur les marges continentales caractérisées par de taux de sédimentation de 5 à 10 cm/ka. Les séries temporelles paléoclimatiques (delta O-18), géochimiques et paléomagnétiques seront donc obtenues sur les mêmes carottes sédimentaires afin d'étudier les relations de phase sur une base stratigraphique, avant transfert sur l'échelle de temps. La reconstitution de la variation d'intensité du champ doit être réalisée par des paramètres méthodologiquement indépendants. Trois types d'analyses seront pratiqués sur les mêmes carottes: 1) variations de paléodirection et de paléointensité relative par normalisation de l'intensité d'aimantation rémanente naturelle (K, ARA, ARI, et DRM en champ contrôlé. 2) Le Be adsorbé sur la fraction minérale (Be authigénique) est extrait par lixiviation et mesuré par spectrométrie de masse par accélérateur (ASTER) (Be-10) et par spectrophotométrie d'absorption (Be-9). Le rapport d'isotopes Be-10/Be-9 permettra de reconstituer les variations de production du Be-10 modulées par le moment géomagnétique. La normalisation de la concentration en Be-10 sera aussi réalisée avec le Th-230 en excès (Th-230xs) du même échantillon. 3) La mesure par spectrométrie de masse des isotopes stables de l'oxygène des tests de foraminifères fournira les profils delta O-18, marqueurs des variations de volume de glace global.

Les conséquences d'un contrôle de la géodynamo par les paramètres orbitaux dépassent le cadre de la simple connaissance du fonctionnement de la Terre Interne et des interactions interne-externe. En effet, il s'avère que depuis la dernière excursion

(LASCHAMP) accompagnée d'une diminution drastique du moment dipolaire, se sont écoulés 41 mille ans, soit une période complète de l'obliquité. La chute du moment dipolaire, historiquement et actuellement mesurée, s'opère avec un taux comparable à ceux qui ont précédé les inversions ou les excursions. La terminaison de notre interglaciaire, astronomiquement déterminée pour les prochains millénaires, pourrait donc être accompagnée, comme pour les précédents interglaciaires, d'un effondrement du champ, lui aussi astronomiquement déterminé (minimum d'obliquité). Si cela est validé, l'humanité devra envisager pour les prochains siècles ou millénaires, une adaptation à un environnement géophysique dénué de l'efficace protection géomagnétique contre les bombardements cosmiques et leurs conséquences mutagènes ou léthales.



## L'archéomagnétisme appliqué aux fours culinaires du haut Moyen Age : 10 ans d'activité dans le cadre de l'archéologie préventive

**Nicolas Warmé<sup>1</sup>, Aurélia Alligri<sup>1</sup>, Yves Gallet<sup>2</sup>, Maxime Le Goff<sup>2</sup> et Agnès Genevey<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>INRAP, <sup>2</sup>IPGP, <sup>3</sup>C2RMF*

La multiplication des fouilles préventives sur de grandes surfaces en Ile-de-France a permis l'essor de l'archéomagnétisme utilisé ici comme outil de datation auprès de la communauté des archéologues. Si cette méthode de datation s'adresse à des structures de combustion d'usage et de contexte variés, un lien particulier s'est développé avec les fours culinaires du haut Moyen Age, structures fréquemment rencontrées et souvent en nombre dans les habitats ruraux en contexte limoneux. De nombreuses questions ont été soulevées, notamment sur le statut du four culinaire au sein de l'habitat (four à usage privé au sein d'unités familiales ou bien collectif), sa répartition (liens avec l'habitat, présence ou non d'aires spécifiques) et son évolution ; de façon plus large, il constitue un élément clef dans la compréhension de la structuration de l'habitat et de son évolution. Les fours domestiques sont le plus souvent mal datés archéologiquement du fait de l'absence de mobilier, mais l'utilisation de l'archéomagnétisme a permis d'apporter des éléments de réponse. Ainsi, au cours de ces 10 dernières années, plus de 200 fours culinaires ont fait l'objet d'analyses archéomagnétiques. Les résultats archéomagnétiques confrontés aux données archéologiques ont permis, outre d'obtenir des datations ponctuelles, d'apporter une aide précieuse à la compréhension globale de l'organisation et de l'évolution temporelle de l'habitat. Des études menées sur de grands ensembles de fours montrent que, loin d'être une structure stéréotypée, le four culinaire participe non seulement à des schémas d'organisation et d'évolution très différents d'un site à l'autre, mais il est aussi un marqueur privilégié des changements de l'habitat lui-même.

Aridification de l'Asie liée à la première étape de la transition Éocène-Oligocène dans les enregistrements continentaux dominés par l'obliquité  
(Bassin de Xining, Chine)

**Guoqiao Xiao (1), Hemmo A. Abels (2), Zhengquan Yao (1), Guillaume Dupont-Nivet (2), Frederik J. Hilgen (2)**

(1) State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xian, China,

(2) Faculty of Geosciences, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands (gdn@geo.uu.nl)

At the boundary between the Eocene and Oligocene epochs, approximately 34 million years ago (Ma), the Earth experienced a significant change from a greenhouse world to an icehouse world. The present understanding of the triggering mechanisms, processes and environmental effects of this climatic event is mostly based upon ocean sediment records and climatic modeling results. Terrestrial records of the critical interval are rare and, where available, often poorly constrained in time. Here, we present a continuous continental record (Tashan section) from the Xining basin at the northeastern edge of Tibetan Plateau, covering the period between ~35 to 33 Ma. Lithology supplemented with high-resolution magnetic susceptibility (MS), median grain size (MGS) and color reflectance ( $a^*$ ) records show clear Late Eocene basic cyclicity of ~3.5 m in length. Our detailed magnetostratigraphic age model indicates that this cycle was most likely forced by the 41-kyr obliquity cycle driving drier and wetter periods in northern hemisphere Asian interior climates already 1 million year before the Eocene-Oligocene Climate Transition (EOCT). Detailed comparison of the E/O boundary interval in the Tashan section with marine records show that the most pronounced lithofacies change in the Xining Basin corresponds to the first of two widely recognized steps in oxygen isotopes making up the EOCT. This first step is reported to precede the major and second step (base of the Oi-1 phase) by around 0.2 to 0.3 Myr and has recently been suggested to be mainly related to atmospheric cooling rather than ice volume growth.