

LILLE, les 20 et 21 novembre 1998

RÉUNION SPÉCIALISÉE
ASF-SGF

Argiles :
SÉDIMENTOLOGIE,
DIAGENÈSE,
ENVIRONNEMENT

LIVRE DES RÉSUMÉS



RÉUNION SPÉCIALISÉE

**Association des Sédimentologues Français
Société Géologique de France**

**ARGILES :
SÉDIMENTOLOGIE,
DIAGENÈSE,
ENVIRONNEMENT**

Organisateur : Jean-François DECONINCK

Lille, les 20 et 21 novembre 1998



AVANT-PROPOS

Jean-françois DECONINCK

Tous les deux ans, une réunion spécialisée est organisée conjointement par l'Association des Sédimentologues Français et la Société Géologique de France. A l'occasion de la réunion spécialisée « ARGILES » de novembre 1998, le Groupe Français des Argiles s'est joint à l'organisation, afin de fédérer des scientifiques, géologues, sédimentologues, pédologues, minéralogistes, cristallographes, ... travaillant sur les mêmes objets mais avec des approches méthodologiques et des objectifs fondamentaux et appliqués parfois très éloignés. Aux aspects sédimentation et diagenèse désormais classiques, les organisateurs ont souhaité adjoindre l'environnement, non pas par mode, mais pour sensibiliser la communauté au fait que les argiles constitue un élément essentiel d'un nombre croissant de problèmes liés à l'environnement : sols pollués, stockage de déchets de nature et aux propriétés diverses, transport de polluants organiques et inorganiques, ... au point qu'il est difficile d'identifier des problèmes environnementaux dans lesquels les argiles ne soient pas impliquées de près ou de loin. La solution de ces problèmes passe souvent par une approche à différentes échelles qui nécessitent la confrontation de chercheurs de disciplines diverses. Espérons que cette réunion favorise de tels échanges.

Remerciements

L'organisation de cette Réunion Spécialisée « Argiles : sédimentologie, diagenèse, environnement » a été rendue possible grâce au soutien :

de l'Université des Sciences et Technologies de Lille
du Conseil Régional de la région Nord/Pas-de-Calais
de l'ANDRA
de la Société Géologique de France
du Groupe Français des Argiles

Le Comité d'organisation remercie ici tous ces organismes ainsi que tous ceux qui ont contribué au succès de cette manifestation.



PROGRAMME

Vendredi 20 novembre

08h30 - 09h30 : ACCUEIL DES PARTICIPANTS (Bâtiment de la MACC)

09h30 - 10h00 : MOTS DE BIENVENUE

SESSION : SÉDIMENTATION ARGILEUSE MARINE, PALÉOCLIMATS, PALÉOCIRCULATIONS

10h00 - 10h30 : **Conférence** de Alain FOUCAULT et Frédéric MELIERES
Cycles climatiques orbitaux : principes, applications et enregistrement par les argiles.

- 10h30 : FAGEL N., PREDA M., ROBERT C. et THOREZ J. - Les smectites, traceurs des changements du climat et des circulations océaniques profondes en Atlantique Nord subarctique depuis 20000 ans. p. 45
- 10h45 : BALBON E., BLAMART D., DECONINCK J.-F. LABEYRIE L. et ROBIN E. - Caractérisation sédimentologique de la variabilité climatique rapide à partir de l'étude de la carotte IMAGES MD 95-2009 (Océan Atlantique Nord). p. 3
- 11h00 : ROBERT C. et WERTH F. - Sédimentation argileuse et climats du Quaternaire récent : exemple du bassin côtier de Santa Barbara, Californie, site ODP 893. p. 87

Pause café

- 11h30 : COLIN C., TURPIN L., KISSEL C., BERTAUX J. et DESPRAIRIES A. - Sédimentologie et géochimie des sédiments des deux derniers cycles climatiques du Golfe du Bengale et de la Mer d'Andaman : mémoire de l'érosion de l'Himalaya. p. 21
- 11h45 : PLETSCH T., BOTZ R., HISADA K.I., KAJIWARA Y. et WRAY D. - Oceanographic controls on the authigenesis of palygorskite in lower Eocene deep-sea clays from the eastern equatorial atlantic (ODP Leg 159). p. 79
- 12h00 : ROBERT C., DIESTER-HASS L., MERDADI O. et CHAMLEY H. - Climats et circulations périantarctiques à l'Eocène supérieur - Oligocène : contribution des indicateurs biogènes et terrigènes. p. 85
- 12h15 : THIRY M. et DUPUIS C. - Enregistrements climatiques dans les argiles marines : le point de vue du continent. p. 93

Pause Déjeuner, reprise à 14h15

SESSION : ÉVOLUTIONS DIAGÉNÉTIQUES

14h15 - 14h45 : **Conférence de Norbert CLAUER**

- Contribution de la géochimie isotopique à la connaissance du mécanisme de l'illitisation au cours de la diagenèse - Apport à l'étude de l'évolution de bassins sédimentaires. p. 19
- 14h45 : LIEWIG N., ZWINGMANN H., TOURNIER B., LEDESERT B. et CLAUER N. - Restitution du contexte structural des grès triasiques du Fossé Rhéna par la datation K-Ar des illites. p. 61
- 15h00 : DUPLAY J., MARTINEZ L. et LIEWIG N. - Diagenèse des argiles et de la matière organique dans les forages de Balazuc et Morte Mérie (Ardèche, programme GPF) : Apport de la microscopie analytique et du pouvoir réflecteur de la vitrinite. p. 37
- 15h15 : DAOUDI L., DECONINCK J.-F. et PORTUGAL FERREIRA M. - Mise en évidence de l'influence thermique et hydrothermale de la coulée basaltique du Trias sur les argiles du bassin d'Argana (Haut-Atlas occidental, Maroc). p. 23
- 15h30 : BARTIER D., BUATIER M., POTDEVIN J.L. et AROSTEGUI J. - Nature et évolution d'un système diagénétique, relation argiles- carbonates, exemple du Crétacé inférieur basco-cantabrique (Nord de l'Espagne). p. 5

Pause café et session posters

- 16h30 : OUDJEDI L. - Influence de la diagenèse des chlorites sur les propriétés réservoirs. Exemple du Dévonien inférieur du bassin de Gourrara. p. 69
- 16h45 : PENON S., TREMBLAY P., JACQUIN T. et STEINBERG M. - Diagenèse et chloritisation: estimation des teneurs en chlorite dans des grès par mesure de la réflectance diffuse p. 61
- 17h00 : KERDJIDJ M.K. et BENRABAH B. - Le découpage de la série triasique du bassin de Oued Mya (Sahara central, Algérie) : utilisation des rayons X et de la géochimie de la fraction argileuse. Exemples : le Trias argilo-gréseux des champs de Haoud Berkaoui et de Hassi R'Mel. p. 53

SESSION : EXPÉRIMENTATION/ CARACTÉRISATION DES MINÉRAUX ARGILEUX

- 17h15 : FIALIPS C. I., PETIT S., GRAUBY O., ROBERT J.L., BEAUFORT D. et DECARREAU A. - Etude expérimentale des conditions de formation des minéraux du groupe des kaolins. p. 47
- 17h30 : PIRONON J. PELLETIER M. et de DONATO P. - Caractérisation de la série smectite-illite par spectroscopie FT-IR de l'ammonium adsorbé. p. 77
- 17h45 : PIRONON J. et MOSSER-RUCK R. - Détermination du potentiel azote des bassins pétroliers par l'étude expérimentale des argiles ammoniées. p. 75
- 18h00 : DIAZ M. et PROST R. - Spectre infrarouge lointain du K des minéraux interstratifiés illite-smectite. p. 33

18h15 - 19h15 : ASSEMBLÉE GÉNÉRALE de l'ASF

19h15 : Cocktail

Samedi 21 novembre

SESSION : ORIGINE ET SIGNIFICATION DES ARGILES DANS LES SÉRIES SÉDIMENTAIRES

- 08h30 : MANALT F., BECK C. et DECONINCK J.-F. - Utilisation des minéraux argileux comme marqueurs de sources terrigéniques et d'évolution de bassin versant. Cas du remplissage sédimentaire du lac d'Annecy. p. 63
- 08h45 : CHAPRON E., DECONINCK J.-F., DESMET M., BECK C., POURCHET M., AVERBUCH O., PEYAUD J.B et RECOURT P. - Mise en évidence pour le dernier millénaire d'un signal paléoclimatique à haute résolution par l'utilisation des minéraux argileux ; analyse d'une sédimentation lacustre profonde aux confins Alpes occidentales/Jura. p. 17
- 09h00 : LAIGNEL B., QUESNEL F. et MEYER R. - Origine du cortège argileux des formations résiduelles à silex à l'Ouest du bassin de Paris. p. 57
- 09h15 : BEJI SASSI A., SAAFI A. et SASSI S. - Signification de la palygorskite dans les sédiments tertiaires en Tunisie centrale et méridionale. p. 7
- 09h30 : BUROLLET P.F. et KÜBLER B. - Minéralogie de la formation continentale Segui (Miocène supérieur et Pliocène) en Tunisie. p. 13
- 09h45 : PELLENARD P., DECONINCK J.-F., MARCHAND D., THIERRY J. et VIGNERON G. - Minéralogie des argiles des sédiments du Callovien moyen à l'Oxfordien moyen du forage ANDRA HTM 102 (Est du bassin de Paris) : contrôle eustatique et influence volcanique. p. 67
- 10h00 : PREAT A., CHAMLEY H., DECONINCK J.-F., MANSY J.-L. et HAN G. - La sédimentation argileuse paléozoïque dans les bassins de Dinant et d'Avesnes (Belgique, France) : relations avec la tectonique varisque. p. 81

Pause café et session posters

SESSION : ALTÉRATIONS/PÉDOGENÈSE/REMPLISSAGE KARSTIQUE

- 10h45 : DE PUTTER T., BERNARD A., DUPUIS C., NICAISE D. et PERRUCHOT A. Les caprices de l'aluminium... ou les paragenèses alumineuses de quelques profils d'altérations acide de basse température sur substrat carbonaté. p. 29
- 11h00 : QUINIF Y., DE PUTTER T. et DUPUIS C. - Analyse isotopique et essai de datation U/Th d'un profil d'altération à paragenèse alumineuse (Newhaven, Angleterre). p. 83
- 11h15 : DUPUIS C., PERRUCHOT A., DE PUTTER T. et NICAISE D. - Contexte géologique et origine de l'halloysite type en Belgique. p. 39
- 11h30 : VAN VLIET - LANOE B. - Influence de la nature de la fraction colloïdale sur le gonflement cryogénique du sol. p. 99
- 11h45 : GAIFFE M., DEJOU J., CAILLIER M. et KÜBLER B. - Présence d'un sol fersiallitique développé sur gneiss et fossilisé par une coulée basaltique dans le massif du Cantal. p. 51
- 12h00 : EL HAMMOUTI K., OUJIDI M. et de LUMLEY H. - Limite d'utilisation des argiles dans la reconstitution paléoclimatique. Exemple du remplissage de l'abri de la Baume-Bonne (Quinson, Alpes de Haute provence, France). p. 43

Clôture du colloque

15h00 : VISITE GUIDÉE DU PALAIS DES BEAUX ARTS DE LILLE

SESSION POSTERS

- BADREDDINE R., GRANDJEAN F. et FRANSOLET A.-M. - Modifications structurales liées à la vermiculitisation dans le gisement de Palabora, République d'Afrique du Sud. p. 1
- BLAMART D., BALBON E., DECONINCK J.-F., KISSEL C., TURPIN L., LABEYRIE L. et ROBIN E. - Caractérisation minéralogique, géochimique et magnétique de la variabilité climatique rapide de la dernière période glaciaire à partir de l'étude de la carotte IMAGE MD 95-2009 (Océan Atlantique Nord). p. 9
- BRUNO G., DE WINDT L. et CABRERA J. - Le site expérimental argileux de Tournemire. p. 11
- CATHELINÉAU M., MOSSER-RUCK R., ROUBEUF V. et TROUILLER A. - Cristallochimie détaillée des siltites du Gard et argilites de la Haute-Marne: Implications sur la diagenèse des sédiments. p. 15
- DAUPHIN L., BEAUDOIN B., FRIES G. et ZIMMERLE W. - Corrélations de cendres volcaniques (bentonites) aptiennes dans le bassin du Sud-Est de la France et en Europe du Nord. p. 25
- DELAUNE M. et LE XUAN THUYEN. - Variation du cortège des minéraux argileux des sédiments de la partie Sud du delta du Mékong au cours de l'Holocène récent. p. 27
- DEVOL-BROWN I., PITTSCH H., LY J., MEIER P. et BEAUCAIRE C. - Séparation et purification des fractions organique et argileuse d'une roche aluminosilicatée. p. 31
- DJARNIA R. - Précisions sur l'environnement diagénétique microscopique du grés-argileux (Trias et Cambro-Ordovicien) du Sahara d'Algérie. p. 35
- EL ALBANI A., KUHN W. et HOLBOURN A. - The palaeoenvironmental significance of clay mineral and benthic foraminiferal assemblages during the late Cretaceous (West Africa and North Germany). p. 41
- FOUCAULT A. et MELIERES F. - Les argiles comme traceurs des cycles climatiques d'origine orbitale dans le Pliocène de la Méditerranée centrale. p. 49
- LAAFAR S. - Les argiles de la séquence du Lazaret à Nice - Nouvelles analyses. p. 55
- LE XUAN THUYEN et DELAUNE M. - Dégradation des smectites en milieu acide : les sols sulfatés acides des zones marécageuses du delta du Mékong. p. 59
- MOSSER-RUCK R., CATHELINÉAU M., ROUBEUF V. et TROUILLER A. - Stabilité thermique des sédiments callovo-oxfordiens du bassin de Paris : comportement des argiles. p. 65
- PEYAUD J.B., CHAPRON E., DECONINCK J.-F., AVERBUCH O., DESMET M. et BECK C. - Evolution verticale du cortège argileux et de l'ASM dans la sédimentation historique du lac du Bourget (Savoie): contribution à la validation d'un signal paléoclimatique à haute-résolution. p. 73
- ROUBEUF V., MOSSER-RUCK R., CATHELINÉAU M. et GIFFAUT E. - Réactivité de matériaux argileux soumis à des cycles d'humectation/dessiccation. p. 89
- SALMON V., DERENNE S., LALLIER-VERGES E., LARGEAU C. et BEAUDOIN B. - Étude du rôle des argiles dans la formation de niveaux riches en matière organique du Cénomanién d'Italie centrale. p. 91
- THOREZ J. - Différenciation minéralogique et génétique, par DRX, de smectites post-saturées aux Li et K. Applications en sédimentologie, paléopédologie, paléogéographie, paléoclimatologie, stratigraphie et en argilostratigraphie séquentielle. p. 95
- VANDERAVEROET P., BOUT-ROUMAZEILLES V. et DECONINCK J.-F. - Signification de la présence d'interstratifiés illite/vermiculite dans les sédiments pléistocènes de l'Océan Atlantique Nord. p. 97
- VILLIERAS F., MICHOT L., BARDOT F., GERARD G., FRANCOIS M. et CASES J.M. - Détermination indirecte de la lamellarité des phyllosilicates par adsorption d'argon haute-résolution. p. 101

RÉSUMÉS

Les résumés des communications orales et des posters sont classés
suivant l'ordre alphabétique du nom du premier auteur.

Un index alphabétique des auteurs figure page 105.



MODIFICATIONS STRUCTURALES LIÉES A LA VERMICULITISATION DANS LE GISEMENT DE PALABORA, RÉPUBLIQUE D'AFRIQUE DU SUD

R. BADREDDINE⁽¹⁾, F. GRANDJEAN⁽²⁾ et A.-M. FRANSOLET⁽¹⁾

(1) Laboratoire de Minéralogie, B 18, Université de Liège, B-4000 Sart-Tilman.

(2) Institut de physique, B 5, Université de Liège, B-4000 Sart-Tilman.

P
O
S
T
E
R

À Palabora, le massif ultrabasique est essentiellement constitué de pyroxénite qui est recoupée, dans ses parties nord et sud, par des pegmatoïdes riches en vermiculite. Par diffraction des rayons X sur agrégats orientés, cette vermiculite est associée à la phlogopite et à une série d'interstratifiés (phlogopite-vermiculite). Ces interstratifiés présentent des distances basales variables selon la proportion des feuillets de phlogopite et de vermiculite. En allant de la phlogopite en vermiculite, les analyses chimiques par voie humide font apparaître un enrichissement en eau, un départ de potassium et une augmentation de la teneur en Fe³⁺ aux dépens de la teneur en Fe²⁺. Ces associations minéralogiques et ces relations compositionnelles montrent que la vermiculite à Palabora dérive de la phlogopite par altération supergène selon la séquence suivante: Phlogopite → P-(P-V) → (P-V)-V → (P-V) → vermiculite.

L'application des méthodes spectroscopiques a mis en évidence des modifications structurales au cours de la vermiculitisation. Ces modifications affectent les couches tétraédriques et octaédriques. D'une part, la spectroscopie RMN a montré une augmentation de l'aluminium octaédrique aux dépens de l'aluminium tétraédrique. D'autre part, la spectroscopie Mössbauer a révélé le départ de Fe²⁺ des sites M1 d'abord, et des sites M2 ensuite, ainsi que l'augmentation de Fe³⁺ dans les sites octaédrique et tétraédrique. Finalement, la spectroscopie infrarouge indique que la vermiculitisation est accompagnée d'un désordre au niveau des couches tétraédriques et octaédriques.

Mots clés : Phlogopites, vermiculites, interstratifiés, vermiculitisation, Palabora (République d'Afrique du Sud), Diffraction des rayons X, Infrarouge, RMN, Mössbauer.

CARACTÉRISATION SÉDIMENTOLOGIQUE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE RAPIDE À PARTIR DE L'ÉTUDE DE LA CAROTTE IMAGES MD 95-2009 (OCÉAN ATLANTIQUE NORD)

Estelle BALBON⁽¹⁾, Dominique BLAMART⁽¹⁾, Jean-François DECONINCK⁽²⁾,
Laurent LABEYRIE⁽¹⁾ et Eric ROBIN⁽¹⁾

(1) Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CNRS-CEA, Avenue de la Terrasse,
F-91198 Gif sur Yvette cedex.

(2) Université de Lille I, Sciences de la Terre - SN5, Sédimentologie et Géodynamique URA 719 CNRS,
F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex.

La compréhension des causes et des effets des variations climatiques rapides sur notre environnement est devenu un enjeu très important de nos jours. Si le rôle majeur de l'Océan Atlantique Nord dans la variabilité climatique est désormais démontré, les mécanismes entrant en jeu sont complexes et encore mal maîtrisés. La dernière période interglaciaire (stades isotopiques marins (SIM) 5e à 5a, 130-75 ans) a été caractérisée par des oscillations climatiques liées aux changements de l'insolation reçue par la Terre, mais aussi par des variations plus rapides, en particulier aux hautes latitudes de l'Atlantique Nord.

Dans le but de comprendre les relations entre les oscillations de la circulation thermohaline et le développement des différentes calottes de glace nordiques au cours de l'interglaciaire, la carotte de sédiments marins MD 95-2009 (62°N, 3°W, 1027m) a été prélevée dans le Sud de la Mer de Norvège au cours de la première campagne du programme international IMAGES. Il s'agit en effet d'une zone clé pour la formation des eaux profondes nord atlantiques (NADW: North Atlantic Deep Water), caractérisée par l'arrivée des eaux de surface nord atlantiques et par la sortie des eaux profondes de Mer de Norvège (NSDW: Norwegian Sea Deep Water) qui constituent une part importante des NADW.

Une stratigraphie isotopique des derniers 140 000 ans (c'est à dire sur tout le dernier cycle climatique) a été établie pour cette carotte à partir de l'étude de la composition isotopique de l'oxygène de foraminifères planctoniques et benthiques (exprimée sous forme de $\delta^{18}\text{O}$), ainsi que par corrélation des signaux isotopiques avec ceux d'autres carottes de la même région.

Dans le but de tracer la mise en place et les oscillations des calottes de glace au cours de l'interglaciaire, nous avons caractérisé la fraction détritique du sédiment par microgranulométrie laser et comptage de la fraction détritique grossière (éléments $>150\mu\text{m}$ qui étant donnée leur taille, ne peuvent être transportés que par les icebergs). De plus, la composition de la fraction argileuse ($<2\mu\text{m}$) a été déterminée par diffraction X sur préparations orientées, et la teneur en éléments majeurs du sédiment brut décarbonaté a été déterminée par EDS (Energy Dispersive Spectrometry) après qu'il ait été fondu à 1400°C.

L'origine du matériel sédimentaire est identifiée grâce au calcul de 2 indices: le rapport Ca/Na, qui augmente lorsque l'influence basaltique augmente, et l'aluminosité, qui représente l'Al non lié feldspaths (Aluminosité= $Al - (Na + K + 2Ca)$). Cet indice est donc représentatif de la quantité d'argile présente dans le sédiment. Les sources de matériel argileux comprennent d'une part les Iles Faeroes, la carotte étant située au pied de ces îles volcaniques et l'Islande, et d'autre part la Fennoscandie. Les smectites marquent plutôt des apports locaux provenant d'îles volcaniques (Faeroes et Islande principalement) tandis que les illites constituent un indicateur d'apports originaires de zones granitiques de la Fennoscandie.

La transition entre le SIM 6 et le SIM 5e (135-130kans) est particulièrement bien développée dans la carotte MD 95-2009 (4m de sédiment). Les faibles valeurs de $\delta^{18}O$ des foraminifères planctoniques et benthiques, traduisent l'arrivée d'eau dessalée liée à la fonte d'icebergs dans cette région et la pénétration de l'eau de fonte jusqu'à 1000m de profondeur. Le rapport Ca/Na montre une influence basaltique croissante, tandis que la proportion de smectite augmente.

Au cours du stade 5e, l'origine des apports reste relativement constante, avec une influence basaltique marquée. L'étude de la granulométrie du sédiment, associée à celle des $\delta^{18}O$ et de la faune planctonique montre une intensification des courants profonds, ainsi que l'existence d'une réponse immédiate des eaux de fond aux changements des conditions de surface.

Le reste du stade 5 est marqué par une variabilité rapide. L'étude détaillée du nombre de détritiques grossiers par gramme de sédiment, de la fraction argileuse associée à celle des éléments majeurs et des isotopes de l'oxygène met en évidence des événements de fonte pendant les sous-stades froids 5d et 5b marqués par des apports grossiers importants. Les deux débâcles de glace principales (à la fin des sous-stades 5d et 5b) sont caractérisées par de fortes teneurs en illite, de fortes aluminosités et de faibles Ca/Na, et correspondent donc à la fonte de la calotte Fennoscandienne. Un troisième événement au milieu du sous-stade 5b présente tout d'abord une origine Fennoscandienne relayée par des apports d'origine volcanique (Faeroes et Islande).

L'étude simultanée des paramètres isotopiques, argileux, et granulométriques permet donc non seulement d'identifier les oscillations des différentes calottes nordiques, mais aussi de mettre en évidence une réponse rapide de la dynamique des masses d'eaux profondes aux changements des conditions hydrologiques de surface.

NATURE ET ÉVOLUTION D'UN SYSTÈME DIAGÉNÉTIQUE, RELATION ARGILES-CARBONATES, EXEMPLE DU CRÉTACÉ INFÉRIEUR BASCO-CANTABRIQUE (NORD DE L'ESPAGNE)

D. BARTIER*, M. BUATIER*, J.L. POTDEVIN* et J. AROSTEGUI**

(*) Université de Lille I, URA 719 CNRS, Bât. SN5, F-59655 Villeneuve d'Ascq.

(**) Universidad del Pais Vasco, Ap.Co.644, SP-48080 Bilbao.

Le Crétacé inférieur de l'anticlinal de Bilbao (bassin Basco-Cantabrique, N. Espagne) est composé d'environ 8000 m de dépôts à large dominante terrigène mis en place dans un bassin de type pull apart lors de l'ouverture de la baie de Biscaye. Trois unités montrant des dépôts alternants grès-argilites sont traditionnellement distinguées : le Wealdien (Valanginien-Barrémien), l'Urgonien (Aptien-Albien inférieur) et le Supra-Urgonien (Albien supérieur-Cénomaniens inférieur). Cinq coupes ont été levées et échantillonnées de manière à couvrir des séquences sédimentaires argilo-gréseuses deltaïques similaires en différentes positions géographiques et stratigraphiques dans le bassin. Les trois premières (SU-Balmaseda sur la bordure Est du bassin, SU-Gordexola et SU-Orozko au centre du bassin) ont été levées dans le Supra-Urgonien, les deux autres coupes (W-Gordexola et W-Orozko) dans le Wealdien.

La nature et l'évolution du système diagénétique grès-shales au cours de l'enfouissement ont été approchées à partir d'une étude pluridisciplinaire et pluriscalaire comprenant des données sédimentologiques, pétrographiques, minéralogiques et géochimiques. Les résultats obtenus montrent que les grès des sommets de séquences grano-stratocroissantes présentent une cimentation à dominante ankéritique dans le Supra-Urgonien alors qu'elle est chloritique dans le Wealdien. Les assemblages argileux des deux lithologies se composent d'illite, d'interstratifiés illite/smectite et de chlorite. La proportion relative de chlorite est plus importante dans la fraction argileuse des deux coupes les plus enfouies (W-Gordexola et W-Orozko) et plus spécialement au sommet des séquences gréseuses. Au centre du bassin, la transition illite-smectite semble proche de son stade ultime quel que soit l'enfouissement. Ceci est attribué à une diagenèse plus avancée au centre du bassin et plus particulièrement dans le

complexe Wealdien. Par ailleurs, alors que durant les premiers stades diagénétiques, la cimentation carbonatée des grès nécessite d'importants transferts d'éléments chimiques (apports de Ca, Fe, Mg), la formation de chlorite et l'évolution des interstratifiés illite/smectite durant la diagenèse plus tardive semblent se produire sans apports d'éléments extérieurs au système par les fluides. En effet, toutes les données convergent pour suggérer qu'au cours de l'enfouissement, la dolomite se transforme en ankérite puis en calcite. Ces réactions, associées à la déstabilisation d'oxydes de fer, libéreraient suffisamment de fer et de magnésium nécessaires à la formation des chlorites.

SIGNIFICATION DE LA PLYGORSKITE DANS LES SÉDIMENTS TERTIAIRES EN TUNISIE CENTRALE ET MÉRIDIONALE

Aïcha BÉJI SASSI, Saadi ABDELJAOUAD et Sassi SASSI

Laboratoire des Ressources minérales, Faculté des Sciences de Tunis, T-1060 Tunis. E-mail: sassi@planet.tn

Au cours du Tertiaire, la palygorskite se rencontre fréquemment aussi bien dans les séries sédimentaires marines que continentales où elle constitue souvent une phase prédominante dans les associations minéralogiques argileuses du Paléocène, de l'Eocène et du Mio-Pliocène de la Tunisie centrale et méridionale.

Dans les séries marines, la palygorskite apparaît dans les argiles sombres et dolomitiques sous-jacentes aux phosphates et attribuées au Paléocène de l'Axe Nord-Sud (région de Faïdh). Toutefois, les teneurs ne deviennent significatives que dans les argiles de la série phosphatée principale du bassin de Gafsa-Métlaoui et des petits bassins le long de l'axe Nord-Sud (Eocène inférieur).

Avec l'Eocène moyen et supérieur, il se produit un développement considérable de ce minéral dans les séries dolomitiques, siliceuses et évaporitiques, constituant parfois une phase monominérale dans les argiles de ces faciès (Gafsa-Métlaoui, Maknassy, Mezzouna, Es Souda).

Dans ces ensembles sédimentaires d'origine marine, la palygorskite est considérée comme le résultat d'une néoformation et d'une transformation de la smectite dans un milieu favorable où les éléments indispensables tels que silicium et le magnésium sont disponibles.

Dans les séries continentales de l'île de Kasserine, le Paléocène et l'Eocène sont représentés par des calcrêtes et des dolocrêtes à Bulimes (Chambi, Kébar et Aïn Rhéouis). La palygorskite y constitue un minéral cardinal. Les mêmes constatations ont été rapportées sur des séries similaires en bordure orientale de la Chaîne Nord des Chotts (Île de la Jeffara). On considère pour les deux cas cités, une genèse de ce minéral comme le résultat d'une transformation pédogénétique à partir de phyllites telles que smectite, kaolinite et illite, dans un sédiment initial de nature siliciclastique et argileuse affecté par une diagenèse calcitisante et dolomitisante.

Dans le Continental Terminal (Mio-Pliocène), les séries sont très épaisses (plusieurs centaines de mètres). La palygorskite n'existe que dans les niveaux ayant subi également une

diagenèse pédogénétique avec une carbonatation aboutissant à un encroûtement tendre et se traduisant souvent par une abondance de glaebules (bassins de Gafsa-Métlaoui et de Mezzouna).

Indubitablement dans le Mio-Pliocène continental, bien qu'associée à des minéraux divers comme la kaolinite, l'illite et la smectite, la palygorskite est liée à une transformation de ce minéral au cours de la diagenèse encroûtante. Par ailleurs, ce minéral existe dans l'amphithéâtre géologique environnant (Eocène), toutefois l'héritage est peu probable sinon minime car il n'explique ni son abondance dans une série très puissante ni l'association étroite avec les niveaux carbonatés riche en glaebules. Le seul héritage connu et qu'on retrouve à la base du Mio-Pliocène continental, est en relation avec le démantèlement d'une partie des carbocrêtes développées sur les aires émergées au cours de l'Eocène.

**CARACTÉRISATION MINÉRALOGIQUE, GÉOCHIMIQUE ET MAGNÉTIQUE
DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE RAPIDE DE LA DERNIÈRE PÉRIODE
GLACIAIRE À PARTIR DE L'ÉTUDE DE LA
CAROTTE IMAGES MD 95-2009 (OCÉAN ATLANTIQUE NORD)**

Dominique BLAMART*, Estelle BALBON*, Jean-François DECONINCK**,
Catherine KISSEL*, Laurent TURPIN*, Laurent LABEYRIE* et Éric ROBIN*

P
O
S
T
E
R

(*) Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CNRS-CEA, avenue de la Terrasse,
F-91198 Gif sur Yvette cedex.

(**) Laboratoire de Sédimentologie et Géodynamique, URA 719 CNRS, Université de Lille I,
F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex.

De nombreuses études paléoclimatologiques réalisées sur des sédiments marins ou des carottes de glace ont montré l'importante variabilité du climat lors du dernier cycle climatique dans l'Atlantique Nord, la mer du Groënland et de Norvège. Aux changements lents du climat, gouvernés par les paramètres orbitaux de la Terre, se sont surimposées des variations rapides enregistrées dans les glaces du Groënland. Ces variations à l'échelle du millénaire ont été reconnues dans les sédiments, par des pics d'isotopes légers de l'oxygène ainsi que par une quantité importante de matériel détritique relativement grossier (Ice Rafted Detritus, IRD) et sont attribués à des événements de fontes d'icebergs (e.g. Broecker et al., 1992). Ces événements (Heinrich Events) sont à relier aux instabilités des calottes glaciaires Laurentide et Scandinave et coïncident aux périodes les plus froides sur le Groënland. A ces événements se surimposent des oscillations hautes fréquences appelées événements de Dansgaard-Oeschger et qui représentent des incursions climatiques chaudes (interstadales) dans la dernière période glaciaire (e.g. Bond et al., 1992). Ces événements sont très clairs notamment dans les stades isotopiques marins 2 et 3. Afin de déterminer et caractériser les sources des apports sédimentaires en réponse aux oscillations rapides du climat et de ces conséquences sur la circulation océanique Nord Atlantique, une étude minéralogique granulométrique et géochimique de la carotte IMAGES MD-95-2009 a été entreprise. Cette carotte (62°N, 3°W, 1027m) se localise au sud de la mer de Norvège, lieu où se forme une majeure partie des eaux profondes nord atlantique (North Atlantic Deep Water, NADW). La formation de ces eaux profondes résulte du refroidissement des eaux salées de surface de la dérive Nord-Atlantique suivie de leur plongement dans le bassin de la mer de Norvège alimentant ainsi la circulation thermohaline.

La composition minéralogique du cortège argileux (<2µm, diffraction X), chimique en éléments majeurs (fusion alcaline + EDS) ainsi que la distribution granulométrique ont été réalisées sur sédiment décarbonaté. Ces données ainsi que certains paramètres magnétiques sont présentés dans la figure 1.

Le cortège argileux est constitué de smectite, illite, kaolinite et chlorite dans des proportions variables. Globalement, les proportions de smectite sont les plus élevées lors des interstadales, elles diminuent de manière notable au profit de l'illite lors des stadales ou lors des

événements de Heinrich H3 et H4. A cette variabilité minéralogique est associée une variabilité géochimique des éléments majeurs qui a été caractérisée d'une part par le rapport Ca/Na, et d'autre part par l'indice d'aluminosité A (Aluminosité = $Al / (Na+K+2Ca)$).

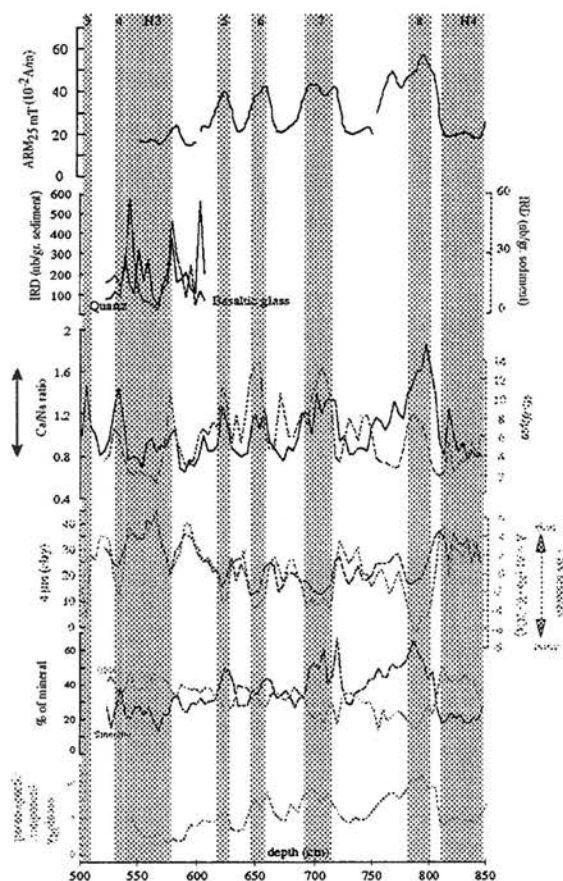


Figure 1: Variations des paramètres magnétiques, de la taille des grains, de la géochimie des éléments majeurs, du nombre d'IRD et de la minéralogie des argiles de la carotte MD95-2009 lors du stade isotopique 3.

Ces résultats nous permettent de démontrer que la zone étudiée est sous l'influence alternée de deux sources de matériel détritiques, l'une de nature basaltique (Islande-Faroes) l'autre continentale (Fennoscandie). L'extrême variabilité de la minéralogie, de la granulométrie, des paramètres magnétiques et isotopiques indique un lien direct entre les changements climatiques observés au Groënland et ceux enregistrés dans les sédiments.

-Broecker, W., Bond, G., Klas, E. and McManus, J., 1992. Origin of the North Atlantic's Heinrich events. *Climate Dynamics*, 6, 265-273.

-Bond, G., Heinrich, H., Broecker, W., Labeyrie, L., MacManus, J.,

Un rapport Ca/Na élevé indique une influence basaltique alors qu'un rapport faible suggère un apport de matériel acide de type croûte continentale mature. L'indice A est à relier à la quantité d'argile présente dans le sédiment.

La fraction magnétique varie comme le rapport Ca/Na. Les fortes concentrations en magnétites (ARM, IRM) et en minéraux paramagnétiques associés sont en phase avec les rapports élevés.

Les événements froids (Heinrich stadials) sont caractérisés par 1) de faibles rapports Ca/Na, 2) une forte teneur en illite, 3) une augmentation de la proportion de la fraction granulométrique $< 4 \mu m$, et 4) une faible concentration en minéraux magnétiques, le sédiment possède une forte signature continentale probablement Fennoscandienne. Au contraire, lors des interstadiaux, le rapport Ca/Na augmente, la smectite remplace l'illite. La fraction 40-60 μm ainsi que la concentration en magnétites augmentent également indiquant une forte influence de matériel de nature basaltique provenant de l'Islande ou des Iles Faeroes.

L'anticorrélation entre l'indice A et la susceptibilité en champ fort plus sensible aux biotites, pyroxènes et minéraux argileux telles que les smectites montre qu'il s'agit bien d'un cortège d'origine basaltique.

Andrews, S., Huon, R., Jantschik, R., Clasen, S., Simet, C., Tedesco, K., Klas, M., Bonani, G. and Ivy, S., 1992. Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic Ocean during the last glacial period. *Nature*, 360, 245-249.

SITE EXPÉRIMENTAL ARGILEUX DE TOURNEMIRE

Gérard BRUNO, Laurent DE WINDT et Justo CABRERA

Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, CEN Fontenay-aux-Roses, 60-68 avenue du Général Leclerc, BP 6,
F-92265 Fontenay-aux-Roses cedex.

P
O
S
T
E
R

Introduction

L'institut de Protection et de Sûreté Nucléaire a choisi le site argileux de Tournemire (Aveyron, France) afin de parfaire ses connaissances sur les possibilités de stockage des déchets radioactifs dans ces formations. Il développe ainsi des programmes de recherche in-situ sur les capacités de confinement de ces formations et sur la caractérisation des transferts à différentes échelles de temps et d'espace dans les argilites [1].

Situation géologique et schéma structural

Le site est localisé dans une épaisse série argileuse (250 m) sub-horizontale du Toarcien et Domérien, encadrée par deux aquifères calcaires. L'accès au site se fait par l'intermédiaire d'un ancien tunnel ferroviaire qui traverse les argilites.

Une des caractéristiques des argilites est la présence d'une fracturation à différentes échelles, liée essentiellement à la compression Pyrénéo-Provençale ; certaines de ces structures présentant des géodes de calcites. La paragenèse des minéraux de remplissage est une paragenèse à calcite dominante, petites quantités de pyrites cubiques et traces de matrice argileuse.

Minéralogie et géochimie des formations

La caractérisation des formations effectuée suite à différentes campagnes de forages et au creusement de galeries a permis de mettre en évidence les phases minérales suivantes :

Minéralogie	Proportion %
Illite	15-25
Interstratifié Illite/smectite	15-20
Kaolinite, chlorite	15-25
Quartz	15-20
Carbonates (calcite, sidérite)	10-15
Dolomite/ankérite	0-2
Pyrite	0-3
Carbone organique	0-1
autres (feldspaths K, albite...)	0-5

Les valeurs de perméabilité et du coefficient de diffusion effectif sont respectivement de 10^{-13} m/s et 10^{-12} m²/s sur l'ensemble de la formation. La porosité totale est de 10% avec une taille de pores centrée sur 28 Å, la teneur en eau est de l'ordre de 3,5% et la surface spécifique est de l'ordre de 20 m²/g. Dans de telles conditions, les phénomènes de transferts sont extrêmement lents, avec une composante diffusive dominante.

La capacité d'échange cationique déterminée sur la fraction globale par la méthode à l'acétate d'ammonium est de l'ordre de 10 méq/100g et de l'ordre de 25 méq/100g pour la fraction inférieure à 2µm.

Etudes en cours et perspectives

Les différentes études entreprises au sein de la station expérimentale de Tournemire, visent notamment à évaluer et comprendre l'influence de la matrice argileuse sur les phénomènes de transfert des fluides au sein de la formation, de la régulation de leur chimie et la migration des radionucléides, que ce soit au niveau des fractures à remplissage de calcite ou au niveau de l'eau interstitielle des argilites. La compréhension de ces phénomènes se fait selon différentes approches : des études *in situ* essentiellement structurales et tectoniques mais aussi hydrogéochimiques des eaux actuelles [2, 3], l'analyse des remplissage de fractures pour la caractérisation des paléocirculations [3, 4] et enfin une ensemble d'expériences en laboratoire destiné à quantifier les paramètres de transfert des argilites, la chimie des eaux interstitielles [2] et la rétention de radionucléides [3].

L'influence des travaux d'excavation sur les formations argileuses est également abordée par l'étude des phénomènes d'oxydation des phases minérales et leurs conséquences sur la spécificité des matériaux (modifications minéralogiques, gonflement, adsorption et échange). Enfin, l'étude de l'organisation structurale à différentes échelles, des argilites de Tournemire en relation avec leurs conditions de gisement (mise à l'affleurement artificielle) est effectuée par l'utilisation de méthodes telles que la microscopie optique et confocale laser ainsi que les microscopies électroniques à balayage et à transmission.

Références

- [1] BOISSON J.Y. (1992 - 1996) Caractérisation d'une formation argileuse, Contrat CCE-CEA FI2WCT09-0115.
- [2] DE WINDT L., CABRERA J., BOISSON J.-Y. (1998) - Hydrochemistry in an Indurated Argillaceous Formation (Tournemire Site, France), Proc. 9th Int. Symp. Water-Rock Interactions (Taupo, NZ), 145.
- [3] DE WINDT L., CABRERA J., BOISSON J.-Y. (1997) - Radioactive Waste Containment in Indurated Claystones: Comparison Between the Chemical Containment Properties of Matrix and Fractures », Geological Society of London (Special Publication on Chemical Containment of Waste in the Geosphere), 18 p., *in Press*.
- [4] MATHIEU R., PAGEL M., DE WINDT L., CABRERA J., BOISSON J.Y. « Paleofluid circulations records in shales : a mineralogical and geochemical study of calcite veins from the experimental Tournemire tunnel site (France) », submitted to Eur.J. Miner.

MINÉRALOGIE DE LA FORMATION CONTINENTALE SEGUI (MIOCÈNE SUPÉRIEUR ET PLIOCÈNE) EN TUNISIE

Pierre F. BUROLLET* et Bernard KÜBLER**

(*) CIFEG - 1 place Vieille, F-04300 Forcalquier.

(**) Limnoceane Inst. Géologie - 11 rue Émile Argand, CH-2007 Neufchâtel.

En Tunisie orientale et méridionale, le Miocène se termine par une Formation continentale dite F. Segui. Ce sont des alternances d'argiles brun rougeâtre et de sables jaunes correspondant à des plaines d'inondation avec des chenaux. Dans les zones montagneuses ou à leur proximité, la Formation Segui comprend des conglomérats, à la base et surtout à la partie supérieure pliocène. Cette formation est discordante sur divers terrains antérieurs. Au sommet, elle passe à des couches rouges et à une carapace considérées comme villafranchiennes.

L'âge de la Formation Segui est compris entre le Tortonien et le Pliocène dépendant des invasions marines dans les zones côtières. À Zeramedine (Sahel de Sousse) situé au-dessus de Tortonien terminal marin, le Segui est Messinien et Pliocène inférieur. Le long de l'Axe Nord-Sud, il comprend du Tortonien supérieur, du Messinien et du Pliocène, ce dernier étant conglomératique. Dans la région de Gafsa, la tranche Messinienne du Segui peut comprendre de gros bancs de gypse.

Du Nord au Sud, de Zeramedine à l'Est, par Agareb et Bir Ali ben Khalifa au centre, et le Djebel Chemsî au Sud, toutes les intercalations marneuses contiennent de la calcite et du quartz. Dolomite et ankérite sont sporadiques. Elles sont plus présentes au NE, à Zeramedine, totalement absentes au centre à Bir Ali ben Khalifa et Agareb et de nouveau bien représentées au Chemsî. Les feldspaths sont aussi ubiquistes, le K-feldspath domine souvent les plagioclases acides. Le gypse pose un problème. Sa présence est peut-être liée au gypse remplissant les fractures dans les termes plus grossiers des séries. Si les carbonates sont typiquement sédimentaires, le quartz, les feldspaths et les micas dioctaédriques représentent la phase détritique de ces marnes. Dans la fraction argileuse, si smectites et kaolinites dominent largement, la palygorskite, parfois abondante semble limitée au centre à Beglia, Bir Ali ben Khalifa et tout au Sud au Chemsî. La Goethite est fréquente au Nord à Zeramedine, à Agareb et Chaab Maal. En présence de Goethite, l'hématite en faible quantité est indiscernable par diffraction X.

L'association kaolinite-goethite est typique d'une érosion de sols fersialithiques. Dans de telles pédogénèses les K-feldspaths sont plus résistants que les plagioclases. Les smectites apparaissent dès le Crétacé et sont quasi ubiquistes depuis le Tertiaire en Tunisie. Accompagnées de palygorskite, elles sont typiques d'une sédimentation basique à tendance évaporitique. Dans la région de Sfax-Tozeur, elle apparaît déjà dans le Paléocène supérieur et l'Éocène inférieur (Bolle et al., 1998 et soumis). Elle a été abondamment décrite dans le Sehib, le Beglia et le Segui de l'Oued Tarfaya (J. Sehib S.) et dans la coupe de Ras Dakhla (J. Chemsî) par S. Sassi et S. Zaouch (communication personnelle).

La Palygorskite se trouve essentiellement à proximité des formations rouges qui en sont riches (Chemsî, Beglia) ou au sommet du Pliocène lorsqu'on approche la carapace villafranchienne.

Correspondant à une forte période d'érosion en Tunisie centrale, les minéraux de la Formation Segui doivent être en grande partie détritiques.

Pleistocène	Chemsi	Beglia N.	Beglia S.	Bir Ali Khalifa Carapace	Rheouis Batene el Guern	Agareb Carapace	Zeramedine Ch. Maal. Krayatya
Pliocène	Segui conglomérats	Segui conglomérats	Segui conglomérats	P17 Coucherouge P16 Segui P15	Segui conglomérats P18 Segui conglomérats	?	Pliocène marin P2
Messinien	Segui argilo- sableux avec gypse	Segui BN1	BS10 Segui BS9	argilo- sableux ??	Segui argilo- sableux	Segui P14 argilo- P12	Segui argilo- sableux P3 P1 P4 P5
Tortonien	CH3 Segui argileux à galets CH2	argilo- sableux BN2	argilo- sableux BS8 BS7 BS6	Segui argilo- sableux RH1	?	Saouaf Sup. marin P6	
Serravalien Langhien	Beglia	BN3 Beglia rouge BN4 BE5 Beglia blanc	Lacune				
Miocène inférieur et Oligocène	CH1 Sehib		Beglia inf.				

 Formation Segui

 Couches rouges

Position des échantillons de la formation Segui et terrains associés

**CRISTALLOCHIMIE DÉTAILLÉE DES SILTITES DU GARD
ET ARGILITES DE LA HAUTE MARNE :
IMPLICATIONS SUR LA DIAGENÈSE DES SÉDIMENTS**

Michel CATHELIN^{*}, régine MOSSER-RUCK^{*}, Véronique ROUBEUF^{*}
et Alain TROUILLER^{**}

P
O
S
T
E
R

(*) CREGU-UMR 7566 G2R, BP 23, F-54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex.
E-mail : cathelin@cregu.cnrs-nancy.fr

(**) ANDRA, Parc de la Croix Blanche, 1-7 rue J. Monnet, F-92298 Châtenay-Malabry cedex.

Les expériences simulant un effet thermique sur les sédiments des sites sélectionnés pour l'impantation éventuelle de laboratoire souterrain ont été réalisées sur des échantillons représentatifs des sédiments argileux callovo-oxfordiens du site Est et des siltites de l'Albien de Marcoule (site du Gard). La détermination du comportement des minéraux a nécessité une étude très détaillée des caractéristiques minéralogiques et cristallographiques des produits de départ (MEB, microsonde électronique, MET, CEC, surface spécifique, analyse globale par ICP-ES, ICP-MS). Les caractéristiques texturales, minéralogiques et géochimiques des sédiments permettent : i) de reconstituer la chronologie de dépôt et de néoformations et d'identifier le rôle des transformations liées aux interactions eau-roche (diagenèse précoce ou non) sur les textures de ces roches, et ii) d'identifier la place des argiles dans la sédimentation et la diagenèse, et les transformations post-dépôt.

Dans les deux cas étudiés, des interstratifiés illite/smectite désordonnés de type R0, riches en smectite (> 60%) et caractérisés par des aptitudes au gonflement proches des smectites ont été observés dans leurs sites pétrographiques et analysés à différentes échelles (MEB, microsonde électronique, MET). Ces argiles se caractérisent par une cristallographie typique d' I/S avec des variations assez limitées des substitutions tétraédriques ($Si_{3.75 \pm 0.10}$), un site octaédrique constant (Fe peu différent de Mg, autour de 0.25 ± 0.05), et un site interfoliaire dominé par K (feuillet non gonflants) et Na (feuillet gonflants). Les I/S sont présents dans les lits argileux riches en argiles détritiques (muscovite, illite \pm chlorite) mais aussi intimement associés aux néoformations (ciments de calcite + dolomite \pm ankérite).

Les siltites du gard se caractérisent par la présence spécifique de glauconite s.s. et de minéraux proches des glauconites, probablement des interstratifiés glauconite/smectite à faible pourcentage de smectite (charge interfoliaire plus faible, légère augmentation du Si(IV)).

Dans les deux cas, les caractéristiques des I/S R0 attestent de conditions faibles de diagenèse, qui témoignent d'un enfouissement modéré, et de gradients thermiques faibles à normaux.

MISE EN ÉVIDENCE, POUR LE DERNIER MILLÉNAIRE, D'UN SIGNAL PALÉOCLIMATIQUE À HAUTE RÉOLUTION PAR L'UTILISATION DES MINÉRAUX ARGILEUX ; ANALYSE D'UNE SÉDIMENTATION LACUSTRE PROFONDE AUX CONFINS ALPES OCCIDENTALES/JURA

Emmanuel CHAPRON*, Jean-François DECONINCK*, Marc DESMET**,
Christian BECK**, Michel POURCHET***, Olivier AVERBUCH*,
Jean-Baptiste PEYAUD* et Philippe RECOURT*

- (*) Sédimentologie et Géodynamique, URA CNRS 719, Université de Lille I, F-59655 Villeneuve d'Ascq.
(**) Laboratoire de Géodynamique des Chaînes Alpines, UPRES A CNRS 5025, Campus Scientifique Savoie-Technolac, F-73376 Le Bourget-du-Lac cedex.
(***) Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Université J. Fourier, Domaine Universitaire Saint-Martin d'Hères, F-38041 Grenoble cedex.

Le Lac du Bourget - dont le développement et le remplissage sédimentaire sont liés à la dernière déglaciation - a fait l'objet d'une campagne de sondage (38 carottes de 1 à 1,5 m de long) notamment dans son bassin profond (jusqu'à 145 m). Dans ce dernier, non soumis directement aux arrivages terrigéniques grossiers des différents cours d'eau affluents, la sédimentation finement laminée est à dominante carbonatée bio-induite, la fraction argileuse représentant environ 20 à 40 % du sédiment total. L'évolution de cette dernière a fait l'objet d'une étude à haute résolution (pas de 1 cm ; diffractométrie X), en parallèle avec une analyse de la texture (microgranulométrie laser, et Anisotropie de Susceptibilité Magnétique) et de caractéristiques physico-chimiques simples (résistance au cisaillement non drainé, teneur en eau, calcimétrie).

L'ensemble des mesures et observations a permis de séparer une sédimentation régulière (bruit de fond) de niveaux exceptionnels de deux types (remaniements d'origine sismique et niveaux hyperpyncaux de crues). L'âge supposé pour ces derniers (données historiques) est confirmé par les mesures de la teneur en ^{210}Pb de la partie sommitale des carottes. Dans ce cadre chronologique récent et très précis, l'évolution des cortèges de minéraux argileux a été suivie en utilisant les rapports des hauteurs de pic Kaolinite/Chlorite et Smectite/Illite. Le signal obtenu apparaît significatif, notamment par la bonne corrélation apparaissant entre deux sondages profonds distants d'1 km (Peyaud *et al.*, ce volume). Une analyse spectrale a été effectuée sur ces paramètres (ainsi que sur les teneurs en carbonate), dans un premier temps, en tenant compte de la totalité des échantillons, et, dans un second temps, en éliminant ceux correspondant aux niveaux "événementiels". Le second cas montre un affinement des périodogrammes ; l'évolution du rapport S/I présente deux cyclicités (d'ordre pluridécennale et d'ordre séculaire), discutées en terme de fluctuations de précipitations. La plus nette (6,4 cm) correspondrait - avec un taux de sédimentation moyen de 1,4 mm/an - à des cycles de 45 à 50 ans de durée. Les effets régionaux du Petit Age Glaciaire, inclus dans la tranche de temps étudiée, sont discutés.

**CONTRIBUTION DE LA GÉOCHIMIE ISOTOPIQUE
À LA CONNAISSANCE DU MÉCANISME DE L'ILLITISATION
AU COURS DE LA DIAGENÈSE - APPORT À L'ÉTUDE DE
L'ÉVOLUTION DE BASSINS SÉDIMENTAIRES**

Norbert CLAUER

Centre de Géochimie de la Surface (CNRS-ULP), 1 rue Blessig, F-67084 Strasbourg cedex.

L'illitisation de la smectite est un critère largement utilisé pour quantifier les modifications diagénétiques imposées aux roches volcano-sédimentaires au cours de leur enfouissement. Pourtant, malgré cet intérêt évident ce sont des critères dérivés de la matière organique qui sont généralement utilisés pour modéliser l'évolution de bassins sédimentaires. Le propos n'est pas de comparer les qualités respectives des approches minérales et organiques pour reconstituer l'histoire de bassins sédimentaires, mais de montrer comment la datation et le traçage isotopiques du processus de l'illitisation permettent de modéliser indépendamment l'évolution de bassins sédimentaires. Il faut cependant rappeler en préambule, que de telles études nécessitent un soin particulier dans la séparation et la caractérisation des fractions argileuses extraites. Toute contamination, même minime, modifie la signature isotopique d'une argile de manière significative.

C'est surtout la méthode K-Ar qui sera évoquée dans les exemples, parce que largement appliquée aux argiles diagénétiques probablement à cause du rôle du K dans le mécanisme de l'illitisation. Divers travaux ont ainsi montré que les âges K-Ar d'illites diagénétiques sont effectivement contrôlés par l'illitisation dont la durée peut être définie quand elle est de courte durée. Si le mécanisme se prolonge, les âges constituent une intégrale de la durée du processus et de la quantité de matériel formé à chaque moment. En fait, les valeurs K-Ar et $\delta^{18}\text{O}$ des interstratifiés illite/smectite changent plus ou moins rapidement au cours de l'enfouissement, en fonction de la lithologie des roches mères. Les différences sont dues à des mécanismes différents : transformation dans le milieu restreint des argilites et dissolution-cristallisation dans le milieu ouvert des grès.

L'intégration des résultats de datation K-Ar et de géochimie isotopique de l'oxygène, qui permet d'évaluer les conditions de l'illitisation, permet ainsi de modéliser l'histoire thermique de bassins. On présentera deux exemples d'évolutions avec des comparaisons entre les deux approches minérale et organique : il s'agit du bassin slovaque en Europe, et du bassin du delta de la Mahakam en Indonésie. Dans le cas d'une évolution continue, sans inversion ou activité thermique anormale, les deux approches fournissent des modèles semblables, ce qui n'est plus le cas quand l'histoire est plus complexe.

SÉDIMENTOLOGIE ET GÉOCHIMIE DES SÉDIMENTS DES DEUX DERNIERS CYCLES CLIMATIQUES DU GOLFE DU BENGALE ET DE LA MER D'ANDAMAN : MÉMOIRE DE L'ÉROSION DE L'HIMALAYA

Christophe COLIN*, Laurent TURPIN**, Catherine KISSEL**, Jacques BERTAUX***
et Alain DESPRAIRIES*

(*) Laboratoire de Géochimie des Roches Sédimentaires, Université Paris Sud, F-91405 Orsay cedex.

(**) Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CNRS-CEA, avenue de la Terrasse,
F-91198 Gif sur Yvette cedex.

(***) Centre ORSTOM, 72 route d'Aulnay, F-93143 Bondy cedex.

L'objectif de cette étude est de reconstruire l'histoire de l'érosion des chaînes himalayenne et birmane et d'établir les liens existant entre les variations climatiques et le régime de l'érosion au cours des deux derniers cycles climatiques (300 derniers ka). Trois carottes sédimentaires (MD77-169, MD77-176 et MD77-180) (Figure a) prélevées à l'embouchure de grands fleuves drainant la chaîne de l'Himalaya ont ainsi fait l'objet d'une étude détaillée à l'aide de différents traceurs (minéralogie des argiles, magnétisme environnemental, isotopes Sr-Nd, éléments majeurs, ...) dans le but d'estimer l'importance de chacun des processus intervenant au cours du cycle sédimentaire (variabilité des zones-sources échantillonnées, effets du transport océanique, diagenèse,...) et d'isoler la variabilité uniquement attribuable au régime de l'érosion. Le cadre chronologique de l'ensemble des carottes étudiées est établi à partir des enregistrements de $\delta^{18}\text{O}$ de foraminifères planctoniques (*G. ruber*) ainsi que d'âges ^{14}C (ASM).

Une étude complémentaire de la répartition des rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et des valeurs de l' $\epsilon\text{Nd}(0)$ des sédiments (Figure a) de deux périodes climatiques opposées : l'Holocène et le dernier maximum glaciaire (DMG) a permis d'identifier les sources et les vecteurs du transport du matériel sédimentaire au Golfe du Bengale et à la mer d'Andaman. Cette cartographie isotopique montre que la mer d'Andaman est principalement alimentée par le fleuve de l'Irrawaddy alors que la zone proximale du Golfe du Bengale reçoit une contribution inégale de matériel provenant du démantèlement des chaînes indo-birmane et himalayenne. Les sédiments localisés à la jonction de ces deux domaines géographiques échantillonnent des sources sédimentaires variables entre les périodes de l'Holocène et du DMG. Ces changements sont associés soit : (1) à une modification des conditions hydrologiques dominantes des courants de surface en liaison avec les changements de l'intensité des moussons d'été et d'hiver entre les périodes de l'Holocène et du DMG ; (2) à une modification de la composition isotopique des apports sédimentaires des fleuves (Colin et al., soumis à EPSL).

La mesure à haute résolution des rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et des valeurs de l' $\epsilon\text{Nd}(0)$ de chacune des trois carottes confirme l'homogénéité des sources échantillonnées. A source constante, les traceurs minéralogiques et géochimiques des sédiments sont contrôlés par les changements du régime de la mousson (exemple de la carotte MD77-169, Figure b).

La fraction argileuse est composée de chlorite, d'illite, de smectite et de kaolinite dont les proportions varient en fonction du régime de la mousson. Les périodes de forte humidité se caractérisent par une augmentation du rapport Smectite/(Illite+Chlorite) impliquant une augmentation de l'intensité de l'altération chimique dans les bassins versants indo-birmans et une diminution de l'érosion physique des hautes chaînes.

Le rapport Kaolinite/Quartz est aussi rythmé par une forte périodicité à 23 ka suggérant aussi un étroit contrôle de ce paramètre par le régime de la mousson. Les périodes de forte humidité se traduisent par une augmentation de la proportion de kaolinite issue des sols des régions de plaine et une diminution de l'érosion physique des hautes chaînes. Ceci est confirmé par l'étroite corrélation obtenue entre le rapport Kaolinite/Quartz et l'index d'altération chimique [$\text{CIA}^* = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \times 100$] (Figure b).

Les techniques du magnétisme environnemental montrent que la minéralogie des particules magnétiques est principalement constituée de titanomagnétites et de magnétites dont la taille, donnée par le rapport ARA/K (Figure b), varie en fonction du régime de la mousson (Colin et al., sous presse). Ces variations de taille sont reliées aux processus de pédogenèse

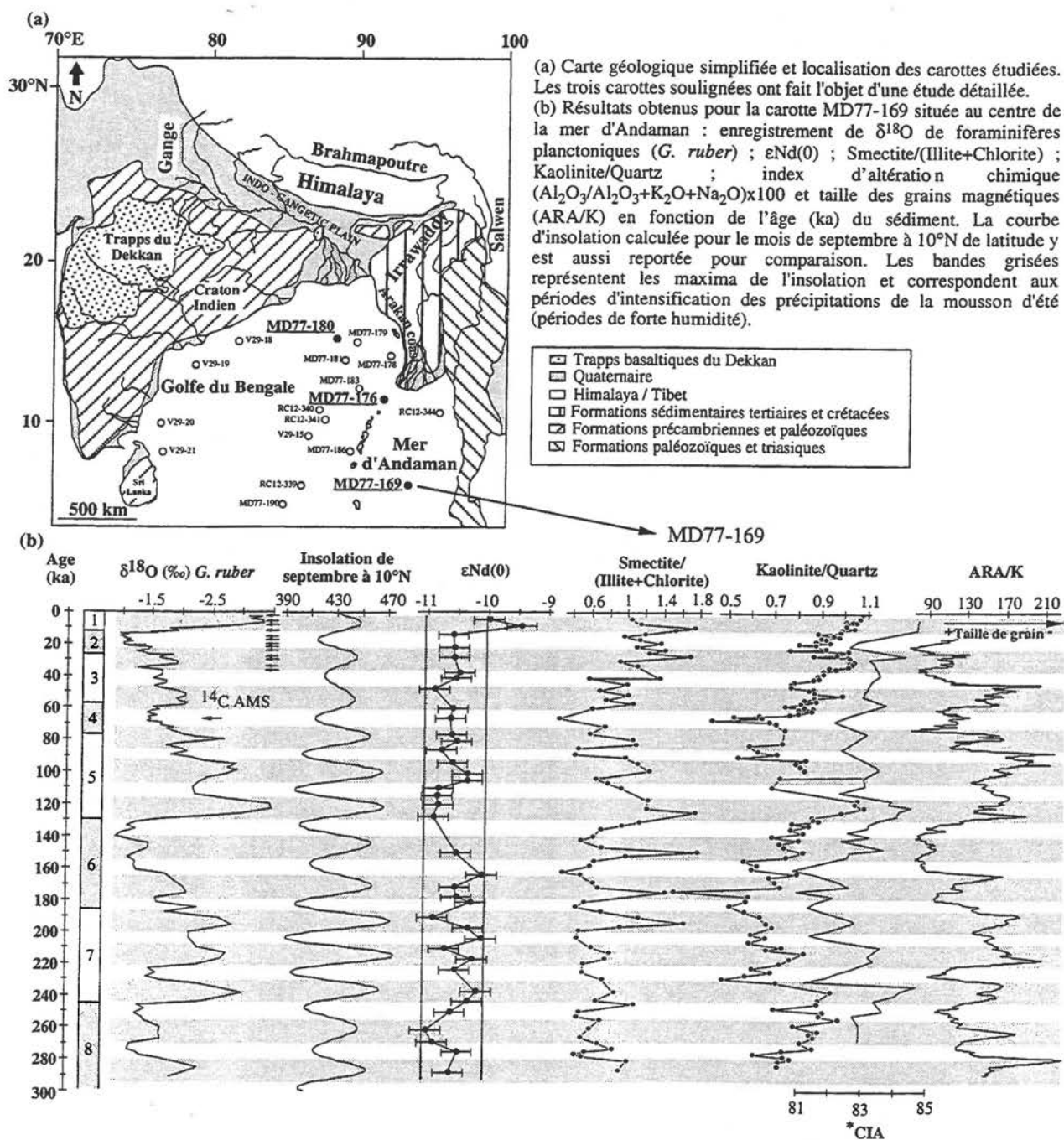
affectant les régions de plaines par la production bactérienne de minéraux magnétiques fins dans les sols. De tels phénomènes sont déjà connus dans les séquences de loess et de paléosols de Chine.

La comparaison des différents traceurs permet de reconstruire les conditions paléoenvironnementales et paléoclimatiques régnant sur le continent au cours des 300 derniers ka. Chacun des traceurs donne une réponse différente aux fonctions forçantes climatiques et permet de reconstruire le régime de l'érosion des chaînes himalayennes.

COLIN C. (1998) - Reconstruction du régime de l'érosion des chaînes himalayennes et birmanes au cours des deux derniers cycles climatiques (300 derniers ka), Thèse 3^{ème} cycle, Université d'Orsay.

COLIN C., KISSEL C., BLAMART D. et L. TURPIN (1998) - Magnetic properties of sediments in the Bay of Bengal and the Andaman Sea : impact of rapid North Atlantic Ocean climatic events on the strength of the Indian monsoon, EPSL sous presse.

COLIN C., DESPRAIRIES A., BERTAUX J., TURPIN L., et C. KISSEL - Erosional history of the Himalayan and Burman ranges during the last two glacial-interglacial cycles. Mineralogy and geochemistry investigation. EPSL soumis.



MISE EN ÉVIDENCE DE L'INFLUENCE THERMIQUE ET HYDROTHERMALE DE LA COULÉE BASALTIQUE DU TRIAS SUR LES ARGILES DU BASSIN D'ARGANA (HAUT ATLAS OCCIDENTAL, MAROC)

L. DAOUDI *, J.-F. DECONINCK** et M. PORTUGAL FERREIRA***

(*) Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, B.P. 618, Marrakech, Maroc.

(**) Sédimentologie et Géodynamique, URA 719 CNRS, Université de Lille I, France.

(***) Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université de Coimbra, Portugal.

Le bassin d'Argana comprend une série sédimentaire très épaisse d'argiles, de silts et de grès rouges d'âge triasique. Cette série sédimentaire est surmontée d'une coulée de basalte tholéitique également d'âge triasique. Notre objectif est d'étudier les modifications minéralogiques subies par les minéraux argileux de cette série, suite à la mise en place de la coulée basaltique. Pour cela, deux coupes ont été choisies ; des analyses par diffraction des rayons X ont été effectuées sur la roche totale et sur la fraction argileuse ($< 2 \mu\text{m}$). Des observations d'argiles au M.E.B. et au M.E.T. ont été également effectuées. Les résultats obtenus montrent que la série sédimentaire peut être subdivisée en trois zones :

- La zone supérieure d'une épaisseur de 1,5 à 2 m, est située immédiatement sous les basaltes. Elle est constituée de silts et d'argiles vert-blanchâtres entrecoupées de veinules noires. Cette zone forme une bande caractéristique tout au long du bassin atlasique. Le cortège argileux associé, est formé principalement de corrensite (interstratifié régulier chlorite-smectite) associée à de la chlorite, de la kaolinite et des traces d'illite. La teneur en corrensite diminue du sommet (90 %) à la base de la zone (30 %). Associé à cette fraction argileuse on trouve souvent du quartz, des feldspaths et du talc en grande quantité. Les veinules noires intercalées dans cette zone sont particulièrement riches en kaolinite.

- La zone intermédiaire d'une épaisseur de 15 à 20 m est constituée d'une alternance d'argiles et de silts rouges. La fraction argileuse est dominée par la chlorite (50 à 80 %) associée à l'illite (20 à 50 %). La corrensite n'est présente qu'à la base, où elle se développe aux dépens de la chlorite. La cristallinité de l'illite augmente du sommet à la base de la zone ($0,2$ à $0,35^\circ 2\theta$). Le quartz est moins abondant que dans la zone supérieure.

- La troisième zone constitue la partie inférieure de la série triasique ; elle est constituée d'alternance d'argiles et de silts rouges. Le cortège argileux est formé d'illite (50 à 70 %), de chlorite (10 à 20 %) et de smectite (10 à 30 %), la cristallinité de l'illite d'environ $0,4^\circ 2\theta$ est constante sur l'ensemble de la zone.

Le cortège argileux de la troisième zone, formé essentiellement d'illite, de chlorite et de smectite, semble constituer le cortège argileux détritique initial des sédiments triasiques. En effet, plusieurs échantillons prélevés dans d'autres secteurs du bassin éloignés de l'influence du basalte montrent le même cortège minéralogique. Ces argiles sont vraisemblablement d'origine détritique ; elles résulteraient de l'érosion du massif ancien constituant le Haut-Atlas central.

Dans la zone intermédiaire, l'abondance de la chlorite serait due à l'influence thermique induite par le basalte. Les smectites sont en effet sensibles à l'augmentation de la température et se transforment en corrensite puis en chlorite. La présence de corrensite à la base, ainsi que l'augmentation progressive de la chlorite vers le sommet de la zone, semble traduire cette évolution.

Dans la zone supérieure, la fréquence de la kaolinite, minéral de basse température, suggère une mise en place postérieure à celle des basaltes. Par ailleurs, le quartz se présente au M.E.B. sous des formes automorphes, indiquant probablement sa recristallisation *in situ*. La corrensite se présente également sous des formes propres qui suggèrent une authigenèse. Cet assemblage argileux, également rencontré dans des échantillons prélevés dans la partie inférieure de la coulée basaltique, semble donc provenir de circulations hydrothermales postérieures à la mise en place du basalte.

L'influence thermique du basalte sur les minéraux argileux se limiterait donc à une profondeur de 20 m sous la coulée. Elle a pour conséquence un enrichissement de la fraction argileuse en chlorite aux dépens des smectites. Des circulations hydrothermales, postérieures à la mise en place des basaltes, ont permis la néoformation d'argiles (corrensite, kaolinite et talc) associées à du quartz. Ces circulations se seraient produites au contact des basaltes et des sédiments sur une épaisseur de 2 m, et seraient à l'origine de la couleur blanchâtre de la zone supérieure.

CORRÉLATIONS DE CENDRES VOLCANIQUES (BENTONITES) APTIENNES, DANS LE BASSIN DU SUD-EST DE LA FRANCE ET EN EUROPE DU NORD

Léna DAUPHIN⁽¹⁾, Bernard BEAUDOIN⁽¹⁾, Gérard FRIÈS⁽²⁾ et Wilfried ZIMMERLE⁽³⁾

(1) École des Mines de Paris, CGES-Sédimentologie, 35 rue Saint-Honoré, F-77305 Fontainebleau cedex.

(2) Elf Exploration-Production, Délégation Gabon, Tour Elf, F-92078 Paris La Défense cedex 45.

(3) Prinzengarten 6, D-29223 Celle.

P
O
S
T
E
R

Dans le bassin vocontien, la série aptienne, marneuse et marno-calcaire, présente un certain nombre de repères lithologiques (faisceaux de bancs, black shales...) corrélés litho et biostratigraphiquement. En 1995, B. Beaudoin et G. Friès mettaient en évidence la présence au sein du faisceau clansayésien (Aptien supérieur) d'un niveau plastique de couleur orangée, baptisé niveau Cézanne, qui s'est avéré être un niveau de cendres volcaniques. Depuis, deux autres niveaux, au moins, présentant les mêmes caractéristiques macroscopiques ont été découverts dans cette série, les niveaux Matisse et Van Gogh.

Les analyses minéralogiques effectuées dans chacun de ces niveaux montrent un fort contraste avec leur encaissant. Ces niveaux singuliers sont composés de 30 à 80 % d'argiles qui sont principalement des **smectites** : de 80 à 100% dans Cézanne, Matisse et Van Gogh, contre 5 à 30% dans le centimètre marneux sous-jacent, jusqu'à une absence des smectites dans les marnes encaissantes 10 cm en dessous. Ces fortes teneurs en smectites nous ont permis d'interpréter ces bentonites comme des produits d'altération de cendres volcaniques.

Les analyses géochimiques (majeurs, traces, Terres Rares) réalisées sur la partie non carbonatée révèlent là encore des contrastes très nets entre les trois niveaux et leur encaissant, soulignant des enrichissements de l'ordre de 3 à 700 en éléments tels que le Th, Nb, Co, Ni, Zn, Sr, Y et Terre Rares, et des appauvrissements de facteur 4 en éléments comme V, K et Cr. De tels résultats sont parfaitement comparables avec ceux des bentonites turoniennes et aptiennes d'Angleterre et Allemagne, cénomaniennes des États-Unis ou encore tertiaires d'Italie. Des échardes de verre volcanique de petites tailles (2 à 10 µm) observées dans des frottis confirment, s'il en était besoin, l'origine volcanique de ces trois niveaux.

Stratigraphiquement, le niveau Cézanne se situe dans la zone d'ammonite à jacobi (Clansayésien), le niveau Matisse dans la zone à nutfieldensis (Gargasien supérieur) et le niveau Van Gogh au passage Bédoulien-Gargasien, dans la zone à subnodosocostatum.

Déposés instantanément, ces cendres volcaniques sont corrélées sur plus de 10000 km² dans le Sud-Est de la France et confirment le synchronisme des autres dépôts dans le bassin. Ces trois niveaux de bentonites ont des équivalents stratigraphiques stricts en Grande-Bretagne,

Pays-Bas, Mer du Nord et Allemagne. Nous nous sommes donc rendus dans la région de Sarstedt, près de Hanovre afin de comparer et échantillonner les tufs du bassin saxon. Leur ressemblance tant macroscopique que minéralogique ainsi que leur appartenance aux mêmes zones à ammonites nous permettent d'effectuer des corrélations de Cézanne et Matisse avec les tufs de Sarstedt, eux-mêmes corrélés avec les tufs d'Angleterre et de la Mer du Nord. Ceux-ci, plus nombreux et plus épais, suggèrent une source plus septentrionale, et selon les auteurs, située dans le graben central de la Mer du Nord ou en Mer de Cornouailles.

La présence de ces bentonites aptiennes permet déjà d'effectuer des corrélations très haute résolution sur plus de 1000 km entre le Sud-Est de la France et le Nord de l'Europe, et invite à étendre ces corrélations à d'autres bassins. En tant que repères stratigraphiques instantanés, ils vont nous permettre de tester le synchronisme/hétérochronisme du signal biologique (foraminifères planctoniques, ammonites...) à diverses échelles.

Il reste à affiner les comparaisons géochimiques et trouver les minéraux susceptibles d'être datés géochronologiquement. A Sarstedt, Matisse a déjà été daté à $114 \pm 1,3$ Ma par Obradovich (A Cretaceous Time Scale, 1994).

Enfin, peut-être existe-t-il d'autres niveaux de cendres dans la série du Sud-Est de la France, et en particulier dans le Kimméridgien, le Valanginien, l'Albien et le Turonien.

VARIATION DU CORTÈGE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES SÉDIMENTS DE LA PARTIE SUD DU DELTA DU MÉKONG AU COURS DE L'HOLOCÈNE RÉCENT

Mireille DELAUNE* et LE XUAN THUYEN**

P
O
S
T
E
R

- (*) Lab. de Sédimentologie, Centre ORSTOM Ile de France, 32 avenue H. Varagnat, F-93143 Bondy cedex.
(**) Lab. sol - eau - développement, Institut de Géographie, CNRST, 1 rue Mac Dinh Chi, 1er arr.,
Ho Chi Minh Ville, Viet Nam.

Les sédiments de la péninsule de Ca Mau (partie sud du delta du Mékong) sont formés de minéraux détritiques (quartz et minéraux argileux dont les proportions sont contrôlées par la granulométrie) auxquels sont associés des feldspaths plagioclases et des minéraux néoformés (pyrite, halite, gypse, calcite et goethite) (Le Xuan, 1996).

Trois minéraux argileux dominent : ce sont l'illite, la kaolinite et les smectites auxquels s'ajoutent de faibles proportions d'interstratifiés gonflants de type 10 - 14 Å et des chlorites.

Leur répartition dans les différents environnements géomorphologiques définis dans la pointe sud du delta du Mékong fait ressortir les points suivants :

- l'association illite / kaolinite est toujours largement dominante, la chlorite a une répartition constante avec des teneurs assez stables.
- la répartition du rapport illite / (kaolinite + chlorite) montre que l'illite est moins représentée dans la partie nord de la zone étudiée (dépression de U Minh, banc d'élévation de Thoi Binh et zone supratidale) que dans les sédiments récents de la mangrove.

Origine des minéraux argileux

Dans les suspensions et les sédiments de fond du bassac et du Mékong l'illite est le minéral argileux principal, kaolinite, smectites et chlorites sont en proportions à peu près identiques. A l'embouchure, la proportion des smectites augmente légèrement ce qui pourrait être dû à des apports marins car les smectites sont abondantes dans les sédiments du plateau continental (Pei Yuan Chen, 1978).

Evolution du cortège de minéraux argileux

L'évolution du cortège des minéraux argileux dans les sédiments de la pointe sud du delta du Mékong a été déterminée à partir du rapport de la hauteur des pics à 17 Å et 10 Å sur échantillons glycolés.

Les mesures montrent que les smectites dominent dans les sédiments marins au large de l'embouchure des distributaires du Mékong, à la pointe sud du delta et dans le golfe de Thaïlande (calculs effectués à partir des données de Pei Yuan Chen - Fig.1). En domaine continental, le rapport décroît du centre du delta vers la côte. Les associations minéralogiques rencontrées dans les différentes zones morphologiques de la péninsule de Ca Mau montrent que l'influence marine était plus marquée au moment de la construction de la partie nord de la zone étudiée, autour du banc d'élévation de Thoi Binh.

La construction de cette partie sud du delta est liée essentiellement à une augmentation des apports détritiques du fleuve, caractérisés par l'importance de l'illite, qui

aurait débuté autour de 2500 ans BP. Les sédiments sont entraînés vers le sud par les courants côtiers (Fig.2).

Ce développement s'insère dans un processus d'accrétion qui a suivi la grande régression de l'Holocène supérieur.

Bibliographie

Le Xuan Thuyen, 1996 - La zone sud du delta du Mékong. Sédimentation actuelle et évolution récente. Thèse, Université de Bordeaux I, 223p.

Pei Yuan Chen, 1978 - Minerals in bottom sediments of the South China Sea. Geol. Soc. Amer. Bull., vol.89 : 211 - 222.

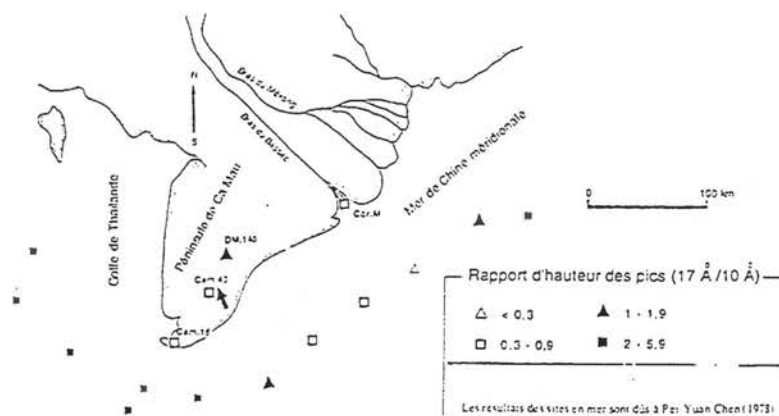


Figure 1 : Évolution du cortège de minéraux argileux.

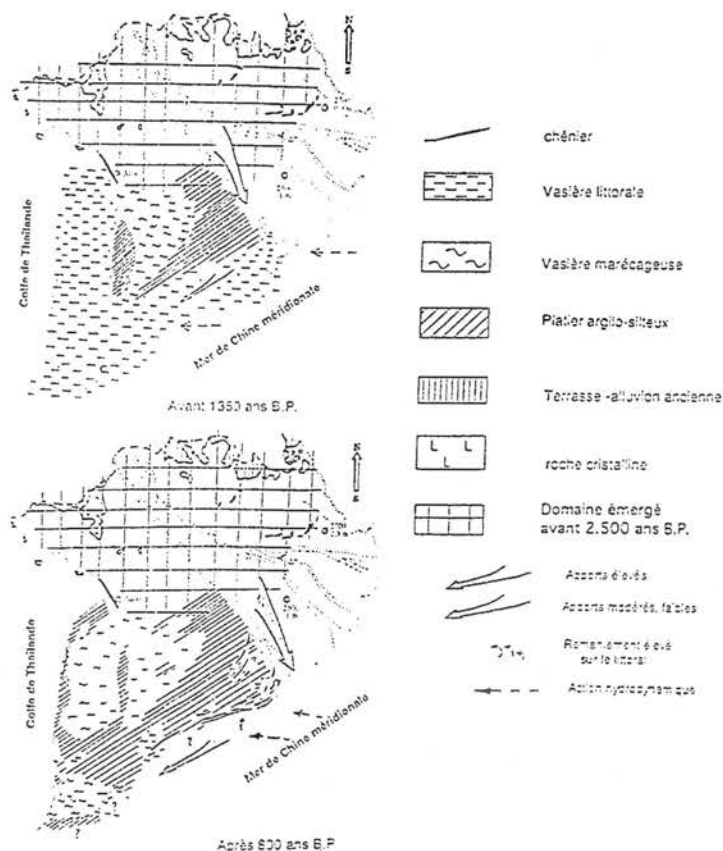


Figure 2 : Arrivée d'un flux détritique important après 2 500 ans B.P. et construction de la partie sud du delta.

LES CAPRICES DE L'ALUMINIUM ... OU LES PARAGENÈSES ALUMINEUSES DE QUELQUES PROFILS D'ALTÉRATION ACIDE DE BASSE TEMPÉRATURE SUR SUBSTRAT CARBONATÉ

Thierry De PUTTER*, Alain BERNARD**, Christian DUPUIS*, Dominique NICAISE*
et Alain PERRUCHOT***.

(*) Faculté Polytechnique de Mons, Géologie Fondamentale et Appliquée, 9 rue de Houdain, B-7000 Mons.
E-mail : thierry.deputter@fpms.ac.be

(**) Université Libre de Bruxelles, Géochimie et Minéralogie, 50 avenue F. Roosevelt, B-1050 Bruxelles.
E-mail : abernard@ulb.ac.be

(***) Université de Paris Sud, Géochimie des Roches Sédimentaires, bâtiment 504, F-91045 Orsay cedex.
E-mail : perrucho@geol.u-psud.fr

L'étude de profils d'altération formés sur un substrat carbonaté, en Haute Normandie (France), dans le Sussex (Grande-Bretagne) et dans l'Entre-Sambre-et-Meuse (Belgique), a permis d'observer des paragenèses alumineuses très contrastées (voir tableau ci-contre). Les trois sites étudiés ont pourtant des caractéristiques communes : l'*agent chimique responsable de l'altération est toujours l'acide sulfurique*, résultant de l'oxydation de pyrite associée à des niveaux de matières organiques, actuellement oxydées (dégradofusinites) ; cet acide fort permet de mobiliser l'alumine des sédiments hydrolysés (en abaissant le pH < 4). Les fluides acides percolent ensuite au travers d'un *remplissage silto-argilo-sableux*, avant de rentrer en contact avec le *substrat carbonaté*.

A **Dieppe** (Haute Normandie), les fluides acides provoquent la néoformation de paragenèses alumineuses et de gels silico-alumineux : en imprégnations, au contact d'un front de décarbonatation dans les sables marins glauconieux thanétiens de Dieppe et en lentilles, sous des lumachelles de faciès sparnaciens (sables et argiles à ostracodes et mollusques). Les imprégnations sont constituées de **gibbsite** et d'une faible quantité d'**halloysite**, tandis que les lentilles ont une minéralogie plus complexe : halloysite, gibbsite et **alumohydrocalcite**.

A **Newhaven** (Sussex), les fluides acides traversent une épaisse série sableuse fluviale thanétienne (« Woolwich Freshwater Beds »), puis les sables marins thanétiens (« Woolwich Marine Beds »), avant de se concentrer dans des cavités karstiques creusées dans la craie crétacée. L'« unité 4 », définie sur la coupe étudiée (De Putter *et al.*, en préparation), est constituée de silt à nodules de minéraux alumineux : **alunite**, **aluminite**, **basaluminite**, **hydrobasaluminite**, **gibbsite** et **bayérite**.

A **Weillen** (Entre-Sambre-et-Meuse), les fluides acides sont générés dans un environnement lacustre confiné, sous lequel se creuse une poche cryptokarstique de diamètre hectométrique. Les fluides acides percolent au travers du remplissage composite (argiles, silts à matière organique, sables, etc.) de la poche. Les paragenèses alumineuses, essentiellement stratiformes et localisées au mur calcaire du karst, sont constituées de **kaolinite** et d'**halloysite** (Nicaise, 1998).

Le **tableau** ci-contre permet de visualiser la grande variété de minéraux alumineux formés dans ces trois sites. La question qui se pose est de déterminer le(s) facteur(s) qui ont induit la formation de l'une ou l'autre espèce minérale alumineuse. Dès l'abord, il est évident que plusieurs facteurs interviennent, à des degrés divers :

- L'acidité initiale des fluides
- La nature (minéralogique et chimique) des sédiments-hôtes de la minéralisation
- La nature des minéraux néoformés à bas pH
- La cinétique des réactions (y compris celle des réactions de transformation gels -> minéraux)
- L'espace disponible pour la néoformation des minéraux alumineux.

Site	Âge approx de l'altération	Corps du profil	Interface sable/calcaire	Acidité approximative ⁽¹⁾	Minéraux alumineux néoformés	Formule	Famille
Newhaven	40-120 Ka ⁽²⁾	X		(1.2 < pH < 2.3 2.3 < pH < 3.3)	Jarosite-oxydes de fer	$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6/\alpha FeO(OH)$	Sulfates/oxides
					Alunite	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	Sulfates
					Aluminite	$Al_2(SO_4)(OH)_4 \cdot 3H_2O$	Sulfates
					Basaluminite	$Al_4(SO_4)(OH)_{10} \cdot 5H_2O$	Sulfates
					Hydrobasaluminite	$Al_4(SO_4)(OH)_{10} \cdot 12-36H_2O$	Sulfates
					Gibbsite	$Al(OH)_3$	Oxydes
					(Bayerite)	$Al(OH)_3$	Oxydes
					+ Gels silico-alumineux	$SiO_2/Al_2O_3 \sim 0,94$	<i>Amorphes</i>
					Gibbsite	$Al(OH)_3$	Oxydes
					(+gypse et oxydes de fer)		
Weillen	Miocène Sup.		X	pH > 5	Kaolinite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Silicates
					Halloysite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 4H_2O$	Silicates
					(traces d'aluminite)	$Al_2(SO_4)(OH)_4 \cdot 3H_2O$	Sulfates
					<i>Absence de gels silico-alumineux</i>		
Dieppe	~50 Ka ⁽²⁾	X ⁽³⁾		pH > 5 (?)	Gibbsite	$Al(OH)_3$	Oxydes
					Halloysite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 4H_2O$	Silicates
					Alumohydrocalcite	$CaAl_2(CO_3)_2(OH)_4 \cdot 3H_2O$	Carbonates
					Gibbsite	$Al(OH)_3$	Oxydes
					Halloysite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 4H_2O$	Silicates
					<i>+ Gels silico-alumineux SiO₂/Al₂O₃ ~ 0,7</i>		

Notes

⁽¹⁾ : Ces valeurs sont fournies par la modélisation thermodynamique. Dans la mesure où les systèmes étudiés sont des systèmes fossiles, l'acidité ne peut être mesurée directement, sur le terrain.

⁽²⁾ : Détermination par spectrométrie alpha sur les phases néoformées; voir le résumé de Quinif *et al.* (ce volume).

⁽³⁾ : Niveau d'imprégnation

⁽⁴⁾ : Lentille

Références citées dans le texte:

De Putter Th. *et al.*, en préparation. Thermodynamic modeling in low temperature acid weathering : the Newhaven (Sussex) case study.
Nicaise D., 1998. L'halloysite des cryptokarsts néogènes de l'Entre-Sambre-et-Meuse (Belgique) : synthèse géologique, minéralogique et géochimique. Thèse déposée à l'Université de Paris-Sud.

SÉPARATION ET PURIFICATION DES FRACTIONS ORGANIQUE ET ARGILEUSE D'UNE ROCHE ALUMINO-SILICATÉE

I. DEVOL-BROWN*, H. PITSCH**, J. LY**, P. MEIER** et C. BEAUCAIRE**

(*) UMR 172 « Analyse et Environnement » (CEA-CNRS-Université d'Évry), CEA, DCC/DESD/SESD, Saclay, F-91191 Gif sur Yvette.

(**) CEA, DCC/DESD/SESD/LIRE, Saclay, F-91191 Gif sur Yvette.

P
O
S
T
E
R

Pour démontrer les performances d'un site pour le stockage de déchets nucléaires, la caractérisation fine de la barrière géologique est indispensable. Des formations argileuses sont envisagées pour le stockage en profondeur de déchets fortement radioactifs. C'est pourquoi des études sont menées sur l'argile de Boom, prélevée à Mol en Belgique, une roche constituée d'une fraction argileuse complexe, d'une fraction minérale secondaire (quartz, oxydes, feldspaths...) et d'une fraction organique présente en quantité importante. Dans la perspective d'une étude des propriétés de surface de la roche vis à vis des cations majeurs (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), la fraction minérale secondaire ne joue qu'un rôle négligeable contrairement à la fraction argileuse qui présente une forte capacité de rétention et à la fraction organique qui intervient soit par ses propriétés de sorption propres, soit par sa capacité d'occulter des sites réactifs de l'argile. Il est donc important de caractériser ces deux fractions, et pour cela de les séparer. Nous avons donc élaboré un protocole de purification de l'argile visant à :

- récupérer la fraction minérale argileuse purifiée des deux autres fractions,
- récupérer la fraction organique réactive de façon à étudier ses propriétés de complexation vis à vis des cations majeurs.

Ce protocole, fondé sur une suite d'extractions solide-liquide, a été élaboré en s'appuyant sur des techniques de séparation (centrifugation et ultracentrifugation), d'analyse (carbone organique dans les roches et les eaux) et de spectroscopie (absorption UV-visible et absorption IR). Il est simple à mettre en œuvre et dans le cas de l'argile de Boom, permet de récupérer 40% de la fraction minérale argileuse ne contenant plus que 2% du carbone organique initialement présent.

SPECTRE INFRAROUGE LOINTAIN DU K DES MINÉRAUX INTERSTRATIFIÉS ILLITE-SMECTITE

M. DIAZ et R. PROST

Unité de Science du Sol, INRA, route de Saint-Cyr, F-78026 Versailles.

La spectrométrie infrarouge lointain permet l'étude des vibrations du K des micas et des interstratifiés illite-smectite. On observe, pour le K des micas, trois bandes d'absorption correspondant à trois modes normaux de vibration parallèles aux axes cristallographiques. Les échantillons utilisés pour cette recherche appartiennent à plusieurs séries étudiées par INOUE (1978), SRODON (1986) et SUCHA (1992). L'examen des spectres infrarouge lointain montre l'apparition de bandes d'absorption pour le K à des fréquences allant de 110 à 85 cm^{-1} au fur et à mesure que la proportion d'espaces interlamellaires à caractère smectitique augmente. Ce résultat laisse entrevoir la possibilité d'utiliser le K comme sonde spectrométrique pour caractériser les interstratifiés illite-smectite.

Références :

- INOUE, A. and MINATO, H. (1978) - Mineralogical properties and occurrence of illite/montmorillonite mixed-layer minerals formed from miocene volcanic glass in waga-Omono district. *Clay Sci.* 5, 123-136.
- SRODON, J., MORGAN, D.J., ESLINGER, E.V., EBERL, D.D. and KARLINGER, M.R. (1986). Chemistry of illite/smectite and end member illite. *Clays and Clay Minerals* 34, 368-378.
- SUCHA, V., KRAUS, I., MOSSER, C., HRONCOVA, Z., SOBOLEVA, K.A. and SIRANOVA, V. (1992) - Mixed-layer illite/smectite from the Dolna Ves hydrothermal deposit, the Western Carpathians Kremnica mts. *Geol. Carpath.* (Bratislava) 1, 13-19.

PRÉCISIONS SUR L'ENVIRONNEMENT DIAGÉNÉTIQUE MICROSCOPIQUE DU GRÉSO-ARGILEUX (TRIAS ET CAMBRO-ORDOVICIEN) DU SAHARA D'ALGÉRIE

Robert DJARNIA

Consultant/Sonatrach, Gustav-Bruhn Str. 5, D-16268 Angermünde.

P
O
S
T
E
R

L'étude se donne comme objectif l'analyse des argiles (illite, chlorite, kaolinite), des grès au M.E.B. et par d'autres techniques. On veut également définir l'impact de la diagenèse sur les réservoirs triasiques (Hassi R'Mel) et Cambro-Ordoviciens (Hassi Messaoud) du Sahara algérien afin d'élargir le champ d'exploration des réservoirs.

TRIAS, AGE DIAGÉNÉTIQUE ET SIGNIFICATION

A l'issue des analyses et observations détaillées au M.E.B., on peut noter que :

- le Trias de la partie Est de la plate-forme saharienne renferme des argiles à prédominance **illitique dioctaédrique (phengite)**, et des **chlorites ferrifères** dans les proportions moyennes de 50/50. Les kaolinites sont totalement absentes dans cette partie ;

- dans les grès post-hercyniens du Trias, les effets diagénétiques se sont largement développés par de la silicification secondaire « quartz overgrowth » et des ciments argileux transformés en illite+chlorite et illites de néogénèse, en présence de fragments prolifères de K-feldspath altéré, d'apparence évidente dans les **subarkoses triasiques** de Hassi R'Mel.

Les réservoirs triasiques de Hassi R'Mel présentent un excellent réseau poreux ($\Phi_m = 21\%$, $K_m = 504 \text{ mD}$), conservé par la diagenèse. Les dépôts argilo-gréseux, superposés en réservoirs A, B, C et datés au K-Ar sur des illites, nous livrent une « *chronodiagenèse* » qui commence au Jurassique inférieur et s'étale au Crétacé inférieur (**204 Ma-180 Ma-160 Ma-140 Ma**).

L'âge jurassico-crétacé de l'événement diagénétique des réservoirs triasiques de Hassi R'Mel est vraisemblablement lié aux manifestations tectoniques et flux thermiques de grande envergure, en liaison possible avec les différentes phases d'ouverture de l'Atlantique.

DISCORDANCE HERCYNIENNE : DATATION POSSIBLE DE LA PHASE SUDÈTE

La phase anchizonale matérialisée à travers l'analyse d'échantillons de forages coïncide avec le passage discordant (entre le Trias et le Cambro-Ordovicien érodé) de la partie centrale du dôme de Hassi R'Mel. Cette zone, analysée au M.E.B., montre une altération du K-feldspath en illite fibreuse. La datation de cette zone de passage attribuée à la discontinuité hercynienne, réalisée sur un forage du centre de Hassi R'Mel, a donné l'âge apparent de **324,7 Ma**. L'âge isotopique de l'illite est à relier à une manifestation diagénétique précoce de la phase érosive des dépôts du Carbonifère dont l'existence physique est effective dans la partie Nord-Est de la structure (Bordj Nili). Cette indication d'âge reculé par rapport aux dépôts triasiques sus-jacents, correspondant parfaitement au passage Viséo-namurien, n'est pas en contradiction avec la discontinuité stratigraphique, mais illustre un phénomène. L'âge ainsi trouvé permet de situer plus précisément la discordance hercynienne régionale à la phase sudète.

CAMBRO-ORDOVICIEN : RÉSERVOIRS (Ri/Ra) ET PROLIFÉRATION DE LA KAOLINITE

Dans les réservoirs anté-hercyniens du Cambro-Ordovicien : la maturité des grès est plus importante. Elle se manifeste surtout par des apports riches en silice secondaire recristallisée donnant les **quartzites de Hamra de l'Ordovicien** qui présentent un potentiel poreux moyen, contrastant avec les grès du Cambrien (Ri/Ra), qui eux, sont très riches en kaolinite authigène (plaquettes hexagonales) et en illite fibreuse (Photos du M.E.B.).

La présence importante de la **kaolinite** dans ces derniers réservoirs peut fournir deux indications importantes sur l'environnement des dépôts :

- on note la conservation d'un bon réseau poreux par développement diagénétique précoce **des cristaux de kaolinite dans les pores des réservoirs Ri/Ra du passage Cambro-Ordovicien**. Cela a dû ralentir considérablement le potentiel colmatant de la silice secondaire les pores primaires, à l'opposé des quartzites ordoviciennes dépourvues de kaolinite ;

- la prolifération kaolinitique à l'intérieur du réseau gréseux Ri/Ra peut-être l'indice d'une intense circulation des fluides acides exposés vraisemblablement à l'air (terrain antérieurement exondé au profit d'un paléoenvironnement régional diversifié et difficile à déterminer dans le détail).

**DIAGENÈSE DES ARGILES ET DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES
FORAGES DE BALAZUC ET MORTE MÉRIE (ARDÈCHE-PROGRAMME GPF) :
APPORT DE LA MICROSCOPIE ANALYTIQUE
ET DU POUVOIR RÉFLECTEUR DE LA VITRINITE**

Joëlle DUPLAY, Luis MARTINEZ et Nicole LIEWIG

Centre de Géochimie de la Surface, UMR 7517 CNRS, Université Louis Pasteur, 1 rue Blessig,
F-67084 Strasbourg cedex.

Deux forages profonds BA1 (Balazuc 1) et MM1 (Morte Mérie) ont été effectués en Ardèche, de part et d'autre d'une faille majeure (faille d'Uzer), dans le cadre du programme GPF (Géologie Profonde de la France). L'objectif général était de caractériser et modéliser les transferts de matière au cours de la diagenèse, avant, pendant et après l'affaissement de la marge ardéchoise. Les séries sédimentaires équivalentes carottées dans les deux puits (Paléozoïque supérieur à Lias) ont subi une diagenèse différente selon leur position par rapport à la faille. Le forage BA1 est situé sur la partie affaissée de la marge (rejet de faille de 1300m) et celui de MM1 sur le bloc le moins subsident. De nombreux auteurs ont étudié la diagenèse des séries de BA1 par des approches variées (Sizun et al., 1993; Renac, 1994; Pagel et al., 1996; Clauer et al., 1997). Certains travaux ont plus particulièrement porté sur une comparaison entre les deux forages, à partir de l'étude de l'évolution de la matière organique (Disnar et al., 1997) ou de l'étude conjointe de la matière organique et des argiles (Martinez et al., 1995). Le but du présent travail est d'apporter des informations complémentaires sur l'évolution des argiles et de la matière organique dans les deux séries sédimentaires et de confronter ces données avec les hypothèses d'évolution émises dans les travaux précédents. Ces investigations incluent des analyses par microscopie électronique à transmission et à balayage (STEM), des analyses du pouvoir réflecteur de la vitrinite (PRV) et de la modélisation des flux de chaleur.

L'analyse des fractions argileuses par diffraction des rayons X montre que l'illite est la phase dominante dans les deux séries, mis à part les niveaux évaporitiques où apparaît la corrensite (Clauer et al., 1997). Par ailleurs, dans les niveaux les plus profonds, chlorite et illite coexistent. Dans l'ensemble, l'indice de cristallinité de l'illite augmente avec la profondeur pour les deux séries (Clauer et al., 1997). On note cependant d'importantes fluctuations vers 1300m (Hettangien), 1410m (Carnien-Norien) et 1669m (zone de faille, contact Anisien-Ladinien/Carbonifère) pour les séries de BA1, et vers 400m (Anisien) et 880m (Paléozoïque supérieur) pour celles de MM1. A niveau lithologique équivalent, la cristallinité est moins bonne à MM1 qu'à BA1 mais elle augmente plus rapidement avec la profondeur.

L'étude de la matière organique montre des évolutions différentes dans les deux forages: à niveau lithologique équivalent, d'après la valeur du PRV, la matière organique est plus évoluée à BA1 qu'à MM1 (Martinez et al., 1996). Dans l'ensemble la quantité de matière organique est plus importante dans les séries de MM1 que de BA1. Comme pour la cristallinité des illites, on constate qu'il y a des fluctuations du PRV au niveau de l'Hettangien et de la zone de faille pour les séries de BA1, et des valeurs anormalement élevées de PRV dans le Paléozoïque pour les séries de MM1.

Des particules individuelles d'illite, d'interstratifiés I/S et de chlorite ont été analysées au STEM. A niveaux lithologiques équivalents, on constate une évolution similaire dans les deux sondages (augmentation du potassium et de l'aluminium, diminution du silicium, du fer et du magnésium quand la profondeur augmente) en bon accord avec une évolution classique de diagenèse d'enfouissement. Mais on remarque un décalage qui souligne l'évolution moins poussée des argiles de MM1 (moins alumineuses et potassiques, et plus magnésiennes). Cependant, avec la profondeur croissante, cette évolution est plus rapide qu'à BA1.

L'étude comparée de l'évolution de la matière organique par modélisation du PRV et du Tmax, permet de calculer les flux de chaleur et les paléotempératures mis en jeu pendant la diagenèse, en considérant un paléorecouvrement de 2200m. Les variations des flux de chaleurs calculés reflètent exactement les différentes phases tectoniques décrites par Giot et al. (1991). A niveau lithologique équivalent, la modélisation montre que, entre 146 et 225Ma, les paléoflux et paléotempératures de MM1 sont supérieurs (98°C à 145°C) à ceux de BA1 (80°C à 136°C). De même les gradients thermiques sont plus importants à MM1 (44°/km) qu'à BA1 (36°/km). Par ailleurs, l'observation pétrographique montre l'existence de différentes populations de PRV qui témoignent de variations locales (Martinez et al., 1998).

Si on compare les deux séries, l'étude conjointe des argiles et de la matière organique, montre une bonne concordance entre l'évolution plus rapide des compositions chimiques des illites avec la profondeur, et les gradients thermiques plus élevés, de MM1 par rapport à BA1.

Dans les séries de BA1, sont mises en évidence deux zones particulières, vers 1300m et 1669m.

La zone à 1300m (Hettangien inférieur) est caractérisée par deux populations de PRV dont l'une a des valeurs très faibles. De plus, dans ces niveaux, l'analyse pétrographique montre que la matière organique est oxydée (Martinez et al., 1995). Dans les argiles, coexistent deux populations, l'une très alumineuse, l'autre plus ferro-magnésienne. Les indices de cristallinité sont par ailleurs plus faibles et reflètent une augmentation de la teneur en feuillets gonflants dans les interstratifiés. Ces particularités peuvent être engendrées par des circulations de fluides lors de l'épisode majeur de fracturation (Clauer et al., 1997).

Vers 1669m, aux abords de la faille d'Uzer, les PRV comme les compositions d'argiles se différencient par rapport à l'évolution globale, avec en particulier une augmentation du magnésium et du fer octaédriques et du potassium, au niveau de la faille ainsi qu'une augmentation rapide des indices de cristallinité. Par rapport au PRV, l'apparition de l'anisotropie (texture anthracitique) est marquée par une augmentation de la biréfringence. Une orientation de molécules polyaromatiques serait possible sous l'effet des contraintes de la faille.

Clauer N., Weber F., Gauthier-Lafaye F., Toulkeridis T., Sizun J.P. (1997) : *J. Sedim. Research*, 67, 5, 923-934.

Disnar J.R., Marquis F., Espitalie J., Barsonny I., Drouet J., & Giot D. (1997): *Soc. Géol. France, Bull.*, 168, 73-81.

Giot D., Roure F., Elmis S., Lajat D. et Steinberg M. (1991): *C.R. Acad. Sci., Paris*, 312, II, p. 747-754.

Martinez L., Suarez-Ruiz I., Duplay J., Weber F., Disnar J.R., Romand B., Larqué P., Farjanel G. Liewig N. (1995): *Org. Geochem., Grimalt & Dorronsoro (eds) : Selected papers from the 17th Int. Meeting on Organic Geochemistry, San Sebastian, 4-8 September 1995, Spain*, 515-516.

Martinez L., Suarez-Ruiz I., Duplay J., Liewig N., Tinturier S. (1998) : *6th Latin American Congress on Organic Geochemistry, October, 18-21, Margarita Island, Venezuela*.

Pagel, M., Braun J.J., Disnar J.R., Martinez L., Renac C. et Vasseur G. (1996): *Sedim. Petrol.*, 67/1, 235-245
Sizun J.P., Jeannette D. et Weber F. (1993): *C.R. Acad. Sci., Paris, II*, 316, 645-651.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET ORIGINE DE L'HALLOYSITE TYPE EN BELGIQUE

Christian DUPUIS⁽¹⁾, Alain PERRUCHOT⁽²⁾, Thierry De PUTTER^(1,3)
et Dominique NICAISE^(1,4)

- (1) Géologie Fondamentale et Appliquée, Faculté Polytechnique de Mons, 9 rue de Houdain, B-7000 Mons.
(2) Laboratoire de Géochimie des Roches Sédimentaires, Université de Paris Sud, Bât. 504, F-91405 Orsay.
(3) ONDRAF, Place Madou 1, Boîte 24/25, B-1030 Bruxelles.
(4) OREX, 14 rue du Page, B-1050 Bruxelles.

Ce n'est qu'une quinzaine d'années après que Berthier eut défini et dénommé l'halloysite (Berthier, 1826) que J.B. d'Omalius d'Halloy apporta des informations sur le mode de gisement du minéral qu'il avait découvert (d'Omalius d'Halloy, 1841).

Il signale alors l'halloysite dans des "dépôts" qui ont "plus de ressemblances avec des filons proprement dits" et qui contiennent "de la limonite, de la sperkise" (marcassite), "de la galène, de la calamine, de l'allophane, de l'halloysite, du calcaire" (calcite?), "de la barytine, etc." Mais il ajoute que ces filons participent d'un même contexte où "les dépôts composent de véritables bassins, souvent en forme de bateau, dont les bords sont quelquefois fortement relevés et même renversés" et qui donnent lieu à des exploitations importantes, soit de minerais de fer, soit de terre de pipe. On voit... que les couches de bonne argile, ou terre de pipe, sont accompagnées de couche d'argile mélangées de lignite renfermant quelquefois des morceaux de bois... que ces dépôts peuvent être considérés comme se trouvant en couches, en amas et en filons: je crois cependant qu'ils ont la même origine".

Ainsi d'Omalius d'Halloy réunit dans un seul milieu générateur, des contextes où il nous est possible, maintenant, de discerner deux pôles nettement différents. L'un comprend des gîtes où l'halloysite est notamment associée à des sulfures contenus dans des couches calcaires, l'autre concerne des gîtes impliquant des "bassins" à remplissage d'argiles, de sables et de lignites continentaux. Le premier pôle peut correspondre à des altérations enracinées sur des filons ou des amas minéralisés en sulfures (qui ne sont pas rares dans les calcaires dinantiens) et présentant une certaine composante karstique. C'est clairement le contexte du site perdu d'Angleur décrit par Berthier en 1826. Le second pôle est très aisément identifiable aux nombreux paléocryptokarsts qui criblent les calcaires dinantiens des plateaux de l'Entre Sambre et Meuse et du Condroz et dans lesquels on exploite encore sporadiquement des argiles réfractaires, des sables blancs et du lignite.

Les travaux que nous menons depuis quelques années, nous ont conduit à retrouver cette dualité dans les gîtes d'halloysite en dépit de points communs tel que le caractère karstique favorisé par la juxtaposition d'un substrat carbonaté avec des matériaux pourvoyeurs potentiels de solutions acides (matières organiques-pyrite, sulfures).

Nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux gîtes du second type qui sont, pour la plupart, des cryptokarsts géants d'âge néogène, car ils sont exposés à la faveur de l'exploitation des matériaux qu'ils contiennent. Le remplissage de ces poches karstiques, dont la taille atteint fréquemment et dépasse 500m de diamètre pour une profondeur de 150 à 200m, comprend à la base, une unité plus ou moins épaisse de sables marins d'âge éocène supérieur. Au dessus, une succession complexe de sédiments continentaux s'est déposée au cours de l'approfondissement du karst pendant le Néogène. Les remplissages ont enregistré l'évolution locale des paléoenvironnements et leur variations: chenaux fluviaux et plaines alluviales, lacs et marécages, paléosols...

Des déformations sont inscrites dans ces dépôts qui témoignent des effets de leur enfoncement progressif dans le karst au cours de sa formation. Il s'agit d'une structuration de l'ensemble des couches du remplissage en forme de doigt de gant plus ou moins étroit à laquelle ce superposent quatre familles de failles normales et inversées, localement très nombreuses.

Les sédiments les plus perméables portent les marques d'une altération intense, les sables sont blanchis et kaolinisés, des fronts d'altération soulignent les interfaces sable/argile, etc. Feldspaths et glauconie, régionalement présents dans les sables marins, ne sont qu'exceptionnellement préservés. La destruction de ces minéraux, ainsi que celle probable, d'autres silicates, a libéré de la silice et de l'alumine qui, après migration, se sont recombinaées au plancher de la poche en induisant la silicification et l'halloysitisation du substrat calcaire (Perruchot et al., 1997).

L'étude du remplissage et de son altération, de ses déformations et de celles de l'encaissant halloysité fournissent les éléments d'une interprétation d'ensemble de ces gisements (Nicaise, en préparation) que la modélisation géochimique confirme et précise (De Putter et al., en préparation).

Une première phase de genèse d'halloysite se déroule pendant le Miocène inférieur à moyen au cours d'une période qui peut être de l'ordre de 10 Ma. La karstification est faible à modérée. Silicification et halloysitisation du substrat carbonaté donnent naissance à une minéralisation massive à halloysite et quartz dominants, kaolinite, monazite (Nicaise et al., 1996), sulfates d'Al subordonnés, parfois très importante (certains sites contiennent de l'ordre de 1500-2000t de minerai halloysitique). Cette minéralisation se développe de façon concordante, principalement à la faveur des joints de stratification.

A partir du Miocène moyen, la seconde phase d'évolution se traduit par une karstification très intense et se marque par un approfondissement brutal des poches karstiques qui se manifestent dans certaines conditions par des failles à rejet plurimétrique. Aux limites des karsts, des mouvements différentiels entre remplissage et substrat donnent lieu à des brèches de calcaires silicifiés plus ou moins halloysitiques remaniant la minéralisation primaire (Ertus, 1990). Très peu d'halloysite se forme au cours de cette phase, elle se retrouve au fond des poches en couches centimétriques "suspendues" à quelques décimètres au dessus du calcaire dont elle sont séparées par une altérite complexe (Ertus, 1990; Brouard, 1992).

Références:

- Berthier P.(1826) *Ann. Chim. Phys.*3: 332-334.
Brouard E.(1992) Thèse Univ. Paris Sud, Orsay, 249p.
D'Omalus d'Hallo J.B.(1841) *Bull. Soc. Géol. France*, 12: série I, 245-251.
Dupuis C.& Ertus R.(1992) 10th Intern. Clay Conf., Adélaïde, Australia, abstr. 50-52.
Ertus R.(1990) Thèse Fac. Polyt. Mons et Univ. Paris Sud, Orsay, 177p.
Nicaise D.(1998) Thèse en préparation, Univ. Paris Sud, Orsay, 156p.
Nicaise D., De Putter Th, André L., Jedwab J. et Dupuis C.(1996) *C. Acad. Sci. Paris*, 323, série IIa, 113-120.

THE PALAEOENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE OF CLAY MINERAL AND BENTHIC FORAMINIFERAL ASSEMBLAGES DURING THE LATE CRETACEOUS (WEST AFRICA AND NORTH GERMANY)

Abderrazzak EL ALBANI⁽¹⁾, Wolfgang KUHNT⁽¹⁾ and Ann HOLBOURN⁽²⁾

(1) Geologisch-Paläontologisches Institut, Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, D-24118 Kiel.

(2) National Museum of Natural History, London, UK.

P
O
S
T
E
R

Upper Cretaceous clay minerals, benthic foraminiferal assemblages, kerogen types and carbonate microfacies are examined in organic rich sediments from the north of Germany, western African coastal basins along a latitudinal transect extending from southern Morocco to Nigeria.

Samples from Lengrich and Wunstorf section, north of Germany, the Tarfaya Basin, southern Morocco, from DSDP Site 369, from offshore commercial wells on the Casamance Shelf, Senegal, from DSDP Site 367, from ODP Site 959 and from onshore sections of the Benue Trough in Nigeria are analysed. Organic rich sediments from these sites are characterized by smectite-rich clay mineral assemblages, high amounts of marine organic matter and a typical benthic foraminiferal biofacies dominated by buliminids and bolivinids.

Upper Cenomanian and lower Turonian benthic foraminiferal assemblages exhibit extremely low diversity and are strongly dominated by a *Gabonita* biofacies. Smectite and irregulars interstratified illite/Smectite are dominated during this interval. In contrast to Coniacian to Maastrichtian assemblages, which display higher diversity and contain numerous species of *Buliminella*, *Praebulimina*, *Afrobolovina*, *Bolivina* and *Orthokarstenia*. Microfacies of this interval are characterized by siliciclastic influence (quartz, micas and shells debris) and by illite-kaolinite-rich clay mineral assemblages, low organic matter content, high terrigenous flux and benthic foraminiferal assemblages dominated by agglutinated forms.

The distribution patterns of organic rich, partly laminated sediments, clay mineral assemblages and benthic foraminiferal assemblages diagnostic of high organic carbon flux rates, low detrital influence and provide evidence that a productivity-driven oxygen minimum zone (OMZ) was established along the west african margin for most of the Late Cretaceous.

During sea level highstands at the Cenomanian/Turonian boundary and in the early Campanian the OMZ intensified and expanded to reach more proximal environments of the inner shelf.

The palaeobathymetric distribution of high productivity benthic foraminiferal biofacies reflects the establishment of an upwelling system active off coastal Africa during most of the Late Cretaceous. The extent of the high productivity equatorial belt appears to have shifted latitudinally during the Late Cretaceous as sea level and circulation patterns changed.

The zone of highest productivity was broadest in the Early Turonian, when it coincided with the maximum sea level rise and highest atmospheric temperature in the Late Cretaceous.

LIMITE D'UTILISATION DES ARGILES DANS LA RECONSTITUTION PALÉOCLIMATIQUE, EXEMPLE DU REMPLISSAGE DE L'ABRI DE LA BAUME-BONNE (QUINSON, ALPES DE HAUTE PROVENCE, FRANCE)

Kamal EL HAMMOUTI⁽¹⁾, Mostafa OUJIDI⁽¹⁾ et Henry DE LUMLEY⁽²⁾

(1) Université Mohamed 1er, Faculté des Sciences, Oujda, Maroc.

(2) Directeur du Muséum National d'Histoire Naturelle.

Le remplissage de l'abri de la Baume-Bonne comprend deux grandes unités stratigraphiques. A la base, une série fluviatile stérile (ensemble I et II) a été déposée par le Verdon, probablement au Pléistocène inférieur et moyen. Au-dessus, les sédiments anthropiques (ensemble III, IV, VI, VII et VIII) proviennent d'une part du plateau par ruissellement, et d'autre part de la desquamation et de la décalcification de la paroi. Ces niveaux sont d'âge Pléistocène moyen.

Les minéraux argileux présents dans les sédiments du remplissage sont principalement hérités. La kaolinite est dominante dans les deux niveaux fluviatiles, tandis que dans les sédiments anthropiques, l'illite est majoritaire par rapport à la kaolinite et la smectite. L'ensemble III présent au sud et au centre de l'abri présente exclusivement de l'illite qui a résisté à la phosphatogénèse, celle-ci ayant fortement affecté les sédiments de cet ensemble bariolé.

La présence de matière organique et ses conséquences sur l'altération des argiles d'une part, ainsi que l'apport d'argiles autochtones par dissolution de la paroi d'autre part, limitent le rôle des minéraux argileux dans la reconstitution des conditions paléoclimatiques qui prédominaient à la Baume-Bonne.

LES SMECTITES, TRACEURS DES CHANGEMENTS DU CLIMAT ET DES CIRCULATIONS OCÉANIQUES PROFONDES EN ATLANTIQUE NORD SUBARCTIQUE DEPUIS 20 000 ANS

Nathalie FAGEL*, Michel PREDA**, Christian ROBERT*** et Jacques THOREZ*

(*) Laboratoire de Minéralogie, Université du Sart Tilman, B-4000 Liège.

(**) GEOTOP, Université du Québec à Montréal, CP 8888, H3C 3P8 Montréal, Canada.

(***) Centre d'Océanologie de Marseille, Université de Luminy, F-13288 Marseille.

Les bassins marginaux de l'Atlantique Nord constituent une région-clé pour l'étude des changements de la circulation océanique profonde au cours du dernier cycle climatique. Actuellement, dans la Mer du Labrador, la sédimentation hémipélagique est influencée par un fort sous-courant côtier, le Western Boundary Undercurrent (WBUC). Ce courant entraîne différentes masses d'eaux originaires des mers de Norvège et du Groënland selon une gyre dans les bassins d'Irminger et du Labrador, générant ainsi vers 40°N la masse d'eau Nord Atlantique profonde (North Atlantic Deep Water, NADW). Dans cette étude, les minéraux argileux, et plus particulièrement les smectites, sont utilisées comme des traceurs des trajectoires océaniques.

Le matériel analysé consiste en des carottiers-boîte provenant des bassins d'Islande, d'Irminger et du Labrador (missions CSS Hudson 1990 et 1991) et un carottier par piston prélevé le long de la marge SW groenlandaise (HU 90-013-013), à l'entrée de la gyre du sous-courant côtier dans la Mer du Labrador à une profondeur d'eau de 3400m. Les assemblages argileux sont identifiés par une analyse par diffraction des rayons X sur la fraction décarbonatée < 2 µm. Sur quelques échantillons, des saturations au Li et au K ont été réalisées en complément des traitements classiques (essai naturel, glycolé et chauffé).

L'analyse des sédiments de surface démontre l'existence d'un lien étroit entre la signature minéralogique des bassins marginaux NW Atlantique et la trajectoire du sous-courant côtier. Chaque bassin se distingue par l'abondance relative des minéraux argileux. Les assemblages sont largement dominés par les minéraux smectitiques dans les bassins est d'Islande et d'Irminger (~60%). L'abondance relative des smectites diminue graduellement vers l'ouest du bassin du Labrador, sauf vers 2800-3400m, intervalle de profondeur correspondant à l'axe de vitesse maximale du WBUC, où elles représentent jusqu'à 50% des assemblages argileux. Cette répartition bathymétrique particulière souligne l'influence du sous-courant dans le transport des particules argileuses depuis les bassins est riches en smectites (Fagel et al., 1996). D'après l'analyse des diffractogrammes, une origine massive des smectites en relation avec la province volcanique islandaise est improbable. Il s'agit principalement d'un minéral intersratifié illite-smectite, dont les feuillets smectitiques sont d'origine transformée et de nature montmorillonitique. Seul l'échantillon prélevé à l'aplomb de la Ride de Reykjanes présente des propriétés de gonflement à l'éthylène-glycol (essai normal et saturé au Li) compatible avec une smectite d'origine néoformée de type plutôt beidellitique. Ceci suggère que les smectites des bassins est ont une origine distale. Elles proviennent probablement de l'érosion de la plateforme européenne et/ou de la marge nord est groenlandaise, et sont véhiculées par les courants profonds associés aux masses d'eaux de fond du Nord-Est de l'Atlantique (North East Atlantic Deep Water, NEADW et/ou Denmark Strait Overflow Water, DSOW). Ceci s'accorde avec le modèle de mélange des sources sédimentaires déduit des compositions isotopiques du néodyme mesurées sur la fraction argileuse totale (Innocent et al., 1997).

Au cours des derniers 20.000 ans, l'analyse minéralogique à haute résolution (avec un intervalle d'échantillonnage centimétrique) des sédiments de la marge SW groënlandaise montre une augmentation graduelle de l'abondance relative mais aussi des flux de smectites. Cette évolution pourrait refléter un renforcement progressif du sous-courant côtier au cours de la dernière transition glaciaire-interglaciaire (Fagel et al., 1997). Parallèlement, la composition des interstratifiés illite-smectite change, montrant une augmentation de la proportion des feuillets smectitiques vers le sommet de la carotte. A la base de la série, les feuillets smectitiques sont constitués par un mélange de montmorillonites et de beidellites, tandis qu'ils sont dominés par des smectites de nature principalement montmorillonitique vers le sommet. Cette évolution pourrait refléter les changements des conditions d'altération suite au rétablissement du climat après le dernier maximum glaciaire. En outre, un maximum de smectites (70%) se produit entre 10.000 et 12.000 ans (ages calendaires, intervalle 356-401 cm). Il pourrait correspondre à une contribution accrue des apports véhiculés par la masse d'eau lié au débordement du Détroit du Danemark, d'autant qu'il coïncide avec un changement de la composition isotopique du néodyme mesurée sur la fraction argileuse totale. Des études minéralogiques complémentaires de cet intervalle sont en cours, afin d'éventuellement déceler une nature minéralogique particulière des smectites. Ceci permettrait de déterminer si l'hypothèse d'un changement de sources se superposant à la tendance climatique générale est réellement fondée.

Cette étude souligne le rôle des indicateurs minéralogiques argileux dans le traçage de la circulation océanique profonde. Dans la Mer du Labrador, la composition des assemblages argileux, et plus particulièrement l'abondance des smectites, enregistre l'influence du sous-courant côtier dans les sédiments récents et permet de retracer son évolution depuis les derniers 20.000 ans. Par contre, la nature des smectites, et plus particulièrement le taux d'interstratification, seraient principalement le reflet des changements climatiques après le dernier maximum glaciaire.

Références

- N. Fagel, C. Robert, and C. Hillaire-Marcel, 1996, Clay mineral signature of the NW Atlantic Boundary Undercurrent, *Mar. Geol.* 130, 19-28.
- N. Fagel, C. Hillaire-Marcel, and C. Robert, 1997, Changes in the Western Boundary Undercurrent outflow since the Last Glacial Maximum, from smectite/illite ratios in deep Labrador Sea sediments, *Paleoceanography* 12, 79-96.
- C. Innocent, N. Fagel, R. Stevenson and C. Hillaire-Marcel, 1997, Nd mixing models and sedimentary fluxes in the North Atlantic Ocean, *Earth Planet. Sci. Lett.* 146, 607-625.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES CONDITIONS DE FORMATION DES MINÉRAUX DU GROUPE DES KAOLINS

Claire-Isabelle FIALIPS*, Sabine PETIT*, Olivier GRAUBY**, Jean-Louis ROBERT***,
Daniel BEAUFORT* et Alain DECARREAU*

- (*) UMR 6532-CNRS, « HydrASA », Université de Poitiers, 40 avenue du Recteur Pineau,
F-86022 Poitiers cedex.
(**) CRMC2-CNRS, Campus Luminy, Case 913, F-13288 Marseille cedex 9.
(***) CRSCM-CNRS, 1A rue de la Férrollerie, F-45071 Orléans cedex 2.

La kaolinite, le plus abondant minéral du groupe des kaolins, est ubiquiste dans les zones peu profondes de la croûte terrestre et peut aussi avoir une origine hydrothermale alors que la dickite et la nacrite sont peu abondantes à la surface de la terre et sont généralement liées aux gîtes hydrothermaux. De plus, la kaolinite et la dickite constituent avec les illites une part essentielle du matériel argileux que l'on peut trouver dans les réservoirs gréseux à hydrocarbure. En effet, entre 2500 et 5000 mètres d'enfouissement, plusieurs types de séquences minérales peuvent être observés : kaolinite → dickite, micas détritiques → kaolinite et/ou dickite et feldspaths détritiques → dickite. Ainsi, bien que longtemps considérés comme des minéraux très précoces, les kaolins sont susceptibles d'être porteurs d'information sur la diagenèse.

Alors que les illites ont été, et sont encore, largement étudiées, l'état actuel des connaissances sur les processus de conversion des argiles du groupe des kaolins est limité. Il a été montré que la transition kaolinite – dickite a lieu par dissolution – recristallisation, à relativement basse température (inférieure à 150 °C), lors d'un enfouissement très lent (Lanson *et al.*, 1995; Beaufort *et al.*, 1998). D'autre part, cette transition est une conversion progressive induite par un processus global de minimisation de l'énergie du cristal. Elle a lieu sans changement radical de la forme des cristaux, à la suite d'une amélioration de la cristallinité de la kaolinite, résultant de l'élimination des défauts structuraux.

Une hypothèse, avancée par plusieurs thermodynamiciens (Anovitz *et al.*, 1991; De Ligny & Navrotsky, 1998), est que la kaolinite serait la seule phase stable de la famille des kaolins et que la dickite ne serait qu'une phase métastable, dont la présence dans la nature doit être interprétée en termes de cinétique ou de résultat d'un chemin réactionnel particulier. Cependant, bien que la kaolinite et la dickite représentent deux minéraux bien distincts, les enthalpies libres de leur formation sont si proches qu'il est impossible de tracer un diagramme pression – température de stabilité de ces deux polymorphes.

Afin d'acquérir une meilleure connaissance des mécanismes et de la cinétique de la transition kaolinite – dickite, telle que l'on peut la rencontrer dans les milieux diagenétiques, nous réalisons actuellement une étude expérimentale dont l'un des premiers objectifs était de synthétiser de la dickite pour pouvoir simuler cette conversion. Cependant, aucune synthèse de dickite n'ayant été réalisée jusqu'à maintenant de façon reproductible, nous avons dû accomplir de nombreux essais.

Nous avons réalisé des synthèses mettant en jeu différents matériaux de départ, qu'ils soient amorphes (gel ou verre synthétiques) ou cristallisés (produits de synthèse partiellement ou totalement transformés en kaolinite, métakaolinite de synthèse, métakaolins d'origine naturelle ou kaolins naturels). De l'eau distillée a généralement été utilisée comme solution de synthèse mais dans la plupart des cas nous avons agi sur le pH initial par ajout de soude ou d'acide chlorhydrique. Il nous a ainsi été possible de couvrir une grande gamme de pH allant

de 0,5 à 14. Les températures de synthèse appliquées étaient comprises entre 80 et 380 °C, pour des pressions allant de 0,5 à 3000 bars et des durées de synthèse variant de 2 à 182 jours. Jusqu'à 100 °C, les synthèses ont été réalisées dans des pots en Savilex. De 100 à 240 °C, nous avons utilisé des bombes en acier inoxydable, à revêtement interne en Téflon. Cependant, les expérimentations à basse température (< 200 °C) ont été rapidement abandonnées étant donnée la très lente cinétique de formation de la kaolinite à ces températures (Espiau & Pedro, 1984). Au-delà de 240 °C, le matériel utilisé était, selon les cas, soit des réacteurs en titane (permettant de conserver un faible rapport solide / solution mais ne permettant pas d'appliquer des pressions élevées) soit des autoclaves à joint froid de type Tuttle équipés de capsules en or (permettant d'appliquer des pressions supérieures à 2 kbars).

Quelles que soient les conditions de synthèse appliquées, aucune halloysite, dickite ou nacrite n'a été synthétisée, même en phase minoritaire. Par contre, la kaolinite, qui dans les milieux diagenétiques est absente au-delà de 5000 m de profondeur, peut être synthétisée de façon reproductible pour des températures et pressions aussi élevées que 300 °C et 3 kbars.

La grande variété des conditions de synthèse expérimentées a, cependant, permis de mettre en évidence l'influence des différents paramètres (température, pression, pH, durée, nature du produit de départ et nature de la solution de synthèse) sur les paragenèses obtenues et les caractéristiques cristallographiques des kaolinites formées.

De plus, il s'est avéré possible de synthétiser une kaolinite désordonnée, avec un fort caractère monoclinique, par totale dissolution et recristallisation à partir d'un matériel synthétique contenant déjà 50% de kaolinite moyennement ordonnée, en utilisant une solution basique. Cette transformation est d'autant plus intéressante que sa cinétique est très rapide (seulement une vingtaine de jours).

Il reste maintenant à déterminer les conditions de pressions et températures limites de formation de la kaolinite afin de connaître la nature des phases lui succédant (dickite, nacrite, pyrophyllite ou autre).

REFERENCES

- ANOVITZ L.M., PERKINS D., ESSENE E.J. (1991) Metastability in near-surface rocks in the system Al(2)O(3)-SiO(2)-H(2)O. *Clays & Clay Miner.* **39**, 225-233.
- DE LIGNY D. & NAVROTSKY A. (1998) Energetics of Kaolin Polymorphs. *Soumis à Amer. Miner.*
- ESPIAU P. & PEDRO G. (1984) Comportement des ions aluminiques et de la silice en solution: étude de la formation de la kaolinite. *Clay Miner.* **19**, 615-627.
- LANSON B., BEAUFORT D., BERGER G., PETIT S. & LACHARPAGNE J.-C. (1996) Evolution de la structure cristallographique des minéraux argileux dans le réservoir gréseux Rotliegende des Pays-Bas. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. elf aquitaine.* **19**, 243-265.
- BEAUFORT D., CASSAGNABERE A., PETIT S., LANSON B., BERGER G., LACHARPAGNE J.-C. & JOHANSEN H. (1998) Kaolinite - to - dickite reaction in sandstone reservoirs. *Clay Miner.* **33**, 297-316.

LES ARGILES COMME TRACEURS DES CYCLES CLIMATIQUES D'ORIGINE ORBITALE DANS LE PLIOCÈNE DE LA MÉDITERRANÉE CENTRALE

Alain FOUCAULT et Frédéric MÉLIÈRES

P
O
S
T
E
R

ESA 7073 CNRS/UPMC/MNHN « Paléontologie et Stratigraphie », Laboratoire de Géologie, Muséum National d'Histoire Naturelle, 43 rue Buffon, F-75005 Paris. E-mail : foucault@mnhn.fr

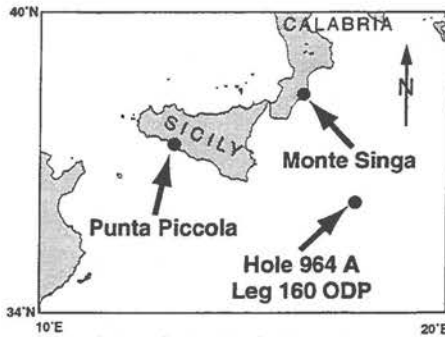


Fig. 1. Situation des coupes.

Dans les enregistrements sédimentaires, les argiles, si elles sont héritées, peuvent donner des indications fondamentales sur les apports continentaux. Nous en donnons ici des exemples où il nous est apparu possible 1) de caractériser finement des cycles astronomiques de précession (durée environ 21 000 ans) dans le Pliocène de la Méditerranée centrale et 2) d'expliquer ces cycles par l'alternance de périodes humides et de périodes sèches.

Ces exemples sont tirés de l'étude de coupes (Fig. 1), situées à la base du Pliocène (Monte Singa, Calabre, fig. 2) et dans sa partie médiane (Punta Piccola, Sicile, fig. 3; sondage 964

A ODP, bassin Ionien). Ces coupes montrent des alternances métriques de couches de marnes calcaires blanches et beiges et de couches de marnes argileuses grises parfois riches en matière organique (sapropèles ou sapropélites). L'analyse par diffractométrie X du contenu minéralogique de très nombreux échantillons a montré que les proportions relatives des argiles variaient cycliquement.

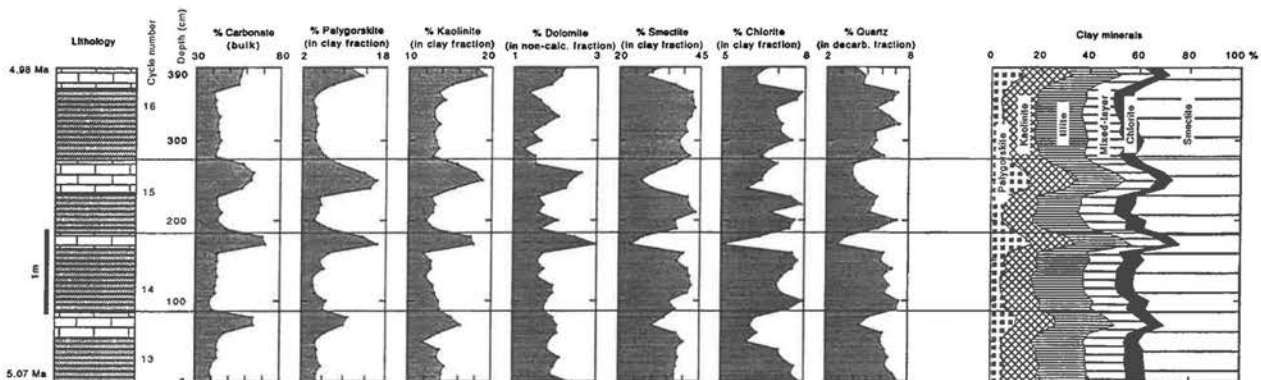


Fig. 2. Coupe de Monte Singa.

Dans les trois coupes, on trouve des proportions relativement importantes de palygorskite et de kaolinite dont les abondances sont positivement corrélées à celle des carbonates; celles de smectite et de chlorite montrent des variations opposées. Les abondances de dolomite et de feldspath suivent, dans l'ensemble, celles de la palygorskite. Parmi les minéraux argileux, la palygorskite donne de précieuses indications sur la source des apports terrigènes. Dans le domaine méditerranéen, en effet, seul le continent africain est à même d'en fournir de notables quantités, par le jeu des processus érosifs : il s'en trouve en abondance dans les dépôts paléogènes sahariens et périssahariens. Un transport par voie marine semble difficilement possible à cause du courant siculo-tunisien dirigé vers le SE, mais de nombreuses observations directes ont montré la réalité d'un transport éolien du Sud vers le Nord. La palygorskite n'est pas le seul minéral arraché par le vent au continent africain et entraîné vers la Méditerranée. Elle est généralement associée à la kaolinite, l'illite, la dolomite et le quartz : cela explique les ressemblances des variations d'abondance de ces minéraux. En revanche, la smectite et la chlorite, qui montrent des variations opposées à celles de la palygorskite et de la kaolinite, doivent avoir une origine différente qui peut être trouvée dans des régions plus ou moins éloignées du domaine alpin bordant, au nord, la Méditerranée.

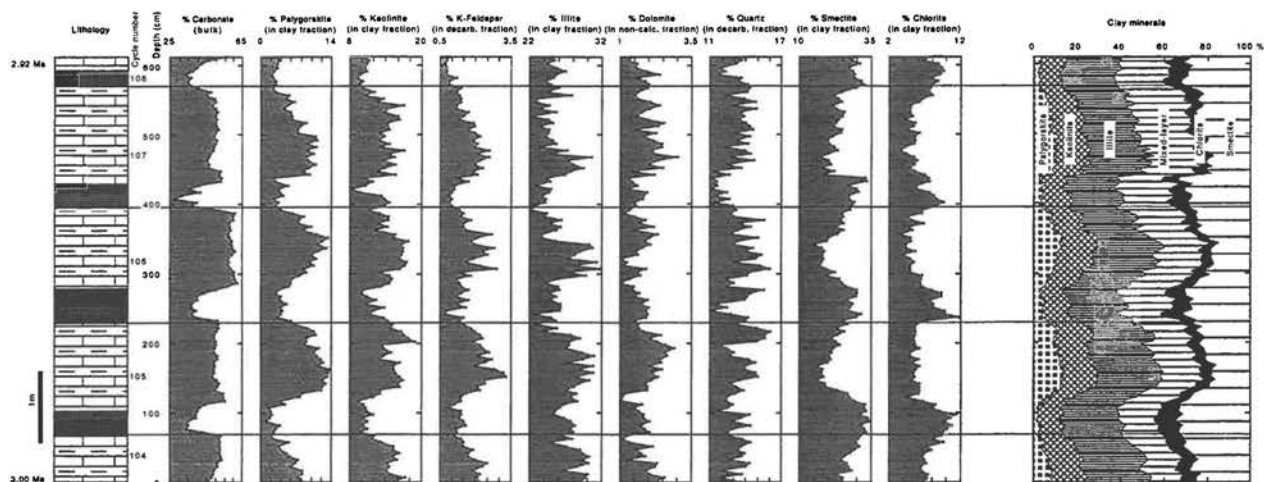


Fig. 3. Coupe de Punta Piccola

Nous proposons d'interpréter ces variations périodiques du contenu des sédiments, où s'opposent deux groupes de minéraux, comme résultant de l'alternance de périodes respectivement de faibles et fortes précipitations sur les deux côtés de la Méditerranée (Fig. 4).

1. Périodes de faibles précipitations. Du côté sud de la Méditerranée, une diminution des précipitations doit avoir augmenté l'aridité des régions sahariennes entraînant une réduction de l'extension de la végétation dans les régions péri-sahariennes; les sols se sont alors montrés beaucoup plus vulnérables à l'érosion éolienne, conduisant à un transport plus important par le vent des minéraux de ces régions (palygorskite, kaolinite, quartz, feldspath potassique, dolomite). Du côté nord de la Méditerranée, l'apport détritique des fleuves vers la mer s'est trouvé réduit, conduisant ainsi à une augmentation des proportions des minéraux transportés par le vent dans les sédiments marins. Durant ces périodes, se sont déposées les marnes calcaires claires montrant les plus grandes proportions de palygorskite et de minéraux associés (kaolinite, dolomite, quartz et feldspath), et les plus faibles de smectite et de chlorite.

2. Périodes de fortes précipitations. Du côté sud de la Méditerranée, une augmentation des précipitations sur le Sahara et sur les zones péri-sahariennes, a dû permettre à la végétation de s'installer et de se répandre, protégeant ainsi les sols, ce qui a conduit à réduire, ou même à stopper, l'érosion éolienne. Du côté nord de la Méditerranée, une augmentation des précipitations, si elle n'a pu conduire à une augmentation considérable de l'extension d'une végétation déjà présente, a dû favoriser les processus érosifs, amenant davantage de matériel détritique d'origine alpine dans le bassin marin. Durant ces périodes, se sont déposées les marnes sombres riches en smectite et chlorite, intercalées parfois de sapropélites ou de sapropèles.

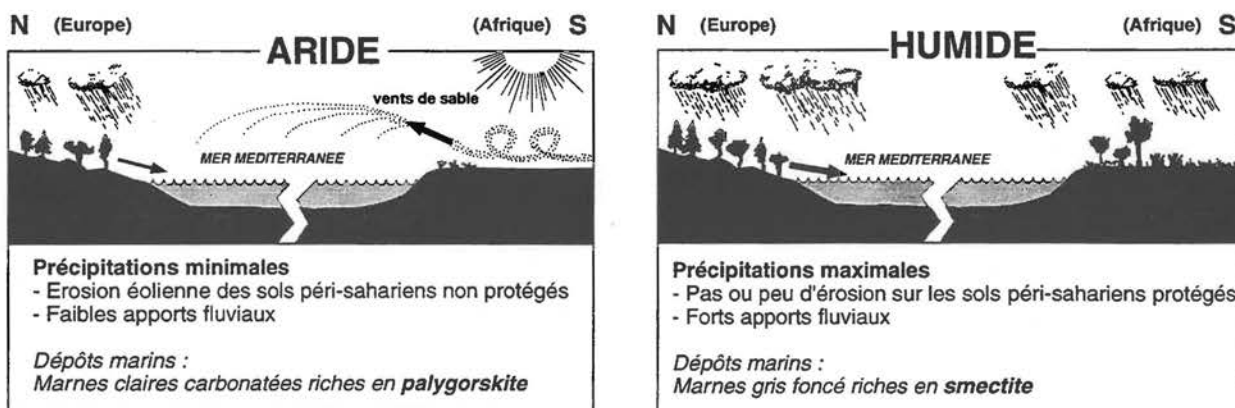


Fig. 4. Mécanismes du dépôt des alternances sédimentaires du Pliocène de Méditerranée centrale.

PRÉSENCE D'UN SOL FERSIALLITIQUE DÉVELOPPÉ SUR GNEISS ET FOSSILISÉ PAR UNE COULÉE BASALTIQUE DANS LE MASSIF DU CANTAL

Michèle GAIFFE⁽¹⁾, Jean DEJOU⁽²⁾, Michel CAILLIER⁽³⁾ et Bernard KÜBLER⁽⁴⁾

(1) Université de Franche-Comté, Place Leclerc, F-25030 Besançon.

(2) 1, rue des Raux, F-15250 Jussac.

(3) Université de Laval, dépt. des Sols et de Génie Agro-alimentaire, Sainte-Foy, Québec, G1K 7P4, Canada.

(4) Université de Neuchâtel, 11 rue Émile Argand, CH-2007 Neuchâtel.

Sur le versant droit de la vallée de l'Authre, tout près de Vercuères (Cantal), à une vingtaine de kilomètres au N-E d'Aurillac, on observe un niveau rouge fersiallitique développé sur gneiss. Il est lui-même fossilisé par une coulée basaltique située à la base de la puissante formation des brèches trachyandésitiques d'âge miocène qui occupent l'ensemble du versant.

Ses principales caractéristiques physico-chimiques sont les suivantes : couleur rouge vif (2,5 YR 3/6 à 4/8 entre 0 et 80 cm), pH basique par suite de la présence de calcite issue de la coulée basaltique, phase 0-20 µm supérieure à 45 % dans l'ensemble du profil (smectite, kaolinite et illite), complexe d'échange saturé, évolution géochimique globale marquée par le départ de Na⁺ et K⁺ et par un enrichissement en Ca²⁺ et Mg²⁺ venus du basalte.

Ce sol fersiallitique, d'apparence uniforme, pourrait correspondre à un horizon B profond. On peut le ranger parmi les fersialsols calci-magnésiques d'âge miocène. A notre connaissance, il est le premier observé sur substrat métamorphique dans le Cantal, tous ceux décrits à ce jour étant développés sur basaltes miocènes.

Mots-clés : Paléosol fersiallitique - Gneiss - Miocène - Cantal.

**LE DÉCOUPAGE DE LA SÉRIE TRIASIQUE DU BASSIN DE OUED MYA
(SAHARA CENTRAL, ALGÉRIE) : UTILISATION DES RAYONS X
ET DE LA GÉOCHIMIE DE LA FRACTION ARGILEUSE.
EXEMPLES : LE TRIAS ARGILO GRÉSEUX DES CHAMPS DE HAOD
BERKAOUI ET DE HASSI R'MEL**

M.K. KERDJIDJ* et B. BENRABAH**

(*) Institut Algérien du Pétrole de Boumerdes.

(**) Centre de Recherche et de Développement de Sonatrach.

La série triasique de la dépression de Oued Mya a une épaisseur de 250 m environ. Elle est composée de deux séries détritiques, argilo-gréseuses, appelées série supérieure et série inférieure qui sont séparées par une coulée volcanique dont l'épaisseur est variable et reste le repère lithologique qui identifie les deux séries. Parfois on note l'absence de cette coulée et la limite entre la série supérieure et la série inférieure s'avère difficile. C'est le cas du sondage de P.A-1 que nous avons également étudié.

Du fait de la variation de faciès, le découpage lithologique des formations triasiques est différent dans les champs de Hassi R'mel et celui de Haoud Berkaoui. Onze sondages des champs de Haoud Berkaoui et de Hassi R'mel et celui de P.A-1 ont fait l'objet d'un pas d'échantillonnage tous les 25 cm et les 50 cm dans les niveaux gréseux et argileux de la série supérieure et de la série inférieure.

La fraction argileuse a été étudiée au diffractomètre Philips 1710 et montre les résultats suivants :

Les principaux minéraux argileux sont : l'illite et la chlorite, parfois elles sont associées. Nous avons étudié la cristallinité de l'illite et les rapports 1002/1001, d'une part et l'intensité du pic 10 Å d'autre part. En superposant les différents diffractogrammes, on constate une variation dans l'intensité du pic 10 Å, cette variation est moins visible pour le pic de chlorite. Cette variation de l'intensité du pic 10 Å n'est pas aléatoire, surtout celle de l'illite où l'on constate une diminution de l'intensité du pic 10 Å du bas vers le haut d'un niveau ou profil de l'ordre du mètre par exemple. En effet on constate qu'à la base du profil, l'illite se présente avec un pic très intense et une forte cristallinité avec ou non accompagné de chlorite, et au fur et à mesure que l'on monte dans le profil, c'est-à-dire lorsque la profondeur diminue l'intensité de la raie devient de plus en plus faible donnant une illite plus ouverte et parfois même le diffractogramme ne montre aucune raie quelque soit le domaine angulaire. Ceci caractérise la limite supérieure de la séquence. Cette diminution de l'intensité du pic est spectaculaire. Elle est répétitive tout le long de la série triasique et quelque soit la région étudiée.

L'explication de la perte de l'intensité n'est pas due à la diminution de la taille des particules et à la moins bonne organisation cristalline des réseaux, mais aussi à la qualité des particules cristallisées. Comme nous l'avons dit plus haut, dans certains profils la substance exposée au RX ne donne plus aucune réflexion quelque soit le domaine angulaire étudié. Ceci prouve que la substance est amorphe au RX. Cette diminution de l'intensité du pic a été observée dans certains profils de sol par Lucas en 1962 et qui sera définie dans ce travail comme une séquence d'altération ou séquence génétique. Ces séquences génétiques seront identifiées selon la nature de leur roche mère et qui seront par la suite regroupées en une grande séquence.

Les séquences génétiques sont définies comme étant les plus petites unités stratigraphiques à signification régionale qui enregistre un cycle de variation à court terme dans les milieux de sédimentation (20 0 400Ka) dont l'origine est allocyclique. En domaine continental, l'identification des séquences génétiques passe par la mise en évidence d'une variation cyclique dans l'inclinaison du profil des dépôts à l'échelle d'un système de drainage (échelle régionale). Une telle variation est alors reliée à des modifications du niveau relatif de la mer.

Le rapport I002/I001 nous a permis de subdiviser la série du Trias du sondage de P.A-1 en une alternance de zones du bas vers le haut : zone à illite magnésienne, zone à illite alumineuse et de zone mixte alumineuse et magnésienne. On constate que le phénomène se répète. C'est ce qui nous a permis de délimiter la série inférieure et la série supérieure en l'absence de la coulée volcanique. L'autre exemple est celui de la série triasique du champ de Hassi R'mel qui montre également une nette différence entre les valeurs du rapport I002/I001 des séries gréseuses des séries argileuses qui les séparent.

La répétition de cette séquence à l'échelle régionale prouve la régularité du climat aride à semi-aride du Trias. En effet ce climat est caractérisé par des pluies torrentielles périodiques suivie de périodes sèches. L'état de la fraction argileuse, qui dépend de la source d'alimentation, arrive au milieu de dépôt par le réseau hydrographique. En période de sécheresse, l'énergie de l'eau deviendra de plus en plus faible avec le temps et le réseau hydrographique sera en période d'étiage ; pendant cette période l'évaporation est plus intense et concentre les solutions des lacs, des chenaux et des sebkhas etc ... rendant ainsi les solutions plus acides donc plus agressives qui commencent à altérer les sédiments au contact eau-sédiment et qui progresse ensuite vers le bas de l'unité sédimentaire ou du profil suivant sa perméabilité sans toutefois l'atteindre complètement comme le montrent les exemples étudiés. Ce phénomène s'est répété tout au long de l'époque triasique et ressemble à une évolution pédogénétique actuelle.

LES ARGILES DE LA SÉQUENCE DU LAZARET A NICE - NOUVELLES ANALYSES

Saïd LAAFAR

Institut de Paléontologie humaine, 1, rue René Panhard - F-75013 Paris. E-mail : laafar@mnhn.fr

P
O
S
T
E
R

La séquence de la grotte du Lazaret (grotte préhistorique creusée dans un massif calcaire à Nice) comporte un dépôt de plus de 9 mètres de profondeur. Sur une formation marine située à la base, on a le dépôt karstique de couleur brun-rouge (éboulis et niveaux argileux) contenant des traces d'activités anthropiques des hommes préhistoriques. Cette séquence est datée de 180 000 ans BP à la base et 120 000 ans au sommet (Pléistocène moyen-supérieur).

Les analyses aux Rayons X de la matrice argileuse montre un faciès argileux dominé par l'association Illite-Kaolinite et relativement peu de Chlorite. Le pourcentage de ces minéraux varie très peu d'un niveau à l'autre.

L'ensemble des analyses montre une légère hétérogénéité dans la composition des argiles. Celle-ci est soulignée par une argile gonflante dans trois niveaux et à différents endroits de prélèvements où l'activité anthropique est très marquée, qui malheureusement n'a pu être déterminée bien que l'essai glycolé confirme sa présence. En effet, le pic du 14 Å passe à 18 Å. Un seul test d'analyse à l'Infra-Rouge, effectué au Muséum, a confirmé le pic de cette argile gonflante.

Il ressort de cette analyse que :

1) l'homogénéité des minéraux argileux de cette séquence dans la totalité du remplissage témoigne d'un héritage minéral à partir des formations superficielles du plateau comme en témoignent la présence des fragments calcaires dont les pores sont remplis d'argiles de décalcification.

2) la présence de l'argile gonflante peut être liée soit à une transformation in situ de la chlorite sous conditions humides (présence de flaques d'eau dans la grotte) confirmée par les analyses sédimentologiques et micropaléontologiques, soit d'un héritage à partir de l'extérieur par le mouvement de déplacement des occupants du site à ce moment là.

ORIGINE DU CORTÈGE ARGILEUX DES FORMATIONS RÉSIDUELLES À SILEX DE L'OUEST DU BASSIN DE PARIS

Benoit LAIGNEL⁽¹⁾, Florence QUESNEL^(1,2) et Robert MEYER⁽¹⁾

(1) Laboratoire de Géologie, EP CNRS 1749, Université de Rouen, F-76821 Mont-Saint-Aignan.

E-mail : Benoit.Laignel@univ-rouen.fr

(2) Compagnie Générale de Géophysique, 1 rue Léon Migaux, F-91341 Massy.

Mots clés : formations résiduelles à silex, cortège argileux, pyrophyllite, Cénozoïque, Bassin de Paris.

Résumé :

Dans la partie occidentale du Bassin de Paris, les craies du Crétacé supérieur sont recouvertes par des matériaux meubles à silex, connus sous les noms de formations résiduelles à silex ou d'argiles à silex. Ce produit d'altération météorique de la craie a fait l'objet de nombreux travaux, dans lesquels l'étude de la minéralogie de la fraction argileuse prend une place importante. Malgré cette abondante bibliographie, aucune synthèse n'a jamais été réalisée. C'est pourquoi, nous proposons une investigation systématique de la minéralogie de la fraction argileuse des formations résiduelles à silex de l'ouest du Bassin de Paris, dont l'objectif est d'aboutir à une meilleure compréhension de la genèse de ces formations.

La minéralogie de la fraction argileuse (< 2 µm) de 19 sites de formations résiduelles à silex de plateau a été déterminée par diffraction des rayons X (DRX) selon la méthode classique des préparations orientées.

La fraction argileuse des formations résiduelles à silex est composée de kaolinite, d'illite, de smectite, d'interstratifiés kaolinite/smectite et illite/smectite, de quartz, de lépidocrocite, de goethite, mais aussi de pyrophyllite, minéral qui n'a jamais été décrit dans ce type de formation. Les formations résiduelles à silex montrent une nette variabilité minéralogique régionale.

L'étude minéralogique de 29 sites de craies indique que leur fraction argileuse est presque exclusivement composée de smectite (montmorillonite) et qu'elle ne contient pas de pyrophyllite. La variabilité minéralogique, la présence de kaolinite et de pyrophyllite dans les formations résiduelles à silex posent donc un problème de filiation.

Il est démontré que la variabilité minéralogique et la présence de kaolinite a une double origine : ceci est lié, d'une part, à la période et à la durée d'altération des formations résiduelles à silex, d'autre part, à la contamination de ces formations par des sources allochtones. Des comparaisons cartographiques et minéralogiques entre les formations résiduelles à silex et les dépôts cénozoïques (conservés de manière résiduelle au sommet des formations résiduelles à silex) montrent que ce sont ces dépôts qui interviennent, en contrôlant indirectement l'âge et le degré d'altération des formations résiduelles à silex et en constituant les sources d'apports allochtones. Les dépôts cénozoïques sont également susceptibles d'expliquer l'apport de pyrophyllite. D'autre part, des analyses complémentaires sur la fraction 2-50 µm des formations résiduelles à silex ont montré que la pyrophyllite est présente en quantité plus importante dans cette fraction que dans celle inférieure à 2 µm. Ceci pourrait laisser supposer un apport d'origine éolienne en provenance éventuellement du Massif Armoricaïn.

**DÉGRADATION DES SMECTITES EN MILIEU ACIDE :
LES SOLS SULFATÉS ACIDES DES ZONES MARÉCAGEUSES
DU DELTA DU MÉKONG**

LE XUAN THUYEN* et Mireille DELAUNE**

P
O
S
T
E
R

- (*) Laboratoire sol - eau - développement, Institut de Géographie, CNRST, 1 rue Mac Dinh Chi, 1er arr.,
Ho Chi Minh Ville, Viet Nam.
- (**) Laboratoire de Sédimentologie, Centre ORSTOM d'Ile de France, 32 avenue H. Varagnat,
F-93143 Bondy cedex.

La pointe sud du delta du Mékong comprend deux grandes dépressions marécageuses, la dépression de U Minh à l'ouest et la dépression de Can Tho à l'est, séparées par une zone surélevée, le banc de Thio Binh et bordées au sud par un platier supratidal, auquel succède un marais maritime argilo-silteux, colonisé par la mangrove (Le Xuan Thuyen, 1996).

La composition minéralogique des sédiments de cette péninsule est très homogène et comprend du quartz et un cortège de minéraux argileux composé d'illite, kaolinite, smectites avec un peu de chlorite.

On a constaté en de nombreux points des zones marécageuses que les smectites étaient absentes des horizons de surface sans qu'il soit observé de différence texturale brutale entre la base et le sommet des coupes ce qui exclut un changement de sédimentation. Les sols sont des sols sulfatés acides, riches en matière organique avec des taches de jarosite et un Ph extrêmement acide. La présence en abondance de jarosite indique que l'oxydation des sulfures est en cours.

Les diffractogrammes de ces sols montrent une faible cristallinité de la kaolinite et de l'illite qui se manifeste par une décroissance notable de l'intensité des raies à 7,15 et 10 Å. La chlorite est présente en faible quantité et sans variations notables. Par ailleurs, la plupart des échantillons analysés présentent une bosse étalée entre 10 et 14 Å, qui disparaît après le traitement au citrate de sodium. Elle se déplace vers les petits angles sur le diagramme traité au glycol. La présence de cette bosse peut être interprétée comme la formation d'intergrades alumineux dans les feuillets de smectites.

Ce phénomène de dégradation des smectites dans des milieux à Ph acide a été décrit par plusieurs auteurs dans des environnements similaires à celui décrit ci-dessus : sols de tanne des mangroves du Sénégal (Marius, 1985), sols sulfatés acides de l'estuaire du Barito, Kalimantan, Indonésie (Djuwansah et Marius, 1988) et dans des sédiments acides, riches en sulfures également au Viet Nam (Brinkman *et al.*, 1993).

Des expériences menées en laboratoire ont montré que les smectites sont des minéraux fragiles vis à vis de l'acidité. Elles perdent leur structure cristalline, sont détruites et il apparaît des produits amorphes, siliceux et alumineux, visibles par une bande de diffusion entre 15 et 35° thêta (Jozefaciuk *et al.*, 1995). Ce phénomène est accentué par l'oxydation de la matière organique, très abondante dans ces sols marécageux.

Pour vérifier cette hypothèse, un échantillon du delta, prélevé dans un environnement à Ph neutre, a été placé pendant un mois dans l'eau de filtration d'une tourbe prélevée dans la mangrove et dont le Ph est voisin de 2. Les diffractogrammes des échantillons après traitement montrent une faible réflexion des raies vers 14,2 - 14,7 Å sur le diagramme normal et à 17 - 18 Å sur le diagramme glycolé. On l'interprète, soit comme une diminution de la cristallinité, soit comme une diminution de la teneur en smectites sous l'effet de l'acidité de la solution. On note également un affaiblissement de l'intensité du pic (001) de l'illite et de la kaolinite, mais moins net.

Ainsi, la disparition des smectites dans ces sols riches en matières organiques (5 à 12% de C) ne peut s'expliquer que par leur dissolution sous l'effet de l'acidité élevée (Ph compris entre 2 et 3,5) due à l'oxydation de la matière organique et des sulfures dans la vase marécageuse. Il n'est pas impossible que les chlorites soient, elles aussi, affectées par ces conditions de milieu.

Bibliographie

Brinkman R., Nguyen Bao Ve, Tran Kim Thin, Do Phuoc Hau and Van Mensvoort, 1993 - Sulfidic materials in the western Mekong delta, Viet Nam. *Catena*, vol.20 : 317 - 331.

Djuwansah M.R. et Marius C., 1988 - Les sols potentiellement sulfatés-acides de l'estuaire du Barito (Kalimantan - Indonésie). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIV, n°2 : 163 - 173.

Jozefaciuk G., Sokolowska Z., Sokolowski S., Alekseev A. and Alekseeva T., 1995 - Changes of mineralogical and surface properties of water dispersible clay after acid treatment of soil. *Clay Minerals*, vol.30 : 149 - 155.

Le Xuan Thuyen, 1996 - La zone sud du delta du Mékong. Sédimentation actuelle et évolution récente. Thèse, Université de Bordeaux I, 223p.

Marius C., 1985 - Mangrove du Sénégal et de la Gambie : Ecologie - Pédologie - Géochimie. Mise en valeur et aménagement. TD de l'ORSTOM n°193, 368p.

RESTITUTION DU CONTEXTE STRUCTURAL DES GRÈS TRIASIQUES DU FOSSÉ RHÉNAN PAR LA DATATION K-Ar DES ILLITES

N. LIEWIG⁽¹⁾, H. ZWINGMANN^(1,2), B. TOURNIER⁽¹⁾, B. LEDESERT⁽³⁾ et N. CLAUER⁽¹⁾

(1) Centre de Géochimie de la Surface (CNRS-ULP), 1 rue Blessig, F-67084 Strasbourg cedex.

(2) CSIRO, Division of Petroleum Resources, North Ryde, NSW 2113 Australia.

(3) Université de Lille I, Lab. de Sédimentologie et Géodynamique, SN 5, F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex.

Il est aujourd'hui largement admis que les illites authigènes formées au cours d'événements diagénétiques ou hydrothermaux peuvent être datées par des méthodes isotopiques, telle que la méthode K-Ar, et qu'elles peuvent ainsi aider à la reconstitution de l'évolution des séquences sédimentaires et de leur substratum (e.g. Ayalon et Longstaffe, 1988; Lee et al., 1989; Girard et al., 1989). Sur la base d'une procédure analytique bien contrôlée, nous avons entrepris une étude K-Ar d'illites extraites des grès du Buntsandstein du fossé rhénan prenant en compte leur positionnement par rapport aux accidents du socle sous-jacent. Ces séries détritiques bien connues se sont déposées dans le bassin triasique germanique et ont subi une évolution mésozoïque très comparable sous l'effet d'un enfouissement modéré de l'ordre de 1000m. Dans la région alsacienne du bassin, par suite de l'effondrement du socle et de la formation du fossé, elles ont subi ultérieurement des évolutions contrastées selon leur position dans le système faillé.

Les grès étudiés ici proviennent de quatre sites caractérisés par des variations dans la profondeur d'enfouissement et/ou par la proximité par rapport à des failles avec une activité hydrothermale associée. Ont été sélectionnés : (1) des grès des Vosges du Nord, actuellement à l'affleurement, et qui ont seulement subi un enfouissement modéré de l'ordre de 1000m avant d'être ramenés à la surface; (2) des grès également prélevés à l'affleurement dans les Vosges du Nord, mais à proximité de champs de fractures associés à de l'activité hydrothermale; (3) des grès du fossé carottés entre 1000 et 1400m de profondeur dans le champ de fractures de Soultz-sous-Forêts, et soumis à de l'activité hydrothermale; et (4) des grès de la plaine d'Alsace carottés vers 3000m de profondeur dans un forage de la banlieue de Strasbourg, avec des températures actuelles d'environ 160°C (Fritz et al., 1983).

Lorsque, pour valider les résultats obtenus, on confronte les données texturales et morphologiques avec les données K-Ar des illites de ces différents types de grès, on aboutit à plusieurs époques repères.

- Des âges de l'ordre de 320 Ma sont obtenus pour les illites détritiques de la couverture gréseuse des Vosges qui n'a jamais été suffisamment enfouie pour permettre la cristallisation d'illite authigène. L'âge de ces illites est proche de celui des muscovites du socle.

- Des âges de 200-190 Ma sont obtenus pour les illites des zones de fracture des Vosges du Nord, et du forage profond à Strasbourg. Ils soulignent une phase d'illitisation majeure probablement liée au rifting liasique.

- Des âges de 70 Ma à 55 Ma sont obtenus sur des illites de la plaine d'Alsace, à grande profondeur et dans les zones de fractures. Ils soulignent des cristallisations associées avec des événements hydrothermaux pendant l'effondrement du fossé (Sittler, 1992).

On peut aussi signaler qu'à Soultz-sous-Forêts, l'illite remplissant les fractures du granite sous-jacent fournit des âges de l'ordre de 20 Ma. Ces valeurs témoignent nettement de la complexité de la structuration du fossé, dont l'effondrement a bien commencé à la fin du Crétacé, pour se poursuivre jusqu'au début du Miocène.

- Des âges intermédiaires de l'ordre de 160 Ma ont aussi été enregistrés dans les Vosges du Nord. Plus délicats à interpréter, ils pourraient résulter autant de mélanges d'illites de plusieurs générations et ainsi ne pas avoir de signification réelle, que d'un événement hydrothermal qui n'aurait été préservé que dans les Vosges du Nord. Il faut cependant rappeler qu'un épisode à 160 Ma a été obtenu sur des fractions illitiques dans le Rhétien du Bassin de Paris (Mossmann et al., 1992; Clauer et al., 1995).

En conclusion, ce travail montre que le contexte structural est un élément important dans l'interprétation des époques de cristallisation des illites authigènes extraites de séries détritiques. La prise en compte de ce paramètre permet d'envisager des modélisations de l'évolution des bassins sédimentaires et de distinguer l'influence respective de l'enfouissement et/ou des circulations de fluides hydrothermaux durant l'évolution des séquences sédimentaires qui les remplissent. Elle peut ainsi largement contribuer à en améliorer la modélisation par l'apport de la connaissance du facteur temps.

Références :

- Ayalon A. et Longstaffe F.J., 1988 : *J. Sedim. Petrol.*, 58, 489-505
Clauer N., O'Neil J.R. et Furlan S., 1995 : *Clay Min.*, 30, 597-609.
Fritz B., Jeannette D. et Clauer N., 1983 : *Terra Cognita*, 3, 233
Girard J.P., Savin S.M., Aronson J.L., 1989 : *J. Sedim. Petrol.*, 59, 519-538
Lee M., Aronson J.L. et Savin S.M., 1989 : *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 73, 195-215
Mossmann J.R., Clauer N. et Liewig N., 1992 : *Clay Min.*, 27, 211-226
Sittler, 1992 : *N. Jb. Geol. Palaeont. Abh.*, 186/3, 255-282

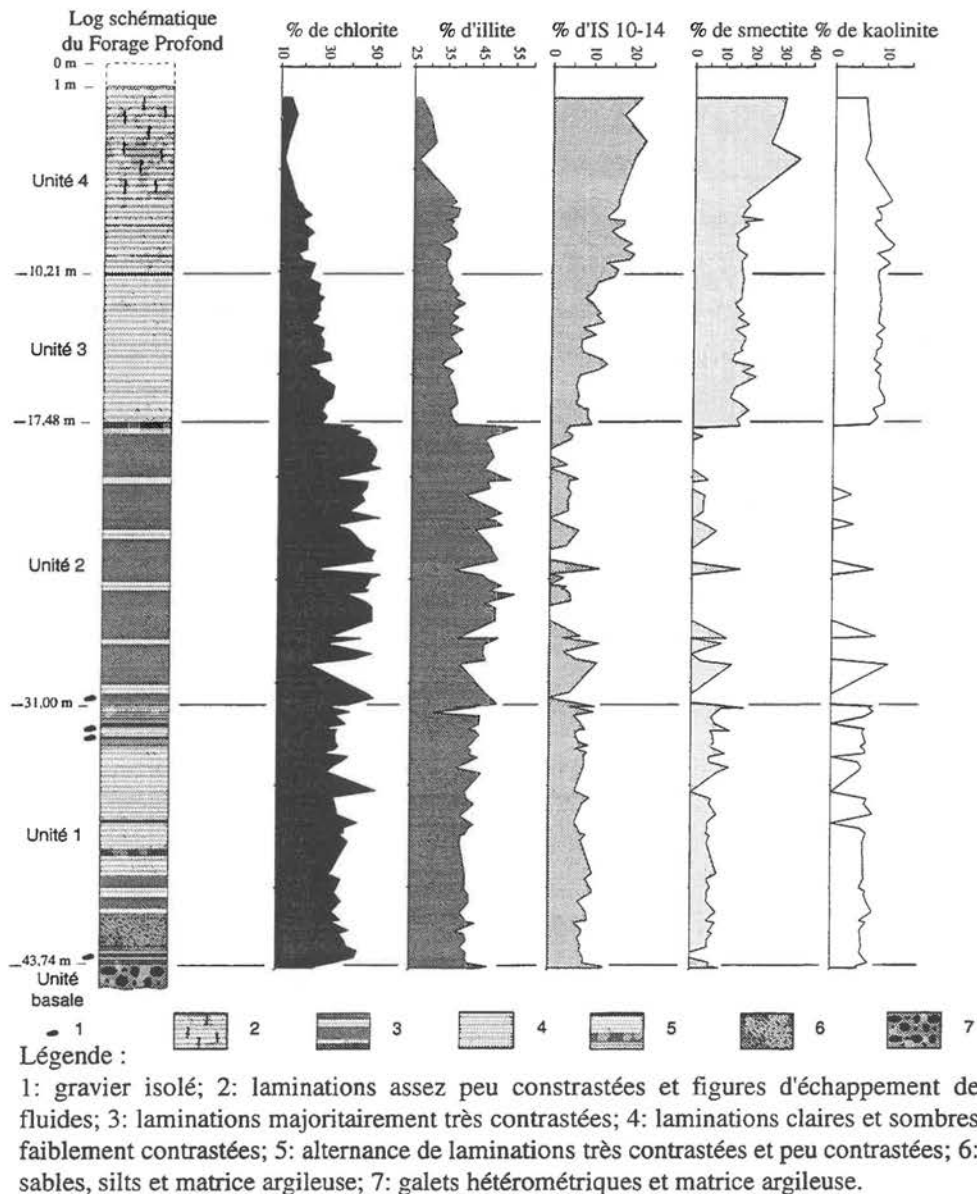
UTILISATION DES MINÉRAUX ARGILEUX COMME MARQUEURS DE SOURCES TERRIGÉNIQUES ET D'ÉVOLUTION DE BASSIN VERSANT. CAS DU REMPLISSAGE SÉDIMENTAIRE DU LAC D'ANNECY

Frédéric MANALT*, Christian BECK* et Jean-François DECONINCK**

(*) LGCA, Université de Savoie, Campus Scientifique Savoie-Technolac, F-73376 Le Bourget-du-Lac.

(**) UFR Sciences de la Terre, URA-CNRS 719, Université de Lille I, F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex.

Dans le cadre d'une étude globale du remplissage sédimentaire du lac d'Annecy (réalisée au sein du groupe de recherche CLIMASILAC), une analyse des minéraux argileux a été effectuée sur l'ensemble de la série recoupée dans un forage de 44 m de long réalisé sous 57 m d'eau. Un contenu qualitatif et quantitatif particulier a pu ainsi être mis en évidence au sein des différentes unités sédimentaires reconnues (voir figure).



A l'échelle de ses unités, plusieurs changements majeurs dans les cortèges argileux, indiquant des variations de sources sédimentaires, ont pu être mis en évidence par cette analyse. Ces changements (autorisant la corrélation de forages situés dans des milieux de dépôt distincts) ont été imputés à l'évolution des masses glaciaires dans le bassin versant du lac lors de la dernière déglaciation ainsi qu'aux variations morphologiques de ce même bassin versant (captures, abandon d'affluents au lac...). Ils ont ainsi permis (en liaison avec l'analyse des autres paramètres sédimentologiques étudiés) une esquisse de reconstitution paléogéographique de la déglaciation sur la zone concernée.

Dans la partie sommitale du remplissage, l'évolution des cortèges argileux semble mettre en évidence le développement de la pédogenèse sur le bassin versant. Cette évolution, liée à l'amélioration des conditions environnementales durant l'Holocène correspondrait donc à un signal climatique.

A l'échelle de la lamine, l'analyse des minéraux argileux a permis de mettre en évidence une différence de constitution entre plusieurs types de dépôts très fins (silts argileux) se succédant très rapidement (échelle annuelle). Un asynchronisme des apports en provenance du bassin versant hydrographique et du bassin versant glaciaire du lac a ainsi pu être souligné.

Il semble donc qu'en milieu lacustre alpin, les minéraux argileux constituent un outil de choix tant pour évaluer l'évolution des apports détritiques au lac que pour mettre en évidence les changements climatiques globaux affectant le bassin versant.

Pour ce dernier aspect, il semble que la méthode puisse être validée et développée à l'avenir, notamment à l'aide d'une mise en relation étroite d'analyses palynologiques et de cortèges de minéraux argileux prélevés en continu sur un même site de forage. Cette mise en oeuvre devrait alors permettre de définir plus précisément la sensibilité des cortèges argileux aux variations climatiques en milieu continental.

STABILITÉ THERMIQUE DES SÉDIMENTS CALLOVO-OXFORDIENS DU BASSIN DE PARIS : COMPORTEMENT DES ARGILES

Régine MOSSER-RUCK*, Michel CATHELINÉAU*, Véronique ROUBEUF*
et Alain TROUILLER**

P
O
S
T
E
R

(*) CREGU-UMR 7566 G2R, BP 23, F-Vandœuvre-lès-Nancy cedex. E-mail : ruck@cregu.cnrs-nancy.fr

(**) ANDRA, Parc de la Croix Blanche, 1-7 rue J. Monnet, F-92298 Châtenay-Malabry cedex.

Les travaux de recherche s'inscrivent dans le cadre de l'étude générale du comportement de sédiments argileux lors d'une élévation de la température (expérimentation en autoclaves dans des chambres inertes chimiquement (or ou téflon)), dans des conditions proches de celles de stockage de déchets radioactifs (pression et température contrôlées, présence de solution). Ils sont focalisés sur l'évolution de la minéralogie des roches, de la matière organique, et de la chimie des fluides lors d'une élévation de la température en présence de solutions initiales variées (eau pure, eau de caractéristiques proches des eaux interstitielles), et de différents rapports liquide/solide. Des expérimentations complémentaires ont été réalisées sur des minéraux de référence (smectites homoioniques) dans des conditions similaires.

Ces interactions eau/argilite, simulées expérimentalement, peuvent être décrites quantitativement grâce aux prélèvements simultanés des solides et des solutions, en cours ou en fin des expériences. Les différentes phases minérales sont caractérisées grâce à l'intégration de différentes techniques analytiques (DRX, MEB, MET, sonde électronique, et mesure de CEC, granulométrie, ...).

L'analyse chimique de petites quantités de solides après expérience a été validée sur des argiles de référence grâce à une approche intégrant 3 échelles d'investigation, qui se révèlent particulièrement en bon accord, et qui sont complémentaires lorsqu'elles sont appliquées à des populations complexes de particules argileuses: analyse globale par ICPEs et ICP-MS, MET et microsonde électronique sur dépôts de particules dispersées. Les solutions sont analysées par ICPEs, ICPMS, et chromatographie ionique. Le choix initial d'une température de 200°C sur des temps nécessairement limités (jusqu'à 16 semaines) pour les premières expériences réalisées, permet à la fois de compenser la cinétique lente des processus aux températures basses, et de tester l'effet de conditions extrêmes. Les résultats analytiques sur les solutions et les solides permettent enfin de tester l'équilibre entre les phases minérales (sur ou sous saturation) et les fluides expérimentaux, ainsi que la validité des codes géochimiques à simuler des systèmes complexes.

Comportement thermique des argiles

Les résultats obtenus sur le comportement du sédiment de la Haute Marne à 200°C en présence d'eau et pour différents rapports eau/roche (restitution du taux d'humidité dans le cas d'un rapport L/R de 0,1, jusqu'à la simulation d'interaction eau pure-sédiment avec des rapports de 2/1, 10/1 et 50/1) sont les suivants: une faible réactivité des minéraux en général et une bonne stabilité des argiles de type interstratifiés I/S (R0) qui constituent la fraction dominante des argiles. Les I/S sont en effet toujours très dominants dans le sédiment, même après 16 semaines d'expérience, avec peu de variations significatives de leurs caractéristiques (proportion de feuillets gonflants, cristallogénie). Les modifications minéralogiques et cristallogéniques observées (échange en site interfoliaire, déshydratation de certains feuillets) dans les produits de réaction restent limitées et sont fonction du rapport liquide/roche. Globalement, les argiles transformées ne présentent pas de modification significative de leurs propriétés de gonflement, et de leurs capacités d'échange.

Les principaux phénomènes observés concernent des échanges en site interfoliaire des I/S (remplacement de Na par Ca (et Mg)), de légères modifications de l'occupation tétraédrique (perte en Si), et la dissolution partielle des minéraux jusqu'à atteinte de l'équilibre eau-sédiment. La composition de la solution initiale est donc modifiée. Ces processus sont favorisés lorsqu'il y a un fort déséquilibre entre le chimisme de la solution initiale et le sédiment, et si le rapport liquide/roche est élevé.

Ces expériences de mise à l'équilibre eau-sédiment à 200°C ont permis par ailleurs d'estimer la composition des eaux dans des cas extrêmes de mise en contact d'eau pure avec le sédiment. La dissolution partielle du sédiment, en particulier des carbonates et des argiles, est mise en évidence, ce qui est logique en raison du potentiel de dissolution de l'eau pure. Les taux de dissolution des minéraux ainsi que la salinité résultante des solutions sont des paramètres très sensibles à la valeur du rapport liquide/roche.

Du point de vue méthodologique, les résultats analytiques obtenus montrent la nécessité de mettre en oeuvre des approches intégrées des phénomènes:

- caractérisation intégrée des mêmes solides du point de leur structure, de leur cristallographie, de leur propriétés de surface, et de leur propriétés d'échange. Par exemple, la déshydratation des smectites paraît un processus fondamental à l'origine de la fermeture des feuillets gonflants à 10 Å. L'approche cristallographique s'avère alors fondamentale, la seule diffraction des rayons X ne permettant pas, par exemple, de distinguer des feuillets de type « smectite déshydratée » ou de type illite, ou de révéler simplement les modifications chimiques intimes des argiles (site octaédrique, site interfoliaire). Ainsi, les principaux échanges en site interfoliaire des I/S de type RO dans une roche aussi complexe qu'une argilite sont également parfaitement étudiables par l'étude cristallographique, et sont confirmés par les bilans sur les solutions. Les caractéristiques chimiques des solutions intègrent toutefois plus que le simple échange, des phénomènes de dissolution des phases argileuses ou annexes étant souvent observés. En conséquence, l'échange spécifique aux argiles (site interfoliaire notamment) ne peut pas non plus être complètement cerné sur la seule base des bilans avant/après réaction (dans le cas milieu fermé) ou entrée/sortie (milieu ouvert) sur les solutions.

- l'approche expérimentale apparaît comme une des voies les plus prometteuses d'exploration des caractéristiques géochimiques des fluides interstitiels des argilites, qui sont difficiles à obtenir par pressage ou prélèvement direct. L'étude de la composition des fluides expérimentaux obtenus avec différents rapports eau/roche permet en effet de déterminer l'influence spécifique du rapport eau/roche sur les taux de dissolution. Les caractéristiques des solutions expérimentales sont très dépendantes de la nature des phases minérales accompagnant les argiles (carbonates, sulfates), ce qui démontre l'importance de l'étude intégrée de la stabilité de toutes les phases minérales composant l'argilite. L'évolution minéralogique de l'argilite en cours de forage, prélèvement, conditionnement est par ailleurs un élément déterminant, qui peut grandement influencer sur les caractéristiques chimiques des fluides.

L'approche expérimentale dans un laboratoire conventionnel constitue donc une aide précieuse à la définition des objectifs expérimentaux nécessaires dans un laboratoire souterrain, et restera un complément indispensable à toute analyse de processus, dans des conditions entièrement contrôlées, en parallèle des travaux réalisés in-situ.

MINÉRALOGIE DES ARGILES DES SÉDIMENTS DU CALLOVIEN MOYEN À L'OXFORDIEN MOYEN DU FORAGE ANDRA HTM 102 (EST DU BASSIN DE PARIS) : CONTRÔLE EUSTATIQUE ET INFLUENCE VOLCANIQUE

Pierre PELLENARD*, Jean-François DECONINCK*, Didier MARCHAND**,
Jacques THIERRY** et Georges VIGNERON***

- (*) Université de Lille I, Sédimentologie et Géodynamique, URA CNRS 719, F-59655 Villeneuve d'Ascq.
(**) Université de Bourgogne et UMR 5561, Centre des Sciences de la Terre, 6 Bd Gabriel, F-21000 Dijon.
(***) ANDRA, Parc de la Croix Blanche, 1-7 rue J. Monnet, F-92298 Châtenay-Malabry cedex.

L'étude à haute résolution d'un des forages de l'ANDRA dans le site de l'Est (HTM 102), à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne, avait pour objectif de caractériser l'évolution verticale des cortèges argileux par un échantillonnage continu et serré (1 échantillon/1m ou 1 échantillon/50cm) et d'interpréter les changements minéralogiques observés lors d'études antérieures (ERM, 1995). La couche étudiée d'une épaisseur de 130 m (entre -342 m et -472m) correspond aux dépôts du Callovien moyen, zone à Jason, jusqu'au début de l'Oxfordien moyen, zone à Plicatilis.

Un échantillonnage systématique des faunes d'ammonites (abondantes dans la partie inférieure du sondage) a permis la reconnaissance de différentes zones, sous-zones et horizons, aboutissant à un découpage biochronologique précis.

Une étude sédimentologique (détermination des faciès et microfaciès) et la confrontation des données diagraphiques et minéralogiques antérieures (DIASTRATA, 1997), permet de proposer un découpage séquentiel en trois cycles de troisième ordre faisant partie du cycle transgressif/régressif de deuxième ordre Callovien inférieur-Oxfordien supérieur, défini par Guillocheau (1991). Les faciès les plus argileux, déduits de la minéralogie et des outils diagraphiques, indiquent une surface d'inondation maximale de deuxième ordre (SI2) datée de l'extrême base de l'Oxfordien inférieur, zone à Mariae, sous-zone à Scarbugense (fig.)

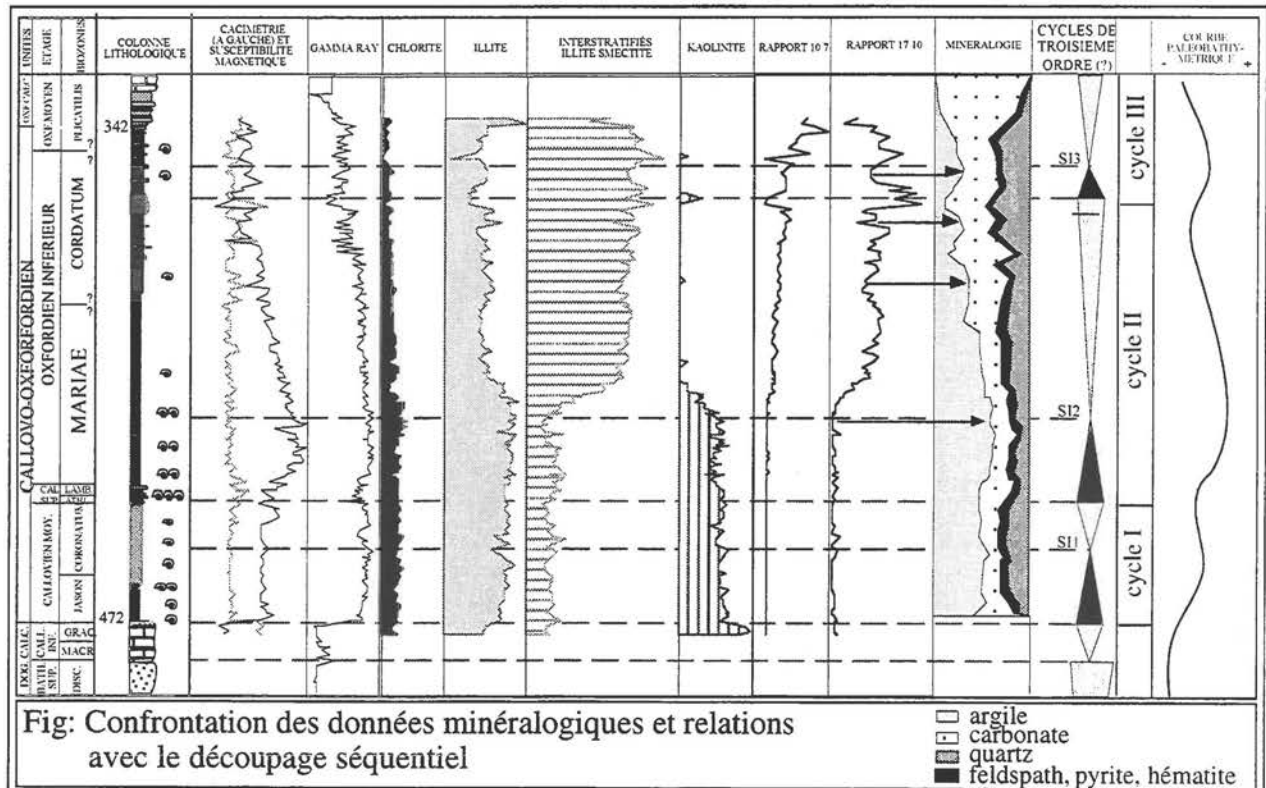
L'analyse de la minéralogie des argiles par diffraction des rayons X permet l'identification de zones et sous-zones minéralogiques dans la série sédimentaire. Les cortèges argileux sont principalement dominés par les interstratifiés illite/smectite, l'illite, la chlorite et la kaolinite en proportion variable (fig.). Une zone minéralogique particulière entre 418 m et 409 m (sous-zone à Scarbugense) se caractérise par la diminution progressive et rapide, vers le haut des proportions de kaolinite et d'illite au profit d'interstratifiés illite/smectite et marque le passage d'interstratifiés I/S pauvres en feuillets smectitiques en interstratifiés I/S riches en feuillets smectitiques, identifiables à des smectites (fig.). Le passage s'effectue sur une épaisseur réduite en un temps relativement court puisqu'il intervient au sein d'une même sous-zone d'ammonite.

L'observation au microscope électronique à balayage de ces argiles, les analyses antérieures réalisées sur la matière organique et l'étude des inclusions fluides (CREGU, 1995), suggèrent une influence négligeable d'une diagenèse liée à l'augmentation de température en profondeur. Le fait que le changement minéralogique soit corrélé avec une surface d'inondation de deuxième ordre dans les trois forages réalisés par l'ANDRA sur le site Est (changement minéralogique dépendant de surfaces temporelles) suggère que l'évolution verticale des cortèges argileux est plutôt le témoin de modifications des environnements de dépôt, en relation directe avec les changements paléogéographiques de la bordure orientale du Bassin de Paris au cours du Callovien supérieur-Oxfordien inférieur.

La correspondance des cortèges argileux avec le découpage séquentiel (fig.) révèle deux signaux distincts en réponse aux cycles de deuxième ordre et aux cycles d'ordre supérieur. L'arrivée massive de smectites à l'Oxfordien inférieur pourrait traduire une période d'accélération de l'ouverture atlantique, en relation avec l'augmentation du niveau marin lors d'un cycle de deuxième ordre. A plus court terme, la signature des minéraux argileux est modulée par des

périodes à fort détritisme (apport d'illite et de chlorite) relatives aux variations eustatiques de troisième ordre et/ou relatives à des périodes de rajeunissements morphologiques de terres émergées. Deux sources sont envisagées : un apport externe (Atlantique ?) de smectites au cours de l'Oxfordien inférieur ; un apport plus proximal caractérisé par des cortèges argileux dominés par l'illite, les interstratifiés I/S pauvres en feuillets smectitiques, la kaolinite et la chlorite. Ce dernier traduit l'érosion des domaines émergés de l'époque (massif Londres Brabant et Massif Armoricain).

L'étude à haute résolution des assemblages argileux a également révélé, à 351 m au passage entre la zone à Cordatum et la zone à Plicatilis, la présence d'un niveau très riche en smectite provenant de l'altération de verres volcaniques. Ce niveau correspondant à une bentonite, contient des minéraux d'origine volcanique (pyroxènes, amphiboles, apatites, quartz automorphes, zircons) suggérant un volcanisme acide. Ce niveau repère pourrait constituer un outil de corrélation très précis s'il pouvait être reconnu à l'échelle du Bassin de Paris ou dans des bassins de sédimentation voisins. Il permettrait en outre de fournir une datation absolue pour la limite Oxfordien inférieur/moyen.



Références :

- CREGU, 1995. Caractérisation et étude du comportement thermique des roches et kérogènes du Callovo-Oxfordien - caractérisation des faciès organiques. *Rapport interne ANDRA 6B1 RP CRE 95002*
- DIATRATA, 1997. Synthèse des études sur les terrains d'âge jurassique. *Rapport interne ANDRA D RP 0DIA 97 001*.
- ERM, 1995. Caractérisation d'échantillons d'argiles du forage HTM 102. *Rapport interne ANDRA 6BH RP ERM 95 001*.
- GUILLOCHEAU F., 1991. Mise en évidence de grands cycles transgressions-régressions d'origine tectonique dans les sédiments mésozoïques du Bassin de Paris. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312 II, pp. 1587-1593.

INFLUENCE DE LA DIAGENÈSE DES CHLORITES SUR LES PROPRIÉTÉS RÉSERVOIRS - EXEMPLE DU DÉVONIEN INFÉRIEUR DU BASSIN DE GOURRARA

L. OUDJEDI

Institut Algérien du Pétrole, avenue du 1er novembre - Boumerdes 135000 - Algérie.

Le Dévonien inférieur dans le Bassin de Gourrara (Algérie centrale) est constitué d'une épaisse série détritique caractérisée par une alternance de niveaux métriques à décimétriques argileux, grés-argileux et gréseux. Les niveaux grés-argileux et gréseux présentent un fort potentiel gazéifère.

Au niveau de chaque séquence, les meilleures qualités réservoir sont localisées au niveau des faciès gréseux grossiers proximaux. La distribution des qualités réservoir au niveau des faciès gréseux productifs est en relation avec l'évolution verticale des paramètres granulométriques et la répartition sélective des différents minéraux siliceux, carbonatés, argileux ferrugineux ... La corrélation entre l'évolution des qualités réservoir et la proportion des cimentations montre que pour ce qui concerne les ciments argileux, seul le ciment chloriteux présente une influence apparemment favorable sur les qualités réservoir.

L'étude spécifique par RX, microsonde et MEB du ciment chloriteux montre que ce dernier est de nature ferrifère et fortement cristallisé.

Le niveau des meilleures qualités réservoir présentent une proportion appréciable de ce ciment chloriteux. La proportion du ciment chloriteux bien cristallisé apparaît en relation avec le degré de confinement de l'ouverture du réseau poreux et des ciments associés.

La reconstitution de la séquence diagénétique des cimentations et de celle des conditions spécifiques du développement de ces chlorites bien cristallisées permettra une meilleure prospection de ces niveaux gréseux proximaux.

DIAGENÈSE ET CHLORITISATION : ESTIMATION DES TENEURS EN CHLORITE DANS LES GRÈS PAR MESURE DE LA RÉFLECTANCE DIFFUSE

Séverine PENON, Pierre TREMBLAY, Thierry JACQUIN et Michel STEINBERG

Laboratoire de Géochimie des Roches Sédimentaires, Université de Paris Sud, CNRS EP 1748 « Orsayterre »,
Bâtiment 504, F-91045 Orsay.

La formation d'argiles diagénétiques a très souvent des conséquences négatives sur la porosité et/ou la perméabilité des roches. Ainsi, l'illite diagénétique provoque-t-elle la diminution des qualités de réservoir de certains grès des séries de la Mer du Nord. Depuis quelques années, un cas différent a été signalé. Il s'agit de la formation de chlorite diagénétique qui, tapissant la surface du quartz, s'oppose à la formation d'auréoles de croissance et préserve, de ce fait, la porosité du grès. Cependant, cette préservation dépend du moment où la chloritisation s'est produite et de la quantité de chlorite formée. Dans le cas étudié, quand la quantité de chlorite est < 1%, la surcroissance du quartz n'est pas inhibée et la porosité est donc colmatée par du quartz. Pour des teneurs de quelques pourcents à 10%, la porosité du grès est conservée. Au delà, quand les teneurs en chlorite deviennent plus importantes, les pores sont peu à peu colmatés. En outre, la chloritisation affecte de façon hétérogène les grès : tel niveau est chloritisé, tel autre ne l'est pas et ceci varie d'un point à l'autre des bassins. Il est donc très important de pouvoir évaluer rapidement les quantités de chlorite. Comme souvent dans le domaine pétrolier, on a cherché à résoudre ce problème en utilisant les diagraphies. La détection et l'évaluation des quantités d'illite ne posent guère de problème. Ce minéral renferme du potassium, il peut donc être repéré par spectrométrie du rayonnement γ naturel et dosé plus ou moins précisément (en l'absence d'autres minéraux potassiques). La chlorite ne peut être détectée de cette façon. En outre sa présence peut induire des confusions avec la présence de fluides. Pour l'instant, seuls des examens sur carotte permettent d'étudier la répartition de la chlorite et d'en évaluer les teneurs. Les examens pétrographiques, les analyses chimiques ponctuelles (microsonde etc..) sont à même d'apporter des réponses précises. Cependant leur mise en oeuvre est relativement longue et coûteuse. C'est pourquoi, nous avons testé l'utilisation d'un spectrophotomètre optique mis au point dans notre laboratoire.

Cet outil analyse, dans les domaines du visible (400 à 900 nm) et du proche infrarouge (900 à 2500 nm), la lumière réfléchiée par des objets géologiques éclairés par de la lumière polychromatique. Cette méthode a surtout été développée dans le domaine spatial. En dehors de la couleur qui peut être précisément déterminée de cette façon, le domaine du proche infrarouge comporte des bandes d'absorption qui, comme pour la spectroscopie IR classique, sont plus ou moins caractéristiques de certains minéraux. L'outil conçu au Laboratoire, dénommé Charlotte et construit en collaboration avec la SOPRA, présente plusieurs avantages : (1) la méthode est non destructive, elle ne nécessite pas de préparation compliquée (une carotte sciée convient parfaitement) (2) tous les paramètres instrumentaux (domaine de longueur d'onde exploré, pas de mesure (minimum = 1 mm), durée des acquisitions etc..) peuvent être pilotés par ordinateur et (3) les acquisitions sont assez rapides (de 1-2 minutes à 15 minutes).

Les quelques résultats présentés ont été obtenus sur 5 fragments de carotte d'âge jurassique provenant d'un puits de Mer du Nord et qui nous ont été confiés par MOBIL. Ce

sont des grès surtout formés de quartz et de chlorite ferrifère (type chamosite) associés à des quantités mineures de muscovite et d'illites. Six autres petits fragments, récoltés à des profondeurs voisines de celles des carottes, nous ont permis d'effectuer des analyses destructives (observations en lame mince et au MEB, analyses chimiques ponctuelles et spectroscopie infrarouge à l'aide d'un spectromètre classique). Ces analyses ont permis d'estimer la teneur en chlorite des échantillons, qui va de 0 à 9 % environ. En outre, une série de mesures a été faite, à l'aide de Charlotte, sur des mélanges artificiels de quartz et de chlorite, dans le domaine du visible (VIS) et du proche infrarouge (NIR). Ces mesures ont permis de constater que quel que soit le domaine de longueur d'onde considéré, il existe des relations simples entre l'intensité de divers caractères spectraux et les teneurs en chlorite. Il a donc paru réaliste de tenter de retrouver des relations similaires pour les grès de la Mer du Nord.

Les études spectroscopiques menées dans le domaine du VIS et celui du NIR, montrent qu'à partir de la forme des spectres de réflectance, il est possible de distinguer les grès pratiquement dépourvus de chlorite de ceux qui en contiennent, même en faible quantité. En outre, quel que soit le domaine de longueurs d'onde étudié, certaines parties des spectres évoluent avec la teneur en chlorite. Il n'est cependant pas possible de déduire, à partir de l'étude de 5 échantillons seulement, des relations formelles entre caractéristiques spectrales et les teneurs en chlorite. Des travaux en cours sur un plus grand nombre d'échantillons montrent qu'il sera possible d'étalonner le spectrophotomètre et d'estimer ainsi les variations des teneurs en chlorite "en continu" le long de carottes de forage.

EHRENBERG S.N. (1993) – Preservation of anomalously high porosity in deeply buried sandstones by grain-coating chlorite : examples from the Norwegian continental shelf – *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 77, 7, pp. 1260-1286.

HUTCHEON I. (1990) – Aspects of the diagenesis of coarse-grained siliciclastic rocks – "Diagenesis" *Geoscience Canada Reprint series 4*, pp. 165-176.

MIX A.C., RUGH W., PISIAS N.G., VEIRS S. and al. (1992) – Color reflectance spectroscopy : a tool for rapid characterization of deep-sea sediments – *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports*, 138, pp. 67-77.

PENON S. (1998) Intérêt de la mesure de la réflectance d'échantillons géologiques à haute résolution. Thèse. UPS- Orsay. 292 pp.

PENON S., TREMBLAY P., STEINBERG M. et TUCHOLKA P. (1997) Rapid characterization of sediments using color and near infrared reflectance spectroscopy. *EUG.Terra Nova*, 9, p.632 .

PINET P. and CHEVREL S. (1990) – Spectral identification of geological units on the surface of Mars related to the presence of silicates from earth based on near-infrared telescopic charge coupled device imaging – *Journal of Geophysical Research*, 95, pp. 14345-14446.

ÉVOLUTION VERTICALE DU CORTÈGE ARGILEUX ET DE L'A.S.M. DANS LA SÉDIMENTATION HISTORIQUE DU LAC DU BOURGET (SAVOIE) ; CONTRIBUTION À LA VALIDATION D'UN SIGNAL PALÉOCLIMATIQUE À HAUTE RÉOLUTION.

Jean-Baptiste PEYAUD*, Emmanuel CHAPRON*, Jean-François DECONINCK*,
Olivier AVERBUCH*, Marc DESMET** et Christian BECK**

P
O
S
T
E
R

(*) Sédimentologie et Géodynamique, URA CNRS 719, Université de Lille I, Cité Scientifique,
F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex.

(**) Laboratoire de Géodynamique des Chaînes Alpines, UPRES A CNRS 5025, Campus Scientifique Savoie-
Technolac, F-73376 Le Bourget-du-Lac cedex.

Une étude sédimentologique - minéralogique et texturale - à haute résolution a été effectuée sur deux carottes d'un mètre de long, prélevées dans le centre du bassin profond (-145 m) et dans la partie Nord (-70 m) du Lac du Bourget (Savoie, France). Ce dernier, long de 18 km et large en moyenne de 2,5 km, s'est développé avec la dernière glaciation.

Cette étude visait à confirmer l'existence - dans une succession relativement homogène depuis le début de l'Holocène - de variations à haute résolution (pas d'échantillonnage de 1 ou 2 cm). Les paramètres mesurés étaient les suivants: minéralogie des argiles (diffractométrie X), teneur en carbonate, Anisotropie de Susceptibilité Magnétique, microgranulométrie laser (MALVERNTM). Les variations détectées ont permis d'établir des corrélations entre les deux sites étudiés, d'une part, et de les confronter, d'autre part, avec les données concernant l'ensemble du Lac, étudié à travers une trentaine de sites (Chapron *et al.*, ce volume).

Une bonne corrélation apparaît entre les différents signaux analysés ; pour ce qui concerne les cortèges argileux (globalement peu variables), nous avons mesuré les rapports Kaolinite/Chlorite et Smectite/Illite à base des hauteurs de pics correspondants, et appliqué une analyse spectrale. Les courbes obtenues et les périodicités détectées montrent une très bonne similitude avec les résultats obtenus par Chapron *et al.*, (ce volume) - selon les mêmes protocoles - sur une carotte prélevée à environ 1 km de distance. Les hypothèses chronologiques (datation de niveaux de crues historiques et extrapolation du taux de sédimentation) conduisent à discuter l'existence de périodicités d'ordre de grandeur pluridécennal et séculaire, et ce pour approximativement le dernier millénaire. L'origine climatique des fluctuations est discutée, notamment en termes de précipitations ; l'hypothèse proposée est replacée dans le cadre des travaux publiés sur le Petit Age Glaciaire.

DÉTERMINATION DU POTENTIEL AZOTE DES BASSINS PÉTROLIERS PAR L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES ARGILES AMMONIÉES

Jacques PIRONON et Régine MOSSER-RUCK

UMR 7566-G2R, CREGU, BP 23, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy.
E-mail : pironon@cregu.cnrs-nancy.fr, regine.ruck@lpesh.u-nancy.fr

L'ion ammonium dans les sédiments est réparti sous la forme d'ions en solution dans les eaux interstitielles et en adsorption sur les particules organo-minérales polaires. L'oxydation de l'ammonium dans le fluide conduira à la formation d'azote moléculaire qui pourra ensuite être stocké dans des réservoirs de gaz. Les interactions matière organique (donneur d'ammonium)-argiles (accepteur d'ammonium) et la stabilité de l'ammonium dans les fluides et les argiles sont des paramètres essentiels permettant de comprendre les mécanismes d'accumulations de gaz riches en azote.

L'étude par spectroscopie FT-IR des argiles permet de quantifier et de déterminer l'environnement du cation interfoliaire NH_4^+ des argiles, mais ne suffit pas pour définir un système naturel. En effet, les roches profondes étant en équilibre thermodynamique avec les solutions interstitielles, il faut, pour approcher la nature de ces solutions, connaître certains paramètres telles que les constantes d'échanges ou de partage entre minéraux et solutions.

Les constantes d'échanges pour les systèmes Na/NH_4 , K/NH_4 et Ca/NH_4 des smectites ont été déterminées expérimentalement à 50, 80 et 120°C à pression de vapeur saturante. Les rapports cationiques des argiles ont été déterminés par ICP AES, microsonde électronique (K, Na, Ca) et par FT-IR (NH_4), les rapports cationiques des solutions résiduelles ont été déterminés par ICP-MS (K, Na, Ca) et chromatographie ionique (NH_4). Ces rapports permettent de représenter les isothermes d'échanges (Figure 1) et d'en calculer les constantes ($K_{\text{Na}/\text{NH}_4} = 2,5$; $K_{\text{K}/\text{NH}_4} = 0,45$; $K_{\text{Ca}/\text{NH}_4} = 0,17$). On remarque que l'effet de la température n'est pas perceptible pour les échanges entre ions monovalents et qu'il est faible pour le cas de l'échange Ca/NH_4 .

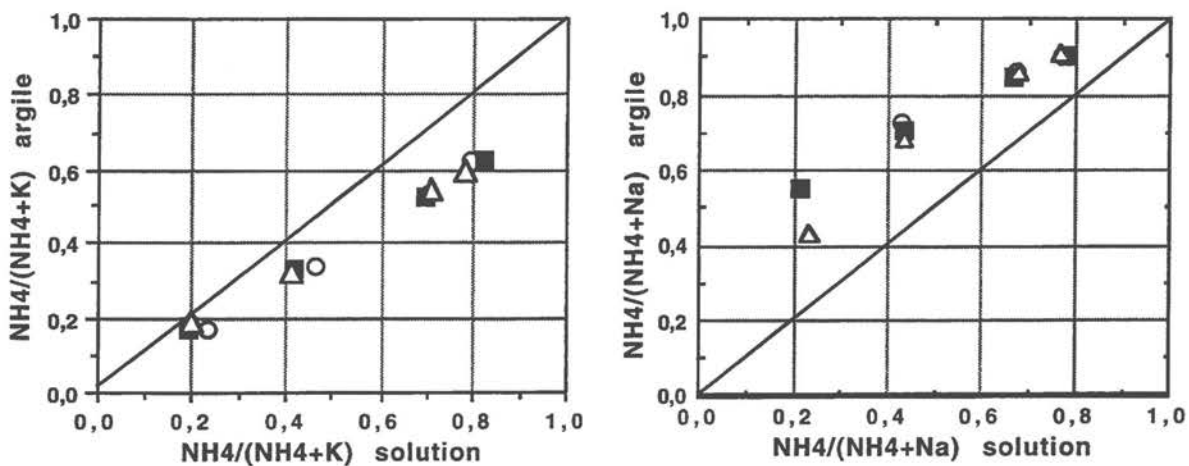


Figure 1 : Isothermes d'échange pour des smectites-K et -Na placées respectivement dans des solutions de $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KCl}$ et $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaCl}$ de concentration totale 1 mole/litre, avec un rapport massique solution/smectite de 10/1, une durée de 6 semaines à 50°C (ronds), 80°C (carrés) et 120°C (triangles) et à pression de vapeur saturante.

Les constantes pour les échanges Na/NH_4 et Ca/NH_4 sont très voisines de celles définies à 25°C par Fletcher et Sposito, 1989 ($K_{\text{Na}/\text{NH}_4} = 2,9$, $K_{\text{Ca}/\text{NH}_4} = 0,18$). La constante d'échange entre potassium et ammonium calculée d'après les données de la littérature ($K_{\text{K}/\text{NH}_4} = 1,6$) est très supérieure à celle que nous avons définie expérimentalement. Les données expérimentales indiquent un échange favorable au potassium alors que Fletcher et Sposito (1989) considèrent que l'affinité des cations monovalents pour la surface des argiles décroît dans l'ordre suivant : $\text{NH}_4 > \text{K} > \text{H} > \text{Na} \sim \text{Li}$. Le comportement de la smectite potassique au cours de l'échange semble être perturbé par des phénomènes de « fermeture » des feuillets conduisant à une réduction des capacités d'échange de l'argile. Cette fermeture ne peut être assimilée à de l'illitisation mais davantage à la création de feuillets smectitiques déshydratés (Mosser-Ruck et al., 1998). Ce comportement rend difficile la détermination de la constante d'échange d'une smectite potassique par simulation expérimentale. La modélisation d'environnements naturels devra donc prendre en compte l'écart entre les valeurs de constante d'échange obtenues par simulations numérique et expérimentale.

Les expérimentations menées à 300°C , 500 et 1000 bars sur des illites potassiques en milieu ammonié ont permis, d'autre part, d'approcher une valeur de constante d'échange ($K_{\text{K}/\text{NH}_4} \approx 0,01$) bien inférieure à celle déterminée pour les smectites.

A partir de ces résultats, il devient possible de caractériser le fluide à l'équilibre avec les argiles ammoniées et de calculer le rapport cationique en solution.

L'étude expérimentale des équilibres fluide-roche permet de déterminer les coefficients de partage de l'ammonium entre minéraux et solution, ainsi qu'un « coefficient de partage » de l'azote entre solution et matière organique. C'est l'ensemble de ces données qui permet d'évaluer le potentiel azoté d'une roche et qui contribue à préciser le risque azote d'un réservoir pétrolier.

Références :

- FLETCHER P. et SPOSITO G. (1989). - The chemical modelling of clay/electrolyte interactions for montmorillonite. *Clay Minerals*, **24**, 375-391.
- MOSSER-RUCK R., CATHELINÉAU M., BARONNET A. et TROUILLER A. (1998). - Hydrothermal reactivity of K-smectite at 300°C and 100 bars: dissolution-crystallization process and non expandable dehydrated smectite formation. *Clay Minerals*, (sous presse).

CARACTÉRISATION DE LA SÉRIE SMECTITE-ILLITE PAR SPECTROSCOPIE FT-IR DE L'AMMONIUM ADSORBÉ

Jacques PIRONON⁽¹⁾, Manuel PELLETIER⁽²⁾ et Philippe de DONATO⁽²⁾

(1) UMR 7566, CNRS-CREGU, BP 23, F-54501 Vandœuvre-lès-Nancy.

(2) UMR 7569, LEM-ENSG, BP 40, F-54501 Vandœuvre-lès-Nancy.

Le but de l'étude par spectroscopie FT-IR d'argiles ammoniées est de mettre en évidence les effets de l'environnement du cation NH_4^+ et notamment la teneur en eau de l'argile sur la position et la forme de ses bandes d'absorption. Cette signature spectrale est fortement dépendante de l'ordre de symétrie du cation ammonium interfoliaire.

Compte tenu de la complexité du massif des bandes de vibration d'élongation de l'ion ammonium et de sa superposition au massif des bandes d'élongation de l'eau, cette étude est focalisée sur la bande de déformation de l'ammonium. Les spectres infrarouge ont été acquis en mode transmis sur un spectromètre de type Bruker IFS 55. Différentes configurations analytiques et différentes préparations d'échantillons ont été utilisées : couplage microscopie infrarouge en mode transmis et microthermométrie sur film d'argile sédimenté sur lame de fluorine, spectroscopie infrarouge en mode transmis sous pression relative en vapeur d'eau contrôlée (DESIRE) sur film d'argile isolé et en mode réflexion diffuse sous vide sur poudre d'argile additionnée de KBr. Les préparations sur films permettent de s'affranchir de la contamination de l'eau du KBr, des phénomènes de diffusion et d'échange entre le potassium du KBr et l'ammonium des argiles. Les échantillons utilisés sont des smectites dioctaédriques échangées NH_4^+ au laboratoire, des illites ammoniées naturelles et la tobélite (muscovite ammoniée) décrite par Higashi (1982).

Les résultats de l'étude par spectroscopie infrarouge sous pression relative en vapeur d'eau contrôlée montrent qu'aucune modification (déformation ou déplacement) de la bande de déformation de l'eau (1635 cm^{-1}) n'est visible au cours de l'adsorption comme de la désorption d'eau pour les smectites ammoniées. L'énergie d'hydratation du cation est donc très faible. La bande de déformation du cation NH_4^+ varie en nombres d'onde de 1425 à 1450 cm^{-1} avec l'augmentation de P/P_0 mais reste symétrique. De plus, le déplacement de la bande de déformation de l'ammonium est également observé lors du traitement thermique des smectites en microscopie (Figure 1). A 25°C , une bande quasi symétrique est observée à 1450 cm^{-1} de même intensité que la bande de l'eau située à 1633 cm^{-1} . A -180°C (température de l'azote liquide), la bande de l'eau demeure inchangée alors que la bande de déformation de l'ammonium s'affine, se déplace vers 1458 cm^{-1} et laisse apparaître un faible épaulement vers 1425 cm^{-1} . A 150°C , l'intensité de la bande de l'eau s'annule, la bande de l'ammonium est parfaitement symétrique et centrée à 1425 cm^{-1} .

Ces évolutions ne semblent pas être dues à des effets d'hydratation (formations de liaisons hydrogène entre H_2O et NH_4^+) mais traduisent l'ouverture des feuillets silicatés. En effet, les smectites dioctaédriques déshydratées ont un cation ammonium interfoliaire qui appartient au groupe de symétrie T_d . En présence d'eau interfoliaire les fréquences de vibrations de déformation se déplacent mais la symétrie du cation NH_4^+ n'est pas modifiée. L'apparition de la bande de déformation à 1450 cm^{-1} est liée à l'éloignement du cation ammonium par rapport au feuillet silicaté. Le rapprochement des feuillets entraîne un déplacement basse fréquence centré sur 1425 cm^{-1} sans changement de groupe de symétrie (T_d).

Un traitement thermique similaire a été appliqué à la tobélite (Figure 2). A 25°C, on observe la présence d'une bande de vibration fortement dissymétrique dont le maximum se situe à 1431 cm⁻¹. Une très faible contribution d'eau est détectée vers 1630 cm⁻¹. A -180°C, on observe l'apparition d'un triplet à 1460, 1433 et 1408 cm⁻¹. La présence de ces trois composantes pouvait être suspectée sur le spectre à 25°C. A 400°C, la contribution de l'eau a totalement disparu et la bande de déformation de l'ion ammonium devient symétrique, centrée à 1419 cm⁻¹.

Le chauffage des smectites ammoniées a montré une perte en ammonium des smectites dès 200°C et un remplacement probable du cation ammonium par un proton sur film ou par du potassium lors de l'étude par réflexion diffuse sur poudre mélangée au KBr. Dans ce dernier cas, on note la formation de NH₄Br.

Lorsque les substitutions tétraédriques Si⁴⁺ - Al³⁺ sont importantes (cas des illites et de la tobélite), le cation NH₄⁺ perd des éléments de symétrie pour appartenir au groupe C_{2v}. La transition smectite-illite se marquera donc par une levée de dégénérescence du mode de vibration ν₃. La bande de déformation de l'ion NH₄⁺ présentera alors trois composantes centrées respectivement sur 1460, 1433 et 1408 cm⁻¹. A 400°C, le cation ammonium de la tobélite retrouve une symétrie T_d due au relâchement thermique de la structure silicatée.

Ce résultat permet de caractériser les phases minérales porteuses d'ammonium et de différencier notamment les illites et muscovites ammoniées des smectites. Il sera ainsi possible de suivre et d'estimer les transformations smectite-illite de la diagenèse. D'autre part, il devient possible de différencier la déshydratation de l'illitisation lors des réactions de fermetures des feuillets gonflants. La déshydratation d'une smectite se marque par un déplacement de la bande de déformation de l'ammonium de 1450 à 1430 cm⁻¹. L'apparition de phases illitiques se marque par un triplet centré à 1430 cm⁻¹. Enfin, il est possible de déterminer le taux d'hydratation des smectites en quantifiant le rapport d'intensité des bandes à 1450 et 1430 cm⁻¹ de l'ion ammonium.

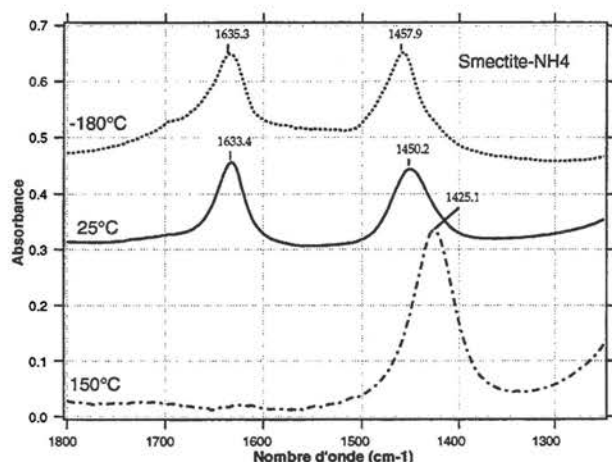


Figure 1 : Spectres FT-IR enregistrés sur films de smectite-NH₄ à différentes températures par couplage d'un microscope FT-IR et d'une platine microthermométrique Linkam.

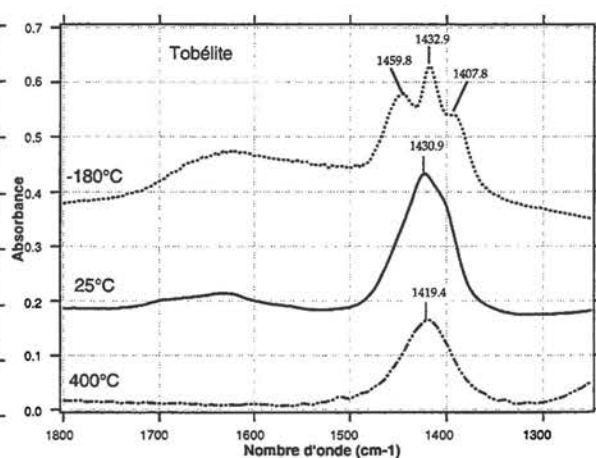


Figure 2 : Spectres FT-IR enregistrés sur films de tobélite à différentes températures par couplage d'un microscope FT-IR et d'une platine microthermométrique Linkam.

Référence :

Higashi S. (1982). - Tobelite, a new ammonium dioctahedral mica. *Mineralogical Journal*, **11**, p. 138-146.

OCEANOGRAPHIC CONTROLS ON THE AUTHIGENESIS OF PALYGORSKITE IN LOWER EOCENE DEEP-SEA CLAYS FROM THE EASTERN EQUATORIAL ATLANTIC (ODP LEG 159)

T. PLETSCH⁽¹⁾, R. BOTZ⁽¹⁾, K.I. HISADA⁽²⁾, Y. KAJIWARA⁽²⁾ and D. WRAY⁽³⁾

(1) Geologisch/Paläontologisches Institut, Univ. of Kiel, Olshausenstr. 40-60, D-24148 Kiel.

(2) Institute of Geoscience, Univ. of Tsukuba, Tsukuba-Ibaraki Pref., 305-8571, Japan.

(3) School of Earth Sciences, Univ. of Greenwich, Pembroke, Chatham Maritime, Kent ME4 4AW, UK.

Palygorskite is a fibrous magnesian clay mineral that is rare in modern deposits, but can be common or even abundant in lower Paleogene marine sediments from middle to tropical palaeolatitudes. We report on a conspicuously thick and palygorskite-rich deposit from the eastern Equatorial Atlantic that was drilled during ODP Leg 159 and described in detail by Pletsch (1998). We attempt to explain palygorskite formation as a result of the drastic changes in sea water temperature and composition that characterized the early Paleogene ocean.

Blue palygorskite clays with intercalated cherts, barite sands and barite nodules were recovered in the Lower Eocene sections of ODP Sites 960 and 961 at burial depths ranging from 130 to 200 metres below sea floor. Both sites are situated on an elongate Cretaceous basement uplift about 200 km off the African shelf in present water depths 2 and 3.5 kms, respectively. Lower Eocene benthic foraminifers indicate bathyal to abyssal environments, i.e. at least several hundred metres to probably more than 3000 metres palaeo-waterdepth. At Site 960, the palygorskite clays unconformably overlie Upper Cretaceous detrital limestones, whereas they rest on upper Paleocene siliceous marls and chalks at Site 961. The clays are capped at both sites by middle Eocene cherts and porcellanites. No macroscopic signs of reworking from the underlying section, nor of contemporaneous detrital supply could be discerned. Scanning electron microscope observations show that the palygorskite clays consist of a meshwork of delicate long fibres, some of which were observed to pierce microfossils and are therefore believed to be of a postdepositional origin. Barite nodules that have partly overgrown the palygorskite fibres must have formed after the emplacement of palygorskite. These barites display strong enrichments in the heavy sulfur isotope ³⁴S (+50.1‰ to +56.5‰ rel. CDT) which is attributed to early diagenetic sulfide oxydation.

The <2µm size-fraction of the palygorskite clays contains variable amounts of smectite, sepiolite, minor quartz, clinoptilolite, opal-CT, calcite, and illite, but several samples entirely consist of palygorskite with changing admixtures (10-90%) of smectite. The oxygen isotope composition (rel. SMOW) of palygorskite-rich samples ranges from 24.5‰ to 26.3‰, whereas pure smectite separates from the interval below the palygorskite clays is significantly more enriched in the heavy isotope (30.3‰-32.1‰). The isotopic composition of the palygorskite-rich samples is intermediate between those from evaporitic terrestrial settings (29-

34‰, Gauthier-Lafaye et al., 1993) and authigenic palygorskites in abyssal settings of the Central Pacific (23‰, Church & Velde, 1979).

Despite the absence of data from pore waters, we tentatively attribute the low oxygen isotope values to the formation of palygorskite at the seafloor. This would have allowed for an exchange with the isotopically light bottom waters known from the early Eocene period. Rare Earth Element distributions measured on bulk samples of palygorskite-rich samples mostly yielded flat profiles with only minor negative Cerium anomalies when normalized to shale. This may suggest that palygorskite formed through the transformation of a precursor mineral (smectite?) rather than through crystallization from solution. It has been speculated that palygorskite might have formed through continued growth from a detrital palygorskite precursor deposit, based on the widespread occurrence of purportedly terrigenous, detrital palygorskite in the early Paleogene in other areas. However, such a mechanism seems unlikely in the case of the Gulf of Guinea, since contemporaneous deposits in African marginal basins record lateritic weathering conditions that would have inhibited the formation of palygorskite on land (Millot, 1964, Robert & Chamley, 1991).

Given the textural, mineralogical, and preliminary stable isotope and geochemical evidence, we propose that palygorskite clays at Sites 960 and 961 formed through the alteration of clay minerals at, or closely below, the lower Eocene sea floor. The widespread occurrence and maximum abundance of palygorskite at the same time as the long-term negative excursion in oxygen isotopes of deep dwelling and benthic foraminifers and of the proposed formation of warm saline deep waters in the Early Eocene (e.g., Kennett & Stott, 1990; Zachos et al., 1993) may indicate that these phenomena are genetically related. This is corroborated by the coincidence of palygorskite occurrence with the areas where General Circulation Models for the early Paleogene predict strong net evaporation over the oceans (O'Connell et al., 1996). The higher temperatures and elevated ionic concentrations of Early Eocene deep waters may have given rise to processes of silicate formation that have no modern analog.

References

- Church, T.M. & Velde, B. (1979): Geochemistry and origin of a deep-sea Pacific palygorskite deposit. *Chem. Geol.*, **25**, 31-39.
- Gauthier-Lafaye, F., Taieb, R., Paquet, H., Chahi, A., Prudencio, I. & Sequeira-Braga, M.A. (1993): Composition isotopique de l'oxygène de palygorskites associées à des calcrètes: conditions de formation. *C.R. Acad. Sci.*, **316**, 1239-1245.
- Kennett, J.P. & Stott, L.D. (1991): Abrupt deep-sea warming, paleoceanographic changes and benthic extinctions at the end of the Palaeocene. *Nature*, **353**, 225-229.
- Millot, G. (1964): *Géologie des Argiles*, Masson, Paris.
- O'Connell, S., Chandler, M.A. & Ruedy, R. (1996): Implications for the creation of warm saline deep water: Late Paleogene reconstructions and global climate model simulations. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **108**, 270-284.
- Pletsch, T. (1998): Origin of Lower Eocene palygorskite claystones on the Côte d'Ivoire-Ghana Margin (Leg 159, eastern Equatorial Atlantic). *Proc. ODP, Sci. Res.*, **159**, in press.
- Robert, C. & Chamley, H. (1991): Development of early Eocene warm climates, as inferred from clay mineral variations in oceanic sediments. *Palaeogeogr. -climatol. -eol.*, **89**, 315-331.
- Zachos, J.C., Stott, L.D. & Lohman, K.C. (1994): Evolution of early Cenozoic marine temperatures. *Paleoceanography*, **9**, 353-387.

LA SÉDIMENTATION ARGILEUSE PALÉOZOÏQUE DANS LES BASSINS DE DINANT ET D'AVESNES (BELGIQUE, FRANCE) : RELATIONS AVEC LA TECTONIQUE VARISQUE

Alain PREAT⁽¹⁾, Hervé CHAMLEY⁽²⁾, Jean-François DECONINCK⁽²⁾,
Jean-Louis MANSY⁽²⁾ et Guangmin HAN⁽¹⁾

(1) Université Libre de Bruxelles, Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement, Laboratoires Associés de Géologie, CP160/02, 50 av. F.D. Roosevelt, B-1050 Bruxelles.

(2) Université de Lille I, Sédimentologie et Géodynamique, URA 719 CNRS, F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex.

La série paléozoïque à dominance carbonatée du Nord de la France (Avesnois) et du Sud de la Belgique (Ardenne), épaisse de plusieurs kilomètres (entre 4 et 7 km suivant les zones) a fait l'objet d'une analyse minéralogique détaillée des argiles. 505 échantillons ont été systématiquement prélevés (469 roches calcaires et 36 shales) à travers l'ensemble des formations dévono-carbonifères, bien identifiées sur base biostratigraphique (conodontes), appartenant à 7 ensembles ou 'unités structurales' se succédant comme suit du Sud au Nord: 1° partie sud du bord sud du Synclinorium de Dinant, 2° partie nord du bord sud du Synclinorium de Dinant, 3° partie ouest du massif de Philippeville, 4° partie est du massif de Philippeville, 5° partie centrale du bassin avesnois, 6° partie centrale du Synclinorium de Dinant et 7° bordure nord du Synclinorium de Dinant. L'intervalle stratigraphique considéré s'étend du sommet de l'Emsien (Dévonien inférieur) à la base du Namurien (Carbonifère inférieur). Les différentes formations sont épaisses de moins de 100 m et ont été échantillonnées systématiquement en leurs base, partie médiane et sommet.

Les assemblages des minéraux argileux ont été comparés aux données sédimentologiques (hydrodynamique, profondeur, éloignement du continent,...) et aux évolutions paléoclimatiques connues du Paléozoïque, ainsi qu'aux données de géochimie isotopique (Weis et Préat, 1994). Les indices de cristallinité de l'illite, de la chlorite et de la smectite ont été calibrés sur les échelles internationales et permettent de préciser les modalités de l'enfouissement de la série dévono-carbonifère franco-belge.

Malgré sa faible abondance (entre 1 et 5 %) dans les roches, la fraction argileuse des roches analysées présente une grande diversité et des variations importantes de composition malgré un enfouissement estimé entre 6,7 et 2,7 km. Les espèces minéralogiques dominantes sont les micas-illites (0 à 100 %), les chlorites (0 à 62 %), les smectites (0 à 64%), les kaolinites (0 à 48 %), les corrensites (0 à 80 %) et divers minéraux interstratifiés (0 à 33 %). La moyenne pour chaque espèce minérale (pour l'ensemble des échantillons) est de 71 % pour les micas-illites, 16 % pour les chlorites, 7 % pour les smectites, 4 % pour les corrensites, 2 % pour les kaolinites et environ 1 % pour les interstratifiés. Les assemblages présentent d'importantes différences entre les calcaires et les shales, ces derniers ne renfermant jamais de smectites au contraire des calcaires qui en contiennent parfois.

La smectite constitue une phase relique héritée d'une fraction détritique, probablement suite à des altérations pédogénétiques en milieu continental (Yans *et al.*, 1997). L'analyse des microfaciès montre que plus de 95 % de ce minéral sont remobilisés et piégés dans des milieux d'énergie faible à modérée (lagons de plates-formes carbonatées et parties externes de rampes mixtes). Les phénomènes de néoformation de ce minéral sont à exclure dans le contexte de cette étude: aucun dépôt hydrothermal ou d'évaporite massive n'est présent. Par ailleurs, l'illitisation des smectites qui est liée aux teneurs en K et Al des calcaires est contrariée, comme le montrent les faibles teneurs en K (< 5 %) et en Al (< 1 %) alors que les shales présentent respectivement des teneurs de 35 % et de 6 %. L'importance des processus de diagenèse carbonatée précoce (cimentation et microsparitisation) a diminué les qualités pétrophysiques des carbonates, réduisant fortement les interactions fluides-roches lors de l'enfouissement (Préat et Weis,

1994). Les caractéristiques chimiques et pétrophysiques des carbonates paléozoïques permettent ainsi de comprendre la présence de smectite malgré le degré d'enfouissement qui a atteint localement l'anchimétamorphisme (cf. ci-dessous). La distribution des smectites et des kaolinites au cours du Dévonien moyen suggère une transition depuis un climat tropical humide vers un climat tropical semi-aride. Cette évolution est confirmée par l'analyse des stromatolithes, par l'examen des niveaux de tempestites (laminites) et par la géochimie isotopique du strontium.

Les indices de cristallinité de l'illite (IC), de la chlorite et de la smectite ont été systématiquement mesurés depuis le sommet de l'Emsien jusqu'au Viséen et permettent de reconnaître les quatre zones diagénétiques suivantes: 1° partie supérieure de la diagenèse avancée ($0,62 < IC < 1,00 \text{ } ^\circ 2\theta$), 2° partie tout à fait supérieure de la diagenèse ($0,42 < IC < 0,62 \text{ } ^\circ 2\theta$), 3° parties inférieure ($0,33 < IC < 0,42 \text{ } ^\circ 2\theta$), et 4° supérieure ($0,25 < IC < 0,33 \text{ } ^\circ 2\theta$), de l'anchimétamorphisme (*sensu* Kubler, 1967, Kisch, 1990 et Yang and Hesse, 1991). Les valeurs de IC sont indépendantes de la lithologie et sont comprises entre 0.86 et 0.27 $^\circ 2\theta$, les plus faibles valeurs (soit moins de 4 % de l'ensemble des échantillons) indiquant la partie supérieure de la diagenèse avancée et les plus fortes (soit environ 3 % des valeurs) la partie supérieure de l'anchizone. La plupart des valeurs correspond à la partie supérieure de la diagenèse (63 %) et à la partie inférieure de l'anchizone (30 %). Les gradients géothermiques calculés sont normaux dans la majorité des bassins analysés. Les données des IC sont comparées à celles obtenues à partir des indices d'altération thermique des conodontes mesurés dans ces séries (Helsen, 1995).

L'analyse montre une répartition des valeurs des IC qui s'accorde avec le découpage 'structural' du domaine dévono-carbonifère franco-belge en 7 ensembles (cf. introduction). Ces ensembles qui se succèdent du Sud au Nord sont caractérisés par la position stratigraphique de l'interface diagenèse-anchizone. Cette interface est située dans des niveaux stratigraphiques de plus en plus jeunes du Sud au Nord. Elle se trouve dans la partie moyenne de l'Eifelien au Sud du Synclinorium de Dinant, et dans le Famennien au Nord de la région. Les dépôts dévoniens et carbonifères étant plus épais au Sud, cette disposition 'diachronique' de l'interface suggère que l'enfouissement n'est pas uniquement lié à l'empilement sédimentaire, mais est également associé à la surcharge par des nappes de charriage lors de la compression hercynienne. Le plissement final datant du Westphalien dans la région étudiée, il est possible de montrer que le soulèvement du massif de Rocroi, situé au Sud de la Belgique, a débuté au Viséen. A partir de cette période les premières déformations hercyniennes importantes (écailles et nappes) ont eu lieu du Sud vers le Nord pour culminer au Westphalien C/D avec la formation de la Faille du Midi correspondant à la mise en place de la Nappe de Dinant.

Enfin les différents gradients géothermiques calculés permettent d'expliquer la répartition des dolomies massives, parfois zébrées, et des minéralisations de Pb et de Zn surtout présentes dans le massif de Phillippeville.

Références

- Helsen, 1995: Geol. Rdschau, 84:738-747.
Kisch, 1990: J. Metamorphic Geol., 8:31-46.
Kubler, 1967: in « Etages tectoniques », Coll. Neuchâtel, Suisse, 105-121.
Weis et Prétat, 1994: Bull. Soc. Géol. Fr., 165/5:485-497.
Yang and Hesse, 1991: Clay Min., 26:211-231.
Yans et al.: 1997: 1er Coll. Artois-Brabant, Mons, Belgique, 9-11/04/97.

ANAYSE ISOTOPIQUE ET ESSAI DE DATATION U/Th D'UN PROFIL D'ALTÉRATION À PARAGENÈSE ALUMINEUSE (NEWHAVEN, ANGLETERRE)

Y. QUINIF^(1,2), De PUTTER⁽²⁾ et C. DUPUIS⁽²⁾

(1) CERAK

(2) Géologie Fondamentale et Appliquée, Faculté Polytechnique, 9 rue de Houdain, B-7000 Mons.

La famille radioactive de l'uranium 238 (^{238}U) se caractérise par une succession d'isotopes descendant les uns des autres et appartenant à des éléments chimiques de propriétés très différentes. Dans une roche ou un minéral vieux de quelques millions d'années, si le système est géochimiquement fermé, cette série radioactive est dite "à l'équilibre radioactif", c'est-à-dire qu'il se crée autant de chaque isotope qu'il ne s'en détruit, sauf bien entendu la tête de la famille (^{238}U) et l'isotope stable final (^{206}Pb). Cela se traduit physiquement par des rapports d'activité entre isotopes égaux à 1. Le lessivage des roches mères n'affecte généralement que l'uranium, le thorium restant insoluble aux Ph habituellement rencontrés dans la zone superficielle. Lors de la précipitation de l'uranium dans un système accepteur, seul l'uranium précipite et, au cours du temps, régénère par radioactivité l'ensemble de sa famille radioactive. L'isotope 230 du thorium, absent au temps initial, augmentera jusqu'à sa valeur d'équilibre et la mesure des rapports isotopiques conduit ainsi à définir un géochronomètre appelé habituellement U/Th. Certains systèmes géochimiques sont très favorable à cette analyse, par exemple les spéléothèmes dans les grottes (Ivanovitch & Harmon, 1992).

Par contre, dans les contextes de type profil d'altération, une application simple du géochronomètre n'est plus de mise. D'une part, les systèmes géochimiques sont souvent ouverts et, au cours du temps, ils peuvent échanger de l'uranium avec le monde extérieur. D'autre part, il est difficile de trouver des systèmes qui précipitent chimiquement en n'incorporant que l'uranium ; des contaminations par des argiles apportent en quantités variables difficilement contrôlables de l'uranium et du thorium étranger au système chimique. Malgré des méthodes de corrections, l'accumulation de ces effets rend très délicates les interprétations en terme d'âge. Néanmoins, de telles études permettent d'estimer les transits de matière et, dans certains cas, des datations peuvent être tentées et discutées avec grande prudence.

Les profils d'altération hyper-acides comme celui de Newhaven traité ici apportent un contexte sensiblement différent. Si les effets perturbateurs cités ci-dessus existent, le lessivage en domaine très acide constitue un environnement différent car le thorium peut se dissoudre. Il était dès lors instructif de réaliser des analyses isotopiques U/Th sur les paragenèses rencontrées et de les interpréter dans l'ensemble des méthodes mises en oeuvre. De plus, les gels silico-alumineux qui se forment dans un pareil environnement captent préférentiellement l'uranium, ce qu'avait montré l'analyse d'un gel dans une coupe à Dieppe (tableau 1). Nous voyons d'une part que la teneur en uranium est assez élevée pour ce type de milieu géochimique et que d'autre part le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ de 12, tout en étant faible, indique une faible contamination en éléments détritiques ou en thorium étranger au système au temps initial. Compte tenu du contexte minéralogique et des rapports isotopiques, l'âge indiqué est vraisemblable.

	[U] _{ppm}	²³⁴ U/ ²³⁸ U	²³⁰ Th/ ²³⁴ U	²³⁰ Th/ ²³² Th	[²³⁴ U/ ²³⁸ U] _{t=0}	Age (en m.a.)
CH-1	1,742±0,068	1,134±0,030	0,375±0,017	11,8±0,8	1,154	50,4[+3,1/-3,0]

Tableau 1

Dans la coupe de Newhaven, nous avons analysé successivement de haut en bas un sable glauconifère à jarosite (échantillon 2), un silt à oxyde de fer (échantillon 5), un second silt à oxydes de fer (échantillon 13), des nodules à hydroxydes et sulfates d'aluminium (7, 10 et 12) et une croûte de gypse et minéraux alumineux (0) (tableau 2).

	[U] _{ppm}	²³⁴ U/ ²³⁸ U	²³⁰ Th/ ²³⁴ U	²³⁰ Th/ ²³² Th	[²³⁴ U/ ²³⁸ U] _{t=0}	Age (en m.a.)
2	0,336±0,014	0,965±0,036	0,524±0,057	0,79±0,08	0,956	81,0[+14,7/-12,6]
5	8,290±1,457	1,008±0,040	0,514±0,092	3,67±0,11	1,009	78,2[+23,5/-18,9]
7	1,491±0,026	0,980±0,019	1,121±0,038	8,8±0,6	-----	-----
10	8,603±0,172	0,922±0,009	0,634±0,024	6,6±0,2	0,894	111,3[+7,9/-7,4]
12	5,949±0,129	0,975±0,008	0,330±0,010	3,97±0,08	0,972	43,5[1,6/-1,6]
13	4,455±0,074	1,040±0,011	0,386±0,024	1,9±0,1	1,046	52,8[+4,3/-4,1]
0	1,872±0,026	0,984±0,011	0,686±0,018	5,4±0,2	0,977	126,5[+6,9/-6,5]

Tableau 2

Le pH, entre 1 et 2 en début de processus, est suffisamment bas pour que le thorium soit soluble, excepté sous sa forme sulfatée ici stable (Langmuir & Herman, 1980). Les phénomènes se faisant *per descensum*, la jarosite (2) se forme en premier lieu à des pH compris entre 1,2 et 2,3. En tant que sulfate, ce minéral incorpore probablement du thorium extérieur au système lors de sa précipitation. On y trouve en effet une faible teneur en uranium et un très faible rapport isotopique ²³⁰Th/²³²Th. L'échantillon est probablement plus jeune que 81.000 ans. Parmi les nodules à oxydes et sulfate d'aluminium, l'échantillon 7 se distingue par un rapport ²³⁰Th/²³⁴U plus grand que 1, indiquant probablement un apport de ²³⁰Th extérieur au système au temps initial. Or, c'est le seul sulfate de cette unité, ce qui conforte l'hypothèse de la précipitation de thorium mobilisé dans le milieu. Compte tenu de cette hypothèse, les autres oxy-hydroxydes d'aluminium sont essentiellement contaminés par du thorium provenant d'une phase détritique, l'âge réel étant de l'ordre de l'âge calculé. Les fortes teneurs en uranium suggèrent une influence prépondérante du thorium radiogénique. Il résulte de ces considérations que les phénomènes de transport ont eu lieu dans le Pléistocène supérieur, débutant avec la formation de la jarosite au sommet de la coupe (échantillon 2) et se terminant avec la formation des hydroxydes et du gypse basal approximativement entre 40.000 et 120.000 ans.

Ivanovitch M., Harmon R.S. Eds., 1992 - Uranium series disequilibrium - Applications to environmental problems. Clarendon, Oxford.

Langmuir D., Herman J.S., 1980 - *Geochimica Cosmochimica Acta*, 44, 1753-1766.

CLIMATS ET CIRCULATIONS PÉRIANTARCTIQUES À L'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR - OLIGOCÈNE : CONTRIBUTION DES INDICATEURS BIOGÈNES ET TERRIGÈNES

Christian ROBERT⁽¹⁾, Liselotte DIESTER-HAASS⁽²⁾, Ouassila MERDACI⁽³⁾
et Hervé CHAMLEY⁽⁴⁾

(1) Centre d'Océanologie de Marseille, Luminy case 901, F-13288 Marseille cedex 9.

(2) Fachrichtung Geographie, Universität des Saarlandes, D-66041 Saarbrücken.

(3) Géologie du Quaternaire, Cerege, F-13545 Aix-en-Provence cedex.

(4) Sédimentologie et Géodynamique, Université de Lille I, F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex.

La calotte glaciaire antarctique joue un rôle majeur dans la régulation du climat global. Son développement a été associé à la production d'eaux denses froides qui ont progressivement envahi les bassins océaniques, modifiant les équilibres thermiques. Les premiers signes de refroidissement aux hautes latitudes Sud s'observent à l'Eocène moyen. Le développement glaciaire s'est poursuivi par étapes, notamment aux limites Eocène moyen/supérieur et Eocène/Oligocène, ainsi qu'à l'Oligocène supérieur (Barker, Kennett et al, 1988 ; Barron, Larsen et al, 1989). L'ensemble de cette période demeure mal connu et controversé, notamment en ce qui concerne l'extension et la permanence des glaces, ainsi que leurs relations avec les variations du climat continental et de la circulation thermohaline.

Afin de préciser ces relations, les indicateurs d'origine continentale (nature et abondance relative des minéraux argileux) et océanique (estimation de productivité basée sur l'accumulation et la préservation des foraminifères benthiques) sont utilisés simultanément sur les mêmes échantillons, prélevés avec une maille relativement dense entre 36,5 et 25,5Ma. Deux séries sédimentaires contemporaines prélevées aux sites ODP 689 (ride de Maud) et 744 (plateau de Kerguelen), sur des structures aiséismiques isolées des apports gravitaires massifs, sont comparées afin d'estimer d'éventuelles disparités géographiques. Les profondeurs estimées de ces sites pour le Paléogène supérieur sont de 1500m et 1800m respectivement (Thomas, 1990 ; Barrera et Huber, 1991), correspondant au domaine des eaux intermédiaires. Le sédiment essentiellement biogène carbonaté contient jusqu'à 10% de foraminifères et 5% de particules terrigènes. La zonation stratigraphique est basée sur les associations de nannofossiles et le paléomagnétisme (Thomas et al, 1990 ; Barron et al, 1991), la chronologie étant celle de Cande et Kent (1995).

Aux deux sites, l'association de minéraux argileux d'âge Eocène supérieur est dominée par la smectite, comme c'est le cas dans la plupart des secteurs océaniques divergents de cette époque, depuis les basses jusqu'aux hautes latitudes. Illite et kaolinite sont présentes dès la base de la série au site 689 alors qu'elles apparaissent et augmentent au cours de l'Eocène supérieur au site 744 tandis que la productivité diminue. Ces minéraux érodés du continent antarctique (Robert et Kennett, 1992) sont associés à une masse d'eau intermédiaire appauvrie en éléments nutritifs, probablement formée à proximité par plongement d'eaux froides de surface. La kaolinite étant dominante dans les diamictites d'âge Eocène supérieur du secteur antarctique adjacent de Prydz Bay (Hambrey et al, 1991), il est probable que ces particules argileuses ont été amenées jusqu'au site 744 par les eaux froides denses provenant de la marge antarctique de l'océan Indien. A la fin de l'Eocène supérieur les abondances de minéraux argileux et les valeurs de productivité sont très voisines aux deux sites, suggérant l'homogénéité de l'altération continentale, de l'érosion et des conditions océanographiques dans les deux secteurs antarctiques considérés.

A la limite Eocène/Oligocène, en association avec l'augmentation du $\delta^{18}\text{O}$ caractéristique de cette période (Kennett et Stott, 1990 ; Diester-Haass et Zahn, 1996), la productivité augmente brièvement aux deux sites, évoquant une intensification des circulations intermédiaires. Cet épisode marque le début d'une augmentation de l'illite au site 689 et de la smectite au site 744. Au site 689, l'illite suggère l'accroissement des apports terrigènes antarctiques corrélatif du développement de l'altération physique, et leur persistance au cours de l'Oligocène. Au site 744, l'augmentation de smectite en association avec une faible productivité paraît traduire l'érosion des dépôts anciens à smectite dominante de la marge antarctique où de nombreux hiatus s'étendent du Crétacé jusqu'à l'Oligocène (Barker, Kennett et al, 1988 ; Barron, Larsen et al, 1989). Ces conditions ont persisté jusqu'à 31,5Ma. où de plus fortes abondances de chlorite et illite marquent l'accroissement des apports terrigènes provenant du continent antarctique soumis à une altération physique prédominante. Les associations minéralogiques deviennent de nouveau très proches aux deux sites.

Un hiatus correspond à l'intervalle 30,5Ma.-27,5Ma. au site 744, alors que les abondances maximales d'illite sont atteintes au site 689 aux alentours de 27,5Ma., en liaison avec de fortes valeurs de productivité et une augmentation de la proportion de diatomées dans le sédiment (Barker, Kennett et al, 1988). Ceci suggère qu'un renforcement des circulations intermédiaires froides a été associé à un développement de l'érosion du continent antarctique.

A ces changements majeurs de l'environnement déduits de la sédimentation terrigène et biogène se surimposent des oscillations de la productivité et de l'abondance des minéraux argileux. Des analyses spectrales (Blackman-Tukey et maximum d'entropie, Paillard et al 1996) suggèrent que des cycles proches de 400kyr modulent la productivité exprimée par les foraminifères benthiques dans les sédiments d'âge Eocène supérieur et Oligocène supérieur du site 744 ainsi que dans la série Oligocène du site 689. Les variations de l'énergie solaire incidente liées à l'excentricité pourraient jouer un rôle dans les échanges thermiques aux hautes latitudes Sud, par l'intermédiaire des circulations atmosphériques et marines.

Les minéraux argileux montrent généralement des cyclicités plus complexes que la productivité, probablement en raison de la variété des facteurs de l'environnement qui interviennent dans leur formation, leur érosion et leur transport. Toutefois la kaolinite éocène du site 744 et la smectite oligocène du site 689 varient de manière cyclique comme la productivité, confirmant le rôle des circulations océaniques dans l'accumulation de ces minéraux. En outre, les minéraux argileux des dépôts oligocènes montrent parfois des pics de concentration secondaires significatifs proches de 100kyr. Ces pics n'étant pas systématiquement associés aux cycles de 400kyr, l'apport de particules argileuses pourrait être également influencé indirectement, à certaines périodes de l'Oligocène, par une combinaison des cycles de précession (Liu, 1992) ou une dynamique proche de celle qui caractérise les hautes latitudes au Quaternaire.

Références

- Barker, P. F., Kennett, J. P., et al (1988) : Proc. ODP, Init. Repts., 113, 785pp.
Barrera, E., Huber, B. T. (1991) : Proc. ODP, Sci. Res., 119, 693-717.
Barron, J., Larsen, B., et al (1989) : Proc. ODP, Init. Repts., 119, 942pp.
Barron, J., et al (1991) : Proc. ODP, Sci. Res., 119, 813-847.
Cande, S. C., Kent, D. V. (1995) : J. Geophys. Res., 100, B4, 6093-6095.
Diester-Haass, L., Zahn, R. (1996) : Geology, 24, 163-166.
Hambrey, M.J., et al (1991) : Proc. ODP, Sci. Res., 119, 77-132.
Kennett, J. P., Stott, L. D. (1990) : Proc. ODP, Sci. Res., 113, 865-880.
Liu, H-S. (1992) : Nature, 358, 397-399.
Paillard, D., et al (1996) : EOS Trans, AGU, 77, 379.
Robert, C., Kennett, J. P. (1992) : Marine Geol., 103, 99-110.
Thomas, E. (1990) : Proc. ODP, Sci. Res., 113, 571-594.
Thomas, E., et al (1990) : Proc. ODP, Sci. Res., 113, 901-914.

SÉDIMENTATION ARGILEUSE ET CLIMATS DU QUATERNAIRE RÉCENT EXEMPLE DU BASSIN CÔTIER DE SANTA BARBARA, CALIFORNIE, SITE ODP 893

Christian ROBERT et Frédéric WERTH

Centre d'Océanologie de Marseille, Luminy Case 901, F-13288 Marseille cedex 9.

Situé par 34°N à 150km au Nord-Ouest de Los Angeles, le bassin côtier de Santa Barbara trouve son origine dans la compression, puis le coulisage de la plaque pacifique par rapport à la plaque américaine. Il forme une dépression d'environ 130km de long et 40km de large au sein des chaînes transverses, d'orientation Est-Ouest. Ce bassin est bordé au Nord par les montagnes de Santa Ynez dont l'altitude varie de 600m à 1800m, et au Sud par une seconde ligne de crête dont seules les parties sommitales émergent, formant un chapelet d'îles. La partie Ouest du bassin, immergée, atteint 600m de profondeur environ et s'ouvre sur l'océan Pacifique par deux seuils, situés au Nord-Ouest (prof. 450m) et au Sud (prof. 230m). La partie Est du bassin, émergée, forme la plaine de Ventura-Oxnard à l'aval des rivières Ventura et Santa Clara dont le bassin de drainage s'étend vers l'Est jusqu'aux montagnes de San Gabriel qui font partie des chaînes côtières de Californie du Sud. L'environnement marin est surtout caractérisé par les eaux froides du courant de Californie, qui pénètrent dans le bassin de Santa Barbara au-dessus du seuil du Nord-Ouest. En outre, le courant chaud de Davidson qui longe le littoral depuis le Mexique franchit le seuil Sud pour former une gyre dans le bassin de Santa Barbara (Hickey, 1992). En-dessous de la profondeur du seuil le plus bas (450m), les eaux sont appauvries en oxygène du fait de l'absence de circulation. Lorsque l'upwelling côtier est particulièrement intense, les circulations peuvent atteindre le fond du bassin et permettre le renouvellement des eaux (Kolpack, 1971; Reimers et al, 1990).

Le site ODP 893A, foré par 588m de fond, a permis la récupération d'une série sédimentaire continue d'une longueur de 198m. La stratigraphie, basée sur les variations des isotopes de l'oxygène des tests de foraminifères benthiques indique que la série, continue, remonte jusqu'à 160ka (Kennett, 1995). Le sédiment est constitué principalement de particules terrigènes, silts argileux ou argiles silteuses, et comporte la plupart du temps des diatomées en proportion significative, ainsi que des nannofossiles. Les autres composants, foraminifères, radiolaires, silicoflagellés, pyrite, sont présents à l'état de traces uniquement. Les varves, caractéristiques de l'Holocène et de la déglaciation à l'exception du Dryas récent, ne sont plus présentes que d'une manière épisodique au-delà du dernier maximum glaciaire (Kennett, Baldauf et al, 1994), à l'exception d'une partie (105 à 120ka.) de l'Eémien, indiquant que la partie profonde du bassin a été la plupart du temps oxygénée par les circulations.

L'association de minéraux argileux est dominée par la smectite tout au long de la série sédimentaire, en association avec l'illite, la kaolinite et la chlorite principalement. Le signal minéralogique ne semble guère affecté par les alternances de périodes glaciaires et interglaciaires, telles que déterminées à partir des variations du rapport isotopique de l'oxygène des foraminifères benthiques (Kennett, 1995). La bonne corrélation entre l'illite et la kaolinite ($r=0.90$) suggère que ces deux minéraux ont eu une origine commune tout au long des derniers 160ka. : les pentes relativement abruptes de Californie du Sud (ici les montagnes de Santa Ynez) où se développent des sols et altérations contenant principalement de l'illite et aussi de la kaolinite lorsque les précipitations sont suffisantes pour assurer le lessivage de la roche-mère (Weaver, 1989 ; Stein, 1995). Par contre, illite et kaolinite montrent une mauvaise corrélation avec la smectite ($r=0.37$ et 0.25 respectivement), exprimant une provenance différente pour ce dernier minéral : il est probable que les apports de smectite, depuis la plaine et l'arrière-pays plus aride par les rivières Ventura et Santa Clara (Fleischer, 1972 ; Weaver, 1989), soient une caractéristique persistante de la sédimentation quaternaire. Ainsi, entre les périodes glaciaires et interglaciaires du Quaternaire récent, l'altération continentale, l'érosion et le transport de

particules terrigènes vers le bassin de sédimentation ne montrent guère de variation significative à long terme.

Les rapports d'abondance relative smectite/illite et kaolinite/smectite indiquent que le trait principal de la sédimentation argileuse des derniers 160ka. demeure la présence temporaire de fortes abondances de smectite, au détriment de l'illite et de la kaolinite. Les rapports smectite/illite et kaolinite/smectite ne montrent pas de relation avec l'ensoleillement à 34°N (Paillard et al, 1996), qui ne constitue pas ici un facteur limitant pour la formation et l'accumulation des minéraux argileux. Des analyses spectrales (Blackman-Tukey et maximum d'entropie, Paillard et al 1996) effectuées sur les rapports smectite/illite et kaolinite/smectite font apparaître des cycles dominants proches de 21-23kyr, suggérant que la précession puisse jouer un rôle majeur dans la sédimentation argileuse du bassin de Santa Barbara.

La comparaison des rapports smectite/illite et kaolinite/smectite avec les valeurs de la précession pour les derniers 160ka (Paillard et al, 1996) montre que les maxima de smectite correspondent généralement aux minima de précession, ainsi qu'aux périodes de développement glaciaire qui ont précédé l'Eémien (140ka) et l'Holocène (20ka). Les minima de précession correspondent à un ensoleillement maximum des zones équatoriales, favorisant l'élévation de température des eaux de surface. Le gradient latitudinal de température ainsi accru serait à l'origine d'une intensification des échanges thermiques par les circulations atmosphériques et océaniques de surface, permettant notamment la progression vers le Nord des eaux tropicales (Pisias, 1979). Comme c'est également le cas lors des épisodes El-Niño actuels, les précipitations associées à la progression des eaux de surface chaudes auraient favorisé l'érosion du bassin-versant des rivières Ventura et Santa Clara, et donc les apports de smectite dans le bassin de Santa Barbara.

L'intensification périodique des précipitations et des apports fluviaux, marqués par les abondances accrues de smectite semble être une caractéristique permanente de la dynamique du climat de Californie du Sud au Quaternaire récent, en période glaciaire comme en période interglaciaire. Cette particularité climatique pourrait avoir un caractère global. En effet, des épisodes de fortes précipitations ont également été décrits dans d'autres régions et notamment en Méditerranée durant les intervalles sapropéliques (Diester-Haass et al, 1998), eux aussi souvent associés aux minima de précession (Hilgen et al, 1993).

Références

- Diester-Haass, L., et al (1998) : Proc. ODP, Sci. Res., 160, sous presse.
Fleischer, P. (1972) : J. Sedim. Petrol., 42, 49-58.
Hickey, B. M. (1992) : in L. F. Small, Progress Oceanogr., Oxford (Pergamon), 37-115
Hilgen, F. J., et al (1993) : Paleoceanogr., 8, 549-565.
Kennett, J. P., Baldauf, J., et al (1994) : Proc. ODP, Init. Repts., 146, (2), 15-50.
Kennett, J. P. (1995) : Proc. ODP, Sci. Res., 146, (2), 3-18.
Kolpack, R. L. (1971) : Biol. Oceanogr. Survey Santa Barbara Channel Oil Spill, (2), Los Angeles (Univ. Southern Calif.), 90-180.
Paillard, D., et al (1996) : EOS Trans., AGU, 77, 379.
Pisias, N. G. (1979) : Quatern. Res., 11, 373-386.
Reimers, C. E., et al (1990) : Limnol. Oceanogr., 35, 1577-1585.
Stein, R. (1995) : Proc. ODP, Sci. Res., 146, (2), 89-102.
Weaver, C. E. (1989) : Clays, Muds and Shales, Amsterdam (Elsevier), 819pp.

RÉACTIVITÉ DE MATÉRIAUX ARGILEUX SOU MIS À DES CYCLES D'HUMECTATION/DESSICATION

Véronique ROUBEUF*, Régine MOSSER-RUCK*, Michel CATHELINÉAU*
et Éric GIFFAUT**

(*) CREGU - UMR 7566, 3 rue du Bois de La Champelle, BP 23, F-54501 Vandœuvre-lès-Nancy.

(**) ANDRA, Parc de la Croix Blanche, 1-7 rue J. Monnet, F-92298 Châtenay-Malabry cedex.

P
O
S
T
E
R

Cette étude concerne le suivi de l'évolution des propriétés des argiles soumises à plusieurs cycles d'humectation/dessication. Les expériences simulent l'entreposage en surface de matériaux argileux destinés à entrer dans la composition des barrières ouvragées des sites de stockages de déchets radioactifs. Les cycles d'humectation/dessication réalisés sont définis de manière à s'approcher des conditions météorologiques typiques des régions tempérées (alternance de jours pluvieux et ensoleillés).

L'originalité de cette étude repose sur la caractérisation pluridisciplinaire (utilisation de nombreuses techniques analytiques tels que MEB, MET, diffraction de rayons X, microsonde électronique, CEC) des divers composants des matériaux, minéraux détritiques et argileux, ainsi que sur le suivi par ICP-AES, MS et chromatographie ionique de la composition des solutions à l'équilibre avec le sédiment après chaque cycle d'humectation.

L'échantillon étudié est un sédiment argileux d'âge callovo-oxfordien provenant du forage ANDRA HTM102 (échantillon HTM1001). Il est composé d'argilites calcaires de faible perméabilité ($< 10^{-12}$ m/s). La teneur en carbonates est estimée à 27,8 %. Les argiles sont en majorité gonflantes de type smectite et interstratifiés I/S désordonnés R0 à pourcentage de feuillets fermés encore relativement faible (environ 30 %).

Afin de simuler expérimentalement l'influence des contacts eau/argiles typiques d'un entreposage en milieu ouvert, les échantillons argileux, en fragment ou en poudre, ont été soumis à cinq cycles d'humectation/dessication de 96 heures chacun.

Les solutions d'humectation sont d'une part de l'eau pure déminéralisée à pH7 et d'autre part une eau à pH4,9 simulant une eau de pluie récoltée en mai 1997 dans la Commune de Savigny en Meuse, à 10km d'implantation du forage HTM102. La composition de cette eau de pluie reconstituée entre dans la gamme des compositions relevées dans la littérature typiques des environnements continentaux francs.

Les analyses de surface spécifique et microporosité confirment la relativement bonne stabilité des argiles.

Les résultats obtenus par diffraction de rayons X sur les argiles les plus fines (< 10 μ m) ne montrent pas de modifications importantes de la structure des argiles. Certains produits de réaction, traités sous la forme de poudre, sont légèrement appauvris en argiles gonflantes à la fin des cinq cycles, ce qui est attribuable à la fermeture de feuillets de smectites par déshydratation.

L'évolution cristallochimique des argiles est suivie par microsonde électronique. Des modifications du site interfoliaire des argiles les plus fines, liées à des échanges (Na par Ca) avec les solutions, sont mises en évidence.

Les concentrations en éléments majeurs (Ca, Na, Mg, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl⁻), dans les solutions à l'équilibre, montrent que les cycles d'humectation/dessication conduisent à la dissolution de divers sels, tels que chlorures et sulfates présents au départ dans le sédiment traité, et à une altération des carbonates (calcite, dolomite) qui sont en quantité non négligeable (ciment du sédiment, tests de fossiles). Les taux de dissolution des carbonates ont été calculés pour chaque expérience. Ils sont faibles (≤ 1 %) mais légèrement augmentant pour les rapports liquide sur roche forts (10/1). Le quartz, les feldspaths et les argiles, présentant une faible solubilité, ne semblent pas avoir subi d'altération majeure. En ce qui concerne les conditions d'expériences, le pH ne paraît pas jouer un rôle important sur l'altération des phases minérales en raison de l'effet tampon induit par la dissolution des carbonates (pH à l'équilibre de

7.5 - 8). Par contre, l'agitation du milieu a tendance à favoriser la dissolution de certaines phases minérales (carbonates, sulfates).

Ce travail met en évidence une grande stabilité chimique des argiles, les cycles d'humectation/dessiccation conduisent à une légère déshydratation et à des échanges en site interfoliaire. La dissolution des carbonates entraîne un effet tampon qui limite l'influence du pH des solutions de départ et une augmentation de la porosité du matériel qui pourrait jouer sur sa cohésion surtout après remise en condition de barrière de stockage.

ÉTUDE DU RÔLE DES ARGILES DANS LA FORMATION DE NIVEAUX RICHES EN MATIÈRE ORGANIQUE DU CÉNOMANIEN D'ITALIE CENTRALE

V. SALMON^(1,2), S. DERENNE⁽²⁾, E. LALLIER-VERGES⁽³⁾, C. LARGEAU⁽²⁾,
et B. BEAUDOIN⁽¹⁾

(1) CGES-Sédimentologie, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 35 rue Saint-Honoré, F-77305 Fontainebleau cedex.

(2) UMR CNRS 7573, Lab. de Chimie Bioorganique et Organique Physique, École Nationale Supérieure de Chimie de Paris, F-75231 Paris cedex 5.

(3) UMR CNRS 6531, Lab. de Géologie de la Matière Organique, Université d'Orléans, F-45067 Orléans cedex.

P
O
S
T
E
R

INTRODUCTION

Comprendre les mécanismes qui conduisent à la préservation de la matière organique (MO) sédimentaire est essentiel aussi bien pour l'exploration pétrolière que pour la reconstruction des paléoenvironnements et des paléoclimats. En plus de la dégradation-recondensation, premier modèle proposé pour rendre compte de la préservation de la MO, deux mécanismes ont été largement étudiés ces dernières années et ils sont à présent bien compris. Ce sont la préservation sélective et la sulfuration naturelle.

Plus récemment, un quatrième mécanisme appelé "protection par adsorption", impliquant un rôle protecteur des minéraux a été proposé. Il a été appelé "protection par adsorption". Mayer (1994) a montré que dans certains sédiments, une corrélation existait entre la teneur en carbone organique et la surface active des minéraux, correspondant à un recouvrement monomoléculaire de la surface minérale.

Jusqu'à présent, les études sur le rôle de la fraction minérale dans la préservation de la MO ont été effectuées sur des sédiments récents (par exemple : Hedges et Keil, 1995; Bergamaschi et al., 1997). Une étude préliminaire de la MO d'un niveau de "black shale" du Cénomanién d'Italie Centrale, nous a conduit à envisager un rôle de la fraction minérale dans la préservation de la MO (Salmon et al., 1997).

Le travail présenté ici porte (i) sur les relations spatiales entre la MO et la matrice minérale déduites d'observations pétrographiques à différentes échelles (microscopie optique et électronique) et (ii) sur la stabilité de la MO une fois séparée de la matrice minérale.

RÉSULTATS

Dans le bassin des Marche-Ombrie, la limite Cénomanién/Turonien est marquée par un niveau noir d'épaisseur d'environ 1 m, riche en MO, le niveau "Bonarelli". Sous le niveau Bonarelli, il existe une quarantaine de niveaux noirs, qui sont soit des niveaux de "black

shale", soit des silex, soit une superposition des deux (Beaudoin et al, 1996). Cette étude a été réalisée sur un niveau de "black shale" situé environ 12 m sous le niveau "Bonarelli"

L' étude de sections polies et de lames minces de roche en microscopie optique et en microscopie électronique à balayage ont montré que dans ce niveau de "black shale", présentant une fraction minérale constituée d'argiles et de carbonates, la MO est étant associée quasi-exclusivement aux argiles. Des observations en microscopie électronique à transmission (MET), réalisées sur des coupes ultraminces de roches, réalisées perpendiculairement à la stratification, ont montré que le sédiment, à l'échelle du MET, est constitué d'une alternance de nanolits lenticulaires organiques et argileux. L'épaisseur de ces nanolits est de l'ordre de la centaine de nm d'épaisseur. Cette association intime a probablement permis la protection stérique de la MO. Il faut de plus noter que l'épaisseur des nanolits organiques n'est pas compatible avec l'hypothèse d'une protection de la MO par une adsorption simple sur les minéraux. De plus, les premiers résultats obtenus en MET à haute résolution semblent indiquer une association préférentielle de la MO avec les illites.

Une étude pyrolytique a été effectuée, après des temps de stockage du kérogène isolé variant de 0 à 2 ans. La comparaison des produits de pyrolyse du kérogène fraîchement isolé et du même kérogène après un et deux ans de stockage a permis de mettre en évidence une dégradation oxydante et rapide du kérogène une fois que celui-ci est isolé de sa matrice minérale. La MO comprend donc des unités potentiellement labiles, qui ont été protégées jusqu'à nos jours par les minéraux.

Ce travail a permis (i) de confirmer par des observations texturales le rôle protecteur de la fraction minérale, et plus particulièrement des argiles, sur la MO sédimentaire, et (ii) de montrer que cette fraction joue également un rôle sur la stabilité du kérogène ainsi formé.

Références

- Beaudoin B., M'Ban E. P., Montanari A. and Pinault M. (1996) Lithostratigraphie haute résolution (<20 ka) dans le Cénomaniens du bassin d'Ombrie-Marches (Italie). C. R. Acad. Sci. Paris 323 IIa, 689-696.
- Bergamaschi B. A., Tsamakis E., Keil R. G., Eglinton T. I., Montluçon D. B. and Hedges J. I. (1997) The effect of grain size and surface area on organic matter, lignin and carbohydrate concentration, and molecular composition in Peru Margin sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 61, 1247-1260.
- Hedges J. I. et Keil R. G. (1995) Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Marine Chemistry* 49, 81-115.
- Mayer L. (1994) Surface area control on organic carbon accumulation in continental shelf sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 1271-1284.
- Salmon V., Derenne S., Largeau C., Beaudoin B., Bardoux G. et Mariotti A. (1997) Kerogen chemical structure and source organisms in a Cenomanian organic-rich black shale (Central Italy)-Indications for an important role of the "sorptive protection" pathway. *Org. Geochem.* 23, 423-438.

ENREGISTREMENTS CLIMATIQUES DANS LES ARGILES MARINES : LE POINT DE VUE DU CONTINENT

Médard THIRY⁽¹⁾ et Christian DUPUIS⁽²⁾

(1) École Nationale Supérieure des Mines de Paris, C.I.G., 35 rue Saint-Honoré, F-77305 Fontainebleau cedex ;
et CNRS-UMR 7619 « Sisyphe - Structure et fonctionnement des systèmes hydriques continentaux ».

(2) Faculté Polytechnique, Géologie Fondamentale et Appliquée, 9 rue de Houdain, B-7000 Mons.

Comprendre l'origine des minéraux argileux des séries marines n'est pas une préoccupation nouvelle. Les premières interprétations ont souvent balancé entre héritage et néoformation. En particulier la smectite a souvent été considérée comme néoformée et symptomatique du milieu marin, mais en même temps, la sédimentation différentielle des minéraux argileux a été invoquée pour expliquer l'enrichissement progressif en illite et smectite en fonction de l'éloignement de l'embouchure des grands fleuves.

Au cours des dernières décennies cette discussion a été souvent négligée. L'étude des sédiments océaniques récents a le plus souvent conduit à considérer les argiles comme étant directement héritées du continent. De ce fait, elles refléteraient la nature des sols se développant sur les continents et seraient des indicateurs paléoclimatiques. En outre, une telle présentation a permis à l'étude des argiles de s'inscrire activement dans les grandes problématiques actuelles.

Le présent travail re-examine cette question à partir de ce que l'on sait de la géodynamique des sols et des paysages, et se limite à une discussion relative au couple smectite-kaolinite. On s'attachera en particulier à montrer les difficultés d'une analyse rétrospective de la liaison sols-sédiments.

Pérennité des paléoaltérations à kaolinite. Les paléoaltérations kaoliniques et bauxitiques sont connues depuis longtemps sur de grandes surfaces du globe. La datation de ces altérites a longtemps été limitée à la reconnaissance et à la discussion de relations géométriques. Depuis peu, les méthodes radiochronologiques et isotopiques assurent des datations de plus en plus fiables. Des profils bauxitiques et kaoliniques sont particulièrement bien développés sur les surfaces d'aplanissement Crétacé-Tertiaire qui subsistent dans les paysages actuels. C'est le cas de vastes régions en Afrique de l'Ouest et équatoriale, en Afrique de l'Est, en Inde, au Brésil, en Guyane, sur le Piedmont Appalachien, et enfin en Australie où certaines altérites kaoliniques remontent au Jurassique.

L'épisode kaolinique du Crétacé-Tertiaire inférieur est également bien connu dans les séries sédimentaires, c'est en particulier le cas des bauxites formées sur les plates-formes carbonatées mésogéennes. Le socle hercynien a été également recouvert par de profonds sols kaoliniques au cours du Crétacé de même que les grandes plaines côtières arénacées et carbonatées, abandonnées par la grande régression du Crétacé terminal. La persistance, pendant des périodes géologiques aussi longues, de matériaux kaoliniques anciens dans de vastes contrées est incontestablement susceptible de fausser le signal paléoclimatique de la kaolinite dans les enregistrements sédimentaires.

Ces grandes étendues à couverture kaolinique ont nourri les dépôts sédimentaires marins et continentaux pendant une grande partie du Crétacé et du Tertiaire inférieur. La kaolinite est déjà remaniée dans les sables transgressifs du Crétacé supérieur et forme encore l'essentiel des premiers dépôts tertiaires sur les hauteurs du Massif Central. Les premiers mouvements alpins et l'assèchement du climat durant le Tertiaire inférieur ont entraîné le remaniement de ces altérites et produit la décharge sidérolithique, diachronique, mais connue du Sud au Nord de l'Europe. Cette importante décharge de kaolinite dans les bassins sédimentaires s'est déclenchée plusieurs Ma après la formation des sols kaoliniques sur le continent. Le climat à l'époque du dépôt n'était plus chaud et humide,

mais comportait une saison sèche marquée, comme l'indique le développement de calcrètes dans les paléosols contemporains.

L'héritage et la pérennité de la kaolinite dans les paysages actuels et anciens rendent pour le moins difficile son utilisation systématique comme indicateur de climats chauds et humides. Dans tous les cas il convient d'examiner les témoins des environnements continentaux et de s'assurer que les paléopaysages ne sont pas hérités de périodes climatiques antérieures.

Rareté des sols à smectite. Les smectites se forment dans une grande variété de sols dépendant de climats tropicaux secs à tempérés. Cependant, les smectites formées dans les sols sous climats méditerranéens et tempérés ne contribuent que de façon limitée à la sédimentation marine. En effet, la smectite est rarement le seul minéral de ces sols, elle est souvent accompagnée d'illite, vermiculite et différents interstratifiés, qui ne sont d'aucune aide pour les reconstructions paléoclimatiques. D'un point de vue quantitatif, ces sols sont peu profonds et ne peuvent avoir qu'une participation limitée dans le matériel hérité de l'érosion des paysages; ceci d'autant plus qu'une certaine proportion de matériel des socles et des sédiments frais est toujours remaniée en même temps.

Les sols smectitiques bien développés sont surtout limités aux zones tropicales sèches. Ce sont surtout des vertisols et des associations de vertisols avec d'autres sols structurés. Leur profondeur moyenne varie entre 2 et 15m, ce qui est relativement peu par comparaison aux sols kaolinitiques tropicaux. Néanmoins l'érosion de vertisols, même s'ils sont eux aussi souvent formés d'un mélange de minéraux argileux, peut éventuellement apporter une contribution significative aux dépôts d'argiles marines et aider aux interprétations paléoclimatiques. Mais les sols tropicaux smectitiques restent peu étendus dans les paysages actuels. Les vertisols ne forment que 2,4% de la surface des continents. Ils sont bien développés sur la Péninsule Indienne, l'Australie du sud et de l'est, le Mexique, le nord-est du Brésil, l'Afrique de l'ouest et du Sud. Même dans ces régions tropicales, les sols smectitiques sont limités aux parties basses des paysages et sont souvent associés à des sols kaolinitiques qui occupent les zones plus élevées.

Dans les séries géologiques, la plupart des paléosols smectitiques décrits dans la littérature sont des calcrètes qui contiennent une faible proportion de minéraux argileux et ne présentent donc qu'un faible potentiel d'apport pour les dépôts marins. Les vrais paléosols vertiques sont rarement signalés et les quelques cas connus se limitent à des environnements de plaine alluviale. Par contre, le problème de l'héritage de smectites formées sous des climats anciens est moins crucial. En effet, les sols à smectites sont rarement hérités -seul un assèchement du climat permet leur préservation- tout retour vers un climat plus humide amènera leur altération en kaolinite.

Mais le problème majeur avec les smectites c'est qu'elles se développent aussi très souvent dans les bassins, à l'interface eau/sédiment ou pendant la diagenèse précoce. Le développement de smectites authigènes dans les bassins explique vraisemblablement l'opposition souvent constatée entre les minéraux argileux des dépôts continentaux et de plate-forme marines et ceux des dépôts océaniques de même âge. L'authigenèse de smectites dans les bassins explique la fréquence et les grandes quantités de smectites marines eu égard à la relative rareté des sols smectitiques. Mais dans ce cas, la smectite ne peut plus être regardée comme un indicateur climatique à proprement parler.

L'altération dans les environnements anciens. Les paramètres géochimiques de l'altération pédologique ont beaucoup changé au cours des temps géologiques, en particulier la teneur en CO₂ de l'atmosphère, atteignant des valeurs 10 fois supérieures à l'Actuel pendant le Crétacé moyen. Les simulations géochimiques indiquent qu'avec de telles teneurs la kaolinite se forme 3 fois plus vite ou avec 3 fois moins de pluie qu'actuellement. Dans ces conditions, la formation de smectite est encore plus réduite, et la signification climatique des argiles pédologiques s'en trouve profondément modifiée par rapport aux climats actuels.

**DIFFÉRENCIATION MINÉRALOGIQUE ET GÉNÉTIQUE, PAR DRX,
DE SMECTITES POST-SATURÉES AUX Li ET K. APPLICATIONS EN
SÉDIMENTOLOGIE, PALÉOPÉDOLOGIE, PALÉOGÉOGRAPHIE,
PALÉOCLIMATOLOGIE, STRATIGRAPHIE ET EN
ARGILOSTRATIGRAPHIE SÉQUENTIELLE**

J. THOREZ

P
O
S
T
E
R

Géologie des argiles, Université de Liège au Sart Tilman, B-4000 Liège.

De nombreuses séries sédimentaires contiennent régulièrement une fraction plus ou moins importante de "smectite"; ce composant est associé à de l'illite, de la kaolinite, de la chlorite, de la vermiculite, des interstratifiés réguliers ou irréguliers illite-chlorite, illite-vermiculite, chlorite-vermiculite ou chlorite-smectite. De telles "smectites" correspondent le plus souvent à des édifices interstratifiés irréguliers illite-smectite (10-14sm), à composant smectitique prédominant, issus des altérations météoriques ou pédogénétiques; ces "smectites" concernent également des interstratifiés gonflants, plus ou moins réguliers (I-Sm), résultant de la diagenèse de smectites parentales ou d'altérations hydrothermales. Nombre d'édifices interstratifiés irréguliers (10-14sm) sont souvent caractérisés par une "réflexion" principale située vers 17Å (test à l'éthylène glycol, EG); cette réflexion mime ainsi la position, le faciès et même l'intensité de la réflexion à 17Å des montmorillonites, beidellites et nontronite *sensu stricto* glycolées. En raison des assemblages argileux complexes incluant de telles smectites (parfois elles-mêmes en mélanges) et surtout face à l'analyse de grandes séries d'échantillons, le chercheur limite souvent l'investigation DRX à la routine (échantillons séchés (N), glycolés (EG) et chauffés (500)), sans (pouvoir) recourir à des analyses chimiques et/ou thermiques; par ailleurs, les résultats propres à ces dernières analyses demeurent aléatoires en raison de la nature complexe des assemblages argileux.

A la suite de différents travaux de recherches (thèses en licence et de doctorat) réalisés à Liège et qui visaient la détermination détaillée des "smectites" par DRX, il s'est avéré utile, à côté de l'identification en routine (N-EG-500), d'appliquer systématiquement des saturations avec LiCl et KCl. Bien que de tels post-traitements allongent le temps dévolu à la confection des agrégats orientés et à l'enregistrement des diffractogrammes (jusqu'à 10 par échantillon, en incluant les diffractogrammes N-EG-500), on peut démontrer que de telles saturations conduisent à une différenciation structurale, et partant minéralogique, des composants smectitiques, même en cas de mélanges de ces derniers.

Les smectites sont analysées suivant un mode opératoire étagé mais sélectif impliquant l'enregistrement, en séquences parallèles, de quatre séries de diffractogrammes: N-EG-500; LiN-Li300-Li300Gl (glycérol, tel indiqué originellement dans le test de Greene-Kelly (1954), et non l'éthylène glycol qui fournit d'autres comportements!); KN-K110-K110EG; KGl. On peut, éventuellement, ajouter d'autres tests complémentaires, plus discriminatoires encore: LiEG, LiGl, MgGl (voir tableau). Les comportements des smectites vis-à-vis de cette double saturation permettent de les différencier entre elles, en présence ou non d'autres minéraux argileux. Ces saturations fournissent ainsi un "plus" non seulement au point de vue structural et génétique, mais également à propos des conditions paléogéographiques et paléoclimatologiques ainsi que de la distribution stratigraphique des smectites dans différents contextes géologiques; les différenciations minéralogiques offrent également un outil performant en analyse stratigraphique séquentielle.

Les exemples, illustrés ici de manière volontairement synthétique, concernent spécifiquement des "smectites" présentes dans: des vertisols topomorphes et lithomorphes (sur basalte) quaternaires du Burundi; des sédiments fluviatiles et des paléosols plio-pléistocènes de la vallée de l'Omo, Ethiopie; des sédiments continentaux à couches de charbon du Paléocène des Rocky Mountains, Etats Unis; des séries à turbidites et fan

deltas de l'Eocène de la Colombie septentrionale (vallée de la Magdalena); des sédiments tertiaires marins du nord de la Belgique (sondage de Mol); des sédiments argileux du Lias de la Lorraine belge (sondage de Latour); des craies du Campanien et du Maastrichtien de l'est de la Belgique et du sud des Pays-Bas. Ces exemples contrastent les caractéristiques structurales et minéralogiques établies, d'une part, par l'investigation en routine (N-EG-500) et, d'autre part, par la double saturation cationique (tableau). Les exemples choisis indiquent des combinaisons très diversifiées de composants smectitiques.

Ces saturations ne peuvent être appliquées qu'à des séries sédimentaires n'ayant pas trop souffert des effets de la diagenèse et qui comportent encore une fraction smectitique soit individualisée soit sous forme d'interstratifiés; elles différencient le composant smectitique dans les édifices interstratifiés irréguliers (10-14sm) et dans les minéraux interstratifiés réguliers (I-Sm), et dans les interstratifiés chlorite-smectite (14c-14sm). Cependant, ces saturations ne peuvent être appliquées à des échantillons pré-traités au Mg (lors de l'extraction de la fraction argileuse) comme le pratiquent encore de nombreux laboratoires. En outre, certains pré-traitements chimiques "classiques" appliqués avant et pendant l'extraction de la fraction argileuse modifient plus ou moins profondément la structure originale des smectites et induisent, dès lors, une identification faussée quand on tient compte ensuite des résultats des saturations. Il est également intéressant de rappeler, que la réflexion (001) à 14Å des chlorites peut être masquée dans les diffractogrammes N et EG par celles, également à 14Å-N et à 17Å-EG, du composant smectitique majoritairement présent, et que l'intensité de la réflexion à 14Å de la chlorite peut être sensiblement abaissée après chauffage (500) (cf chlorite dégradée, interstratifié (14c-14v), vermiculite ou (14c-14sm)); ces conditions sous-estiment la contribution relative de la chlorite dans les assemblages (la contribution de la chlorite ne peut y être basée sur la mesure de l'intensité de la réflexion à 14Å après chauffage en raison de l'état de dégradation possible de ce minéral!). Il est à noter que le diffractogramme Li300 (enregistrement du tassement à 10-11 de la réflexion principale du composant smectitique) individualise parfaitement la réflexion à 14Å de la chlorite associée, sans en modifier l'intensité originale; par là, il existe un moyen de mesurer l'intensité réelle de cette réflexion.

Tableau. Diagnose simplifiée des composants smectiques par saturations Li et K

Composition	Traitements principaux			Trait. complémentaires			
	Li300Gl	K110	K110EG	LiGl	LiEG	KGl	MgGl
M Otay	10	10-11	13,6-16,3	17	17	14	17
(10-14Mcham)	10	10-11	12-13	-	14	-	-
(10-14M otay)	10	10-11	13	13,5	13,5	12	13
M Chambers	10	10-11	10	13,5	13-16	-	-
M Wyoming	10	10	17	17	13,5	18	18
(10-14M wyo)	10	10	13,5	13,5	11	14	14
(I-Hectorite)	12	10	13,5	13	13,5	12	11
Hectorite	13/11-13	10	17	16	17	14,7	13,5
(I-Sap)	13,5	11	13,5	12	13,5	14	13,5
(10-14bei)	13,5	10	12	12	13,5	12	13,5
(10-14M) T	13,5	10	10	12	13,5	10	13,5
Sm Fe, Nontronite	17	12,5	14	17	17	14	17
Beidellites	17	10-11	12/13/16	14	17	14	14
Saponite	17	10-11	10	18	15-16	17	18
Sm T	17	10-11	10	14	17	10	18

M = montmorillonites; T = de transformation; (10-X) = interstratifiés
 Les références bibliographiques des travaux seront indiquées dans le poster

SIGNIFICATION DE LA PRÉSENCE D'INTERSTRATIFIÉS ILLITE/VERMICULITE DANS LES SÉDIMENTS PLÉISTOCÈNES DE L'OCÉAN ATLANTIQUE NORD

Patricia VANDERAVEROET⁽¹⁾, Viviane BOUT-ROUMAZEILLES⁽²⁾
et Jean-François DECONINCK⁽¹⁾

P
O
S
T
E
R

(1) Laboratoire de Sédimentologie et Géodynamique, URA CNRS 719, Université de Lille I,
F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex.

(2) Institut der Aardwetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam, NL-1081 HV Amsterdam.

Les sédiments éocènes à mio-pliocènes de l'océan Atlantique Nord présentent une fraction argileuse principalement constituée de smectite, d'illite et de kaolinite. Dans l'ensemble, au cours de cette période, les proportions d'illite augmentent de manière irrégulière aux dépens de la smectite et de la kaolinite en liaison étroite avec le refroidissement climatique global qui caractérise le Cénozoïque. A partir du Pléistocène, les proportions de chlorite augmentent très fortement en raison de l'installation et de la croissance des calottes Laurentide et Fénno-Scandinave. Parallèlement, des interstratifiés illite/vermiculite (I/V) apparaissent dans les sédiments. Ces minéraux sont représentés sur les diffractogrammes par des pics larges compris entre 10 et 13 Å (Figure 1) ne subissant pas de modification après saturation par l'éthylène-glycol et présentant une réflexion à 10 Å après chauffage à 490°C pendant 2 heures.

La répartition stratigraphique des I/V limitée au Pléistocène montre qu'ils sont caractéristiques des sédiments déposés sous influence directe d'un climat glaciaire. Dans le détail, au sein du Pléistocène, les études minéralogiques à haute-résolution révèlent que les I/V, de même que la kaolinite sont plus abondants dans les sédiments déposés durant les stades interglaciaires que durant les stades glaciaires surtout caractérisés par la chlorite et l'illite (Figure 2). Sur le continent Nord américain, les glaciers ont transporté de grandes quantités de chlorite, d'illite, de feldspaths et d'amphibole provenant de l'altération physique des roches précambriennes et paléozoïques du bouclier canadien sous climat glaciaire. L'association de ces minéraux et des interstratifiés illite/vermiculite suggère une origine détritique de ces interstratifiés.

D'après les données bibliographiques, les interstratifiés illite/vermiculite résulteraient de processus pédogéniques se produisant dans un environnement alcalin et constitueraient des produits d'altération chimique modérée intervenant en période interglaciaire, de minéraux tels que des micas abondants dans les roches cristallines du bouclier nord canadien. La corrélation négative existant entre l'illite et les interstratifiés illite/vermiculite et illite/smectite dans les sédiments prélevés au site ODP 902 (Pente continentale au large du New Jersey) tend à conforter cette hypothèse.

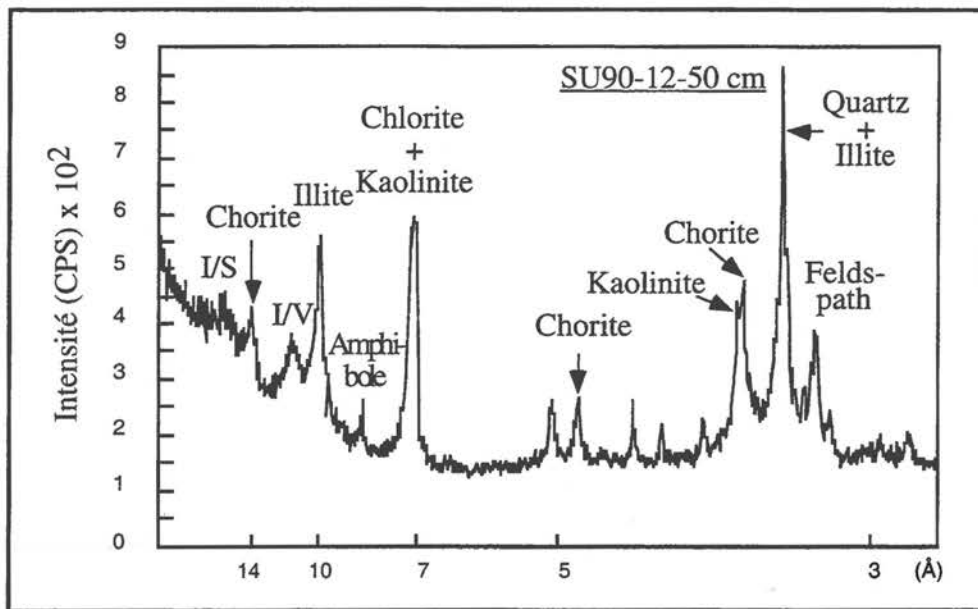


Figure 1

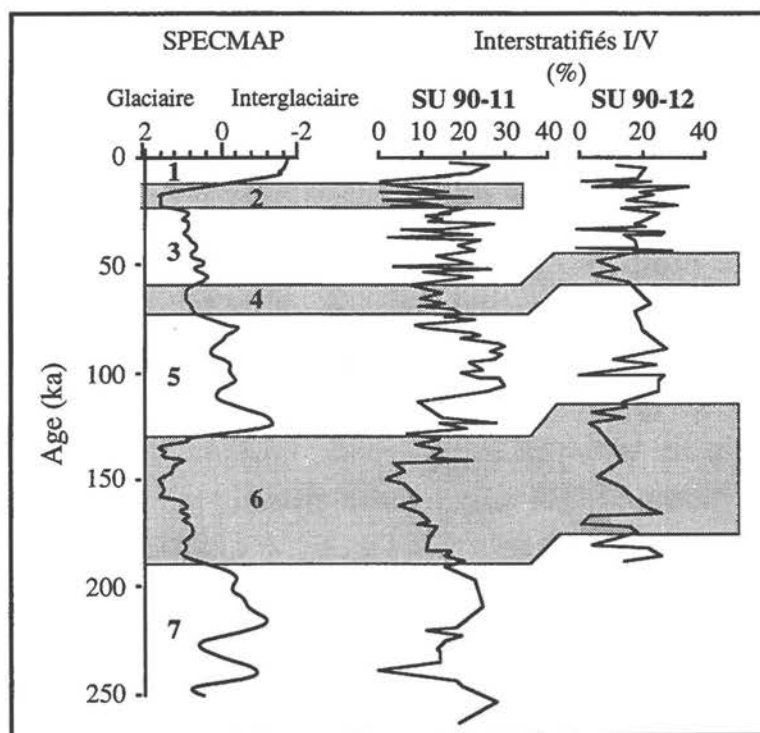


Figure 2

INFLUENCE DE LA NATURE DE LA FRACTION COLLOÏDALE SUR LE GONFLEMENT CRYOGÉNIQUE DU SOL

Brigitte VAN VLIET-LANOE

Sédimentologie et Géodynamique, URA CNRS 719, Université de Lille I, F-59655 Villeneuve d'Ascq.

Le gel des sols est une dessiccation orientée thermiquement. Le gonflement cryogénique des sols est contrôlé par le potentiel de migration d'eau à la surface des minéraux argileux et des autres colloïdes pour permettre la formation de glace de ségrégation en lentilles au sein du sédiment. Cette migration doit pouvoir se faire à des températures inférieures à 0°C. Elle concerne essentiellement l'eau adsorbée et sera donc contrôlée par la charge cationique et le caractère hydrophile ou hydrophobe des polymères organiques ou minéraux complexés avec la fraction argileuse du sol. Dans beaucoup de sols, l'apparition d'une gélivité (susceptibilité des sédiments à développer de la glace de ségrégation en lentilles) résulte des mécanismes de pédogenèse: illuviation mécanique d'argiles, néosynthèses, formation de complexes organo-minéraux.

Les données de terrain couplés à une étude micromorphologique systématique montrent que les horizons B - Bw, Bt et Bs sont les plus gélifs. Dans le cas des horizons illuviaux simples (Bt), la gélivité est plus importante si la fraction illuviée est fine et complexée avec des matières organiques digérées par les lombrics (présence de polymères hydrophiles); les argiles smectitiques sont apparemment plus efficace que les illites et kaolinites. Dans le cas de Bspodiques de podzols subarctiques, la présence d'argiles de type imogolite accroît la gélivité; par contre les horizons Bh, caractérisés par une accumulation de matières organiques hydrophobes (revêtements microcraquelés de gel humiques et humines) est relativement peu gélif. Les horizons (B) ou Bw de sols brun acides peuvent présenter une gélivité très importante s'ils sont riches en polymères alumineux très fluorescents (en Al_{13}^{+++}) et en matières organiques peu pigmentées (acides fulviques).

Un travail expérimental a été effectué au laboratoire du Centre de Géomorphologie du CNRS à Caen. 27 échantillons remaniés de sols, hauts de 30cm, ont été entouré de sable et soumis à 25 cycles de gel-dégel lent en enceinte frigorifique. La nappe phréatique a été positionnée à la base des échantillons. Les valeurs de gonflement cryogénique et de foisonnement résiduel ont été mesurées. L'expérimentation confirme les données de terrain.

Les implications de ce travail sont une meilleure compréhension des mécanismes de cryoturbation en relation avec l'acquisition d'une gélivité des matériaux par pédogenèse et d'un gradient de gélivité acquis par la différenciation en horizons des sols. Cette compréhension permet de suivre les différentes étapes de la dégradation climatique holocène dans les régions boréales et subarctiques, en d'autre terme d'utiliser les sols et paléosols cryoturbés en tant que proxydata climatiques.

DÉTERMINATION INDIRECTE DE LA LAMELLARITÉ DES PHYLLOSILICATES PAR ADSORPTION D'ARGON HAUTE RÉOLUTION

F. VILLIERAS, L. MICHOT, F. BARDOT, G. GERARD, M. FRANÇOIS
et J. M. CASES

P
O
S
T
E
R

Lab. Environnement et Minéralurgie, ENSG et CNRS UMR7569, BP 40, F-54 501 Vandoeuvre-lès-Nancy.

La détermination directe des indices de lamellarité des phyllosilicates par microscopie électronique à balayage ou à transmission est fastidieuse, due au nombre de particules à analyser pour réaliser une statistique fiable. De plus, ces méthodes conduisent généralement à des résultats erronés si les distributions granulométriques ne sont pas monodisperses car l'analyse des petites particules est favorisée par rapport à celle des plus grosses (1). Pour contourner ces difficultés, il est possible d'utiliser des techniques indirectes telles que les techniques granulo-métriques en comparant les résultats déduits d'approches différentes (2) ou les techniques basées sur l'adsorption de molécules sondes (1) en supposant que les propriétés des faces basales et latérales sont suffisamment différenciées. L'adsorption de la première couche de molécules est directement influencée par l'hétérogénéité énergétique superficielle. Ainsi, le facteur de forme de kaolinites a pu être estimé à partir des isothermes d'adsorption de tensioactifs à l'interface solide-solution aqueuse.

Dans le cas de l'adsorption de gaz, l'interprétation directe des isothermes est plus délicate car il faut étudier la partie très basse pression des isothermes. Ainsi, une méthode, basée sur la microcalorimétrie d'adsorption d'argon à 77K a d'abord été proposée (1, 3). Les progrès technologiques réalisés dans le domaine des capteurs de pression permettent maintenant de réaliser des adsorbomètres très précis à très faible pression. La mise au point d'une méthode en continue associée à une acquisition informatisée des données permet de décrire l'adsorption de la première couche de gaz par une courbe "continue" de 2500 à 3500 points expérimentaux alors que les adsorbomètres point par point classiques donnent généralement accès à une trentaine de points (4, 5). Ce gain en résolution permet de tracer les isothermes d'adsorption sous la forme de courbes dérivées par rapport à l'axe des énergies potentielles d'adsorption (Figure 1). Ces isothermes dérivées présentent alors des pics correspondant à l'adsorption sur des domaines précis de la surface. La modélisation de l'isotherme expérimentale par sommation d'isothermes dérivées théoriques (Figure 1b) permet alors de quantifier les quantités adsorbées sur ces différents domaines (4, 5).

Dans le cas de l'adsorption d'argon sur les phyllosilicates, les isothermes dérivées présentent toujours un profil comparable à celui de la figure 1b. Le pic de plus faible énergie (ln

$P/P_0 \approx -4 / -5$) correspond à l'adsorption sur les faces basales tandis que les autres pics sont généralement attribués aux faces latérales. Il devient donc possible de calculer les surfaces spécifiques basales et latérales et d'en déduire l'indice moyen de lamellarité (4, 5).

La "fiabilité" de cette approche a été vérifiée dans de nombreux cas (4-7) et sera illustrée à l'aide de deux exemples : la kaolinite et l'illite.

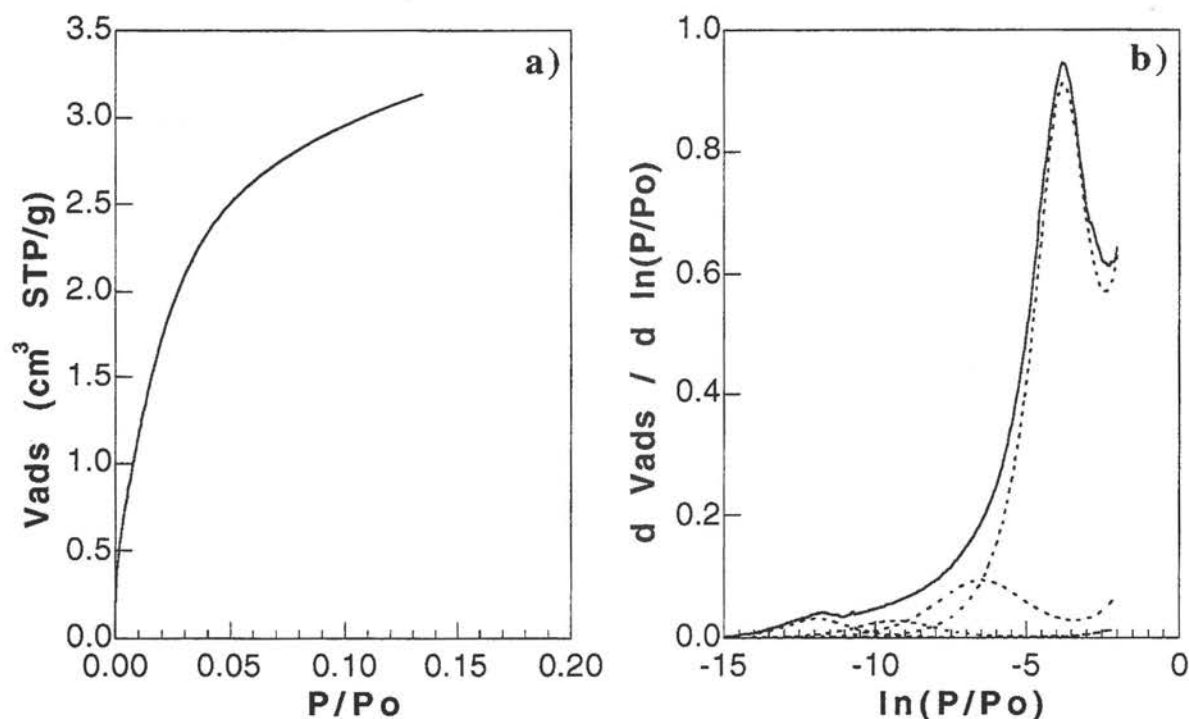


Figure 1 : Adsorption d'argon à 77K sur la surface de muscovite.

a) représentation dans le repère classique P/P_0 - Vads.

b) représentation dans le repère $\ln(P/P_0)$ - $dVads / d\ln(P/P_0)$

Références

- (1) J. M. Cases, P. Cunin, Y. Grillet, C. Poinignon and J. Yvon (1986) Method of analysing morphology of kaolinites : relations between crystallographic and morphological properties, *J. Clay Minerals*, 21, 55-68.
- (2) J. Dodds et G. Balluais (1993) Caractérisation de la taille des particules, dans "Minéraux finement divisés", J. Yvon Ed., Sci. Géol., Bull., 1-4, 79-104, Strasbourg.
- (3) Y. Grillet et J. Rouquerol (1993) Caractérisation des minéraux finement divisés par physisorption. Théories les plus employées et instrumentation, dans "Minéraux finement divisés", J. Yvon Ed., Sci. Géol., Bull., 1-4, 105-124, Strasbourg.
- (4) F. Villiérás, J. M. Cases, M. François, L. Michot and F. Thomas, Texture and surface energetic heterogeneity of solids from modelling of low pressure gas adsorption isotherms, *Langmuir*, 1992, 8, 1789-1795.
- (5) F. Villiérás, L. J. Michot, J. M. Cases, I. Berend, F. Bardot, M. François, G. Gérard and J. Yvon, Static and dynamic studies of the energetic surface heterogeneity of clay minerals. in "Equilibria and Dynamics of Gas Adsorption on Heterogeneous Solid Surfaces". W. Rudzinski, W.A. Steele and G. Zgrablich Eds., Studies in Surface Science and Catalysis, 1997, 104, 573-623, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
- (6) L. J. Michot, F. Villiérás, M. François, J. Yvon, R. Le Dred and J. M. Cases, The structural microscopic hydrophobicity of talc, *Langmuir*, 1994, 10, 3765-3773.
- (7) F. Bardot, F. Villiérás, L.J. Michot, M. François, G. Gérard and J.M. Cases, High resolution gas adsorption study on illites permuted with various cations: assessment of surface energetic properties, *Journal of Dispersion Science and Technology*, sous presse.

LISTE DES AUTEURS



ABDELJAOUAD S.	p. 7	DEVOL-BROWN I.	p. 31
AROSTEGUI J.	p. 5	DIAZ M.	p. 33
AVERBUCH O.	p. 17, 73	DIESTER-HASS L.	p. 85
BADREDDINE R.	p. 1	DJARNIA R.	p. 35
BALBON E.	p. 3, 9	DONATO P. (de)	p. 77
BARDOT F.	p. 101	DUPLAY J.	p. 37
BARTIER D.	p. 5	DUPUIS C.	p. 29, 39, 83, 93
BEAUCAIRE C.	p. 31	EL ALBANI A.	p. 41
BEAUDOIN B.	p. 25, 91	EL HAMMOUTI K.	p. 43
BEAUFORT D.	p. 47	FAGEL N.	p. 45
BECK C.	p. 17, 63, 73	FIALIPS C. I.	p. 47
BEJI SASSI A.	p. 7	FOUCAULT A.	p. 49
BENRABAH B.	p. 53	FRANÇOIS M.	p. 101
BERNARD A.	p. 29	FRANSOLET A.-M.	p. 1
BERTAUX J.	p. 21	FRIES G.	p. 25
BLAMART D.	p. 3, 9	GAIFFE M.	p. 51
BOTZ R.	p. 79	GERARD G.	p. 101
BOUT-ROUMAZEILLES V.	p. 97	GIFFAUT E.	p. 89
BRUNO G.	p. 11.	GRANDJEAN F.	p. 1
BUATIER M.	p. 5	GRAUBY O.	p. 47
BUROLLET P.F.	p. 13	HAN G.	p. 81
CABRERA J.	p.11	HISADA K.I.	p. 79
CAILLIER M.	p. 51	HOLBOURN A.	p. 41
CASES J.M.	p. 101	JACQUIN T.	p. 71
CATHELINEAU M.	p. 15, 65, 89	KAJWARA Y.	p. 79
CHAMLEY H.	p. 81, 85	KERDJIDJ M.K.	p. 53
CHAPRON E.	p. 17, 73	KISSEL C.	p. 9, 21
CLAUER N.	p. 19, 61	KÜBLER B.	p. 13, 51
COLIN C.	p. 21	KUHNT W.	p. 41
DAOUDI L.	p. 23	LAAFAR S.	p. 55
DAUPHIN L.	p. 25	LABEYRIE L.	p. 3, 9
DE PUTTER T.	p. 29, 39, 83	LAIGNEL B.	p. 57
DE WINDT L.	p. 11	LALLIER-VERGES E.	p. 91
DECARREAU A.	p. 47	LARGEAU C.	p. 91
DECONINCK J.-F.	p. 3, 9, 17, 23, 63, 67, 73, 81, 97	LE XUAN THUYEN	p. 27, 59
DEJOU J.	p. 51	LEDESERT B.	p. 61
DELAUNE M.	p. 27, 59	LIEWIG N.	p. 37, 61
DERENNE S.	p. 91	LUMLEY H. (de)	p. 43
DESMET M.	p. 17, 73	LY J.	p. 31
DESPRAIRIES A.	p. 21	MANALT F.	p. 63
		MANSY J.-L.	p. 81

MARCHAND D.	p. 67	TROUILLER A.	p. 15, 65
MARTINEZ L.	p. 37	TURPIN L.	p. 9, 21
MEIER P.	p. 31	VAN VLIET - LANOE B.	p. 99
MELIERES F.	p. 49	VANDERAVEROET P.	p. 97
MERDADI O.	p. 85	VIGNERON G.	p. 67
MEYER R.	p. 57	VILLIERAS F.	p. 101
MICHOT L.	p. 101	WERTH F.	p. 87
MOSSER-RUCK R.	p. 15, 65, 75, 89	WRAY D.	p. 79
NICAISE D.	p. 29, 39	ZIMMERLE W.	p. 25
OUJEDI L.	p. 69	ZWINGMANN H.	p. 61
OUJIDI M.	p. 43		
PELLENARD P.	p. 67		
PELLETIER M.	p. 77		
PENON S.	p. 71		
PERRUCHOT A.	p. 29, 39		
PETIT S.	p. 47		
PEYAUD J.B.	p. 17, 73		
PIRONON J.	p. 75, 77		
PITSCH H.	p. 31		
PLETSCH T.	p. 79		
PORTUGAL FERREIRA M.	p. 23		
POTDEVIN J.L.	p. 5		
POURCHET M.	p. 17		
PREAT A.	p. 81		
PREDA M.	p. 45		
PROST R.	p. 33		
QUESNEL F.	p. 57		
QUINIF Y.	p. 83		
RECOURT P.	p. 17		
ROBERT C.	p. 45, 85, 87		
ROBERT J.L.	P. 47		
ROBIN E.	p. 3, 9		
ROUBEUF V.	p. 15, 65, 89		
SALMON V.	p. 91		
SASSI S.	p. 7		
STEINBERG M.	p. 71		
THIERRY J.	p. 67		
THIRY M.	p. 93		
THOREZ J.	p. 45, 95		
TOURNIER B.	p. 61		
TREMBLAY P.	p. 71		

LISTE DES PUBLICATIONS

Les publications de l'A.S.F. actuellement disponibles sont les suivantes :

- n° 3 - Sédimentation molassique et paléopédogénèse en Languedoc. 16-18 septembre 1987 - Livret-guide de l'excursion.
- n° 4 - Passages carbonates - silicates. 15-16 juin 1987 - Livre des résumés.
- n° 6 - Le Trias détritique de Provence du Dôme de Barrot et du Mercantour. Exemples de sédimentation continentale en contexte anorogénique. 15-17 juin 1988 - Livret-guide de l'excursion.
- n° 10 - 2^{ème} Congrès Français de Sédimentologie. - Paris, 1989 - Livre des résumés.
- n° 11 - Mesozoic eustacy record on Western Tethyan margins. Lyon, 1989 - Book of abstracts./Livre des résumés.
- n° 12 - Mesozoic eustacy record on Western Tethyan margins. Lyon, 1989 - Field-trip guide-book/Livret-guide de l'excursion.
- n° 13 - Diapirisme sur une marge en distention puis en décrochement. Exemple des Pyrénées occidentales françaises. 27-29 avril 1991 - Livret-guide de l'excursion et Table Ronde.
- n° 14 - Sédimentation, diagenèse et séquences de dépôt dans les séries carbonatées de plateforme d'âge Bathonien à Oxfordien en Bourgogne. 27-28-29 juin 1991 - Livret-guide de l'excursion.
- n° 16 - 3^{ème} Congrès Français de Sédimentologie - Brest, 1991 - Livre des excursions.
- n° 17 - Architecture et faciès d'un prisme deltaïque de bas niveau marin : les grès de Roda (Bassin Eocène sud pyrénéen). 25-26-27 septembre 1992 - Livret-guide de l'excursion.
- n° 19 - 4^{ème} Congrès Français de Sédimentologie - Lille, 1993 - Livre des résumés.
- n° 20 - 4^{ème} Congrès Français de Sédimentologie - Lille, 1993 - Livre des excursions.
- n° 21 - Géométries et Productivité des Plates-formes carbonatées - Séance Spécialisée A.S.F.-S.G.F. - 8 décembre 1994 - Livre des résumés.
- n° 22 - 16th Regional Meeting of Sedimentology - 5^{ème} Congrès Français de Sédimentologie. 24-26 avril 1995 - Abstract book/Livre des résumés.
- n° 23 - 16th Regional Meeting of Sedimentology - 5^{ème} Congrès Français de Sédimentologie. 24-26 avril 1995 - Field-trip guide-book/Livre des excursions.
- n° 24 - Modélisation d'un système de piémont : des reliefs pyrénéens aux bassins molassiques gascons du Miocène au Quaternaire. 19-20-21 septembre 1996 - Livret-guide de l'excursion.
- n° 26 - Microbial mediation in carbonate diagenesis. International workshop (I.A.S.-A.S.F.-I.G.C.P. 380) - Chichilianne, 22-24 septembre 1997 - Abstract book.
- n° 27 - 6^{ème} Congrès Français de Sédimentologie. - Montpellier, 17-19 novembre 1997 - Livre des résumés.
- n° 28 - 6^{ème} Congrès Français de Sédimentologie. - Montpellier, 17-19 novembre 1997 - Livre des excursions.

Pour tout renseignement complémentaire, s'adresser à :
l'Association des Sédimentologistes Français
Maison de la Géologie, 77 rue Claude Bernard, 75005 Paris

Ce document a été imprimé par
PHOTOLABO HASSLER
4 rue Dancourt, 77300 Fontainebleau

Dépôt légal : 4^{ème} trimestre 1998

Réunion - Argiles : sédimentologie,
diagenèse, environnement

Les thèmes proposés sont :

- Sédimentation argileuse marine,
paléoclimats, paléocirculations
- Evolutions diagénétiques
- Origine et signification des argiles
dans les séries sédimentaires
- Altération/pédogenèse/
remplissage karstique
- Expérimentation/caractérisation
des minéraux argileux
- Argiles et réservoirs/stockage
dans les formations argileuses

ISSN 0990-3925
ISBN 2-907205-29-3