



# Anisotropie de la Susceptibilité Magnétique : Théorie et exemples d'application pour la mise en évidence de paléocirculations de fluides.

Mourad Essalhi, Stanislas Sizaret, Luc Barbanson, Yan Chen

## ► To cite this version:

Mourad Essalhi, Stanislas Sizaret, Luc Barbanson, Yan Chen. Anisotropie de la Susceptibilité Magnétique : Théorie et exemples d'application pour la mise en évidence de paléocirculations de fluides.. 20ème Colloque des Bassins Sédimentaires Marocains, May 2008, Oujda, Maroc. <insu-00311897>

**HAL Id: insu-00311897**

**<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00311897>**

Submitted on 22 Aug 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **Anisotropie de la Susceptibilité Magnétique : Théorie et exemples d'application pour la mise en évidence de paléocirculations de fluides.**

M. Essalhi, S. Sizaret, L. Barbanson & Y. Chen.

Institut des Sciences de la Terre d'Orléans, CNRS-Université d'Orléans. France.

## **I- Introduction**

L'Anisotropie de la Susceptibilité Magnétique (ASM) est utilisée depuis une trentaine d'années pour déterminer la fabrication des roches (Hrouda, 1982 ; Tarling et Hrouda, 1993). Elle est aussi largement utilisée lors de travaux de géologie structurale en particulier ceux relatifs à la détermination des structures des plutons granitiques (Talbot et al., 2005). L'objectif de cette communication est de montrer, à partir de deux études de cas, comment le couplage entre l'ASM et l'analyse texturale permet de retracer le(s) trajet(s) de circulation des paléo-fluides.

## **II- Principe de la méthode ASM :**

Lorsqu'un solide, en l'occurrence un minéral, est soumis à un champ magnétique  $H$ , celui-ci y induit une aimantation  $M$ . Ces deux grandeurs sont liées par la relation :  $M = K * H$ , où  $M$  est l'aimantation induite (A/m),  $H$  l'intensité du champ appliqué (A/m) et  $K$  la susceptibilité magnétique volumétrique du solide (sans dimension SI).

La valeur de la susceptibilité magnétique d'un solide est fonction de la température et de l'intensité du champ magnétique appliqué. Lorsque  $K$  dépend aussi de la direction d'application de  $H$ , on dit que le solide est anisotrope vis-à-vis de la susceptibilité magnétique. Dans le cas de minéraux isotropes,  $K$  peut être considéré comme un scalaire, alors que pour les minéraux anisotropes, la nature de  $K$  est vectorielle s.l.. En effet, pour des champs magnétiques faibles, la relation entre  $M$  et  $H$  est toujours linéaire et  $K$  est un tenseur d'ordre deux pouvant être représenté géométriquement par un ellipsoïde dit de susceptibilité magnétique. Cet ellipsoïde est caractérisé par plusieurs paramètres dont les plus utilisés sont le paramètre de forme  $T$  et le degré d'anisotropie  $P'$ .

L'ASM possède trois principales origines, à savoir : la nature cristallographique des minéraux, la forme des cristaux et l'agencement spatial de ces derniers.

### III- Premier exemple d'étude : l'encaissant carbonaté des minéralisations Zn-Pb de la Florida (Cantabria, Nord de l'Espagne).

La nature lithologique de l'encaissant des minéralisations Zn-Pb de la Florida varie avec la distance à la minéralisation. On distingue ainsi: un encaissant lointain constitué par le calcaire aptien, un encaissant proche dolomitique et un encaissant immédiat composé de dolomie ferrifère. Ce dernier faciès résulterait d'une métasomatose ferrifère des dolomies (Barbanson et al, 1983). Dans ce travail, la méthode ASM a été utilisée pour caractériser les paléocirculations des fluides à l'origine des phénomènes de dolomitisation, métasomatose ferrifère et minéralisations Zn-Pb associées. L'échantillonnage a concerné les trois types de lithologie afin de comparer le signal ASM des zones situées à proximité des minéralisations à celui des encaissants proche et lointain.

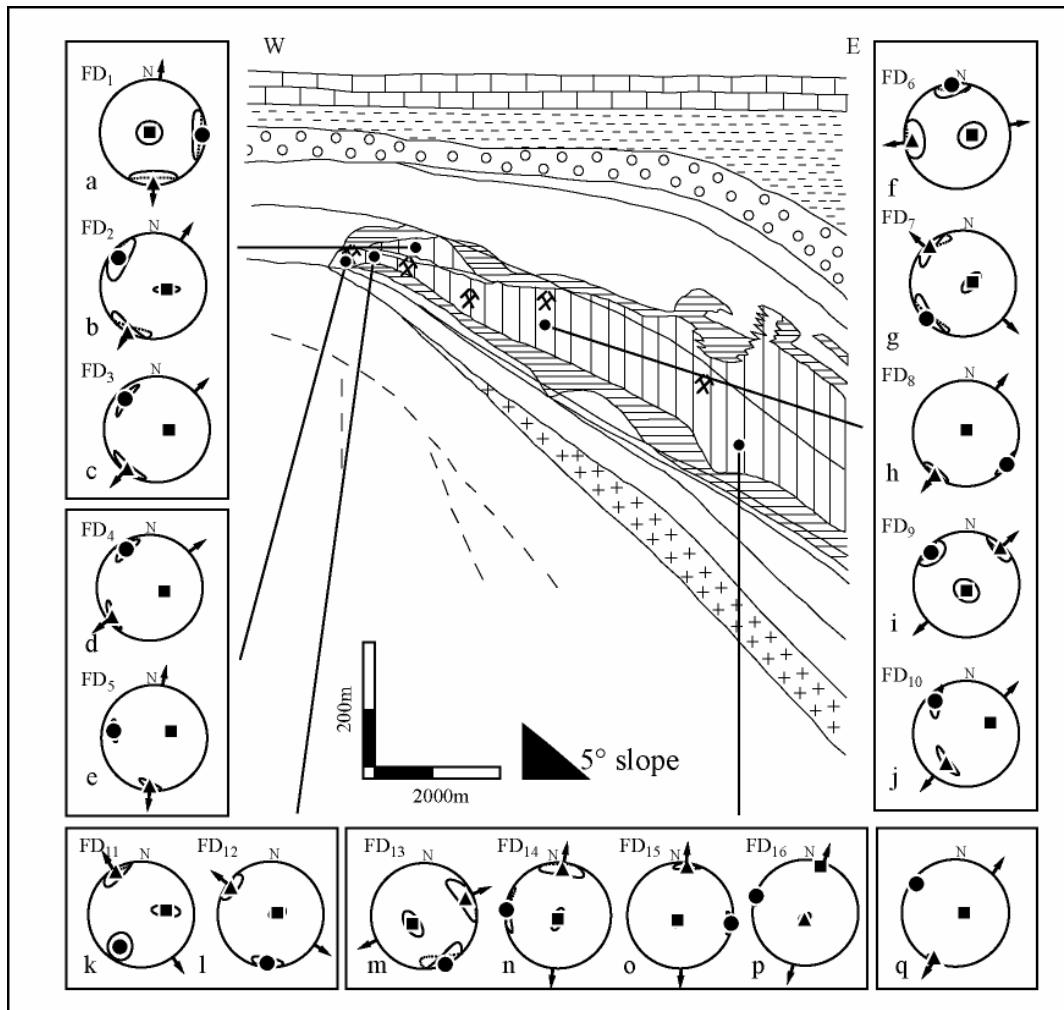
La première étape d'une étude ASM est de définir le(s) minéral(aux) porteur(s) de la susceptibilité magnétique. Pour ce faire, on a utilisé plusieurs techniques : microscopie photonique et électronique, thermomagnétisme (T de Curie), Rémanence Magnétique Isotherme (IRM), cycles d'hystérésis et aussi les mesures de l'Anisotropie de la Rémanence Magnétique (ARM). L'ensemble de ces techniques nous a montré que le porteur de la susceptibilité magnétique est la dolomite ferrifère dans la dolomie ferrifère, et un mélange entre magnétite et calcite dans le calcaire et entre magnétite et dolomite dans la dolomie.

Concernant l'ellipsoïde de susceptibilité magnétique, il a une forme de "cigare" dans la dolomie ferrifère et une forme de "galette" dans le calcaire et la dolomie, ce qui évoque une dominance de structures linéaires dans le premier cas et donc une linéation magnétique reflétant peut être la circulation de fluides et des structures planaires dans le deuxième cas montrant plutôt la dominance de la déformation et/ou de la sédimentation.

La relation entre l'ASM et la circulation de fluides peut être résumée dans le modèle proposé par Sizaret et al. (2006) qui montre que contrairement à un cristal de calcite qui pousse dans un milieu immobile, celui qui croît dans un fluide en circulation est caractérisé par des bandes de croissance dont l'épaisseur est plus importante dans la partie amont que dans la partie aval du cristal. Cette anisotropie de forme peut être mise en évidence par l'ASM.

Des mesures de l'orientation des axes cristallographiques par goniométrie de texture ont montré que les axes  $\langle c \rangle$  dans les carbonates riches en fer sont parallèles à  $K_1$  (axe maximal de susceptibilité magnétique), la fabrique est dite normale; alors que ces axes sont parallèles à  $K_3$  (axe minimal) dans le cas des carbonates pauvres en fer (la fabrique est alors dite inverse).

Tenant compte que les axes <c> de nos échantillons sont verticaux, l'anisotropie de forme et donc de susceptibilité magnétique seront exprimées par  $K_2$  et  $K_1$  dans respectivement la dolomie riche en fer et celle pauvre en fer. La projection des moyennes par sites d'échantillonnage des axes de l'ellipsoïde de susceptibilité magnétique est récapitulée dans la figure 1. On peut y distinguer deux directions principales de circulation, l'une dominante (NE-SW) et indiquant la direction générale d'écoulement, l'autre subordonnée (NW-SE) correspondant vraisemblablement aux sinuosités du trajet suivi par le fluide.



**Figure 1. Projection des moyennes par sites d'échantillonnage des axes des ellipsoïdes de susceptibilité magnétique. Les carrés, les triangles et les cercles représentent respectivement le  $K_1$ ,  $K_2$  et  $K_3$ . a-p représentent l'ensemble des sites échantillonnés et q la moyenne de tous les sites.**

IV- Deuxième cas d'étude : les chapeaux de fer de Tharsis (ceinture pyriteuse sud ibérique, Andalousie, Espagne)

Sur ce site, la direction de migration des eaux météoriques a été recherchée le long d'une coupe verticale, allant de la partie la moins oxydée de l'amas sulfuré (composé pour l'essentiel de pyrite) à la base, jusqu'aux altérites présentant le plus fort degré d'altération au sommet. Pour ce faire, plus de 300 carottes ont été prélevées le long de cette coupe.

L'étude de la minéralogie magnétique (diffraction des rayons X, IRM, hystérésis, thermomagnétisme, microscopie photonique et électronique, ARM) montre que le minéral porteur de la susceptibilité magnétique est de la magnétite super-paramagnétique dans la partie inférieure pyriteuse, et la pyrrhotite dans la partie supérieure oxydée. Ces deux minéraux ferromagnétiques ayant une fabrique normale. A l'exception de deux sites, tous les autres sites prospectés présentent des ellipsoïdes de forme en "galette" montrant ainsi la dominance de la foliation magnétique et donc de structures planaires. Le degré d'anisotropie, est légèrement plus important dans la partie inférieure de l'amas que dans sa partie supérieure.

La foliation magnétique est horizontale dans la partie supérieure du profil échantillonné et verticale, avec une direction générale E-W, dans la partie inférieure. La foliation horizontale peut être interprétée comme témoin du processus d'oxydation et donc du départ de matière et diminution de volume (Théveniaut et Freyssinet, 1999), alors que la foliation magnétique verticale qui caractérise la partie inférieure de l'amas reflète plutôt une fabrique de déformation liée à la déformation Varisque.

## Bibliographie

- Barbanson, L., Touray, J.C., Saulas, D., Vadala P., 1983. Distribution à différentes échelles et chronologie relative des carbonates de l'Aptien de la Province de Santander: relation entre auréole ferrifère et minéralisations Zn-Pb du type Réocin. *Chronique de la Recherche minière*. 473, 39-48.
- Hrouda, F., 1982. Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. *Geophys. Surv.* 5, 37-82.
- Sizaret, S., Fedioun, I., Barbanson, L., Chen, Y., 2006. Crystallization in flow part ii: modelling crystal growth kinetics controlled by boundary layer thickness. *Geophys. J. Int.* 176, 1027-1034.
- Talbot, J.Y., Faure, M., Chen, Y., Martelet, G., 2005. Pull-apart emplacement of the margeride granitic complex (french massif central). implications for the late evolution of the variscan orogen. *J. Struct. Geol.* 27, 1610-1629.

Tarling, D.H. & Hrouda, F., 1993. The magnetic anisotropy of rocks. Chapman and Hall, London

Théveniaut, H. & Freyssinet, Ph., 1999. Paleomagnetism applied to lateritic profiles to assess saprolite and duricrust formation processes: the example of Mont Baduel profile (French Guiana). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 148, 209-231.