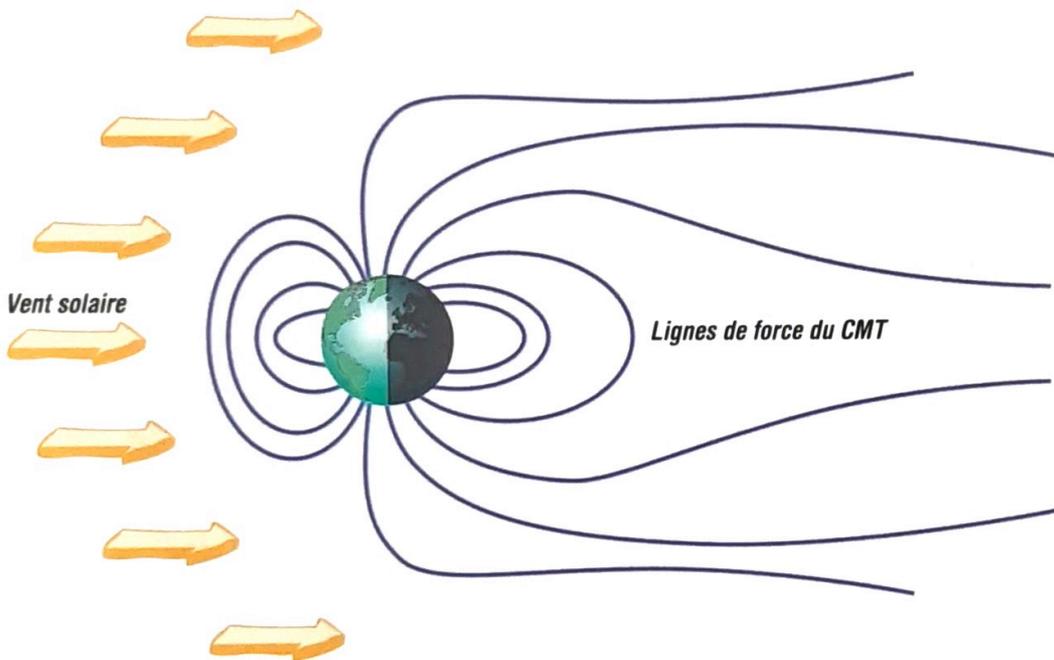


La déclinaison, une affaire
qui se passe sous la terre

MYSTÈRES MAGNÉTIQUES

Puisque chacun sait que le compas magnétique et/ou électrique de son yacht n'indique pas le Nord vrai ou géographique, mais le Nord magnétique, analysons de plus près la différence angulaire entre ces deux directions: la déclinaison.



Influence du vent solaire sur le champ magnétique de la Terre.

Bien que la question ne figure pas dans la (encore!) nouvelle édition «Livre Bleu du CCS», on peut noter que c'est un certain M. Cain (qui n'est pas le frère d'Abel!) qui, en application du théorème de Chasles a établi la règle stipulant qu'une déclinaison Ouest signifiait que l'aiguille du compas pointe à l'Ouest du Nord géographique.

En Suisse romande, nous bénéficions d'une situation particulière, la déclinaison étant pratiquement nulle. Ceci ne s'était pas vu depuis l'an mille six cent cinquante environ. On admet en général que dans nos régions la déclinaison varie d'environ 1° tous les dix ans. On avait par exemple en l'an mille huit cents sur le bassin lémanique plus

de 20° de différence entre les deux Nord. Enfin, on constate un mouvement d'Est en Ouest des anomalies du champ magnétique terrestre.

LE CHAMP TERRESTRE

Les variations du champ magnétique terrestre (CMT) sont principalement dues à la configuration interne de notre planète. Nous verrons aussi qu'il faut tenir compte d'autres considérations, terrestres et extraterrestres.

L'intensité du champ magnétique terrestre se décompose en une valeur horizontale et une valeur verticale. En effet dans des endroits autres que sur l'Equateur magnétique une aiguille suspendue librement

s'orienterait selon le méridien magnétique mais s'inclinerait également d'un certain angle avec l'horizontale.

Cette inclinaison est dite positive dans l'hémisphère nord, là où l'extrémité nord de l'aiguille s'incline vers le bas, et négative dans l'hémisphère sud, là où l'extrémité nord de l'aiguille s'incline vers le haut.

Ainsi donc l'intensité des composantes horizontales et verticales varie d'un lieu à l'autre et varie également dans le même lieu, mais très lentement, avec le temps.

Il est évident que plus la composante verticale est importante, plus elle va au détriment de la composante horizontale, celle qui nous intéresse pour faire pivoter la rose du compas dans la direction du nord magnétique.

On nomme les «lignes isogoniques» les lignes qui joignent sur une carte les endroits ayant une déclinaison égale. En ce qui concerne les lignes d'égales composantes d'inclinaison on parle de «lignes isocliniques» (voir figures ci-dessous).

(Fig. 1 et fig. 2).

UN PEU DE GÉOLOGIE

Rappelons tout d'abord que le rayon moyen de la Terre est de l'ordre de 6373 km. Ceci signifie que la surface du globe est de l'ordre de 510000000 de km² dont 362000 000 réservés aux navigateurs qui réussissent tout de même à avoir des collisions! La densité moyenne de la terre est de 5.5, soit près du double de celle des roches de la surface.

Pour un corps en rotation telle que notre planète, on appelle moment d'inertie une grandeur qui tient compte de la répartition des masses par rapport à l'axe de rotation. Plus la masse est concentrée près du centre, plus le moment d'inertie est petit. On constate que si la sphère terrestre était homogène, le moment d'inertie devrait être de l'ordre de 0,4 MR². Mais les calculs nous ont permis de voir que cette valeur n'était que de 0,33 MR², ce qui indique qu'il doit y avoir une concentration de la masse vers le centre de notre planète. Un premier modèle de la Terre avec un noyau fut décrit voici un siècle par Emil Wiechert.

Profondeur

0 km

Manteau supérieur

700 km

Manteau inférieur

2900 km

Couche «D»

Noyau fluide

5150 km

Noyau solide

6370 km

Plus tard, un de ses élèves, Beno Gutenberg a découvert une forme de discontinuité se trouvant à environ 2900 km de profondeur. Ce que l'on appelle aujourd'hui la «discontinuité de Gutenberg» est en fait la frontière entre le noyau et le manteau terrestre.

En 1936, le sismologue Lehman arrive à la conclusion qu'il y a aussi un noyau solide au centre de la terre qui doit avoir un rayon de l'ordre de 1200 km, soit environ 4% du volume total du noyau. Cette «graine» solide est composée principalement de fer. Etant soumis à des pressions de l'ordre de 3,3 Mbar et à de très hautes températures, celui-ci arrive à une densité de l'ordre de 10 g/cm³. On y trouve également environ 5% de nickel; d'après des études récentes comme celles de F. Birch, il doit également y avoir environ 7% de silicium, 2% de soufre et 4% d'oxygène.

Rappelons encore que la formation de la Terre a commencé il y a 4,55 milliards d'années et que sa constitution relativement récente remonte à moins de 2 milliards d'années. (Dessin: coupe de la Terre).

LA TERRE, DYNAMO GÉANTE

A la zone de transition entre le noyau et le manteau, la conductivité électrique change de manière importante, le noyau liquide étant mille fois plus conducteur que le manteau solide. Cet interface présente des irrégularités et il y a passablement d'écoulements de liquides dans cette zone. De plus, le fluide est soumis aux effets des forces de Coriolis, en relation avec la rotation de la terre. Aussi cette masse hautement conductrice est-elle à la base de phénomènes d'inductions électro-magnétiques. L'ensemble fonctionne un peu comme une sorte de dynamo unipolaire auto-excitée.

Les courants étant irréguliers, le champ magnétique l'est également. La durée des fluctuations les plus rapides est de l'ordre de 10 à 100 ans. Dans un intéressant article du Dr Gaston FISCHER de l'Observatoire Cantonal de Neuchâtel on apprend qu'en plus de ces considérations très terrestres, on doit tenir compte du fait que le champ magnétique terre-

stre est comprimé par le vent solaire, ce qui produit une variation diurne, dépendante avant tout de la latitude.

L'auteur rappelle dans ce même article que le champ magnétique est un phénomène constamment entretenu par la rotation de la terre, ce qui lui prend de l'énergie. On constate en effet que la terre tourne de plus en plus lentement: il y a six cents millions d'années, une seule journée ne comptait que 21 de nos heures; chaque année nous perdons donc 20 millièmes de secondes environ. Mais ceci est une autre histoire, traitant du temps et de l'heure et dont il a déjà été question dans un texte publié par le soussigné dans un Cruising précédent. (Dessin: vent solaire et champ magnétique)

ET DANS LE PASSÉ

On peut se demander jusqu'où peuvent aller ces modifications du champ magnétique terrestre. Divers physiciens se sont penchés sur ce problème dont les Français B. Brunhes et P. David ainsi que le Suisse P. Mercanton et le Japonais Matuyama. Il est généralement admis que depuis 700000 ans le magnétisme terrestre est tel que nous le connaissons actuellement, le pôle magnétique se situant au Nord du Groenland. C'est ce que l'on appelle la période de Brunhes.

Des études géologiques ont démontré que précédemment les pôles étaient inversés. Pendant la période dite de Matuyama, il y a environ 1800000 années, les compas indiquaient le Sud et non le Nord. L'origine exacte de ce phénomène d'inversion des pôles n'est toujours pas bien comprise aujourd'hui. Il est suggéré que le champ magnétique terrestre varie de façon périodique. Selon cette théorie, un volcanisme anormalement important, bouleversant l'équilibre à la surface de la terre, coïncide avec la fin d'un tel cycle. On aurait ainsi tous les 150 millions d'années environ des périodes d'une durée de

quelques dizaines de millions d'années sans qu'il y ait de renversement de champ magnétique. Jusqu'à la prochaine période d'inversion du magnétisme terrestre nous avons donc largement le temps de calculer notre route.

P.-A. Reymond
Sources: J.-P. Poirier,
G. Fischer, Y. Gallet

La déclinaison, une affaire qui se passe sous le manteau de Dame la Terre.

Les mystères magnétiques

Le navigateur du 20ème siècle sait que le compas magnétique et/ou électrique de son yacht n'indique pas le Nord vrai ou géographique, mais le Nord magnétique. La différence angulaire entre ces deux directions se nomme la déclinaison.

Bien que la question ne figure pas dans la (encore !) nouvelle édition «Livre Bleu du CCS», on peut noter que c'est un certain M. Cain (qui n'est pas le frère d'Abel!) qui, en application du théorème de Chasles a établi la règle stipulant qu'une déclinaison Ouest signifiait que l'aiguille du compas pointe à l'Ouest du Nord géographique.

Actuellement nous bénéficions d'une situation particulière, la déclinaison étant pratiquement nulle en Romandie. Ceci ne s'était pas vu depuis l'an mille six cent cinquante environ. On admet en général que dans nos régions la déclinaison varie d'environ 1° par dix années. On avait par exemple en l'an mille huit cents sur le bassin lémanique plus de 20° de différence entre les deux Nord. Enfin, on constate un mouvement d'Est en Ouest des anomalies du champ magnétique terrestre.

Le champ magnétique terrestre

Les variations du champ magnétique terrestre (CMT) sont principalement dues à la configuration interne de notre planète. Nous verrons aussi qu'il faut tenir compte d'autres considérations, terrestres et extraterrestres. L'intensité du champ magnétique terrestre se décompose en une valeur horizontale et une valeur verticale. En effet dans des endroits autres que sur l'Equateur magnétique une aiguille une suspendue librement s'orienterait selon le méridien magnétique mais s'inclinerait également d'un certain angle avec l'horizontale.

Cette inclinaison est dite positive dans l'hémisphère nord, là où l'extrémité nord de l'aiguille s'incline vers le bas et négative dans l'hémisphère sud, là où l'extrémité nord de l'aiguille s'incline vers le haut.

Ainsi donc l'intensité des composantes horizontales et verticales varie d'un lieu à l'autre et varie également dans le même lieu, mais très lentement, avec le temps.

Il est évident que plus la composante verticale est importante, plus elle va au détriment de la composante horizontale, celle qui nous intéresse pour faire pivoter la rose du compas dans la direction du nord magnétique.

On nomme les «lignes isogoniques» les lignes qui joignent sur une carte les endroits ayant une déclinaison égale. En ce qui concerne les lignes d'égaux composantes d'inclinaison on parle de «lignes isocliniques» (voir figures ci-dessous).

(Fig. 1 et fig. 2).

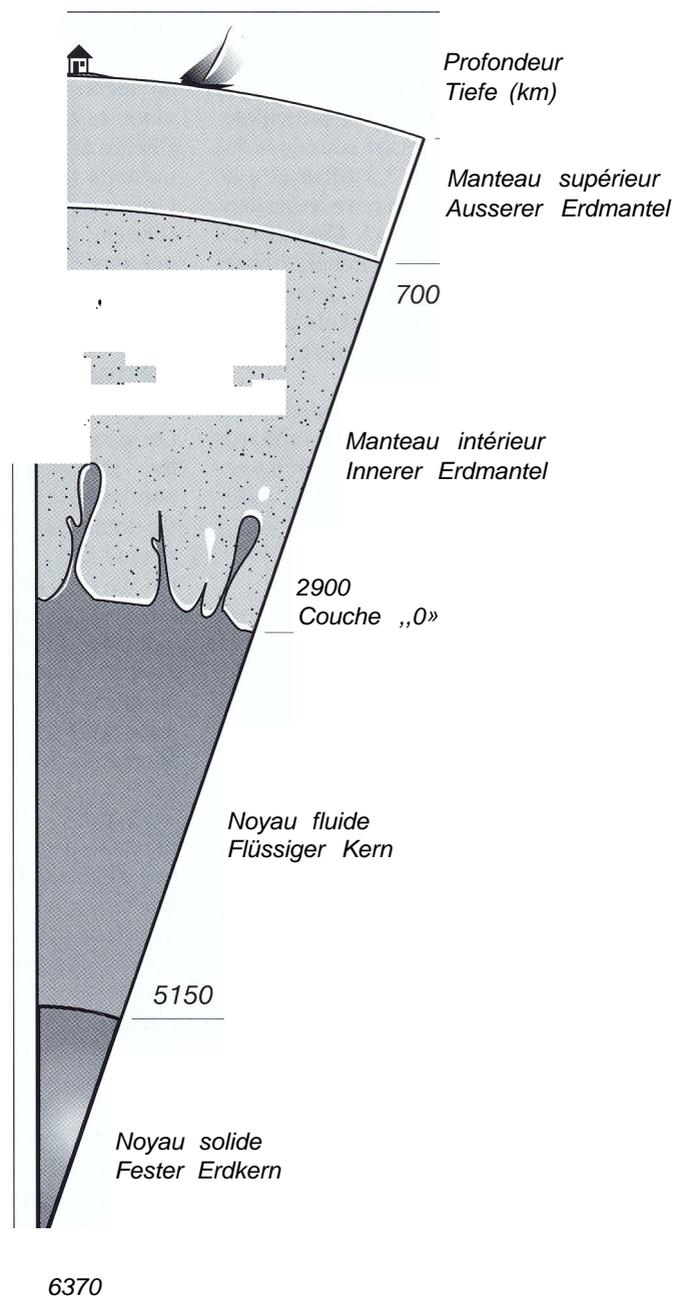
Un peu de géologie

Rappelons tout d'abord que le rayon moyen de la Terre est de l'ordre de 6373 km. Ceci signifie que la surface du globe est de l'ordre de 510 000 000 de km² dont 362 000 000 réservés aux navigateurs qui réussissent tout de même à avoir des collisions ! La densité moyenne de la Terre est de 5.5, soit près du double de celle des roches de la surface.

Pour un corps en rotation telle que notre planète, on appelle moment d'inertie une grandeur qui tient compte de la répartition des masses par rapport à l'axe de rotation. Plus la masse est concentrée près du centre, plus le moment d'inertie est

petit. On constate que si la sphère terrestre était homogène le moment d'inertie devrait être de l'ordre de 0,4 MR². Mais les calculs nous ont permis de voir que cette valeur n'était que de 0,33 MR², ce qui indique qu'il doit y avoir une concen-

Coupe de la Terre Aufbau der Erde



tration de la masse vers le centre de notre planète. Un premier modèle de la Terre avec un noyau fut décrit voici un siècle par Emil Wiechert. Plus tard, un de ses élèves, Beno Gutenberg a découvert une forme de discontinuité se trouvant à environ 2900 km de profondeur. Ce que l'on appelle aujourd'hui la «discontinuité de Gutenberg» est en fait la frontière entre le noyau et le manteau terrestre.

En 1936 le sismologue Lehman arrive à la conclusion qu'il y a aussi un noyau solide au centre de la Terre qui doit avoir un rayon l'ordre de 1200 km, soit environ 4% du volume total du noyau. Cette «graine» solide est composée principalement de fer. Celui-ci étant soumis à des pressions de l'ordre de 3,3 Mbar et a de très hautes températures arrive à une densité de l'ordre de 10 g/cm³. On y trouve également environ 5% de nickel; d'après des études récentes comme celles de F. Birch il doit également y avoir environ 7% de silicium, 2% de soufre et 4% d'oxygène.

Rappelons encore que la formation de la Terre a commencé il y a 4,55 milliards d'années et que sa constitution relativement récente remonte à moins de 2 milliards d'années.

(Dessin: coupe de la Terre).

La Terre, une dynamo géante

A la zone de transition entre le noyau et le manteau, la conductivité électrique change de manière importante, le noyau liquide étant mille fois plus conducteur que le manteau solide. Cet interface présente des irrégularités et il y a passablement d'écoulements de liquides dans cette zone. De plus le fluide est soumis aux effets des forces de Coriolis, en relation avec la rotation de la Terre. Aussi cette masse hautement conductrice est-elle à la base de phénomènes d'induction électromagnétiques. L'ensemble fonctionne un peu comme une dynamo unipolaire auto-excitée.

Les courants étant irréguliers, le champ magnétique l'est également. La durée des fluctuations les plus rapides est de l'ordre de 10 à 100 ans.

Dans un intéressant article du Dr Gaston FISCHER de l'Observatoire Cantonal de Neuchâtel on apprend qu'en plus de ces

considérations très terrestres on doit tenir compte du fait que le champ magnétique terrestre est comprimé par le vent solaire, ce qui produit une variation diurne, dépendante avant tout de la latitude.

L'auteur rappelle dans ce même article que la champ magnétique est un phénomène constamment entretenu par la rotation de la Terre, ce qui lui prend de l'énergie. On constate en effet que la Terre tourne de plus en lentement: il y a six cents millions d'années une journée ne comptait que 21 de nos heures; chaque année nous perdons donc 20 millièmes de secondes environ. Mais ceci est une autre histoire, traitant du temps et de l'heure et dont il a déjà été question dans un texte publié par le soussigné dans un Cruising précédent.

(Dessin vent solaire et champ magnétique)

Et dans le passé

On peut se demander jusqu'où peuvent aller ces modifications du champ magnétique terrestre. Divers physiciens se sont penchés sur ce problème dont les Français B. Brunhes et P. David ainsi que le Suisse P. Mercanton et le Japonais MATUYAMA. Il est généralement admis que depuis 700 000 années le magnétisme terrestre est tel que nous le connaissons actuellement, le pôle magnétique se situant au Nord du Groenland. C'est ce que l'on appelle la période de Brunhes. Des études géologiques ont démontré que précédemment les pôles étaient inversés. Pendant la période dite de Ma-

tuyama, il y a environ 1 800 000 années, les compas indiquaient le Sud et non le Nord. L'origine exacte de ce phénomène d'inversion des pôles n'est toujours pas bien comprise aujourd'hui. Il est suggéré que le champ magnétique terrestre varie de façon périodique. Selon cette théorie un volcanisme anormalement important, bouleversant l'équilibre à la surface de la Terre, coïncide avec la fin d'un tel cycle. On aurait ainsi tous les 150 millions d'années environ des périodes d'une durée de quelques dizaines de millions d'années sans qu'il y ait de renversement de champ magnétique.

Jusqu'à la prochaine période d'inversion du magnétisme terrestre nous avons donc largement le temps de calculer notre route fond jusqu'à l'Île de Réve qui est en chacun d'entre nous.

P-A. Raymond

*Sources: J.-P. Poirier,
G. Fischer, Y. Gallet*