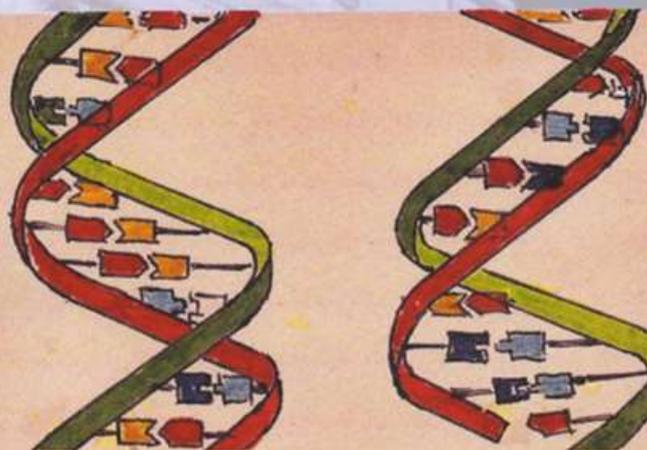


AUVERGNE

Sciences



LE CHAMP MAGNÉTIQUE
TERRESTRE ET SES VARIATIONS :
UNE MENACE POUR L'HUMANITÉ ?

LA PLACE CENTRALE
DES MICRO-ORGANISMES
DANS LA CONNAISSANCE
DU GÉNOME
ET DE SON EXPRESSION

LA SAGA DES PARFUMS.

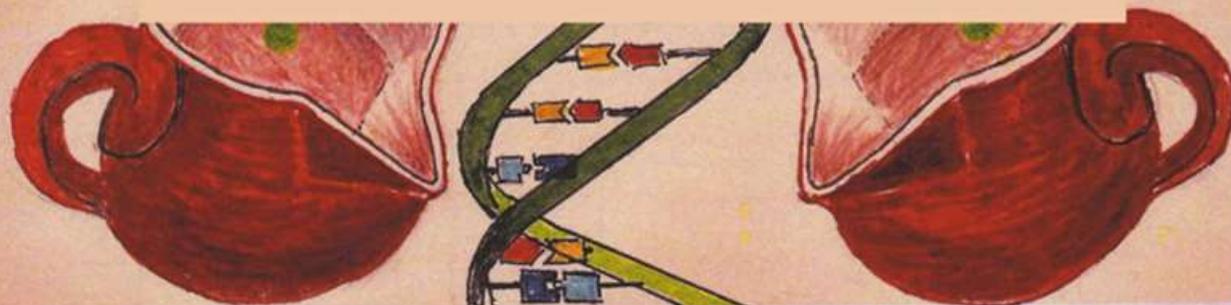
LA CHIRALITÉ

LA SCIENCE EST-ELLE
«CHEMIN DE LIBERTÉ» ?

L'HYPNOSE

LE CHAMP MAGNÉTIQUE
TERRESTRE ET SES VARIATIONS
UNE MENACE POUR L'HUMANITÉ ?

Jacques Kornprobst



Revue de l'ADASTA

Association pour le Développement
de l'Animation Scientifique et Technique en Auvergne



LE CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE ET SES VARIATIONS : UNE MENACE POUR L'HUMANITÉ ?

Jacques Kornprobst – (J.Kornprobst@opgc.fr)

Directeur honoraire de l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand

Les variations du champ magnétique terrestre (CMT) alimentent aujourd'hui quelques fantasmes. Il paraît utile de faire une courte mise au point sur la nature du champ, sur ses bienfaits et sur ses dangers réels. L'article ci-dessous considère comme connus un certain nombre de points concernant le magnétisme et la définition du CMT ; il complète celui qui a été publié (Kornprobst, 2013) par l'Académie de Clermont-Ferrand (disponible en pdf auprès de l'auteur).

Le champ magnétique terrestre : aimant géant ou dynamo ?

Ayant rassemblé les observations fournies par les navigateurs, William Gilbert (1600) note la similitude des orientations de l'inclinaison magnétique et celles des lignes de champ autour d'un aimant droit (Fig. 1); il en déduit que le champ magnétique terrestre est produit par un aimant géant situé au centre de la Terre. Pierre Curie montre plus tard (1895) que l'intensité des moments magnétiques des atomes diminue en fonction de la température et devient nulle à partir de la "température de Curie" qui n'est jamais supérieure à 1.115°C (pour le cobalt). A partir de cette température, aucune aimantation permanente ne peut subsister. Le centre de la Terre étant à des températures très supérieures (Fig. 2), Walter Elsasser (1946) considère que le champ magnétique terrestre est généré, non pas par un aimant, mais par une dynamo : l'alliage fer-nickel liquide qui constitue le noyau externe du Globe, est animé de courants turbulents liés à la convection; placés dans le champ magnétique interplanétaire (issu du soleil), et en accord avec les lois de Faraday, ces courants génèrent un champ électrique lui-même à l'origine du champ magnétique terrestre. La figure 2 donne une image simplifiée de ce processus. Le "moment" magnétique de cette dynamo (VADM) peut être calculé à partir des valeurs en surface du champ magnétique terrestre (60 et 30 μ Tesla, aux pôles et à l'équateur, respectivement) et se mesure en $A.m^2$; il est aujourd'hui un peu inférieur à 8.10^{22} . Le modèle de la dynamo terrestre rend compte d'environ 90% du champ magnétique (champ dipolaire) ; les 10% restants constituent la part «non dipolaire» du champ liée principalement au magnétisme rémanent des unités continentales et océaniques.

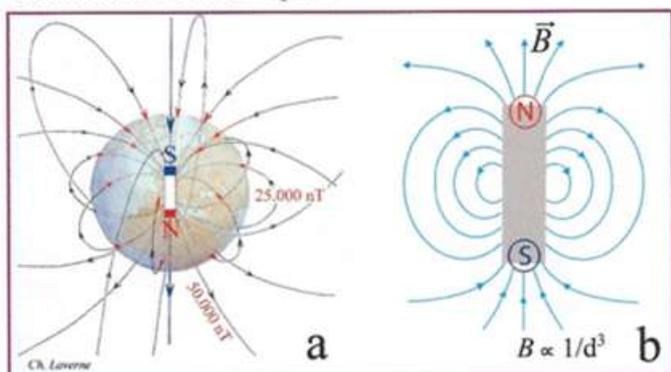


Fig. 1 – Comparaison entre les valeurs de l'inclinaison magnétique autour de la Terre (a) et les lignes de champ d'un aimant permanent (b). Noter que le pôle magnétique nord terrestre est en réalité un pôle sud.

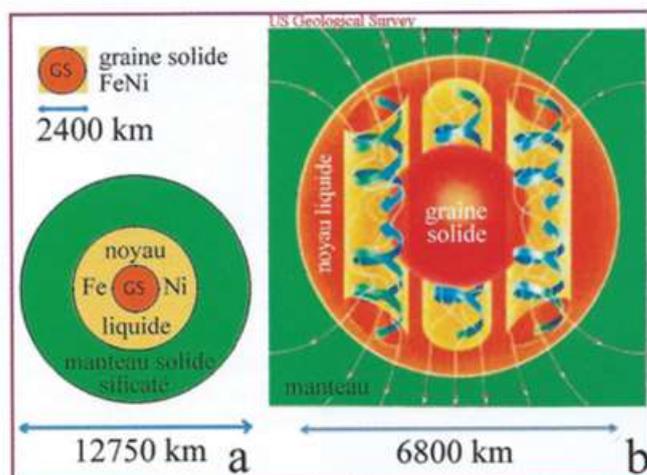


Fig. 2 - Représentation schématique de la dynamo terrestre.

a) Structure du globe.

b) Les courants de convection (tortillons) dans le noyau externe liquide.

Le champ magnétique évolue dans le temps : la variation séculaire

En 1635, Henry Gellibrand montre que les valeurs de la déclinaison et de l'inclinaison varient significativement au cours du temps. L'enregistrement systématique de ces paramètres a été fait depuis le début du 18^e siècle par les observatoires de Paris et de Londres (Fig. 3) ; il montre une évolution de près de 10° en 3 siècles pour l'inclinaison, et une variation de la déclinaison qui s'étend sur 25°. Ce phénomène, complexe et frappé d'irrégularités, aurait également sa source dans le noyau externe liquide de la Terre. Mais peut-on connaître les variations du champ dans le passé ?

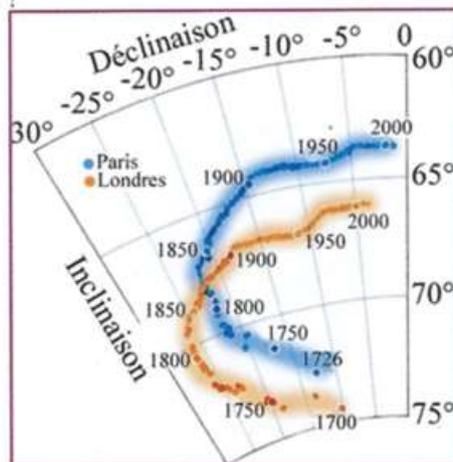


Fig. 3 - Evolution des valeurs de la déclinaison et de l'inclinaison à Paris et à Londres au cours des 3 derniers siècles (Alexandrescu et al., 1997).

Des fragments de roches volcaniques se comportent comme des aimants permanents, avec pôle nord, pôle sud et aimantation rémanente (Delesse, 1849). Macedonio Melloni (1853) montre que l'orientation magnétique des laves du Vésuve varie de façon significative selon qu'elles sont récentes ou anciennes. Il en déduit qu'elles ont enregistré les directions du champ magnétique terrestre qui régnait lors de leur éruption et donc que celles-ci ont bien varié au cours du temps. L'interprétation est simple : la mise en place des laves se fait à haute température, bien au-dessus de celle du point de Curie des éléments qui constituent les minéraux porteurs de l'aimantation (magnétite, ilménite) ; lorsque les laves refroidissent, le point de Curie est franchi et les moments magnétiques des atomes concernés s'orientent dans la direction du champ terrestre, fixant cette direction (Fig. 4). La même constatation a été faite pour les poteries antiques (Folgheraiter, 1896). Des roches sédimentaires par ailleurs, à l'issue d'un processus différent, peuvent également retenir la direction du champ terrestre qui régnait au moment de leur dépôt. Les "paléomagnéticiens" disposent ainsi d'outils qui leur permettent de caractériser les variations des directions du champ dans le passé, et même celle de son intensité qui découle de l'intensité du magnétisme rémanent des échantillons collectés. Au cours des derniers millénaires, l'évolution des paramètres du magnétisme terrestre s'est produite dans un domaine beaucoup plus étendu que celui qui est défini par les mesures directes au cours des 4 derniers siècles (Fig. 5).

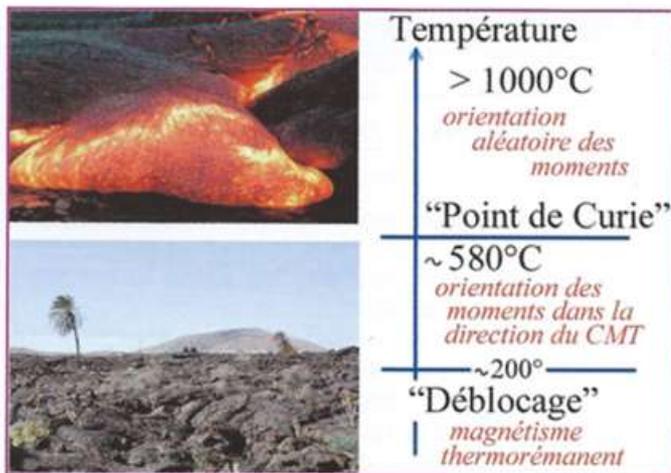


Fig. 4 - Acquisition par les laves, au cours du refroidissement, d'un magnétisme thermorémanent parallèle au champ magnétique terrestre (CMT). Le «point de Curie» considéré est celui de la magnétite qui porte l'essentiel du magnétisme rémanent des basaltes.

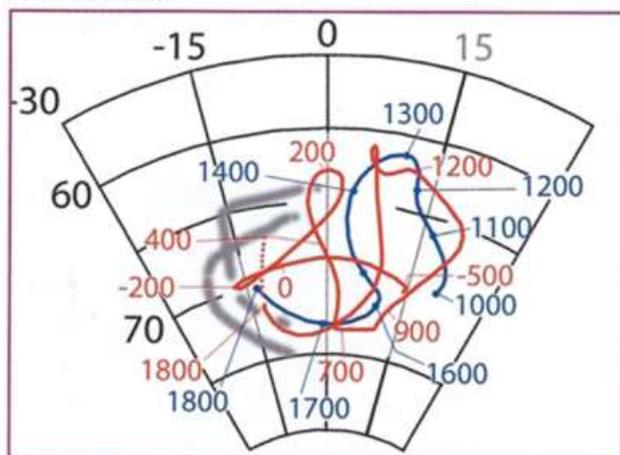


Fig. 5 - Archéomagnétisme. Trajectoires des valeurs de la déclinaison et de l'inclinaison en Allemagne (rouge) et en Autriche (bleu) au cours des deux derniers millénaires (selon Schnepf et Lanos, 2006). En grisé : observations faites à Paris et à Londres (Fig. 3).

Les inversions magnétiques

Au début du 20^e siècle (1905), Bernard Brunhes mit en évidence à Pont Farin dans le Cantal, une inversion des pôles dans des roches maintenant datées ($6,16 \pm 0,08$ millions d'années ; Laj et al., 2002).

Des faits similaires ont été observés au Spitzberg et au Groenland par Mercanton (1926), puis au Japon et en Mandchourie par Matuyama (1929). Au début des années 60, avec le développement des méthodes géochronologiques (K-Ar, Ar-Ar), les observations se multiplient et montrent le caractère planétaire de ces inversions.

Doell et Dalrymple en 1966, élaborent une échelle "magnéto-stratigraphique" à partir de ces données, définissant, sur les 4 derniers millions d'années, 4 "époques" normales (champ normal) et inverses (champ inversé), ainsi que des "événements" et des "excursions" de plus courtes durées (Fig. 6).

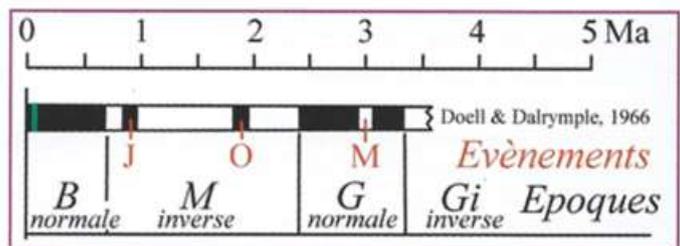


Fig. 6 - Échelle magnéto stratigraphique de Doell et Dalrymple (1966).
Époques : B de Brunhes, M de Matuyama, G de Gauss, Gi de Gilbert.
Évènements : J= Jaramillo ; O= Olduvai ; M= Mammoth.
Trait vert : position chronologique de la dernière inversion («excursion»), celle de Laschamps-Mono Lake (40 à 32.000 ans).

L'étude des domaines océaniques a permis de montrer que le champ magnétique terrestre a subi de très nombreuses inversions.

En effet, chacune des anomalies magnétiques positives ou négatives, de faible ampleur, parallèles aux dorsales océaniques et symétriques par rapport à celles-ci (Fig. 7), s'est révélée correspondre à une inversion (Vine et Mathews, 1963); on en dénombre plus de 200 en 180 millions d'années et toutes n'ont pas encore été identifiées !

Ce phénomène apparaît donc comme une constante dans l'évolution du Globe.

L'intervalle de temps entre deux inversions est très irrégulier : de 200.000 ans à 50 Ma ! La cause de ce phénomène n'a pas encore été clairement identifiée.

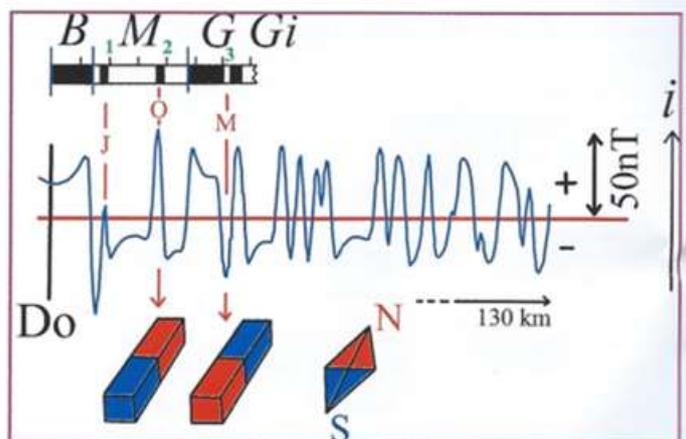


Fig. 7 - Les « anomalies » magnétiques enregistrées au-dessus de l'Océan Atlantique, à l'ouest de la Dorsale Reykjane (DO). En abscisse : distance à la dorsale ; en ordonnée : intensité (i) du champ. Chacune des anomalies, positive ou négative, est liée à l'existence sur le fond de basaltes à aimantation respectivement directe ou inverse, et par conséquent à une inversion magnétique.

Evolution des paramètres magnétiques au cours d'une inversion

Dans certaines régions à forte activité volcanique, il est possible de suivre l'évolution des paramètres du champ magnétique au cours d'une inversion, en déterminant les déclinaisons, inclinaisons et intensités du magnétisme rémanent des échantillons collectés dans une superposition de coulées. Le même travail peut être effectué à partir de séries sédimentaires à fort taux de sédimentation, carottées en mer ou dans des lacs. La figure 8 montre l'exemple de l'empilement de laves de Steens Montains (Oregon; Prévôt et al., 1985). Trente six coulées, sur une épaisseur d'environ 150 m, constituent une zone de transition entre des laves à polarité inverse à la base, et des laves à polarité normale au sommet; c'est donc au cours de l'éruption de cette série de transition que s'est produite l'inversion des pôles magnétiques. On voit sur les diagrammes que l'évolution des paramètres du magnétisme n'est pas continue mais trace des allées et venues plus ou moins complexes. La détermination de la position des pôles magnétiques virtuels (VGP), par un simple calcul de trigonométrie sphérique, montre que ceux-ci sont soumis à une errance compliquée au cours de l'inversion. Quant à l'intensité du champ magnétique, elle est marquée par une même irrégularité et, surtout, par une atténuation considérable en plein cœur de l'inversion.

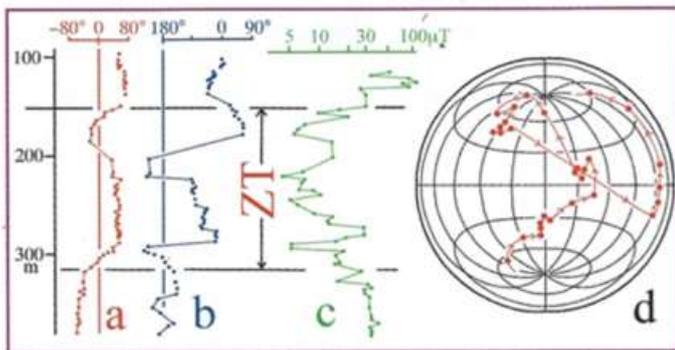


Fig. 8 - Evolution des paramètres magnétiques au cours d'une inversion (Steens Mountains, Oregon). ZT= zone de transition; a: déclinaison; b: inclinaison; c: intensité; d: déplacement du "pôle magnétique virtuel". D'après Prévôt et al. (1985).

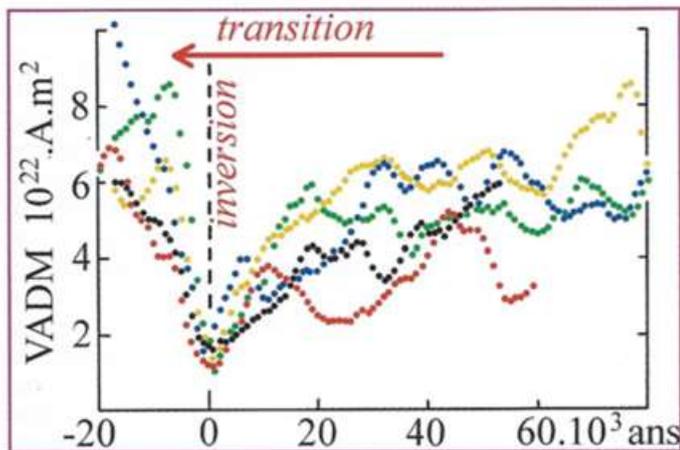


Fig. 9 - Evolution de l'intensité du moment magnétique de la dynamo terrestre au cours des inversions. VADM = virtual axial dipole moment (d'après Valet et al., 2005).

Quasi-annulation de l'intensité du champ magnétique au cours des inversions

Une compilation des données concernant 5 inversions différentes (Fig. 9) confirme effectivement que l'intensité du champ, exprimée ici en A.m^2 , décroît lentement mais de façon irrégulière avant l'inversion. Les valeurs du moment magnétique terrestre remontent au contraire assez vigoureusement après le changement de polarité. L'intensité du

champ peut chuter considérablement: jusqu'à 1.10^{22} A.m^2 , c'est à dire à environ 10 ou 15% des valeurs initiales. Il faut noter que cette évolution est très lente puisque les inversions se poursuivent sur plusieurs dizaines de milliers d'années, sauf dans le cas des «excursions» pour lesquelles les variations paraissent beaucoup plus rapides (voir Fig. 14).

La magnétosphère: bouclier protecteur contre le "vent solaire"

Les effets du champ magnétique terrestre se font sentir jusqu'à environ 60.000 km de la surface de la Terre; l'intensité du champ n'est plus que de l'ordre de 5 nT, valeur définissant les contours de la "magnétopause" qui limite la "magnétosphère" (Fig. 10). Celle-ci n'est pas du tout sphérique car le champ magnétique est déformé par le «vent solaire», flux de particules chargées (électrons, protons, noyaux d'hélium) émis par notre étoile, qui se propage à la vitesse de 4 à 500 km par seconde. Le vent solaire est dévié en grande partie par la magnétosphère qui protège donc la surface de la Terre de ce rayonnement probablement nocif pour les êtres vivants. Le flux de particules solaires peut toutefois parvenir assez près de la surface de la Terre, au niveau des «cornets polaires», ce qui provoque une ionisation de la haute atmosphère dont les aurores boréales et australes sont les effets visibles. En réalité, une quantité importante de particules restent concentrées dans les "ceintures de Van Allen" (Van Allen, 1997); la ceinture extérieure (entre 13.000 et 65.000 km de la surface) contient principalement des électrons, tandis que la ceinture intérieure (700 à 10.000 km) regroupe plutôt des protons et des ions lourds. Ces particules très énergétiques gravitent à grande vitesse autour de la Terre dans un volume torique; elles ont constitué des barrières dangereuses à franchir pour les astronautes en route vers la Lune.

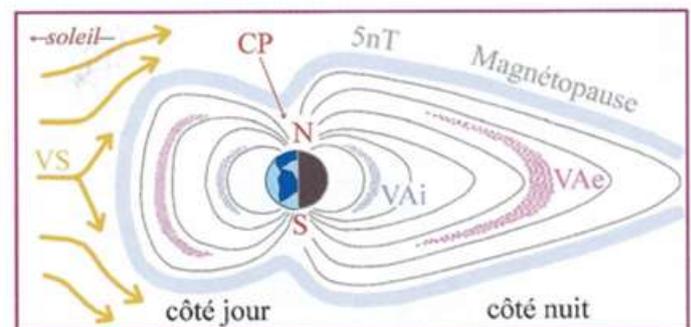


Fig. 10 - Représentation schématique de la magnétosphère (échelles non respectées). VS: vent solaire; CP: cornet polaire; VAi et VAe: ceintures de Van Allen, interne et externe.

Pour que la magnétosphère conserve son rôle de bouclier, l'intensité du champ magnétique terrestre doit être maintenue à un niveau élevé ce qui n'est pas le cas au cours des inversions.

Effets du vent solaire sur les activités humaines

L'intensité du champ magnétique terrestre est actuellement élevée (près de 8.10^{22} A.m^2) et la magnétosphère joue complètement son rôle protecteur contre le vent solaire. Toutefois, au cours de certaines éruptions solaires spécialement violentes, des flux de plasma importants peuvent bombarder la surface de la Terre et donner une idée des phénomènes qui pourraient se produire quotidiennement lors d'une diminution importante de l'intensité du champ. C'est dans le domaine des télécommunications que les effets du flux de plasma sont les plus dommageables: les transmissions radio et radar sont brouillées et les antennes-relais sont perturbées; les satellites peuvent être gravement endommagés, d'autant plus que leurs orbites sont éloignées;

les satellites géostationnaires (à 36.000 km d'altitude) sont ainsi les plus vulnérables. Des perturbations importantes affectent les réseaux GPS. Le vent solaire produit des courants continus de haute intensité le long des lignes électriques à haute tension et provoque l'interruption de la distribution de l'énergie aux usagers. Tous les éléments métalliques d'une certaine dimension sont affectés, notamment les caténaires des trains électriques qui cessent d'être alimentés. On note également une oxydation accélérée des oléoducs et gazoducs, et de toutes les conduites métalliques situées en surface. Dans la perspective d'un bombardement continu et très énergétique de la surface de la Terre, il conviendrait de prévoir d'enterrer tout ce qui peut l'être et d'assurer au reste un blindage suffisant.

Effets du vent solaire sur la biosphère

Les cellules vivantes sont affectées par le vent solaire dont les particules peuvent endommager les molécules d'ADN. (Fig. 11). Les cellules concernées peuvent en mourir ; ou bien leur ADN se restaurer spontanément. Mais bien souvent, la molécule ne retrouvera pas exactement sa forme initiale ; affectant les cellules somatiques, ces variations risquent d'entraîner le développement de cancers et donc la disparition à terme de l'individu porteur ; affectant les cellules du germe, elles produiront des modifications génétiques héréditaires ou « mutations ». Selon la vision darwiniste (notons toutefois que Ch. Darwin ne connaissait pas l'existence de l'ADN !), si la mutation est favorable au développement des individus, ces mutants prendront l'avantage sur leurs congénères qui finiront par disparaître ; si au contraire la mutation héréditaire est défavorable, les mutants seront pénalisés et n'auront pas d'avenir dans le groupe. Ainsi, le vent solaire a-t-il probablement eu - et continue-t-il à avoir - un rôle majeur dans l'évolution des espèces au cours du temps ; peut-être et même sans doute, les périodes de contraction de la magnétosphère sont-elles particulièrement propices aux mutations.

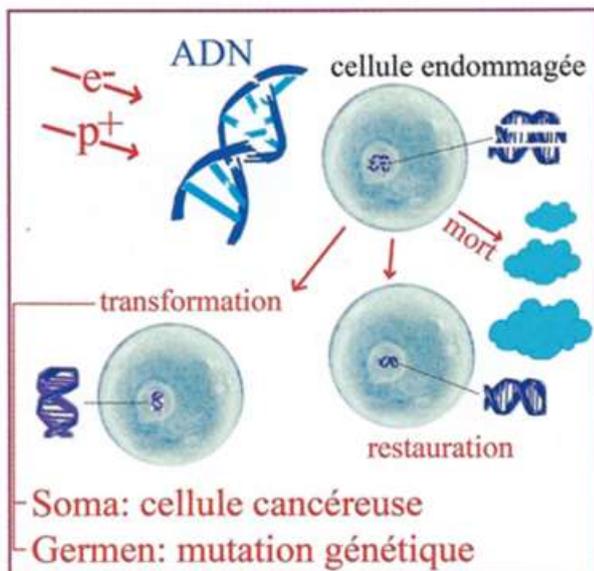


Fig. 11 - Effets possibles des particules du vent solaire sur l'ADN des cellules.

Vent solaire et extinctions massives des espèces

L'histoire de la Terre est jalonnée par des périodes de disparition massive d'espèces vivantes et d'apparition de nouvelles espèces. C'est ainsi que des Groupes caractéristiques tels que les Trilobites, les Ammonites et bien sûr les fameux Dinosaures (disparus au Permien et à la fin du Crétacé, respectivement), ainsi que de nombreuses

autres espèces, ont cédé la place à de nouvelles formes vivantes issues de groupes ayant pu subsister, malgré des conditions très défavorables. Compte tenu de la périodicité apparente de ces phénomènes d'extinction, il était tentant d'essayer de les mettre en relation avec les inversions magnétiques ; de nombreux auteurs s'y sont essayés (voir historique in Glassmeier et Vogt, 2010). Aucune corrélation n'apparaît entre les deux phénomènes. L'augmentation de l'intensité du vent solaire liée aux inversions magnétiques a certainement une influence sur le rythme des mutations subies par la biosphère, mais elle ne paraît avoir aucune influence sur les extinctions en masse et l'apparition d'espèces nouvelles. Il est clair, dans la plupart des cas, que les extinctions massives sont liées à des phénomènes géologiques extrêmement brutaux : impacts de météorites (Alvarez, 1980) ou éruptions volcaniques colossales (Courillot, XXXX), rendant la surface de la Terre - océans compris - presque totalement invivable.

Rôle de l'atmosphère

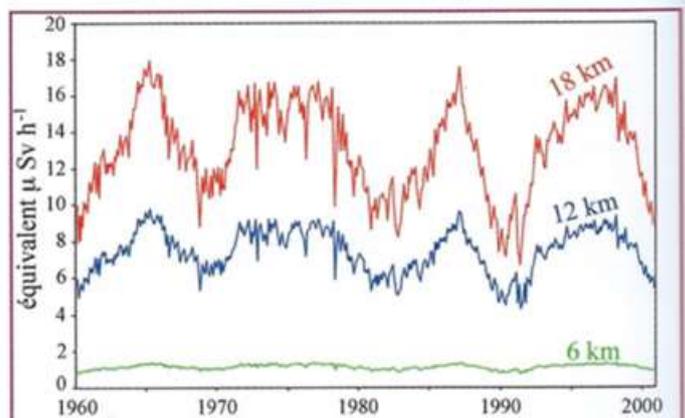


Fig. 12 - Absorption des particules du vent solaire par l'atmosphère. Au-dessous de 6 km d'altitude, le rayonnement du vent solaire devient négligeable par rapport à la radioactivité naturelle des roches.

Il paraît *a priori* étonnant que de fortes contractions de la magnétosphère, n'aient pas permis au vent solaire d'affecter la biosphère de façon plus notable au cours des inversions magnétiques. En réalité, selon Glassmeier et Vogt (2010), l'atmosphère joue un rôle capital en absorbant la plus grande partie des particules du plasma avant qu'il n'atteigne la surface du sol. La figure 12 montre, exprimée en μSv par heure (le Sievert est une unité assez empirique d'exposition aux rayonnements ionisants, valable pour l'homme : $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$), la variation en fonction de l'altitude de l'intensité du vent solaire de 1960 à 2001 ; on voit qu'à 6.000 mètres d'altitude, une dose annuelle de 8 à 13 mSv pourrait concerner quelques bergers tibétains. Mais, en basse atmosphère, à proximité du niveau de la mer, le rayonnement lié au vent solaire n'est plus que d'environ 0,4 mSv par an, très inférieur à celui de la radioactivité naturelle (2,4 mSv par an en moyenne). Ces chiffres sont à comparer aux doses considérées comme admissibles pour les travailleurs du nucléaire (de l'ordre de 50 mSv par an) ainsi que celles essuyées par les astronautes en route vers la lune lors de la traversée des ceintures de Van Allen : 2,2 mSv en un quart d'heure (77 Sv par an) ! Le vent solaire n'a donc qu'une action très limitée sur la biosphère, ce qui rend compte du peu d'effet des inversions magnétiques sur l'évolution des espèces. En réalité, c'est très probablement la radioactivité naturelle qui joue un rôle majeur dans les modifications qui affectent les molécules d'ADN, et qui est donc responsable de l'essentiel des dérives cancéreuses et des mutations attribuées aux rayonnements.

Oui mais, et la couche d'ozone ?

On sait depuis les travaux de Henri Buisson et Charles Fabry en 1913, qu'il existe entre 20 et 50 km d'altitude, une couche de l'atmosphère particulièrement riche en molécules d'ozone O_3 (en réalité, la concentration en ozone y reste très faible, de l'ordre de 10^{-5}). Cette molécule résulte du fait que des molécules d'oxygène O_2 sont fracassées par le rayonnement solaire (attention ! Pas par le vent solaire mais par le rayonnement électromagnétique qui constitue le spectre lumineux et se propage à la vitesse de 300.000 km/s) et en particulier par les rayons ultraviolets B et C; les atomes d'oxygène ainsi libérés ne peuvent pas rester isolés: soit ils se recombinent instantanément en O_2 , soit, dans l'urgence, ils s'associent à des molécules d'oxygène O_2 et constituent des molécules d'ozone O_3 . L'ozone est très instable et se détruit spontanément; bombardées par les ultraviolets, les molécules libèrent aussi l'oxygène en surnombre qui se combine avec un congénère pour reformer une molécule d'oxygène. Il s'établit ainsi un équilibre "dynamique" (Fig. 13a) dans lequel il se forme quotidiennement à peu près autant de molécules d'ozone qu'il s'en détruit. Le rayonnement ultraviolet étant sollicité aussi bien pour la formation que pour la destruction de l'ozone, il est donc filtré au niveau de ce domaine de l'atmosphère et arrive considérablement amoindri à la surface du sol. C'est heureux car le rayonnement ultraviolet de courte longueur d'onde (UVB et UVC) est très dangereux, spécialement pour l'espèce humaine, conduisant à de graves lésions ophtalmiques et à des cancers de la peau (mélanomes).

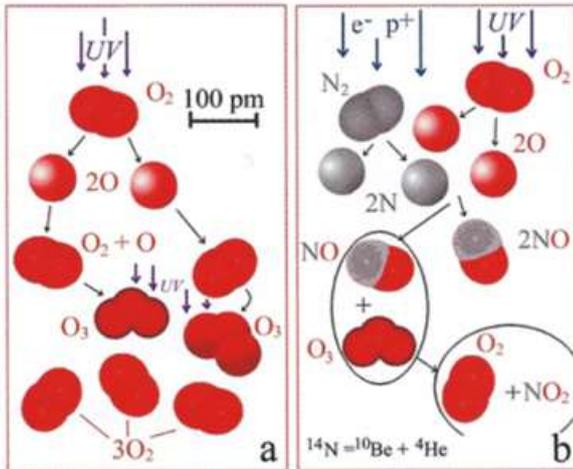


Fig. 13 - a) Production-destruction des molécules d'ozone par le rayonnement UV; b) Contribution du vent solaire à la destruction de l'ozone; en bas, équation de spallation du ^{14}N .

L'équilibre dynamique qui maintient la couche d'ozone peut être rompu. C'est ce qui arrive de nos jours avec la pénétration des "CFC" (chlorofluorocarbures) dans la stratosphère où le chlore réagit avec l'ozone pour donner du monoxyde de chlore et du dioxygène ($Cl + O_3 = ClO + O_2$). Il se forme alors des "trous d'ozone", spécialement dans les régions polaires, qui permettent aux UVB d'arroser largement le sud du Chili, la Tasmanie et la Nouvelle-Zélande par exemple, et d'exposer les populations de ces régions à de graves ennuis de santé. Pour leur part, les particules du vent solaire peuvent fracasser les molécules d'azote N_2 ; les atomes d'azote ainsi isolés se précipitent sur les atomes d'oxygène libres pour constituer du monoxyde d'azote NO qui, lui-même s'attaque à l'ozone pour donner du dioxygène O_2 et du dioxyde d'azote NO_2 ; ce processus contribue à limiter la production d'ozone et donc à permettre une plus large pénétration des ultraviolets vers la surface de la Terre (Fig. 13b). D'autres réactions se produisent de la même façon dans la stratosphère; on retiendra la spallation d'azote en béryllium suivant la réaction: $^{14}N + \text{énergie} = ^{10}Be + ^4He$;

en effet, soluble dans l'eau et lessivé par la pluie, le ^{10}Be participe à la sédimentation; sa concentration dans les sédiments donne donc une indication sur les variations d'intensité du vent solaire au cours du temps.

Ainsi, lors d'une forte contraction de la magnétosphère, et spécialement au cours d'une inversion magnétique, même si l'atmosphère filtre suffisamment les particules du vent solaire pour les empêcher de bombarder sévèrement la surface de la Terre, l'effet de ceux-ci sur la couche d'ozone a pour résultat un rayonnement UVB fortement accru au sol, susceptible de provoquer de graves maladies chez les vertébrés supérieurs et particulièrement chez l'homme.

Un précédent préhistorique ?

La disparition de l'Homme de Neandertal

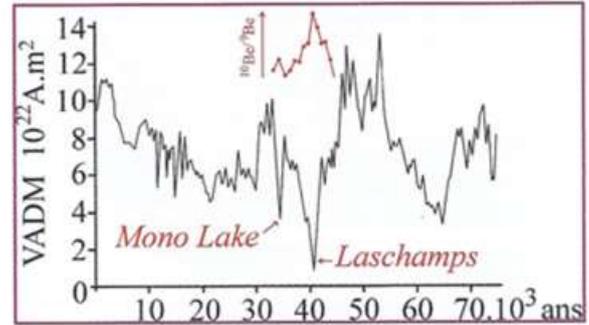


Fig. 14 - Evolution de l'intensité du VADM au cours des derniers 70.000 ans, révélée par l'étude magnétique des sédiments récents des océans du monde entier (Laj et al., 2004). Noter les deux minima correspondant aux excursions du Laschamps et de Mono Lake, ainsi que le pic antithétique de ^{10}Be montrant la forte activité du plasma solaire au moment du Laschamps (Ménébreaux et al., 2012).

Apparu sur Terre il y a environ 300.000 ans, *Homo Neanderthalensis* occupait, il y a 45.000 ans, toute la pointe occidentale de l'Europe. Il y a 32.000 ans, il avait complètement disparu de ces régions et de la Terre entière. De nombreuses hypothèses ont tenté d'expliquer cette extinction qui s'est produite en quelques milliers d'années. Valet et Valladas (2012) ont noté que cette disparition est encadrée par deux excursions magnétiques - celle du Laschamps à 41.000 ans, et celle de Mono Lake, à 32.000 ans (Fig. 14), correspondant à un affaiblissement très important de l'intensité du champ magnétique terrestre. La production considérable de ^{10}Be au cours du Laschamps (Fig. 14), anti corrélée à l'effondrement du VADM, confirme une très forte activité du plasma solaire au moment de cette excursion et la dégradation probable de la couche d'ozone. La population des néandertaliens a pu être ainsi gravement affectée par un rayonnement UVB accru à cette période, ayant entraîné des mélanomes mortels dans la population et de graves ophtalmies nuisant considérablement aux activités des chasseurs. Les néandertaliens auraient été beaucoup plus sensibles que l'Homme Moderne (*Homo sapiens*) qui coexistait avec eux à cette époque, pour deux raisons : une bonne et une mauvaise ; 1) *Homo sapiens* avait une aire de répartition beaucoup plus vaste que celle des néandertaliens et représentait un réservoir de population beaucoup plus important ; il a pu souffrir les mêmes maux que Neandertal dans les mêmes régions, mais échapper au désastre dans d'autres secteurs, épargnés par des bombardements d'UVB trop violents ; 2) Roux à peau et yeux clairs, Neandertal aurait été beaucoup plus sensible aux UVB qu'*Homo Sapiens* ; ce fait est très loin d'être avéré.

La prochaine inversion : c'est pour quand ?

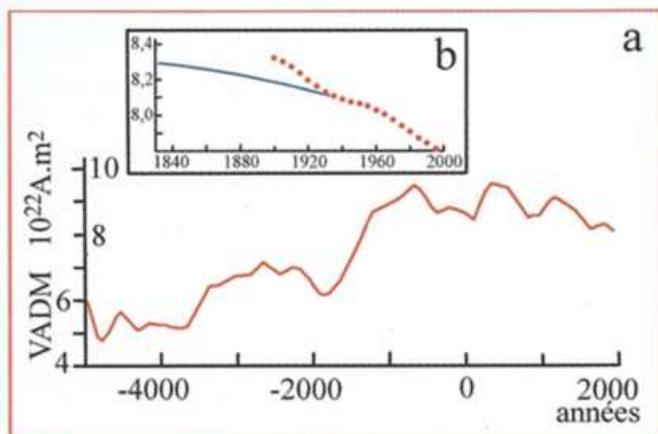


Fig. 15 - Evolution de l'intensité du VADM au cours du temps. a) Données de l'archéomagnétisme ; b) Mesures directes depuis 1840. (Korte et Constable, 2005).

L'hypothèse de Valet et Valladas sur la disparition des néandertaliens n'est pas universellement acceptée, beaucoup s'en faut. Elle a toutefois le mérite de mettre en lumière les grands dangers que pourrait faire courir à l'humanité une forte contraction de la magnétosphère liée à une inversion magnétique. L'histoire de la Terre montre qu'une inversion est absolument inéluctable dans le futur, une douzaine d'excursions s'étant déjà produite au cours des 750.000 ans de la période normale de Brunhes (Laj et Channel, 2007). La question qui se pose est la suivante : ce danger est-il imminent ? Comme il a été dit plus haut, l'intensité du moment magnétique de la dynamo terrestre est actuellement élevée (de l'ordre de 8.10^{22} A.m² ; Fig. 15). Mais cette intensité décroît régulièrement depuis environ 150 ans, à un rythme assez rapide, comparable à celui qui caractérisait les débuts de l'excursion du Laschamps (Laj et al., 2014). Selon Catherine Kissel (2014), SI ce rythme était maintenu, une inversion POURRAIT intervenir dans environ 1.500 ans. L'humanité devrait alors faire face à un double défi : a) protéger ses installations sensibles contre de puissants bombardements de particules du vent solaire ; b) protéger les hommes (et les femmes) d'un rayonnement UVB fortement accru.

Alors, que faire ?

Il y a 1.500 ans, Thierry 1^{er}, fils de Clovis, régnait sur le royaume de Reims qui incluait l'Auvergne. Il lui fallait environ 6 semaines en char à bœufs pour aller de sa capitale jusqu'à Clermont-Ferrand. Depuis cette époque, sont intervenus quelques progrès technologiques, particulièrement accélérés depuis le 18^e siècle et encore beaucoup plus depuis moins de 30 ans. Nul doute que de nouvelles découvertes permettront de mettre à l'abri ce qui fait actuellement l'ossature de notre civilisation (énergie, communications, transports, etc.). Généraliser l'enfouissement des lignes électriques, améliorer le blindage des satellites, deviendrait sans doute une nécessité si la menace se précisait. En revanche, il serait sans doute très difficile de lutter contre l'élargissement des « trous d'ozone », et certaines communautés seraient sans doute gravement touchées par les affections provoquées par les rayons UVB. Mais des traitements médicaux, notamment contre le cancer de la peau, devraient être mis au point au cours des 15 prochains siècles. De toute façon, l'humanité n'en disparaîtrait pas pour autant : Homo sapiens a essuyé deux inversions (Laschamps et Mono Lake) dont il ne paraît pas avoir trop gravement pâti.

Il paraît donc très exagéré de mettre une prochaine inversion magnétique parmi les causes d'une catastrophe humaine, voire d'une extinction complète de notre espèce. D'autres phénomènes sont beaucoup plus préoccupants à court terme : la pollution galopante de l'atmosphère et celle des océans, sont des facteurs de risque infiniment plus réels dans les décennies et les siècles qui viennent. Et que dire des perturbateurs endocriniens et d'une éventuelle conflagration nucléaire ? De toute façon, dans 1.500 ans selon les prévisions, le niveau des océans aura monté d'un minimum de 6 mètres, probablement plus ; au lieu de reculer devant cette transgression, les hommes pourront construire leur habitat sous la mer, à l'abri des rayons ultraviolets !

Références

La plupart des travaux cités dans cet article sont référencés in :

Kornprobst, J., 2013

Le champ magnétique terrestre et ses variations. Bull.Hist.Sci. de l'Auvergne, Tome CXIV/2, 49-88.

(J.Kornprobst@opgc.fr)

Les titres suivants ont été ajoutés :

Delesse, A. Sur le magnétisme polaire dans les minéraux et dans les roches.

Imprimerie de Bachelier, rue du Jardinnet, 12., 1849.

Laj, C., Kissel, C., Beer, J., - High resolution global paleointensity Stack since 75 kyr (GLOPIS) - 75) calibrated to absolute values.

Timescales of the Paleomagnetic Field, 2004, p. 255-265.

Schnepf, E. et Lanos, P., 2006 A preliminary secular variation reference curve for archaeomagnetic dating in Austria. *Geophys.J.Int.* 166 (1), 91-96.

Vän Allen, J. A., 1997 in: *Discovery of the Magnetosphere* (eds Gillmor, C. S. & Spreiter, J. R.)

235-251 (Vol. 7, *History of Geophysics*,

American Geophysical Union, Washington DC, 1997).