

# Sources de champ électrique et magnétique

Les champs électriques et magnétiques ont des sources multiples, naturelles comme anthropiques, c'est-à-dire liées à l'activité humaine. On se limitera ici au domaine des champs statiques et d'extrêmement basse fréquences (0-300 Hz).

## 1. Champs naturels

Le plus connu des champs magnétiques est d'origine naturelle, c'est le **champ magnétique terrestre**, présent partout à la surface de la planète et dans l'espace environnant (la « magnétosphère » terrestre). Il est connu de tous car on le met en évidence par un objet familier : la boussole. Il s'agit d'un champ statique, c'est-à-dire qui ne varie pas au cours du temps. Il est comparable à celui d'un aimant permanent.

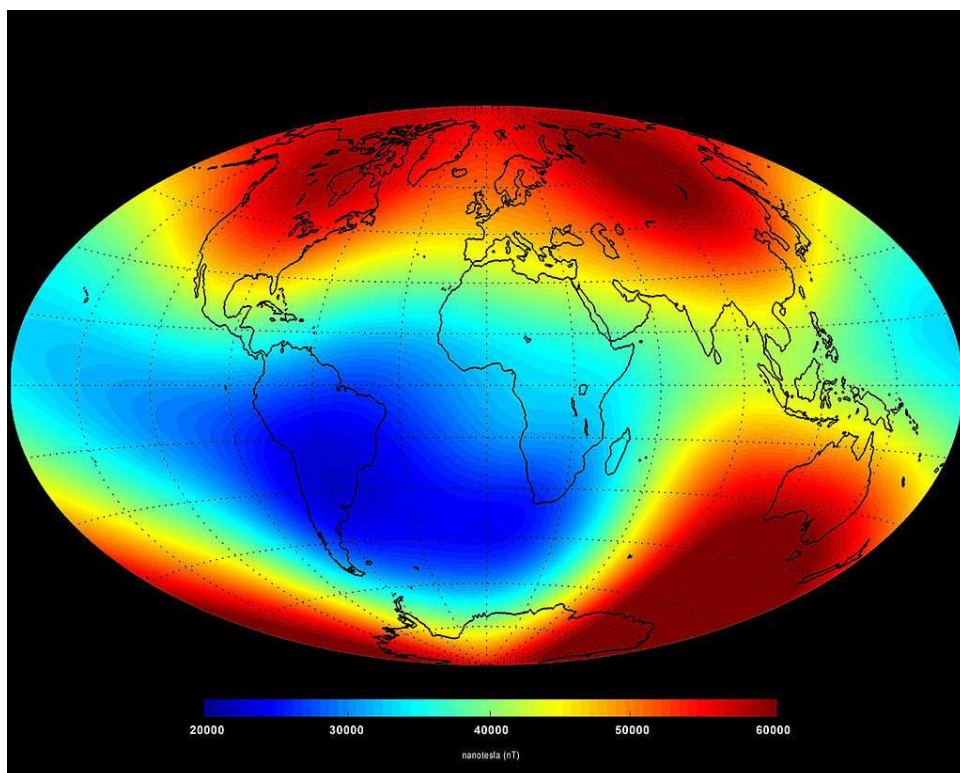


Figure 1 : cartographie du champ magnétique terrestre

Le champ magnétique terrestre varie globalement en fonction de la latitude entre 20-30  $\mu\text{T}$  (à l'équateur) et 60-70  $\mu\text{T}$  (aux pôles) mais avec des variations importantes (cf. figure 1) liés à la structure globale de la planète et aux mouvements du noyau terrestre. Le champ terrestre présente également des variations locales d'orientation importantes du fait de la composition du sous-sol et/ou de masses métalliques importantes, comme une épave de grand bateau de guerre. Les cartes marines indiquent d'ailleurs les zones de déviation du compas magnétique (le nom marin de la boussole).

Ce champ terrestre est globalement faible. Pour arriver à faire bouger une aiguille de boussole avec ce champ de quelques dizaines de  $\mu\text{T}$ , il faut prendre des précautions techniques pour minimiser tous les frottements : l'aiguille est légère, posée sur une pointe et plongée dans un liquide fluide.

Si la boussole est un objet familier du public, il est moins connu que le champ magnétique terrestre assure une fonction essentielle de protection de la planète en déviant les flux de particules et radiations provenant du soleil. Cette protection magnétique porte le nom de « ceinture de Van Allen ». Cette

ceinture se manifeste par un phénomène spectaculaire visible dans le grand Nord en cas d'orage solaire (c'est-à-dire en cas d'afflux de particules solaires) : les aurores boréales.

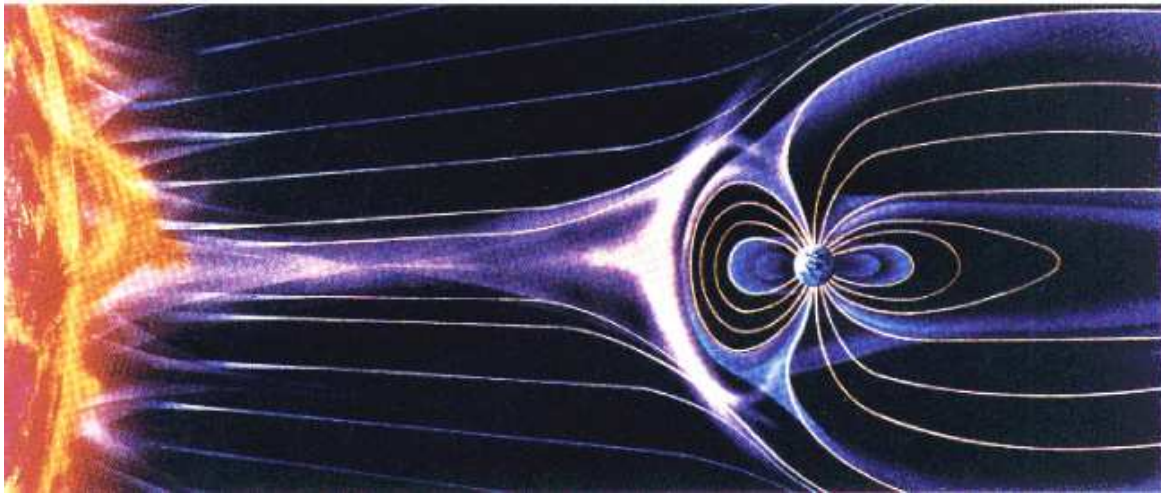


Figure 2 : émission de particules solaires et déviation de ces particules vers les pôles terrestres par la magnétosphère terrestre (ceinture de Van Allen). La figure montre également la déformation de cette magnétosphère sous l'action du vent solaire

Ce flux solaire permanent a aussi pour conséquence d'ioniser la haute atmosphère terrestre. Les charges électriques ainsi présentes à très haute altitude ont pour conséquence de générer un **champ électrique statique** au niveau du sol. Il est de faible valeur, de l'ordre de 100 V/m.

Néanmoins, des champs électriques naturels bien plus forts sont observables au sol : en effet les mouvements/frottements d'air et de particules au sein des nuages orageux conduisent à l'accumulation de charges électriques dans ces nuages. Cette accumulation fait apparaître de forts champs électriques au sein de ces nuages mais aussi au sol, sous les nuages. Ces champs électriques sont aussi de nature statique (l'accumulation de charges est lente) et ils peuvent atteindre des valeurs très élevées, de l'ordre de 10 à 15 000 V/m.



Figure 3 : nuage orageux et accumulation de charges électriques

Quand il y a trop de charges électriques accumulées, le champ électrique est trop fort et l'air perd brutalement ses propriétés isolantes. Il se produit un claquage électrique : c'est la foudre !

Un éclair de foudre est en fait un courant qui écoule brutalement les charges électriques du nuage vers le sol<sup>1</sup>. C'est un courant très intense (plusieurs dizaines de milliers d'ampères) mais très bref (impulsionnel) : il atteint son maximum en quelques microsecondes puis décroît et disparaît en quelques centaines de microsecondes. Le champ magnétique généré par ce courant sera lui aussi de nature impulsionnelle. Ce sont ces impulsions de champ magnétique, tout à fait spécifiques à la foudre, qui sont détectées par les systèmes de surveillance de l'activité orageuse, de type Météorage.

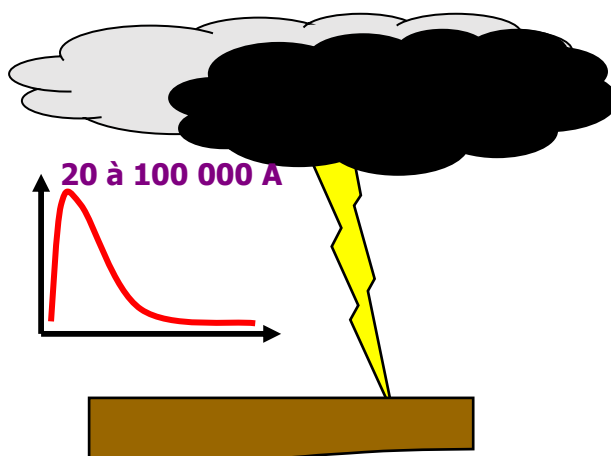


Figure 4 : forme impulsionnelle du courant de foudre

## 2. Sources de champs liés à l'activité humaine

Comme on l'a vu dans le premier chapitre, dès lors qu'un appareil ou une installation est sous tension, un champ électrique est généré et dès lors qu'il y a transport, consommation ou transformation d'électricité à 50 Hz, un champ magnétique de même fréquence (50 Hz) apparaît.

Quand le courant parcourt un circuit électrique simple constitué de conducteurs filaires, le champ magnétique sera proportionnel à l'intensité du courant. C'est par exemple le cas pour les champs générés par les réseaux électriques. Cependant, un grand nombre d'appareils utilisent des circuits électriques complexes et même utilisent le champ magnétique dans leur fonctionnement. C'est notamment le cas des transformateurs et moteurs électriques. Ainsi un transformateur est une « machine magnétique statique<sup>2</sup> » qui transforme l'électricité du circuit primaire en flux magnétique qui passe par un circuit magnétique (le noyau) pour être à nouveau transformée (coté secondaire) en électricité de tension différente de celle du circuit primaire.

---

<sup>1</sup> A noter qu'en réalité la plus grande part de l'activité orageuse se déroule à l'intérieur des nuages. Les coups de foudre vers le sol ne représentent que 10 % du total. Ce sont néanmoins ces derniers qui sont les plus spectaculaires et bruyants.

<sup>2</sup> Contrairement aux moteurs et générateurs électriques, un transformateur n'a pas de partie mobile et ne met pas en jeu de mouvement mécanique. On parle de donc de machine magnétique statique. Les moteurs et générateurs sont donc des machines magnétiques dynamiques

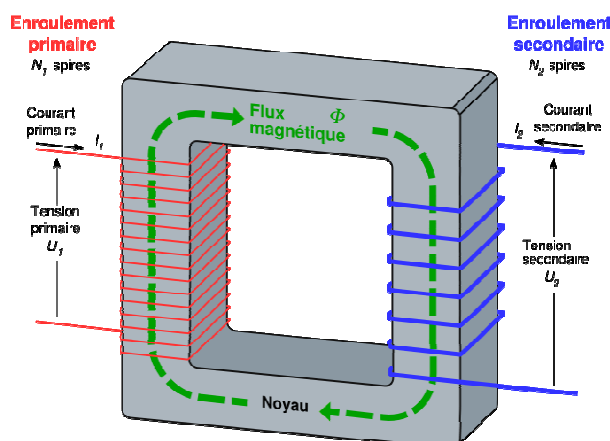


Figure 5 : schéma de fonctionnement d'un transformateur électrique

Pour les appareils à moteur ou transformateur, le champ magnétique mesuré à leur voisinage ne dépend plus du courant consommé mais bien davantage de leur qualité de fabrication car les circuits magnétiques des moteurs et transformateurs ne sont pas parfaits : il y a donc des fuites (donc des émissions de champ magnétique) plus ou moins importantes en fonction de la qualité de conception de ces circuits et donc du compromis technico-économique correspondant à leur usage. Par exemple un transformateur utilisé sur le réseau à haute tension voit passer une grosse puissance électrique et doit donc avoir un minimum de pertes. Il aura donc un circuit magnétique de très haute qualité. Réciproquement, un moteur fabriqué en très grande série et destiné à un appareil qui ne fonctionne que quelques minutes chaque jour devra être le moins coûteux possible et en parallèle, son rendement électrique n'est pas un critère important. En toute logique, il aura donc un circuit magnétique à faible coût et donc de médiocre qualité avec en conséquence beaucoup de fuites. Il génèrera beaucoup de champ dans son voisinage.

Au final, en environnement résidentiel/tertiaire, les principales sources de champ magnétique seront donc les petits appareils compacts à moteur ou transformateur. On peut citer par exemple les appareils utilisés en cuisine (hachoirs, mixers, etc. ), ou en salle de bain (rasoirs, sèche-cheveux, brosses à dents, etc. ) et les outillages électroportatifs (perceuses, scies électriques, ponceuses, etc.). Ces appareils sont donc des sources notables de champ magnétique 50 Hz et des valeurs souvent très supérieures à 100  $\mu\text{T}$  peuvent être mesurées au contact. Néanmoins, à l'exception de ces situations de contact, les valeurs maximales sont de l'ordre de quelques  $\mu\text{T}$ , et sont tout à fait comparables aux niveaux de champ que l'on rencontre sous et à proximité immédiate des lignes électriques. Ils sont aussi du même ordre que les niveaux d'exposition (quelques  $\mu\text{T}$ ) que l'on rencontre dans les transports en commun électriques, notamment les trains.

### 3. Emission et exposition

Dans tous les cas (circuits électriques ou appareils à bobinage complexe), le champ décroît rapidement avec la distance à la source<sup>3</sup>. C'est la raison pour laquelle les plus forts champs sont mesurés près des appareils compacts : ainsi pour un moteur électrique, le champ mesuré sera plus fort si le moteur est installé dans un boîtier compact plutôt que dans un gros appareil, tout simplement parce que dans le premier cas il n'est séparé de l'extérieur que par quelques millimètres de plastique alors que dans le second ce sera bien davantage.

Cette caractéristique de décroissance rapide du champ a aussi pour conséquence que certains appareils ne génèreront que peu ou pas d'exposition (même si le champ émis est fort) car on ne reste pas à leur

<sup>3</sup> Il y a plusieurs lois possibles de décroissance avec la distance : en  $1/d$ ,  $1/d^2$  et même  $1/d^3$ . On verra au chapitre suivant du MOOC ce qu'il en est.

voisinage quand ils fonctionnent. Les exemples typiques sont les appareils de gros électroménager comme le réfrigérateur, le lave-linge ou encore le lave-vaisselle. Réciproquement, certains appareils doivent être tenus en main (ex : outillage électroportatif), voire au contact du corps (ex : rasoir électrique, brosse à dent électrique) et leur usage implique donc ipso facto une exposition plus importante au champ magnétique.

Dans le même ordre d'idée, l'exposition engendrée par un poste de télévision, regardé à 2-3 m de distance depuis un canapé, sera donc plus faible que par exemple celle d'une lampe de bureau ou encore d'un réveil qui sont positionnés à des distances plus faibles du corps, typiquement 30 à 50 cm.

## 4. Interaction des champs avec l'environnement

On a vu précédemment que les champs électriques et magnétiques d'extrêmement basse fréquence (incluant donc les champs 50 Hz) pouvaient varier indépendamment l'un de l'autre. Dans le même ordre d'idée, on peut observer qu'ils n'interagissent pas de la même manière avec notre environnement, et notamment notre environnement résidentiel.

On sait que le champ électrique est facilement arrêté par les matériaux bons conducteurs d'électricité : c'est le principe des cages de Faraday. Pour les très basses fréquences, c'est également vrai quand les matériaux sont faiblement conducteurs. Ainsi, le champ électrique 50 Hz est très atténué par les matériaux de construction (bois, parpaings, béton, etc. ). En conséquence, il n'y a pas d'exposition significative au champ électrique 50 Hz **à l'intérieur** des bâtiments, même quand ceux-ci sont situés au voisinage d'une ligne à haute tension. De même le champ électrique 50 Hz sera très atténué sous un arbre et par un rideau végétal que l'on aurait planté pour masquer une ligne électrique aérienne.

La situation est totalement différente vis-à-vis du champ magnétique 50 Hz : celui-ci est au contraire difficile à perturber et il traversera sans atténuation la plupart des milieux (air, eau, tissus vivants) et des matériaux de construction. Seuls les matériaux très conducteurs (cuivre, aluminium, utilisés en plaques épaisses) et les matériaux à haute perméabilité magnétique (fer, cobalt) peuvent l'atténuer ou le canaliser. Il s'ensuit que pour une résidence située au voisinage d'une ligne électrique l'exposition au champ magnétique 50 Hz sera comparable que l'on soit à l'intérieur ou à l'extérieur de la maison.

## 5. Les mesures de champs 50 Hz

Cette sensibilité du champ électrique 50 Hz va avoir pour conséquence que les mesures seront délicates à réaliser car la présence d'un objet conducteur (même faiblement conducteur) suffira à le perturber et donc à biaiser la mesure. C'est le cas notamment du corps humain : la présence d'un opérateur à côté d'un capteur de champ électrique rend la mesure douteuse. **On ne fait pas de bonne mesure de champ électrique 50 Hz avec un appareil tenu à la main.** Il faut au contraire utiliser des appareils qui permettent de déporter le capteur de mesure à distance suffisante de l'opérateur (typiquement 2 à 3 m), ce qui se fait par fibre optique. La mesure nécessite donc du savoir-faire mais aussi des mesures spécifiques et coûteux.



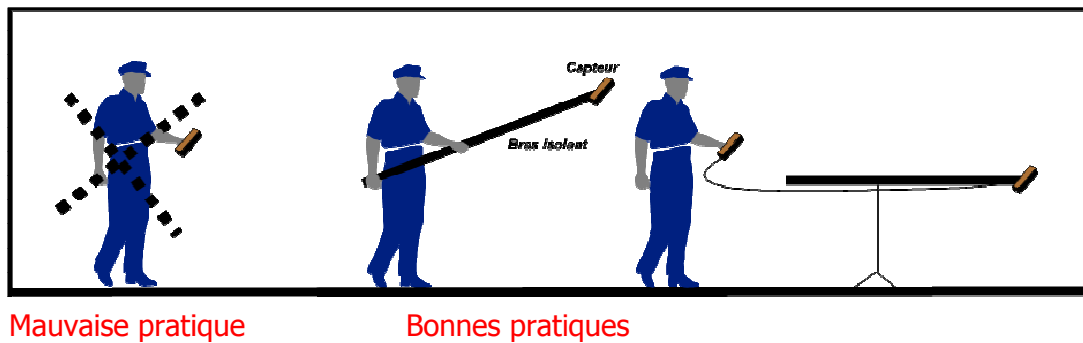


Figure 6 : bonnes et mauvaises pratiques pour les mesures de champs électriques 50 Hz

Si la mesure de champ électrique est délicate, l'interprétation sera par contre facile car les sources de champ sont rares : seul le réseau électrique à haute tension constitue une source significative de champ électrique. Autrement dit, si on mesure un champ électrique 50 Hz de quelques centaines de V/m, c'est forcément qu'il y a une ligne aérienne à haute tension toute proche.

A l'inverse, « l'insensibilité » du champ magnétique fait que la mesure pourra sans problème être réalisée par un appareil tenu en main et les risques de biais sont quasiment nuls pour peu que l'on utilise un appareil muni d'un capteur tri-axial, c'est-à-dire permettant de mesurer simultanément dans les 3 directions de l'espace. Nul besoin donc d'être un technicien expérimenté pour réaliser une telle mesure et par ailleurs les appareils de mesure sont peu coûteux (c'est relatif, il y a évidemment plusieurs gammes de prix, dont des appareils professionnels très coûteux).

Par contre, vu le grand nombre de sources de champ magnétique 50 Hz, la mesure du champ pourra être difficile à interpréter car elle donne la somme de tous les champs magnétiques présents. Il peut alors être délicat d'identifier –quand elle existe- la source de champ prépondérante. Par exemple si on veut faire une mesure du champ magnétique généré par une ligne à haute tension souterraine en milieu urbain, la mesure peut être biaisée par les champs magnétiques émis par les réseaux de distribution électrique, l'éclairage urbain, le tramway, etc.

On retiendra au final la dualité des propriétés respectives des champs électriques et champs magnétiques à 50 Hz :

	Champ électrique	Champ magnétique
Interaction avec l'environnement	<b>Forte</b> (champ facilement perturbé)	<b>Faible</b> (champ difficilement perturbé)
Mesure	<b>Difficile</b> (nombreux risques d'erreur)	<b>Facile</b> (peu de risque de biais)
Interprétation des mesures	<b>Facile</b> (car les sources de champ sont rares)	<b>Complexe</b> (car sources de champ multiples)