

CONSEILS D'EXPERT CLAUDE BOSSARD, MARIE MILESI, ALAIN RICHARD,
ISABELLE NONN TRAYA, MICHÈLE RIVASI

La pollution électromagnétique

Santé | Législation | Protection dans l'habitat...

Wifi, 3G,
4G, 5G, compteurs
communicants,
objets
connectés...



terre vivante

Qu'est-ce qu'un champ électromagnétique ?

Dans les êtres vivants composés de cellules*, de nombreux processus biochimiques se produisent et sont régis par des émissions électromagnétiques. Un certain nombre de réactions physico-chimiques mettent en œuvre des particules chargées électriquement circulant dans notre corps (ions*). Par exemple, une impulsion électrique sur un nerf va nous faire retirer la main touchant un objet brûlant.

Il y a ainsi un ensemble d'émissions électromagnétiques et de réactions physico-chimiques qui vont participer harmonieusement à l'élaboration des diverses substances biochimiques (hormones, enzymes) nécessaires à notre vie.

La proximité de champs électromagnétiques extérieurs alternatifs ou pulsés peut ainsi perturber cette délicate alchimie essentiellement coutumière du champ magnétique terrestre et du champ électrique des périodes orageuses. Les champs électriques naturels sont continus.

Les pollutions électromagnétiques représentent le côté néfaste de l'influence du champ électrique et du champ magnétique sur la nature et le corps humain en particulier.

Le champ électrique

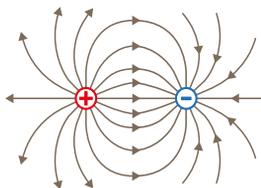
Le champ électrique E représente un espace où s'exercent des forces et des influences provoquées par des charges électriques.

La charge électrique* est une propriété de la matière. Elle prend deux formes : positive ou négative.

Une charge électrique positive est par exemple le proton* ou l'ion H^+ .

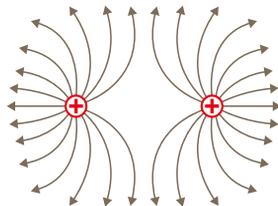
Une charge électrique négative est l'électron mais aussi les ions chargés négativement. Les électrons se retrouvent de manière libre dans les matériaux dits conducteurs* comme les matériaux métalliques : le fer le cuivre, l'aluminium.

Charges électriques de polarité différente



Deux charges électriques de polarité différentes s'attirent.

Charges électriques de même polarité



Deux charges électriques de polarité identiques se repoussent.

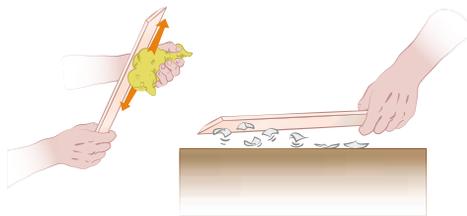
La circulation de ces charges électriques dans un matériau est appelée le courant électrique.

C'est le champ électrique entre les deux charges qui va les mettre en mouvement, une force apparaît alors.

Mise en évidence

Frottons une règle en plastique avec un tissu en laine et approchons-la de petits morceaux de papier. La règle les attire. Le frottement du tissu enlève des électrons* et crée, de ce fait, des charges électriques qui génèrent un champ électrique. L'attraction des morceaux de papier montre que dans le champ électrique s'exercent des forces. Un champ électrique est créé par des charges électriques. Ces charges sont dues à un déséquilibre électronique (excès ou déficit d'électrons).

Mise en évidence d'un champ électrique



Ces charges électriques positives ou négatives sont présentes dans notre environnement naturel, par exemple :

- Dans les liquides une grandeur appelée pH indique le taux d'acidité ou d'ions H^+ .
- Les périodes d'orage sont aussi l'expression de forts mouvements de charges électriques. Les mouvements d'air chaud et d'air froid très présents en période ora-

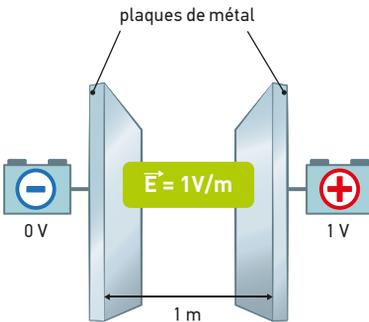
geuse chargent les gouttes d'eau et donc le nuage. L'éclair est une décharge de ce nuage soit vers la terre soit vers un autre nuage.

- Cette décharge est perçue aussi l'été lorsqu'on touche une carrosserie de voiture. L'air charge la carrosserie par frottement.

On peut aussi créer un champ électrique de manière artificielle en plaçant deux plaques métalliques à une certaine distance l'une de l'autre. Chacune des plaques reliées à une batterie aura une charge électrique différente de celle de l'autre, on aura donc un champ électrique entre ces deux plaques.

Le champ électrique est défini par la tension existant entre ces deux plaques (différence entre les charges des deux plaques) et la distance qui les sépare.

Champ électrique uniforme



- La tension s'exprime en volt (V).
 - La distance s'exprime en mètre (m).
 - **Le champ électrique** s'exprime en volt par mètre (V/m).
- Par beau temps, il existe un champ élec-

trique naturel entre la terre et la partie de l'atmosphère appelée ionosphère, de l'ordre de 100 V/m à 1 m au-dessus du sol. Dans la région haute de l'atmosphère (supérieure à 60 km), les rayonnements cosmiques vont ioniser les atomes des gaz constitutifs de l'atmosphère. La partie basse vers la terre est chargée négativement et la partie haute positivement.

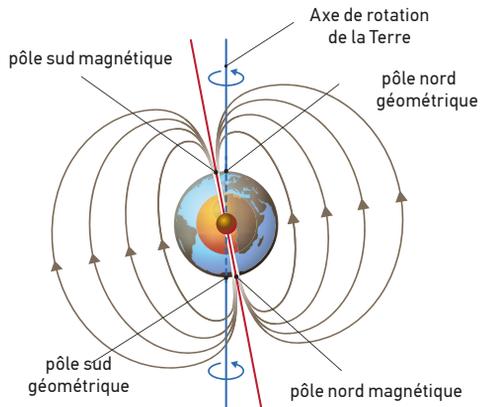
Le champ magnétique

Le champ magnétique existe naturellement autour de certains matériaux que l'on dit ferromagnétiques.

Nous trouvons des applications dans notre quotidien : les aimants qui maintiennent certaines portes de placard ou l'aiguille fine de la boussole indiquant le nord.

Ces matériaux sont dits polarisés*. Lorsqu'on approche deux objets ferromagnétiques soit ils s'attirent soit ils se repoussent. Chacun possède une polarité, nord ou sud.

Le champ magnétique terrestre



Dans le cas de la boussole, une aiguille fine qui repose sur un pivot va suivre le champ magnétique terrestre.

La terre est protégée des éruptions magnétiques provenant du soleil par un champ magnétique qui provient de son noyau. Les aurores boréales qui apparaissent aux pôles de notre terre sont des manifestations du champ magnétique solaire.

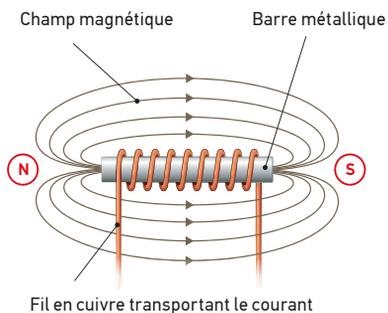
En 1830, Ørsted a fait circuler un courant dans un conducteur et a fait dévier une aiguille aimantée, un champ magnétique est apparu⁷.

On peut créer ainsi un champ magnétique en faisant circuler un courant électrique dans un fil conducteur.

- L'intensité du courant électrique s'exprime en ampère (A).
- La distance s'exprime en mètre (m).
- **Le champ magnétique** s'exprime en ampère par mètre (A/m).

En basse fréquence*, l'unité de champ magnétique est le tesla (T), ou plus fréquemment le microtesla (μT).

Création d'un champ magnétique par circulation d'un courant électrique



⁷ Voir Annexe « Relation entre champ magnétique et champ d'induction magnétique », p. 164.

En haute fréquence*, l'unité de champ magnétique est l'ampère par mètre (A/m).

De façon naturelle, le champ magnétique existe dans les matériaux ferromagnétiques. Le champ magnétique terrestre a une valeur de l'ordre de 50 μT .

Dans l'habitat, la plupart des appareils électriques sont alimentés par une tension électrique alternative fixe (230 V) avec une fréquence fixe 50 Hz (hertz)⁸.

La fréquence indique le nombre de changement de sens par seconde (ici, 50 fois). Cela donne une tension de forme sinusoïdale.

La tension est de forme sinusoïdale



En fonctionnement, l'appareil consommera un courant qui aura une forme similaire changeant de sens 50 fois par seconde.

Par conséquent il générera un champ électrique de même forme que la tension et un champ magnétique de même forme que le courant, soit sinusoïdal.

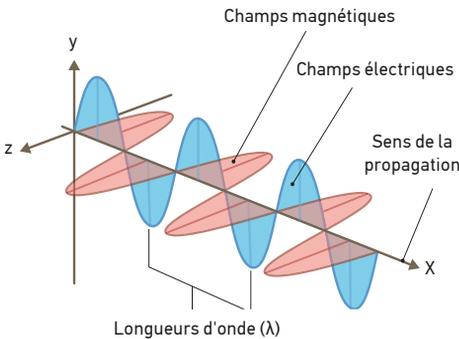
⁸ Voir Annexe « Pourquoi la tension électrique dans les habitations est alternative ? », p. 164.

Les ondes radioélectriques

Il s'agit des champs électromagnétiques utilisés pour transmettre de l'information (voix, image, données). Sont concernés, entre autres, les téléphones portables, les émetteurs de radio et de télévision, les radars.

En 1901, la première transmission sans fil et transatlantique a été établie par Marconi.

La longueur d'onde



L'onde radioélectrique composée du champ électrique **E** et du champ magnétique **H** se propage dans l'air entre un émetteur et un récepteur. La vitesse de propagation est la vitesse de la lumière de 300 000 km/s. Elle est caractérisée par la longueur d'onde qui est le rapport entre la vitesse de propagation et la fréquence. Elle est portée par une fréquence spécifique en fonction du type d'information qui va être transmise.

Par exemple, lorsque vous écoutez la radio en FM (modulation de fréquence), un chiffre est associé à la station de radio écoutée, par exemple 101,4. Cela correspond à 101,4 MHz (mégahertz) soit

101,4 millions de hertz. Cette fréquence a été allouée à la station par l'ANFR* (Agence nationale des fréquences) pour émettre. Tous les systèmes sans fil ont une bande de fréquence allouée pour émettre qui est souvent élevée, on parle de haute fréquence voir d'hyperfréquence. Pour plus de détails, voir annexe « Propriétés de propagations des ondes hyperfréquences », p. 166.

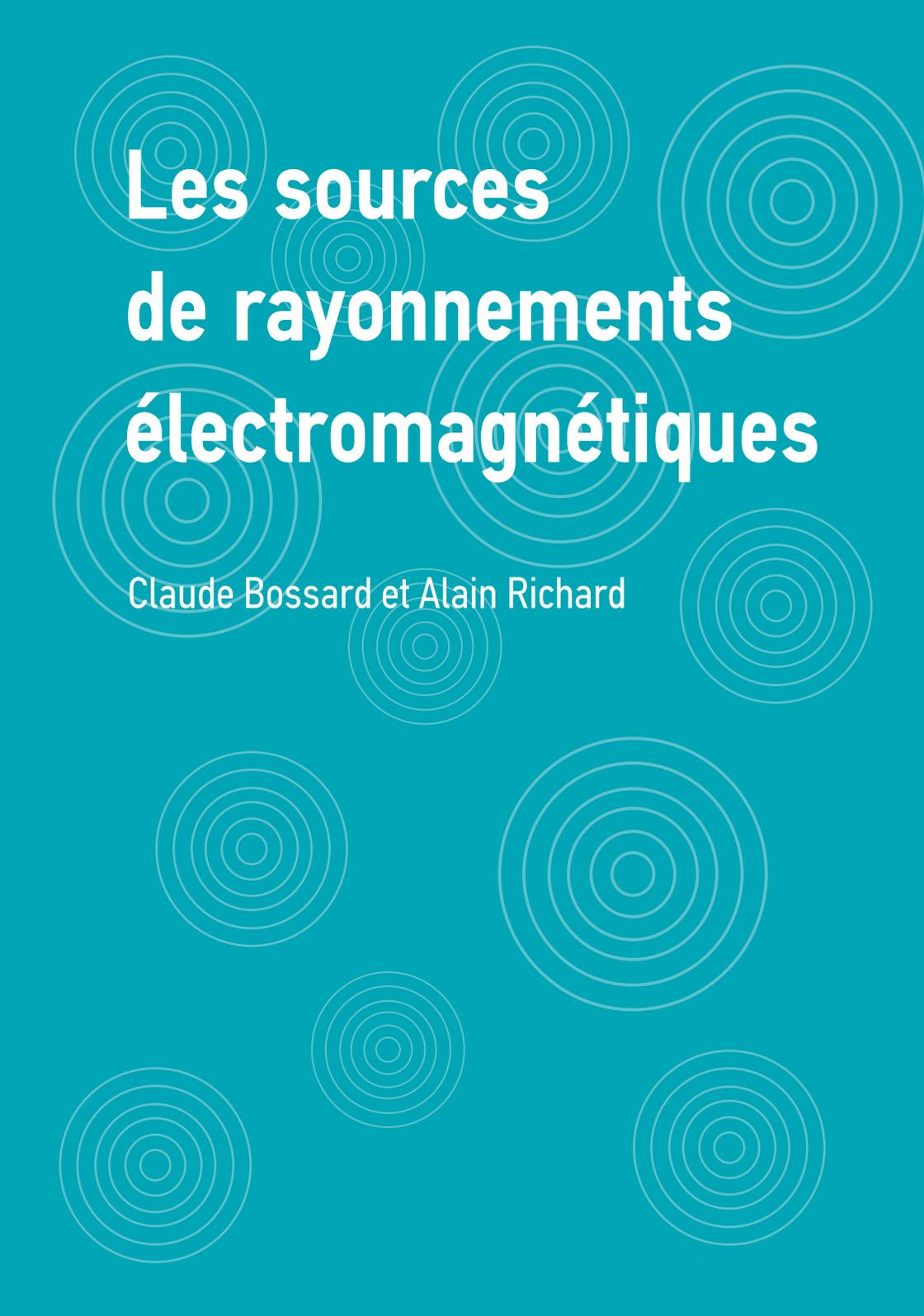
Les champs électromagnétiques hyperfréquences ont les propriétés suivantes :

- **Le champ électrique E et le champ magnétique H** sont liés. Ils génèrent une densité de puissance électromagnétique **S** qui se propage. **S** s'exprime en watt par mètre carré (W/m^2).

- **E** et **H** sont **alternatifs** et peuvent être envoyés par paquet, ce sont des ondes pulsées.

Conclusion

Les champs électromagnétiques (CEM) dans l'habitat sont produits par les appareils et les circuits électriques, ainsi que par les sources d'hyperfréquences. Ils ont la propriété d'être alternatifs contrairement à l'essentiel des champs électromagnétiques naturels qui sont continus.

The background of the cover is a solid teal color. It is decorated with a pattern of white concentric circles of varying sizes, scattered across the page. These circles resemble ripples or waves, which is a visual metaphor for electromagnetic radiation.

Les sources de rayonnements électromagnétiques

Claude Bossard et Alain Richard

Dans notre environnement quotidien, les sources de rayonnements électromagnétiques sont très nombreuses. Nous pouvons dire que la majorité des rayonnements qui nous préoccupent⁹ se situe essentiellement dans deux grandes familles.

- Les basses fréquences : ainsi appelées dans le langage courant, il s'agit des ELF (Extremely Low Frequencies) ou EBF (Extrêmement basses fréquences). Concrètement, il s'agit de la fréquence du courant électrique, 50 hertz en Europe, 60 hertz en Amérique du Nord, et des fréquences liées aux alimentations à découpage* présentes dans une majorité d'appareils électroniques.
- Les hyperfréquences (HF) liées au développement des technologies « sans fil » (2G*, 3G*, 4G*, wifi*, Bluetooth*...) et des objets connectés...

⁹ Voir « Les effets des champs électromagnétiques sur la santé » p. 48 et annexe « Classement ABCem » p. 174.

Les sources externes basse fréquence

Les lignes électriques aériennes

Le réseau électrique français se compose de près de 1,4 million de kilomètres de lignes électriques ; la majorité d'entre elles est aérienne. On les distingue surtout par les formes et les dimensions des pylônes et par les longueurs des chaînes d'isolateurs. Pour désigner les lignes, EDF, RTE et Enedis¹⁰ ont adopté cette classification :

- HTB (haute tension B) : au-dessus de 50 kV usuellement HT (haute tension) ;
- HTA (haute tension A) : au-dessus de 1 000 V, jusqu'à 50 kV usuellement MT (moyenne tension) ;
- BTB (basse tension B) : au-dessus de 500, jusqu'à 1 000 V usuellement BT (basse tension) ;
- BTA (basse tension A) : au-dessus de 50 V, jusqu'à 500 V usuellement BT (basse tension) ;

¹⁰ EDF, Électricité de France, est le premier producteur et fournisseur d'électricité en France. RTE, Réseau de transport d'électricité, gère le réseau public de transport d'électricité haute tension en France métropolitaine. Enedis, anciennement ERDF, filiale d'EDF, est chargée de la gestion et de l'aménagement de 95 % du réseau de distribution d'électricité en France.

- TBT (très basse tension) : jusqu'à 50 V.

Le tableau ci-dessous résume les appellations des lignes les plus courantes.

1. Les lignes à très haute tension (THT : 400 000 V et 225 000 V) et **à haute tension** (HT : principalement 90 000 et 63 000 V) acheminent l'énergie électrique des grandes unités de production jusqu'à des postes de répartition et d'interconnexion. Ces lignes sont soutenues par des pylônes dont la forme, la hauteur et la largeur diffèrent selon la tension, le nombre de conducteurs et l'environnement. Un pylône soutenant une ligne de 400 kV peut atteindre 90 m de haut.

2. Les lignes à moyenne tension (20 kV) et basse tension (230/400 V) distribuent l'électricité depuis des transformateurs jusqu'aux consommateurs. Elles sont portées par des pylônes, généralement en béton, plus rarement en bois.

Le courant est transporté par des câbles nus et accrochés aux pylônes ou aux poteaux par des chaînes d'isolateurs. Ceux-ci sont généralement constitués d'un empilage d'éléments en verre (jusqu'à 19 par chaîne sur les lignes à très haute tension). Une ligne, habituellement

Tensions	400 kV	225 kV	150 kV	90 kV	63 kV	20 kV	230/400 V
Classement d'usage	THT	THT	THT	HT	HT	MT	BT
Classement officiel	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTA	BT



triphasée*, est composée de trois conducteurs. Les mêmes pylônes peuvent parfois supporter plusieurs lignes. Le nombre de conducteurs actifs est alors un multiple de trois. Les lignes THT comportent en plus un conducteur de protection contre la foudre.

3. Les lignes à basse tension ont un quatrième conducteur, le neutre, et souvent un cinquième pour l'éclairage public.

4. Les lignes 230/400 V les plus récentes sont sous forme d'un câble isolé et torsadé.

Champs magnétiques à proximité des lignes aériennes

Tension	Champs magnétiques sous les conducteurs	Champs magnétiques à 30 m	Champs magnétiques à 100 m
Très haute tension 400 kV	Jusqu'à 20 μT	3,5 μT	1 μT
Très haute tension 225 kV	8 μT	1 μT	0,3 μT
Haute tension 90 kV	3 μT	0,3 μT	0,1 μT
Moyenne tension 20 kV	1 μT	0,05 μT	-
Basse tension 230/400V	2 μT	0,1 μT	-

Comment reconnaître les lignes électriques aériennes ?

Sur chaque pylône des lignes HT ou THT, une plaque indique la tension ainsi que les points de départ et d'arrivée de la ligne.

Une ligne aérienne produit un champ magnétique intense du fait de l'intensité du courant et de la distance entre les différents conducteurs de la ligne.

Le tableau p. 24 donne un ordre de grandeur des **champs magnétiques** atteints (en microteslas) par ces lignes aériennes. Ils sont **très variables selon l'intensité du courant, la configuration et la hauteur des lignes.**

Lors de l'achat d'un logement, il est important de regarder la proximité avec ces lignes. Une mesure de ce champ magnétique est nécessaire car il est difficile de s'en protéger.

Les champs électriques autour des lignes dépendent de la tension, de la hauteur et de l'environnement, par exemple de la présence d'arbres formant un écran. Les effets des écrans sont expliqués dans le chapitre sur les solutions de protection (voir p. 140).

Les lignes à moyenne tension de 20 kV sont très nombreuses dans les campagnes. Elles transportent l'énergie électrique jusqu'aux transformateurs qui alimentent nos habitations. Autour de ces lignes, les champs magnétiques sont relativement faibles, en rapport avec l'intensité du courant. Les champs électriques atteignent quelques centaines de volts par mètre sous ces lignes et environ 4 à 8 V/m à une trentaine de mètres en espace découvert. Dans une maison, ce champ est atténué par les matériaux.

Les lignes de distribution 230/400 V

Ce sont des lignes à basse tension qui distribuent l'électricité jusqu'à nos maisons ou nos appartements. Elles comportent trois phases* et un neutre*.

La tension est de 230 volts entre chacune des phases et le neutre, et de 400 volts entre deux phases.

Les champs magnétiques produits peuvent ne pas être négligeables dans des conditions particulières :

- si de fortes intensités de courant transitent dans les câbles ;
- si la ligne est proche des habitations, en particulier en ville lorsque des lignes aériennes passent à proximité des façades ;

Champs électriques à proximité des lignes électriques

Tension	Champs électriques sous les conducteurs	Champs électriques à 30 m	Champs électriques à 100 m
Très haute tension 400 kV	4 000 V/m	250 V/m	15 V/m
Très haute tension 225 kV	2 000 V/m	100 V/m	6 V/m
Haute tension 90 kV	800 V/m	40 V/m	2 V/m
Moyenne tension 20 kV	250 V/m	8 V/m	-
Basse tension 230 V	30 V/m	-	-

- si le neutre forme une boucle fermée (voir le chapitre « Électricité biocompatible », p. 148).

Et les lignes enterrées ?

Du fait du rapprochement des conducteurs entre eux, les lignes enterrées produisent un champ magnétique bien moins intense que celui généré par les lignes aériennes à quelques mètres de l'axe de la ligne enterrée.

Les lignes de chemin de fer électrifiées

C'est un cas particulier avec un seul conducteur aérien, la caténaire. Le second conducteur, formé par les rails, est relié au transformateur et à la terre. Les champs magnétiques dépendent des consommations d'énergie des trains roulant sur la section. Dans le train, le champ magnétique est relativement intense (jusqu'à 2 ou 3 μT) à cause de la position entre la caténaire et les rails. Les riverains des lignes sont exposés à des champs magnétiques très variables selon la distance et selon le trafic.

Les éoliennes et les toitures photovoltaïques

Les éoliennes et les toitures photovoltaïques sont des générateurs d'énergie électrique, voici un point sur les champs émis.

Les grandes éoliennes

Les champs magnétiques sont très localisés.

– Au pied de l'éolienne, les rayonnements sont minimes.

– À proximité des câbles souterrains qui relient les éoliennes au poste de livraison et au réseau : jusqu'à 1,5 à 2 mètres, les champs magnétiques sont de l'ordre de 0,1 à 0,5 μT .

– À proximité du poste de livraison (transformateur) : quelques microteslas tout près du transformateur et environ 0,1 μT à 5 ou 6 mètres.

Des ondes hyperfréquence sont aussi émises pour la transmission d'informations. À 400 mètres, leurs intensités sont inférieures à 100 mV/m.

Les distances réglementaires entre les éoliennes et les habitations sont de 500 mètres au minimum, les expositions des riverains sont donc minimes.

Les toitures photovoltaïques

Les toitures photovoltaïques, les centrales photovoltaïques en général et les générateurs autonomes produisent des champs électriques et des champs magnétiques comme n'importe quel appareil électrique.

Lorsque les panneaux sont raccordés à des batteries et à des appareils qui consomment l'énergie électrique fonctionnant uniquement en courant continu, il n'y a pas de champs électromagnétiques (CEM) variables, donc pas de problèmes.

Pour les toitures photovoltaïques raccordées au réseau électrique, par l'intermédiaire d'un onduleur, il y a donc production de CEM variables de fréquence 50 hertz et plus. La tension à la sortie de l'onduleur n'est pas de forme sinusoïdale



Les toitures photovoltaïques produisent des champs électriques et des champs magnétiques.

comme la tension produite par un alternateur mais de forme plus carrée, cela donne des champs que l'on dit harmoniques ayant une fréquence multiple de la fondamentale 50 Hz.

Les champs magnétiques variables produits par l'onduleur ne sont pas négligeables. Ils sont proportionnels à la puissance produite par l'installation photovoltaïque en kilowatts. Pour une installation de 9 KW, l'intensité du champ magnétique est d'environ $0,10 \mu\text{T}$ à une distance de 2 à 2,50 mètres. La puissance en kilowatts dépend de l'ensoleillement. La nuit il n'y a donc pas production de champ magnétique. Les champs électriques produits par les panneaux sont variables. Ils sont négligeables si ces panneaux sont posés sur une structure métallique connectée à la terre.

Les transformateurs

Les réseaux de distribution d'énergie électrique sont alimentés par l'intermédiaire de transformateurs installés soit dans les immeubles d'habitation, soit dans des locaux spécifiques, soit sur les pylônes. Ce sont usuellement des transformateurs moyenne tension ou basse tension, soit 20 kV/400V.

Ils produisent des champs magnétiques très intenses à proximité qui s'atténuent rapidement avec l'éloignement. Ils dépendent de la puissance, de la qualité de fabrication et des configurations des câbles. Ceux qui sont abrités à l'intérieur des immeubles ou accolés aux maisons exposent les habitants à de forts champs magnétiques jusqu'à des distances de 3 à 7 mètres. Une mesure permet d'apprécier leur impact.