


Les champs électro- magnétiques de très basse fréquence



Gestionnaire
du Réseau
de Transport
d'Électricité





Les champs
électro-
magnétiques
de très basse
fréquence

SOMMAIRE

03 Introduction

05 LES ASPECTS TECHNIQUES

06 Électricité, équipements de réseau, champs magnétiques et électriques : quelques définitions

14 L'électromagnétisme : un phénomène omniprésent dans notre environnement

17 Un environnement électromagnétique basse fréquence essentiellement lié aux utilisations de l'électricité

23 LES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET L'ENVIRONNEMENT

24 Les phénomènes d'induction

28 La perception des champs électromagnétiques à 50 Hz par le corps humain

30 Les effets sur les équipements électriques

32 L'effet couronne : un phénomène caractéristique des champs électriques intenses

35 LES DONNÉES BIOLOGIQUES ACTUELLES

36 L'émergence du débat : champ électrique ou champ magnétique ?

38 L'épidémiologie : l'observation des populations

44 Les études de laboratoire

49 Les expertises collectives : un élément essentiel de l'évaluation des risques

54 Une vision claire : pas de risque de santé publique

57 LE CADRE RÉGLEMENTAIRE

58 L'avis et les recommandations des comités d'experts : un poids considérable

60 Les dispositions réglementaires

64 La normalisation : l'outil de la réalisation

67 NEUF QUESTIONS À EDF ET À RTE

74 QUELQUES SITES INTERNET UTILES

INTRODUCTION

L'électricité a changé la vie de l'humanité autant qu'avait pu le faire l'invention du feu. Grâce à l'utilisation des équipements électriques et électroniques dans le domaine médical, comme à la conservation des aliments et des médicaments par le froid, la santé publique s'est améliorée. Plus largement, l'électricité est à la base de tout ce qui fait notre vie, de l'efficacité des entreprises au confort des particuliers : elle est l'énergie indispensable aux télécommunications, à l'informatique, à la signalétique urbaine et autoroutière. Toutes les formes d'expression contemporaines lui sont redevables : productions musicales, télévisées, cinématographiques ne sauraient exister sans elle. Elle a favorisé la démocratie en facilitant et accélérant la circulation de l'information. C'est pourquoi elle est une énergie de civilisation. Par contraste, les deux milliards de personnes qui n'ont toujours pas accès à l'énergie électrique représentent la part la plus pauvre et la plus déshéritée de l'humanité, et l'on sait que leur développement tient en grande partie à la possibilité de les faire bénéficier de l'électricité.

Mais il est vrai que, de même que l'utilisation du feu exige que l'on fasse attention à éviter les brûlures, celle de l'électricité exige de la prudence. Il est donc nécessaire pour un électricien de connaître parfaitement le produit qu'il distribue. Il est ainsi légitime de faire le point sur l'effet que peuvent avoir sur l'environnement et sur la santé, les champs électromagnétiques générés par les équipements électriques. Omniprésents, pour la plupart imperceptibles, ces champs ont pu représenter aux yeux de certains une sorte de menace qui paraissait d'autant plus forte qu'ils la connaissaient peu. C'est une raison suffisante pour travailler à étendre, approfondir et divulguer cette connaissance. C'est là toute l'ambition de cet ouvrage.

Il existe d'innombrables technologies générant des champs électromagnétiques (CEM) sur une très large gamme de fréquence, allant du continu aux hyperfréquences, en passant par les ondes radio et les micro-ondes, depuis longtemps familières du public. Seuls sont traités ici les champs de très basse fréquence, propres aux équipements de transport et distribution d'électricité et aux principaux équipements électriques domestiques.

Qu'est-ce que l'électricité et que sont les champs électromagnétiques de très basse fréquence ? Y'a-t-il des effets sur l'environnement ? Quels sont les résultats des recherches entreprises depuis plus d'une vingtaine d'années ? Quelles sont les grandes lignes de la réglementation en vigueur ? Telles sont les questions abordées dans cet ouvrage. Il se veut pédagogique, en faisant appel au discours technique lorsque celui-ci s'avère éclairant pour un lecteur exigeant.

L'électricité est en effet une si belle invention que tous ceux qui participent à sa mise en oeuvre se font un devoir de transparence, seule base solide de confiance et seul moyen de faire reculer des peurs irrationnelles. Face à celles-ci, ils invitent à la démarche scientifique, où le doute loin de paralyser est un puissant stimulant de progrès.



LES ASPECTS TECHNIQUES

L'électricité est un phénomène naturel qui a été l'objet d'observations et d'interrogations dès l'Antiquité. Au VI^e siècle avant JC, Thalès de Milet notait les propriétés d'attraction de l'ambre jaune (en grec elektron) et, au IV^e, Démocrite composait un traité sur les propriétés de l'aimant. À partir du III^e siècle de notre ère, le principe de la boussole était connu en Asie. Mais ce n'est que dans la deuxième moitié du XVIII^e siècle que les physiciens commencèrent à émettre des théories convaincantes. On sait à présent que ce sont des forces électriques qui agissent dans les atomes et que la lumière du jour elle-même n'est rien d'autre qu'une onde électromagnétique. Autant dire que l'électricité est partout dans l'univers.

Électricité, équipements de réseau, champs magnétiques et électriques : quelques définitions

L'électricité est une réalité physique mesurable. On sait aujourd'hui la produire et l'acheminer pour le bien-être de tous. On sait aussi décrire de manière scientifique les champs électriques et magnétiques.

L'ÉLECTRICITÉ : UN PHÉNOMÈNE PHYSIQUE, DES CARACTÉRISTIQUES MESURABLES

Le courant électrique :
la course des électrons.

Le courant électrique provient de la circulation d'électrons dans un matériau « conducteur ». Schématiquement, on peut dire que le courant passe lorsque, dans une sorte de flux non interrompu, l'électron libre d'un atome chasse l'électron libre de l'atome voisin et prend sa place.

Les électrons sont des particules élémentaires qui font partie de la structure des atomes, ceux-ci constituant les plus petits échantillons possibles d'un matériau donné. Les atomes sont différents et spécifiques à chaque matériau (fer, cuivre, oxygène, carbone, etc.). Les matériaux dits conducteurs sont dotés d'atomes dont les électrons peuvent se séparer facilement.

On distingue **deux sortes de courant** :

- **Le courant continu** est produit par l'activité chimique d'une batterie ou d'une pile. Il s'écoule dans une seule direction, du pôle positif \oplus caractérisé par son excès de charge électrique vers le pôle négatif \ominus , caractérisé par son déficit de charge électrique.
- **Le courant alternatif** est produit par la rotation d'un alternateur, que l'on peut schématiser par une bobine de fil conducteur tournant dans un champ magnétique statique. Cette rotation génère aux bornes de la bobine un courant dit alternatif, dont la valeur instantanée varie en fonction de la vitesse de rotation de la bobine. Ainsi, une bobine tournant à 50 tours par seconde génère un courant alternatif de 50 Hertz (Hz).

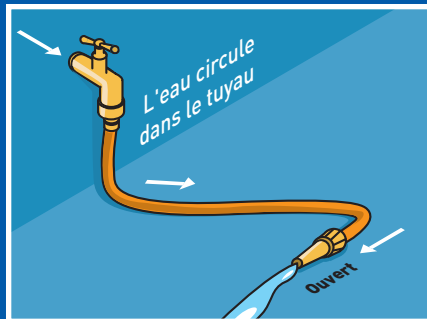
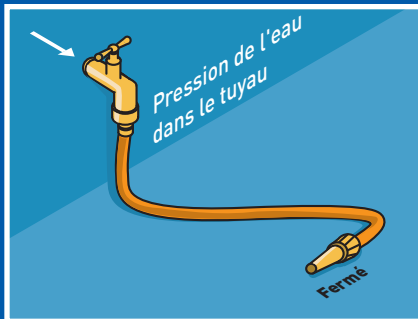
Les phénomènes électriques et leur mesure.

La tension électrique résulte de la différence de potentiel entre les charges électriques. C'est une grandeur mesurable qui s'exprime en volts (V) ou en kilovolts (1 kV équivaut à 1000 V). En France, en courant alternatif, la tension est égale à 230 V aux bornes d'une prise de courant.

En continu, aux bornes d'une batterie d'automobile, elle est égale à 12 V. L'intensité désigne le débit des charges électriques dans un conducteur. Cette grandeur mesurable s'exprime en ampères (A) ou en milliampères (1 mA équivaut à 0,001 A).

DES ÉQUIPEMENTS DE RÉSEAU POUR TRANSPORTER, TRANSFORMER ET DISTRIBUER LE COURANT ÉLECTRIQUE

L'électricité circule, depuis le lieu où elle est fabriquée jusqu'à l'endroit où elle est consommée, par l'intermédiaire d'un réseau de lignes électriques aériennes ou souterraines. Ce réseau interconnecté s'étend à toute l'Europe où il assure la solidarité entre toutes les unités de production : que l'une vienne à défaillir, une autre se met en route. Cette interconnexion permet aussi le développement de la concurrence entre producteurs et facilite l'optimisation économique de l'industrie électrique ;



ON PEUT COMPARER LE COURANT ÉLECTRIQUE À L'EAU DANS UN TUYAU.

La tension électrique est comparable à la pression dans un tuyau d'eau dont le robinet est fermé. De même, l'intensité du courant électrique est assimilable au débit de l'eau qui circule dans un tuyau dont le robinet est ouvert.

les centrales les moins coûteuses sont appelées avant les autres. En pouvant compter sur ses voisins, qui ne fonctionnent pas forcément selon les mêmes rythmes, chaque pays économise ainsi d'importants investissements de production tout en assurant au maximum la continuité d'alimentation de sa population et de ses entreprises. Le réseau électrique est hiérarchisé, à la manière d'un réseau routier, avec ses grands axes, autoroutes et voies nationales, ses axes secondaires et ses échangeurs.

Le réseau public de transport d'électricité correspond aux grands axes.

En France, géré par RTE, il est constitué de lignes HTB* qui acheminent l'électricité sur des distances importantes.

Il comporte deux sous-ensembles :

- **Un réseau d'interconnexion**, destiné à transporter de grandes quantités d'énergie à l'échelle nationale, voire européenne, principalement sous 400 000 volts. Il relie les principaux centres

de production (centrales nucléaires, thermiques, hydrauliques) aux zones de consommation.

- **Un réseau de répartition**, destiné à répartir l'énergie en quantité moindre à l'échelle régionale ou locale sous des tensions de 225 000, 90 000 et 63 000 volts.

Le réseau de distribution, géré par le distributeur EDF ou les entreprises locales de distribution, correspond aux axes secondaires. Il est constitué de lignes HTA** et BT*** qui acheminent l'électricité à l'échelle locale vers les consommateurs. L'alimentation des villes, des agglomérations, des grandes surfaces, des usines, etc., s'effectue en 20 000 volts, celle des particuliers, commerçants, exploitants agricoles, artisans, etc., en 380 et 230 volts. Selon la puissance qu'ils consomment, les industriels sont raccordés au réseau de distribution (20 000 volts) ou au réseau de transport (63 000/90 000 volts ou parfois 225 000 volts, voire 400 000 volts).

Appellation normalisée	Ancienne appellation (toujours d'usage courant)	Niveau de tension usuel en FRANCE
HTB	Très Haute Tension (THT)	400 000 V 225 000 V
	Haute Tension (HT)	90 000 V 63 000 V
HTA	Moyenne Tension (MT)	20 000 V
BT	Basse Tension (BT)	380/230 V

* - Haute Tension côté B : au-delà de 50 000 volts. ** - Haute Tension côté A : de 1000 à 50 000 volts

*** - Basse Tension : inférieure à 1000 volts

THT RÉSEAU DE TRANSPORT À TRÈS HAUTE TENSION

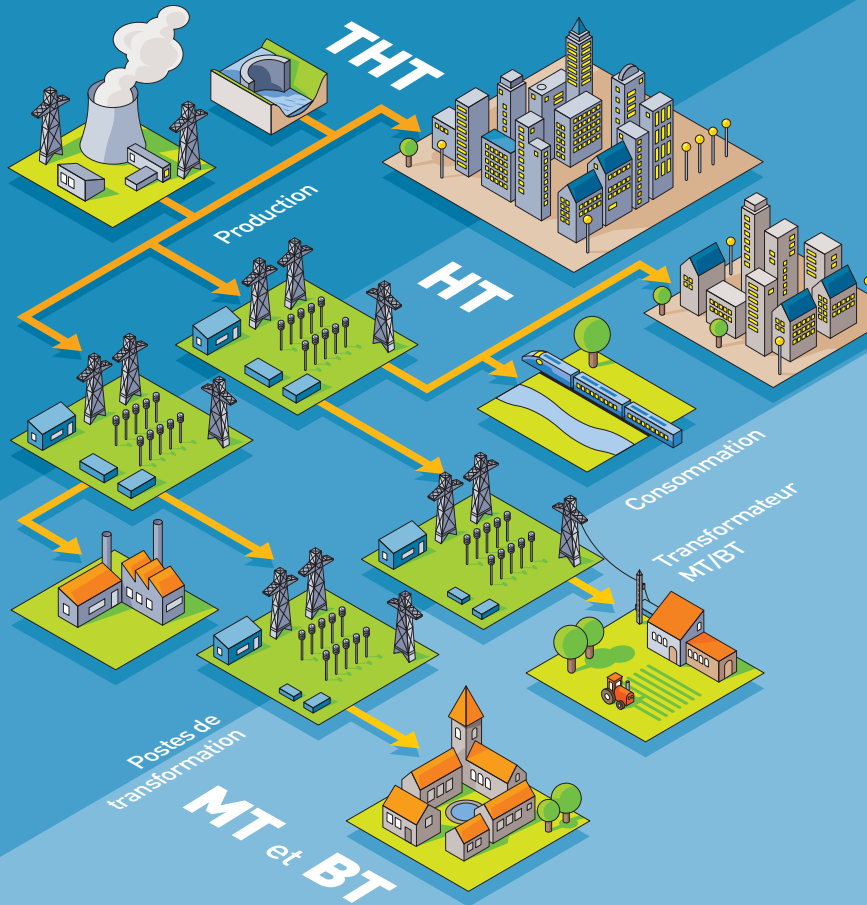
Il transporte l'électricité des principaux centres de production jusqu'aux zones de consommation.

HT RÉSEAU DE TRANSPORT À HAUTE TENSION

Il achemine le courant au niveau régional vers les centres distributeurs et les grands clients industriels.

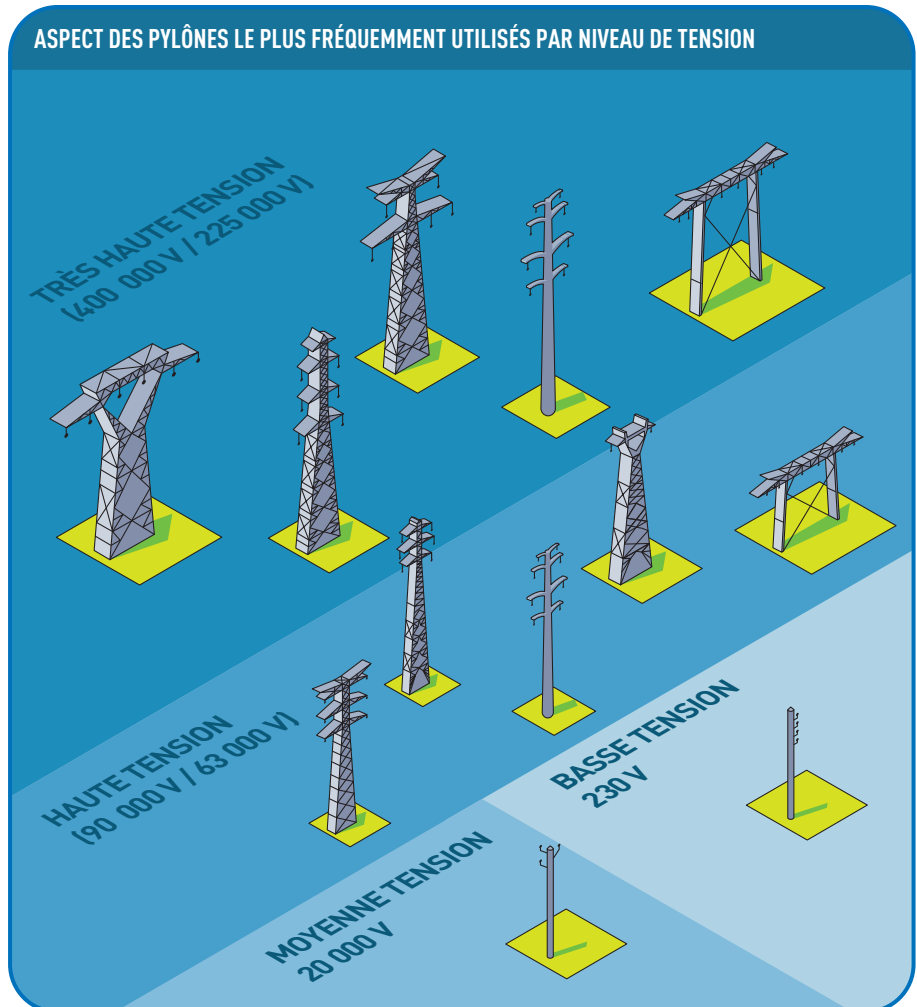
MT et BT RÉSEAUX DE DISTRIBUTION À MOYENNE TENSION ET À BASSE TENSION

Il amène l'électricité au client final : petites et moyennes industries, tertiaires, particuliers.



La plupart des lignes de transport de l'électricité sont aériennes. Pour des raisons de sécurisation et d'insertion paysagère

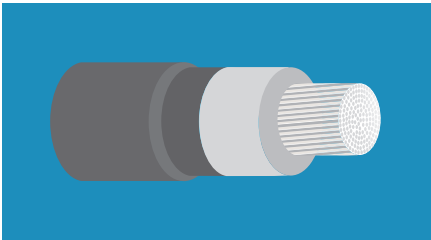
des réseaux électriques, le recours aux liaisons souterraines est de plus en plus fréquent, en particulier pour les réseaux de distribution.



Une ligne aérienne, quelle que soit sa tension, est composée de pylônes qui soutiennent des câbles conducteurs. L'isolement, assuré par l'air ambiant, est garanti par la distance qui sépare les conducteurs, entre eux et avec le sol. Le pylône, quant à lui, est isolé des câbles par les chaînes d'isolateurs.



La ligne souterraine est constituée d'un câble conducteur, dont l'isolant n'est plus l'air ambiant mais de l'huile ou une gaine synthétique.



Câble à isolation synthétique de liaison souterraine.

Les postes de transformation

correspondent aux échangeurs routiers et autoroutiers. Ils permettent de passer d'une tension à une autre. Véritables nœuds de réseau, ils répartissent l'énergie et adaptent le niveau de tension aux besoins des clients.

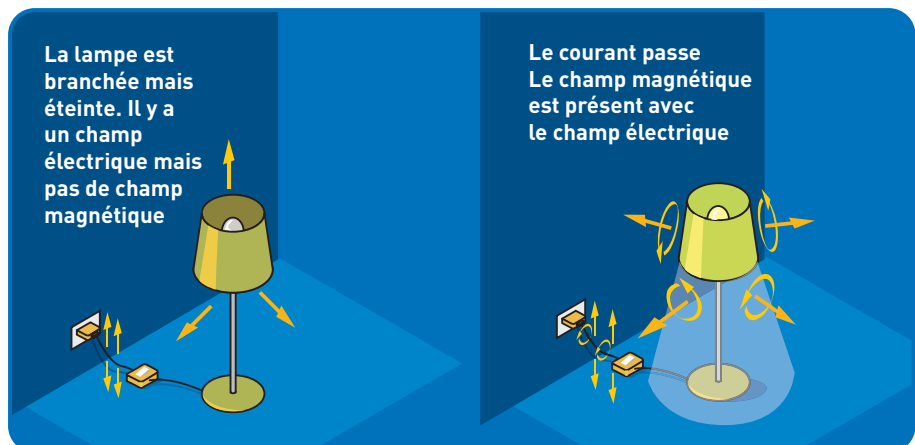
CHAMP ÉLECTRIQUE, CHAMP MAGNÉTIQUE, CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE : DE QUOI PARLE-T-ON ?

La notion de champ est utilisée en physique pour traduire l'influence d'un objet sur son environnement. Le champ de la pesanteur désigne ainsi la force d'attraction exercée par la terre. Chacun a vu ces images d'astronautes en apesanteur, échappant donc au champ d'attraction de la terre, qui montrent combien, a contrario, celui-ci conditionne toute notre vie.

Le champ électrique caractérise l'effet d'attraction ou de répulsion exercé par une charge électrique sur une autre. Toute charge électrique produit un champ

électrique. La tension électrique, qui traduit l'accumulation de charges électriques, génère donc du champ électrique. Ainsi, lorsqu'une lampe est branchée au réseau électrique, il y a un champ électrique, même si la lampe n'est pas allumée. Plus la tension d'alimentation d'un appareil est élevée, plus le champ électrique qui en résulte augmente. Son intensité se mesure en **volts par mètre (V/m)**. Elle décroît très vite avec la distance. Il convient de noter que le champ électrique est arrêté par le moindre obstacle, même faiblement conducteur (bâtiment, arbre, etc.).

Le champ magnétique apparaît lorsque les charges électriques se déplacent, c'est-à-dire lorsqu'il y a circulation de courant électrique. Lorsque la lampe est allumée, il existe, en plus du champ électrique, un champ magnétique généré par le passage



du courant dans le câble d'alimentation et l'ampoule. Son intensité se mesure en **tesla (T)** ou, plus usuellement, en **microtesla (μT)**. On utilise encore couramment l'ancienne unité, le **gauss (G)** et sa sous unité le **milligauss (mG)** ($1 \mu\text{T}^* = 10 \text{ mG}$).

Plus l'intensité du courant est élevée, plus le champ magnétique qui en résulte augmente. De manière similaire au champ électrique, l'intensité du champ magnétique décroît rapidement avec la distance. Toutefois, contrairement au champ électrique, le champ magnétique n'est pratiquement pas arrêté par les matériaux courants.

Les champs électromagnétiques (CEM) résultent de la combinaison des champs électrique et magnétique. Ils sont constitués d'une onde électrique et d'une onde magnétique qui se déplacent ensemble à la vitesse de la lumière. Les champs électromagnétiques se caractérisent par leur fréquence et leur longueur d'onde. La fréquence est le nombre d'oscillations de l'onde en une seconde, mesuré en hertz (Hz). La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant la durée d'une oscillation. Plus la fréquence est élevée, plus la longueur d'onde est courte, et l'énergie déployée dans le champ élevée.

RADIATION ET RAYONNEMENT : DEUX NOTIONS À DISTINGUER

Il convient de bien faire la différence entre un rayonnement, qui correspond à une onde électromagnétique, et une radiation, qui est une émission de particules.

Les champs électriques et magnétiques de très basse fréquence (50 Hz) liés aux réseaux électriques sont des rayonnements non ionisants, sans émission de particules.

Les radiations, et les rayonnements à très haute fréquence sont quant à eux ionisants : l'énergie très élevée qu'ils dégagent est capable de provoquer la rupture des liaisons à l'intérieur des molécules et des atomes, ce qui peut avoir des conséquences sur les cellules vivantes. Dans le spectre électromagnétique, les émissions de particules commencent avec le rayonnement ultraviolet de courte longueur d'onde (UV-B) et concernent en particulier les rayons X et les rayons gamma.

* $1 \mu\text{T} = 0,000\ 001 \text{ T}$

L'électromagnétisme : un phénomène omniprésent dans notre environnement

Les phénomènes électriques et magnétiques sont des composantes indissociables du milieu dans lequel nous vivons. Certains sont naturels. D'autres, qui diffèrent par leur fréquence, ont pour origine les activités industrielles.

SOURCES DE CHAMPS NATURELS

La plupart des champs électromagnétiques naturels ont une fréquence de 0 Hz : ce sont des champs statiques.

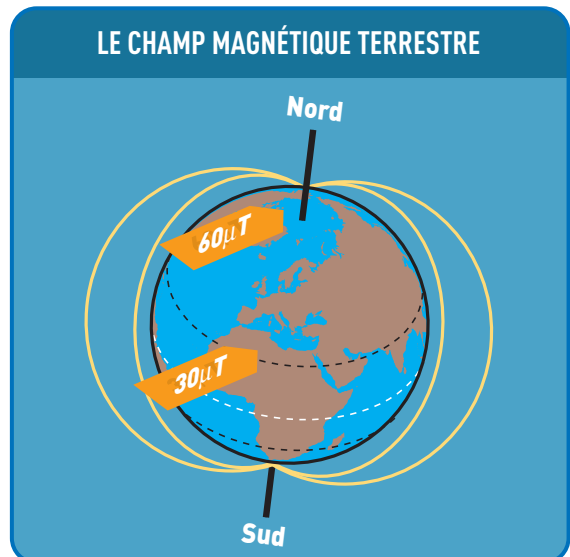
Les exemples les plus notables en sont :

- le champ magnétique terrestre, qui oriente l'aiguille aimantée de la boussole,
- le champ électrique atmosphérique, qui peut atteindre des valeurs très élevées sous les nuages orageux.

Toutefois, d'autres sources naturelles produisent, quant à elles, des champs électromagnétiques qui varient dans le temps et dont certains ont une fréquence très élevée.

On peut citer :

- l'électricité statique,
- la foudre, qui est un courant électrique déchargeant l'électricité accumulée dans les nuages,
- les rayonnements électromagnétiques à très haute fréquence que sont la lumière du soleil et le rayonnement cosmique.



NOTRE ENVIRONNEMENT QUOTIDIEN : UNE EXPOSITION PERMANENTE

Nous sommes en permanence exposés aux champs électriques et magnétiques. Songeons aux multiples expositions d'une journée type de citoyen.

Après avoir dormi dans le champ électrique de **la lampe de chevet éteinte** et le champ électromagnétique du **radio-réveil**, on se lève, on actionne les **commutateurs**, on met en route **toaster** et **bouilloire électrique**.

Peut-être s'est-on séché les cheveux après la douche avec **un sèche-cheveux**, a-t-on passé **l'aspirateur** avant de partir. Puis on se rend au

travail, en **voiture**, à **moto**, en **train**. On peut alors être amené à passer sous **une ligne électrique à très haute tension** ou sous **les caténaies** d'une voie de chemin de fer. Sur le lieu de travail, **éclairages, ordinateurs, outils professionnels** constituent autant de sources de champs électromagnétiques. Au retour, le trajet nous expose aux mêmes champs. Peut-être regardera-t-on **la télévision** ou lira-t-on sous l'éclairage d'**une lampe de salon**, avant de retrouver sa **lampe de chevet** et son **radio-réveil**.

SOURCES DE CHAMPS RÉSULTANT DE L'ACTIVITÉ INDUSTRIELLE : DES HAUTES FRÉQUENCES AUX BASSES FRÉQUENCES

Notre civilisation technologiquement développée nous fait vivre en permanence dans un environnement électromagnétique complexe, résultant de l'ensemble des utilisations de l'électricité.

L'exposition nulle n'existe pas.

La plupart des champs électriques ou magnétiques produits par l'homme

varient de façon rapide et régulière.

Ce sont des champs alternatifs, caractérisés par leur intensité (amplitude plus ou moins élevée) et leur fréquence (variations plus ou moins rapides). Les champs de haute fréquence ou de radiofréquence se situent entre 10 MHz et 300 GHz *.

Dans cette partie la plus élevée du spectre électromagnétique, de larges plages de fréquences sont utilisées pour les applications de télécommunication : ondes radio, télévision, télécommunication, satellite, etc. Les téléphones mobiles et les antennes relais émettent ainsi des champs dits de haute fréquence de 900 MHz ou 1,8 GHz.

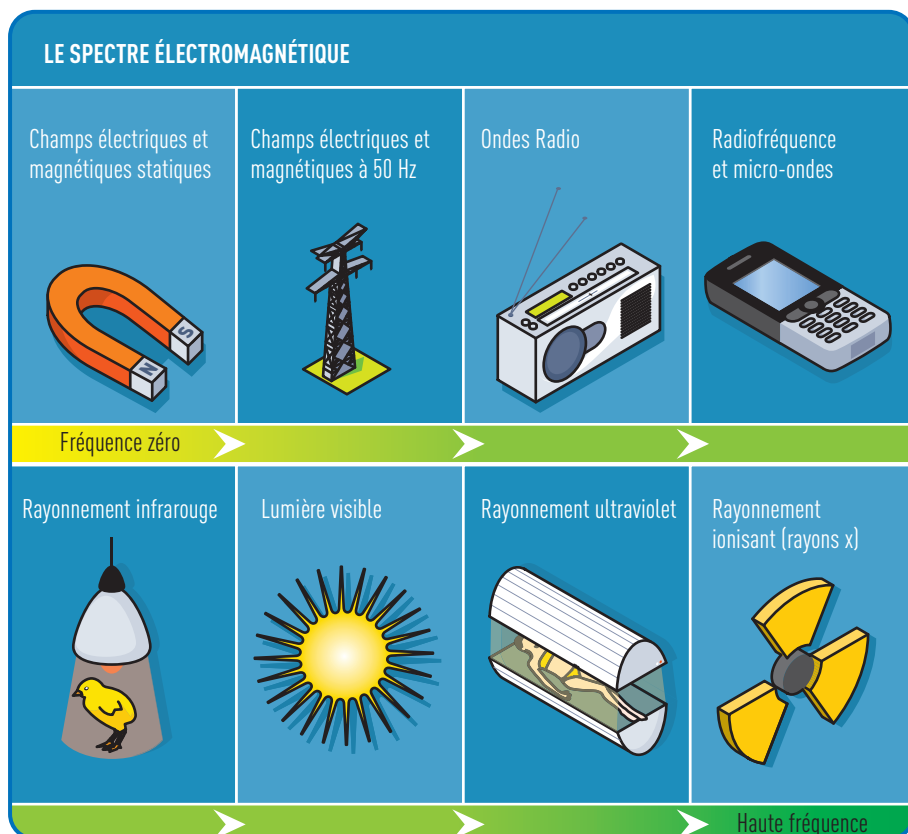
* 1 MHz = 1 000 000 Hz
1 GHz = 1 000 MHz

Les champs de 0 à 300 Hz sont dits de très basse fréquence ou ELF (*Extremely Low Frequency*). Tous les équipements qui consomment ou acheminent de l'électricité émettent des champs à 50 Hz.

Toutefois, nombre d'appareils électriques et d'installations industrielles transforment cette électricité à 50 Hz soit en courant

continu, comme dans les applications industrielles de l'électrochimie par exemple, soit en fréquences plus élevées, comme dans les applications industrielles et domestiques de chauffage par induction ou de four à micro-ondes (2,45 GHz).

On classe les CEM en fonction de leur fréquence, l'ensemble de ces fréquences forme le spectre électromagnétique.



Un environnement électromagnétique très basse fréquence essentiellement lié aux utilisations de l'électricité

Dans cet environnement, la fréquence la plus répandue se situe dans la catégorie des très basses fréquences : c'est évidemment les 50 Hz*, fréquence de fonctionnement des réseaux électriques, objet de cet ouvrage. Il convient ici de distinguer les sources de champs magnétiques et les sources de champs électriques.

CHAMP ÉLECTRIQUE TRÈS BASSE FRÉQUENCE. PRINCIPALES SOURCES : LES RÉSEAUX AÉRIENS À HAUTE TENSION

Alors que le champ magnétique est généré par le passage du courant, le champ électrique provient de l'accumulation de charges électriques, exprimée par la tension. Dans l'environnement quotidien, ce sont donc les réseaux électriques à haute tension HTB qui constituent la principale source de champ électrique, les appareils électriques domestiques constituant, quant à eux, les principales sources de champ magnétique.

CHAMP MAGNÉTIQUE TRÈS BASSE FRÉQUENCE. PRINCIPALES SOURCES : LES RÉSEAUX ET APPAREILS ÉLECTRIQUES

On peut classer les sources de champ magnétique 50/60 Hz en deux grandes familles :

- la première est celle des réseaux électriques. Leur champ magnétique est proportionnel au courant circulant dans les câbles. Il décroît à proportion du carré de la distance aux câbles ($1/d^2$). Dans cette famille, les réseaux torsadés (réseaux isolés 380 V et câbles 20 kV) constituent un cas particulier, leur disposition en torsade réduisant le champ magnétique à un niveau négligeable,

- la deuxième famille est celle des sources localisées, qui comprend en particulier tous les appareils électroménagers. Leur champ magnétique dépend de la technologie de l'appareil, et n'est en général pas proportionnel au courant consommé.

Il décroît à proportion du cube de la distance ($1/d^3$), ce qui le rend rapidement négligeable, habituellement au-delà de deux mètres.

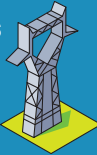
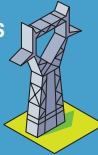

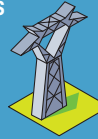

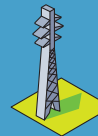


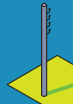

* 60 Hz pour les réseaux nord-américains

ORDRES DE GRANDEUR DES CEM

Les réseaux électriques

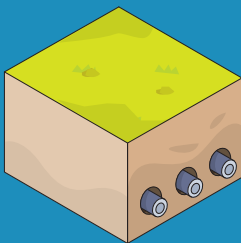
Les lignes aériennes

Exemples de champs électriques et magnétiques à 50 Hz pour des lignes électriques aériennes

CHAMPS ÉLECTRIQUES (EN V/m)	CHAMPS MAGNÉTIQUES (EN μ T)
<p>Lignes à 400 000 volts</p> <p>sous la ligne à 30 mètres de l'axe à 100 mètres de l'axe</p>  <p>5 000 2 000 200</p>	<p>Lignes à 400 000 volts</p> <p>sous la ligne à 30 mètres de l'axe à 100 mètres de l'axe</p>  <p>30 12 1,2</p>
<p>Lignes à 225 000 volts</p> <p>sous la ligne à 30 mètres de l'axe à 100 mètres de l'axe</p>  <p>3 000 400 40</p>	<p>Lignes à 225 000 volts</p> <p>sous la ligne à 30 mètres de l'axe à 100 mètres de l'axe</p>  <p>20 3 0,3</p>
<p>Lignes à 90 000 volts</p> <p>sous la ligne à 30 mètres de l'axe à 100 mètres de l'axe</p>  <p>1 000 100 10</p>	<p>Lignes à 90 000 volts</p> <p>sous la ligne à 30 mètres de l'axe à 100 mètres de l'axe</p>  <p>10 1 0,1</p>
<p>Lignes à 20 000 volts</p> <p>sous la ligne à 30 mètres de l'axe à 100 mètres de l'axe</p>  <p>250 10 Négligeable</p>	<p>Lignes à 20 000 volts</p> <p>sous la ligne à 30 mètres de l'axe à 100 mètres de l'axe</p>  <p>6 0,2 Négligeable</p>
<p>Lignes à 230 volts</p> <p>sous la ligne à 30 mètres de l'axe à 100 mètres de l'axe</p>  <p>9 0,3 Négligeable</p>	<p>Lignes à 230 volts</p> <p>sous la ligne à 30 mètres de l'axe à 100 mètres de l'axe</p>  <p>0,4 Négligeable Négligeable</p>

Les liaisons souterraines

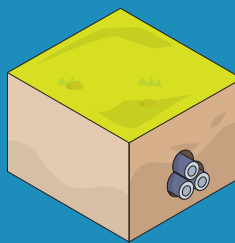
Pose de câbles en Nappe



Liaison souterraine à 225 000 V	
à l'aplomb :	20 μT
à 5 mètres de l'axe :	4 μT
à 20 mètres des l'axe :	0,3 μT

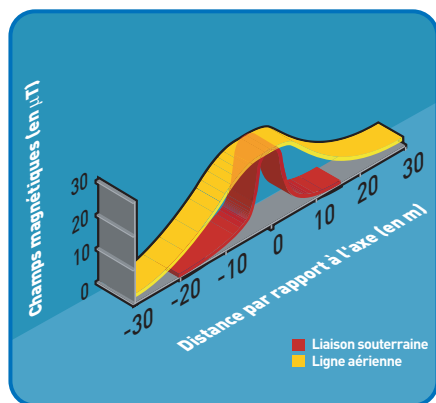
Liaison souterraine à 63 000 V	
à l'aplomb :	15 μT
à 5 mètres de l'axe :	3 μT
à 20 mètres des l'axe :	0,2 μT

Pose de câbles en Tréfle



Liaison souterraine à 225 000 V	
à l'aplomb :	6 μT
à 5 mètres de l'axe :	1 μT
à 20 mètres des l'axe :	0,1 μT

Liaison souterraine à 63 000 V	
à l'aplomb :	3 μT
à 5 mètres de l'axe :	0,4 μT
à 20 mètres des l'axe :	négligeable



Profils de champs magnétiques maximaux générés par une ligne aérienne et une liaison souterraine à 225 000 Volts.

Les postes de transformation







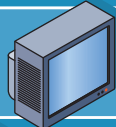



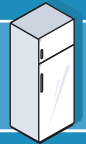


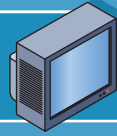
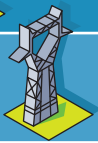
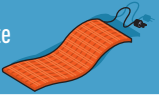


Ils peuvent être considérés comme des sources localisées. Leur champ décroît donc très rapidement. Contrairement à certaines idées reçues, les transformateurs du réseau, du fait de leur grande qualité de construction, génèrent un champ magnétique très faible, négligeable par rapport aux conducteurs électriques qui les alimentent.

Les sources domestiques et tertiaires

Les petits moteurs et transformateurs des appareils domestiques forment des sources locales de champ magnétique beaucoup plus importantes que leurs câbles électriques.

Les sources domestiques et tertiaires

Les petits moteurs et transformateurs des appareils domestiques forment des sources locales de champ magnétique beaucoup plus importantes que leurs câbles électriques.

SOURCES DOMESTIQUES		
Champs électriques (en V/m)		Champs magnétiques (en μ T)
Rasoir 	Négligeable	Réfrigérateur  0,30
Micro-ordinateur 	Négligeable	Grille-pain  0,80
Grille-pain 	40	Chaîne-stéréo  1,00
Télévision 	60	Lignes à 90 000 volts (à 30 m de l'axe)  1,00
Chaîne-stéréo 	90	Lignes à 400 000 volts (à 100 m de l'axe)  1,20
Réfrigérateur 	90	Micro-ordinateur  1,40
Lignes à 90 000 volts (à 30 m de l'axe) 	100	Télévision  2,00
Lignes à 400 000 volts (à 100 m de l'axe) 	200	Couverture chauffante  3,60
Couverture chauffante 	250	Rasoir  500

MESURES ET CALCULS DE CHAMPS ÉLECTRIQUE ET MAGNÉTIQUE : MOYENS ET MÉTHODES

Le champ électrique : une mesure complexe, une interprétation aisée.

Il existe, sur le marché, des appareils qui mesurent directement les champs électriques alternatifs. Le champ électrique étant facilement arrêté par toutes sortes d'obstacles, le corps de l'opérateur ou la présence de végétation peuvent fortement modifier cette mesure.

Il convient donc de prendre des précautions opératoires, en s'assurant notamment de l'absence d'obstacle dans un rayon de trois mètres autour du capteur. Ainsi, les mesures les plus fiables sont fournies par des appareils utilisant une fibre optique de quelques mètres entre le capteur et l'électronique de mesure. L'interprétation des mesures est, en revanche, assez simple puisque les sources présentes dans l'environnement sont peu nombreuses : il s'agit surtout des réseaux électriques, les autres sources ne générant que des champs électriques de très faible valeur.

Le champ magnétique : une mesure facile, une interprétation délicate.

De nombreux appareils, pour la plupart portatifs, permettent de mesurer directement les champs magnétiques alternatifs. À l'inverse du champ électrique, cette mesure est très simple à mettre en œuvre mais difficile à interpréter. Les sources de champ magnétique 50 Hz sont en effet si nombreuses dans l'environnement qu'il est difficile de les identifier totalement et d'estimer leur contribution respective à la valeur mesurée.

Le calcul des champs électriques et magnétiques.

Lorsque la source de champ possède une géométrie simple, comme une ligne électrique, il est relativement facile de prévoir les niveaux de champ électrique et magnétique à son voisinage. En revanche, lorsque la source a une géométrie complexe, comme un moteur électrique, avec ses bobinages et ses parties mobiles, le calcul requiert des logiciels spécifiques, faisant appel à des ordinateurs puissants que seuls des spécialistes peuvent faire fonctionner.



LES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET L'ENVIRONNEMENT

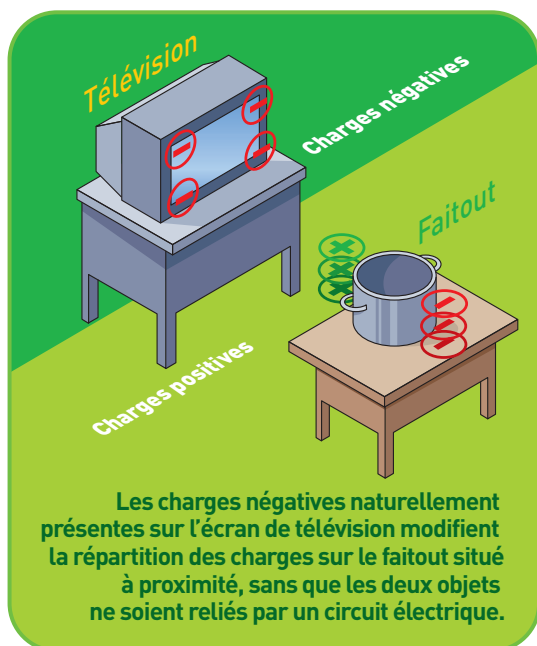
Les champs électromagnétiques (CEM) peuvent agir sur leur environnement en générant localement, dans des éléments conducteurs d'électricité, des tensions et des courants. Ces phénomènes physiques sont connus sous le nom d'induction. Ils se produisent également à l'intérieur du corps humain, car les tissus vivants sont conducteurs d'électricité, en fonction de la nature des organes.

Les phénomènes d'induction

Les champs électriques et magnétiques émis par une source peuvent produire par induction des tensions et des courants sur des structures avoisinantes.

C'est sur ce principe que fonctionne la réception radio. L'onde radioélectrique émise par l'émetteur est captée par l'antenne. Celle-ci transmet alors un signal électrique faible, qui est ensuite amplifié et transformé en un signal électrique capable d'actionner la membrane des hauts parleurs.

Le phénomène d'induction est, en l'occurrence, maîtrisé et optimisé, l'antenne n'étant adaptée qu'à certaines gammes de fréquences radiophoniques. Le phénomène d'induction s'opère de manière différente selon que le champ est électrique ou magnétique.

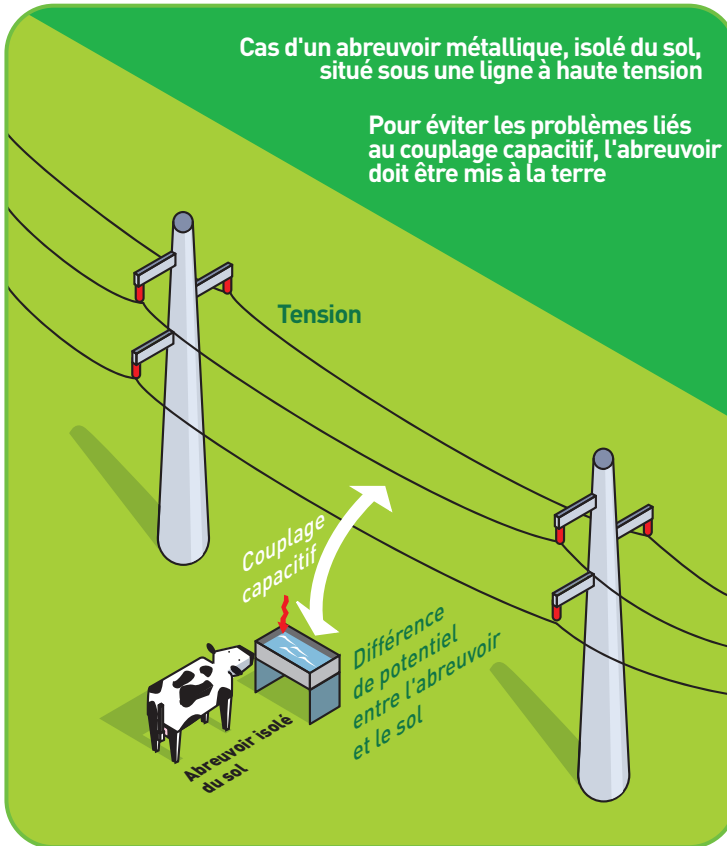


L'INDUCTION ÉLECTRIQUE, OU COMMENT LE CHAMP ÉLECTRIQUE AGIT COMME UNE SOURCE FAIBLE D'ÉNERGIE

Lorsqu'un objet conducteur isolé du sol est soumis à un champ électrique, les charges électriques migrent à sa surface, se répartissant de manière à annuler le champ électrique à l'intérieur de l'objet.

Une tension électrique est alors induite sur les faces opposées de l'objet.

Pour éviter l'apparition de tensions induites, la manière la plus simple et la plus sûre est de relier l'objet à la terre.



Ce phénomène d'induction électrique est mis en évidence par l'expérience du tube fluorescent. Lorsqu'une personne se place sous une ligne à haute tension et tend vers les câbles conducteurs un tube fluorescent, celui-ci s'éclaire très légèrement.

Cette lueur n'est visible que dans l'obscurité. On remarque en outre qu'elle est plus forte au voisinage de la main.

Que se passe-t-il exactement ?

1. La lumière est produite par l'ionisation du gaz basse pression à l'intérieur du tube sous l'effet du champ électrique.
2. Le champ électrique étant déformé par les objets conducteurs, il est plus élevé près de la main qu'à l'autre extrémité du tube.

Ce phénomène n'est pas spécifique aux lignes HTB : il apparaît également quand on place un tel tube à proximité d'un système d'allumage de moteur à essence.



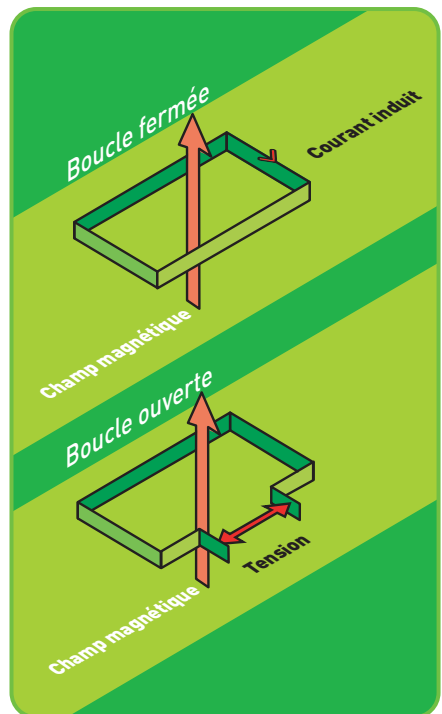
L'INDUCTION MAGNÉTIQUE, CRÉATION DE COURANTS DANS LES OBJETS CONDUCTEURS

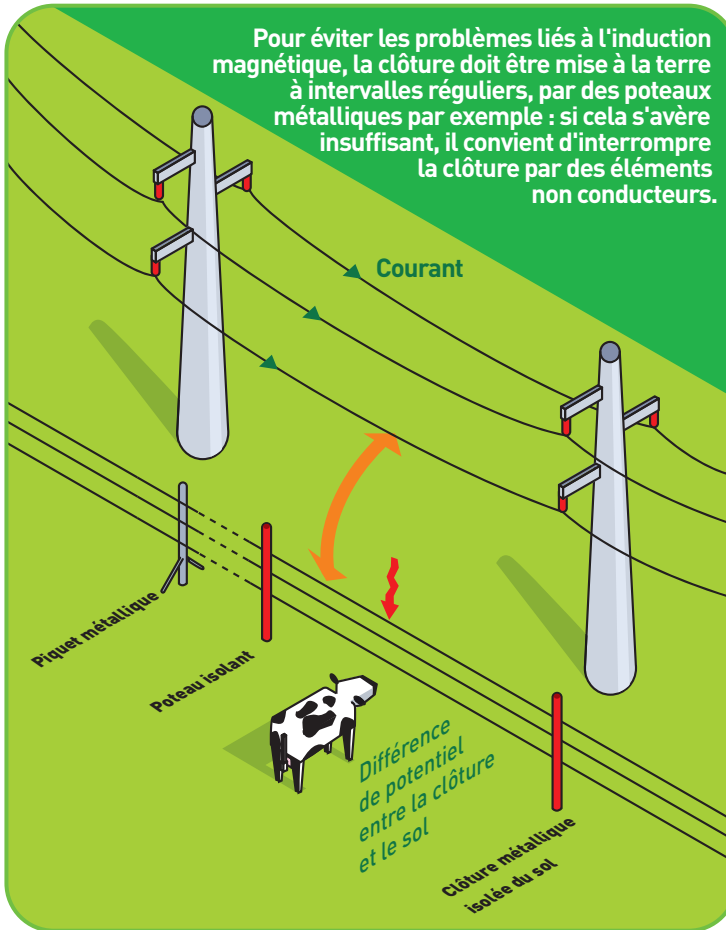
Lorsqu'un objet conducteur est placé dans un champ magnétique alternatif, des tensions induites se développent à l'intérieur.

Ces tensions sont proportionnelles au flux magnétique capté par l'objet, en fonction de sa surface exposée.

Si cet objet constitue un circuit fermé, elles génèrent des courants induits dont l'amplitude dépend de la résistance électrique du circuit. Ces courants vont eux-mêmes produire un champ magnétique qui va s'opposer au champ initiateur.

En très basse fréquence, l'effet du champ électrique dépend peu du fait que l'objet soit bon ou mauvais conducteur. En revanche,





l'induction magnétique ne créera de courants induits significatifs que dans les objets très conducteurs.

Pour réduire le phénomène d'induction magnétique, il convient donc de réduire

la taille des boucles conductrices, soit en ouvrant la boucle par l'insertion d'éléments non conducteurs, soit en réduisant sa taille par la création de plusieurs petites boucles au sein d'une grande.

La perception des CEM à 50 Hz par le corps humain

Les CEM ne sont directement perceptibles par le corps humain que lors de fortes expositions, qui ne s'observent qu'en milieu professionnel ou à l'occasion d'études expérimentales sur des personnes volontaires. Il s'agit d'effets instantanés, avérés, reproductibles, donc reconnus par la communauté scientifique internationale.

CHAMP ÉLECTRIQUE : DES PHÉNOMÈNES DE PERCEPTION BIEN CONNUS

Le corps humain est conducteur d'électricité. Aussi, lorsqu'il est soumis à un champ électrique, les charges électriques vont-elles s'accumuler à sa surface suivant le phénomène d'induction électrique. L'accumulation de ces charges électriques peut se traduire par différents effets :

- des phénomènes de micro-étincelage entre la peau et des objets au contact : en premier lieu les vêtements, mais aussi les lunettes, montres, bijoux, etc. Ces phénomènes sont d'autant plus marqués - et donc d'autant plus perceptibles par l'homme - que ces objets au contact de la peau sont conducteurs d'électricité.
- des vibrations de la pilosité. Une manifestation particulièrement spectaculaire de ce



phénomène est celle des expériences d'électrisation statique, au cours desquelles les personnes voient leurs cheveux se dresser sur leur tête.

Ces caractéristiques rendent le champ électrique plus ou moins perceptible selon les individus. En particulier, les hommes y sont plus sensibles que les femmes, du fait de leur pilosité plus importante, et les animaux bien plus encore que les hommes. Dans le même ordre d'idée, le dos des mains est deux à trois fois plus sensible que la paume. Par ailleurs,

le phénomène varie selon la position du corps par rapport au champ électrique : en levant les bras en l'air, on augmente localement le champ électrique à la surface des bras et des mains. C'est le même phénomène d'effet de pointe qui est utilisé dans les paratonnerres, pour augmenter localement le champ électrique et ainsi attirer la foudre.

Les seuils de perception du champ électrique varient donc d'un individu à l'autre :

- en dessous de 10 kV/m, une infime minorité de personnes perçoit une sensation de « souffle » sur la peau,
- à partir de 12 kV/m, certaines personnes perçoivent des picotements au niveau de la peau,
- à partir de 20 kV/m, plus de 5 % des personnes perçoivent ces picotements, que certaines ressentent comme désagréables.

CHAMP MAGNÉTIQUE : RELATIVE INSENSIBILITÉ DU CORPS HUMAIN

Contrairement au cas du champ électrique, le corps humain n'est pas « sensible » au champ magnétique. Cependant, comme il est conducteur, son exposition à un champ magnétique y induit des courants. Mais ceux-ci sont de faible intensité

et ne sont pas perceptibles pour les valeurs d'exposition usuellement rencontrées.

Seule l'exposition à des champs magnétiques intenses peut amener à une perception immédiate, sachant que, comme pour les champs électriques, le seuil de perception varie considérablement d'une personne à l'autre. Les seuils retenus par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) sont les suivants :

- de 1 à 10 mA/m² (induits par des champs magnétiques supérieurs à 0,5 mT * et jusqu'à 5mT à 50/60 Hz, ou 10-100 mT à 3 Hz), des effets biologiques mineurs ont été rapportés ;
- de 10 à 100 mA/m² (supérieurs à 5 mT et jusqu'à 50 mT à 50/60 Hz ou 100-1000 mT à 3 Hz), il existe des effets bien établis, parmi lesquels des effets sur le système nerveux et la vision. Des cas de réparation facilitée de fractures osseuses ont été rapportés ;
- de 100 à 1000 mA/m² (supérieurs à 50 mT et jusqu'à 500 mT à 50/60 Hz ou 1-10 T à 3 Hz), on observe une stimulation des tissus excitables et des dommages sur la santé sont possibles ;
- au-delà de 1000 mA/m² (supérieurs à 500 mT à 50/60 Hz ou 10 T à 3 Hz), une fibrillation ventriculaire et des extrasystoles, c'est-à-dire des effets aigus, ont été rapportés.

* 1 mT = 1 000 µT = 0,001 T

Les effets sur les équipements électriques

Comment les appareils électriques et électroniques peuvent-ils coexister sans que les champs électriques et magnétiques parfois intenses des uns ne viennent perturber par induction le fonctionnement des autres ?

CHAMPS À TRÈS BASSE FRÉQUENCE 50 HZ : AUCUNE PERTURBATION NOTABLE

D'une manière générale, ces équipements sont insensibles aux champs électriques et magnétiques à très basse fréquence. En effet, ces champs sont très peu énergétiques (les énergies émises à très basse fréquence sont quasiment nulles). De plus, les phénomènes d'induction magnétique sont rendus négligeables par les faibles longueurs de câblage des appareils.

L'induction électrique ne pose aucun problème car les champs électriques sont arrêtés par les parois des bâtiments. Il n'a pas été relevé de perturbation notable d'appareils électriques et électroniques avec des installations électriques intérieures respectant les normes.

Le seul appareil usuel présentant une susceptibilité particulière au champ magnétique basse fréquence est l'écran d'ordinateur à tube cathodique, dont l'affichage peut vibrer, ce qui rend la lecture

fatigante mais n'affecte pas le fonctionnement de l'ordinateur. Les écrans plats à cristaux liquides, qui tendent à le supplanter, y sont quant à eux complètement insensibles.

DES NORMES POUR GARANTIR LA COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

La compatibilité électromagnétique est régie par une directive européenne* et par des normes, qui définissent pour tous les appareils, d'une part un seuil maximum d'émission, de manière à éviter des perturbations insupportables, d'autre part un seuil minimum d'immunité aux perturbations électromagnétiques. Ces seuils sont fixés en fonction de l'environnement dans lequel doit fonctionner l'appareil : soit résidentiel et tertiaire, soit industriel. Au final, il existe donc quatre normes européennes (EN) génériques d'application universelle** :

- **EN 61000-6-1** : norme d'immunité des appareils pour les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère,

* - Directive CEM 89/336/EEC, amendée par les Directives 91/263/EEC, 92/31/EEC et 93/68/EEC.

** - Il existe en outre certains environnements dits « spéciaux », pour lesquels des spécifications particulières d'immunité doivent être respectées.

Cardio-stimulateurs : aucun cas de dysfonctionnement avéré.

Un cardio-stimulateur (ou pacemaker) est composé d'un générateur et de fils qui le relient au cœur pour transmettre l'influx électrique. Il en existe plusieurs catégories : à simple chambre, à double chambre, unipolaire et bipolaire. Actuellement, la plupart fonctionnent « à la demande » : ils envoient une impulsion électrique lorsqu'ils ne détectent pas de contraction cardiaque dans un temps déterminé. La sensibilité de ce type d'appareil est de 2 à 3 millivolts. Lorsqu'un cardio-stimulateur est soumis à un CEM, deux phénomènes sont possibles :

l'inhibition : l'appareil interprète le champ comme provenant d'une contraction cardiaque, **le passage en rythme asynchrone** : il s'agit d'un programme de secours défini par le constructeur au cas où les paramètres programmés par le cardiologue seraient défectueux.

En environnement habituel, le risque de dysfonctionnement est quasiment nul.

Dans l'éventualité la plus défavorable, celle d'un cardio-stimulateur unipolaire avec un seuil de sensibilité réglé à 0,5 millivolt (ce qui n'arrive jamais en pratique), de rares cas de dysfonctionnements transitoires et spontanément réversibles dès l'arrêt de l'exposition ont pu être observés avec des champs magnétiques 50 Hz supérieurs à 50 μ T. Dans la pratique, aucun cas avéré de dysfonctionnement de stimulateur cardiaque au voisinage d'une ligne à haute tension ou d'un poste n'a été rapporté. En revanche, dans un environnement professionnel, où les champs électriques et magnétiques peuvent atteindre des valeurs très élevées, le port d'un cardio-stimulateur doit être considéré avec précaution et requiert l'avis du médecin du travail. Il faut cependant noter que les possibilités actuelles de programmation par voie externe permettent une meilleure adaptation de ces appareils à l'environnement électromagnétique.

- **EN 61000-6-2** : norme d'immunité des appareils pour les environnements industriels,
 - **EN 61000-6-3** : norme d'émission pour les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère,
 - **EN 61000-6-4** : norme d'émission pour les environnements industriels.
- Aucune valeur limite d'émission n'est spécifiée pour les champs électriques et

magnétiques de fréquence inférieure à 30 MHz, dans aucun des deux types d'environnement.

Les ouvrages de transport et de distribution d'électricité sont donc conformes aux normes de compatibilité électromagnétique. En cas de perturbations d'un appareil électrique, il est conseillé de vérifier que cet appareil respecte les normes de compatibilité électromagnétique.

L'effet couronne : un phénomène caractéristique des champs électriques intenses

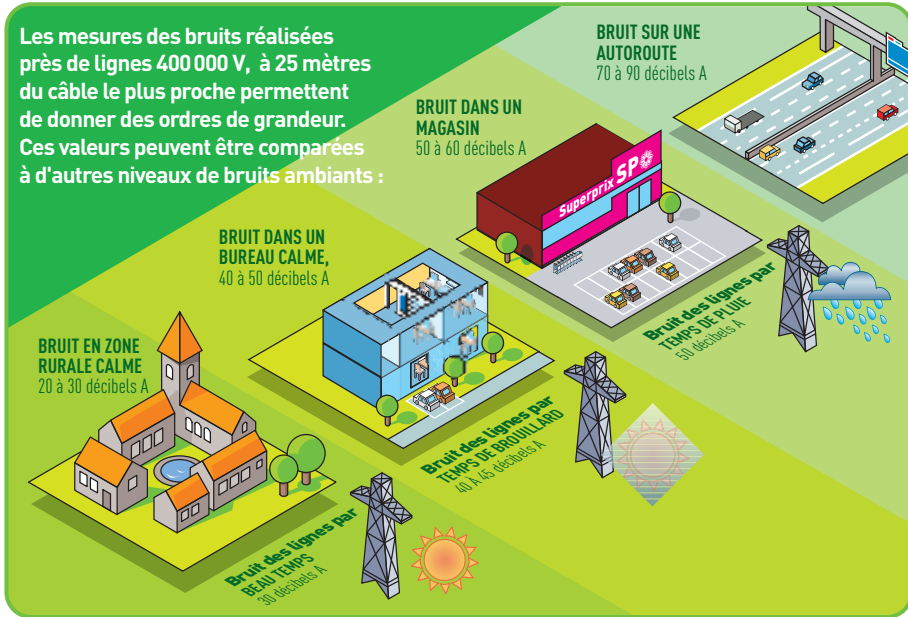
Un champ électrique intense peut provoquer dans l'air un phénomène de micro-arcs électriques. Dans la nature, celui-ci se manifeste sous la forme des feux de Saint-Elme qui apparaissent sur les mâts des bateaux ou sur les piolets des alpinistes, sous l'action du champ électrique statique très intense des nuages orageux. Sur les lignes à haute tension, ce phénomène est appelé « effet couronne » en raison du halo lumineux, observable en laboratoire.

UN PHÉNOMÈNE PROPRE AUX LIGNES DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ À TRÈS HAUTE TENSION

Le phénomène apparaît lorsque le champ électrique local dépasse 2 600 kV/m dans les conditions atmosphériques normales. De telles valeurs ne se rencontrent que sur les conducteurs des lignes à très haute tension, de 225 000 et 400 000 volts en France. Le champ électrique à la surface des câbles dépend donc de la tension, mais aussi de leur géométrie et de leur état : ainsi, toute irrégularité de surface, causée par des poussières, éraflures, brèves végétales ou insectes, se traduit par un renforcement local du champ électrique par effet de pointe. C'est pourquoi un effet couronne local peut apparaître à une tension plus basse en cas de défaut de la ligne électrique (un isolateur défectueux par exemple).

TROIS IMPACTS DE L'EFFET COURONNE SUR L'ENVIRONNEMENT : PERTES D'ÉNERGIE, BRUITS RADIOÉLECTRIQUES, BRUIT ACOUSTIQUE

L'effet couronne entraîne plusieurs types de perturbations. Il entraîne **des pertes d'énergie** dans le transport d'électricité à très haute tension, qui s'ajoutent aux pertes dues à l'échauffement des câbles. Il provoque **des perturbations radioélectriques** qui gênent la réception radiophonique dans la gamme de fréquences allant de 150 kHz à 30 MHz, correspondant aux fréquences des radios Grandes Ondes. Ces perturbations sont insensibles au-delà, notamment dans la gamme de la réception FM (bande des 100 MHz) ou télévisuelle (bande des 400 et 800 MHz).



Connu depuis le développement de la radio dans les années 20, ce phénomène a conduit à l'élaboration de normes internationales qui fixent un *modus vivendi* acceptable à la fois par les exploitants de réseaux électriques et les radiodiffuseurs. Bien évidemment, les ouvrages du réseau français de transport d'électricité respectent ces normes. Cet effet de perturbation radio ne doit pas être confondu avec l'effet d'écran que les lignes peuvent créer localement, comme peut le faire toute grande structure telle qu'un immeuble ou une grue, en constituant un obstacle physique entre l'émetteur et le récepteur.

La troisième manifestation est la plus directement perceptible : il s'agit du bruit acoustique. L'effet couronne est en effet la source du grésillement caractéristique des lignes à très haute tension.

La formation de gouttes d'eau suspendues aux conducteurs accroît sensiblement le champ électrique surfacique et donc l'effet couronne. Le bruit de la pluie tendant à le couvrir, c'est donc par temps de brouillard et dans un environnement calme que ce bruit acoustique est le plus nettement perçu. Toutefois, il est à noter que le brouillard freine la propagation du son et que la gêne diminue donc rapidement quand on s'éloigne de la ligne.



LES DONNÉES BIOLOGIQUES ACTUELLES

La question de l'action éventuelle des champs électromagnétiques (CEM) sur le vivant a fait l'objet de vastes débats et a donné lieu à de nombreuses études scientifiques, tant épidémiologiques sur le terrain qu'expérimentales en laboratoire.

L'émergence du débat : champ électrique ou champ magnétique ?

CHAMP ÉLECTRIQUE : UN CONSENSUS VALIDÉ

Ce sont des chercheurs de l'ancienne Union Soviétique qui, les premiers, ont publié dans les années 1960 des travaux faisant état d'un possible effet des champs électriques sur la santé. Ces publications décrivaient des manifestations de type psychosomatique (maux de tête, baisse de libido, anxiété, troubles du sommeil, etc.) chez les travailleurs des postes d'interconnexion du réseau 400 kV. Ces études n'ont pas convaincu le monde scientifique, en raison de leur méthodologie, et ce d'autant moins que leurs résultats n'ont pu être observés dans les études ultérieures menées dans d'autres pays.

Au fil du temps, le débat sur l'éventuelle nocivité du champ électrique a abouti à un consensus scientifique sur l'absence d'effet durable de l'exposition au champ électrique de très basse fréquence.

CHAMP MAGNÉTIQUE : UN OBJET DE NOMBREUSES ÉTUDES

Concernant les champs magnétiques de très basse fréquence, la question a été posée pour la première fois à l'occasion d'une

étude épidémiologique conduite en 1979 dans la région de Denver (États-Unis). Cette étude observait une plus grande fréquence de cancers, notamment de leucémies, parmi les enfants habitant près d'ouvrages électriques. L'étude comportait certes des défauts méthodologiques, mais, en posant pour la première fois la question d'un risque possible lié à l'exposition au champ magnétique, elle a été pionnière. À ce titre, elle a impulsé de très importants travaux de recherches internationales, qui se poursuivent encore.

UNE DÉMARCHE SCIENTIFIQUE EXEMPLAIRE

Après la publication de cette étude, la communauté scientifique, les compagnies d'électricité et les gouvernements se sont trouvés confrontés à une interrogation nouvelle vis-à-vis du « produit électricité » déjà centenaire et donc réputé bien connu. Une interrogation d'autant plus sérieuse qu'elle concerne la santé et particulièrement celle des enfants. S'y ajoute une dimension émotionnelle supplémentaire liée à la gravité de la maladie, au caractère imperceptible de l'exposition aux champs magnétiques et à l'impossibilité de s'en protéger.

De plus, l'exposition est caractérisée par son omniprésence puisque l'électricité est partout. C'est dire que toutes les composantes d'une dramatisation et d'une possible crise de santé publique sont alors réunies. Des journalistes vont s'emparer du sujet et certains vont même dénoncer un complot des pouvoirs publics et des industriels pour cacher la vérité. La suite va heureusement démontrer qu'il n'en est rien.

Face à ces incertitudes et à ces inquiétudes, industriels et pouvoirs publics ont d'emblée reconnu qu'il pouvait se poser là un problème réel et qu'il fallait se donner tous les moyens pour y répondre au mieux. Quelques principes directeurs ont guidé leur démarche et en ont assuré l'efficacité en évitant de reproduire les erreurs qui avaient conduit sur d'autres sujets à des crises de santé publique :

- la voie scientifique a été privilégiée à travers un véritable effort de recherche internationale coordonnée. En 1992, le Congrès des États-Unis votait même un budget quinquennal de recherche de 65 millions de dollars,
- l'indépendance de cette recherche a été garantie par la publication systématique des résultats scientifiques, la pratique des expertises collectives pluridisciplinaires et régulièrement mises à jour a été développée et encouragée. Leurs conclusions ont fait l'objet d'avis qui ont été diffusés à l'intention du public. Il est à noter que la première expertise collective conduite par l'INSERM en France l'a été, en 1993, sur la question des champs magnétiques de très basse fréquence.

UNE IMPOSSIBILITÉ SCIENTIFIQUE : DÉMONTRER UN NON-EFFET

Si on part de l'hypothèse qu'un effet existe, et que son étude est scientifiquement à notre portée, alors ne se pose plus qu'un problème de moyens à consacrer à la recherche et de temps pour en établir la démonstration.

Mais si l'effet n'existe pas, établir la démonstration scientifique de cette inexistence est impossible. Ainsi, on ne peut démontrer scientifiquement que les phénomènes surnaturels n'ont pas de réalité, ce qui n'empêche pas la communauté scientifique d'être convaincue de leur inexistence. La garantie d'absence d'effet, autrement dit le « risque zéro », est donc scientifiquement impossible à établir.

UNE RECHERCHE NÉCESSAIREMENT MULTIDISCIPLINAIRE

Le débat scientifique est pluridisciplinaire puisqu'il touche à la fois à la physique et la biologie : les tissus vivants sont conducteurs d'électricité et donc sensibles aux phénomènes d'induction.

Les principaux outils d'investigation scientifique tendent à cerner la question

selon deux grands types de démarche :

- l'épidémiologie qui embrasse globalement le problème en recherchant des corrélations entre l'exposition et l'apparition de maladies,
- les expérimentations biologiques sur l'animal (étude *in vivo*) ou sur des cultures de cellules (étude *in vitro*) qui cherchent à identifier un effet, à en confirmer l'existence et à identifier un mécanisme d'action.

L'épidémiologie : l'observation des populations

La question initiale ayant été posée par une étude épidémiologique, c'est tout naturellement que de nouvelles études de ce type ont été réalisées prenant en compte :

- les expositions professionnelles qui sont les plus importantes et les plus durables. C'est dans ce contexte qu'a été conduite l'étude franco – canadienne qui a regroupé plus de 200 000 travailleurs d'EDF, d'Hydro-Québec et d'Ontario – Hydro et publiée en 1994,
- les expositions résidentielles chez les adultes,
- les expositions résidentielles chez les enfants.

À la suite de la première étude épidémiologique, c'est d'abord le risque de cancer qui

a été étudié, et notamment de leucémie et de tumeur cérébrale chez les enfants.

D'autres risques ont également été étudiés tels que les maladies cardio-vasculaires, les dépressions, les suicides, et les maladies neurodégénératives.

L'INTÉRÊT DES ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES

Littéralement science de l'étude des épidémies, l'épidémiologie travaille à établir des relations

entre, d'une part, l'apparition et la fréquence de maladies et, d'autre part, des facteurs d'environnement et des modes de vie. C'est une science d'observation dont l'intérêt majeur est d'être la seule à pouvoir travailler directement sur une population humaine dans ses conditions réelles d'existence.

À partir des données recueillies, l'épidémiologie établit des associations statistiques qui sont interprétées en tenant compte des autres facteurs environnementaux, parfois difficiles à séparer du facteur étudié. Les chercheurs s'attachent tout particulièrement à évaluer le plus précisément possible l'historique des expositions. L'interprétation de ces études en faveur d'une association ou d'une relation causale suit des critères proposés par Bradford Hill en 1965*. La méthodologie et l'interprétation des études épidémiologiques n'ont cessé de s'améliorer au fil du temps.

LES ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES SUR L'EXPOSITION DES ENFANTS AU CHAMP MAGNÉTIQUE

Après la première étude épidémiologique qui, malgré ses limites méthodologiques, avait eu l'intérêt de poser la question, une vingtaine d'études ont été réalisées en essayant d'améliorer la méthodologie, en particulier sur le point critique que constitue l'estimation de l'exposition.

On est ainsi passé d'études dans lesquelles l'exposition au champ magnétique était estimée (par exemple en fonction des réseaux électriques avoisinants), à des mesures directes de l'exposition au moyen d'appareils enregistreurs portables.

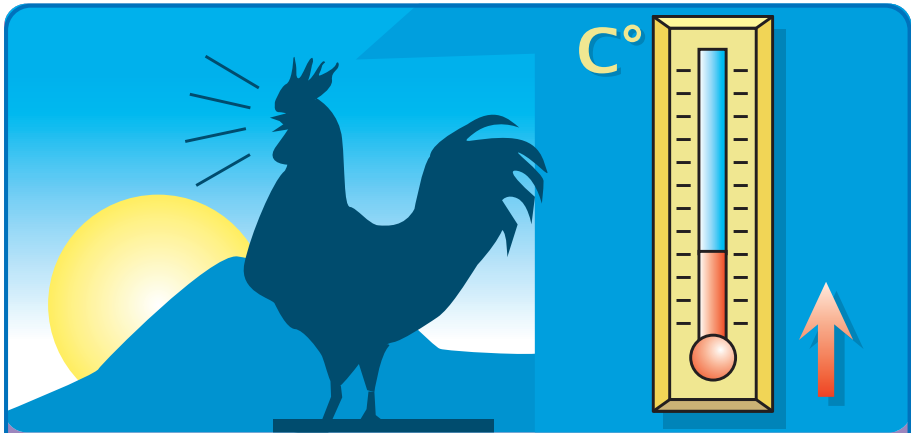
La méthodologie des études a suivi trois grandes étapes.

Jusqu'aux années 1990, les études qui évaluent l'exposition de manière indirecte à partir, par exemple, de la distance par rapport aux ouvrages électriques, observent une association avec la leucémie. Celles qui mesurent le champ magnétique ne la retrouvent pas. À ce titre, l'étude la plus représentative de cette période est celle de Feychting & Ahlbom (1993). L'Académie des Sciences des États-Unis, dans son rapport de 1997, en conclut que... « le facteur responsable de cette association statistique n'a pas été identifié. Aucun résultat scientifique ne relie les mesures contemporaines de champs magnétiques avec la leucémie infantile ».

Dans la deuxième période, les études vont donc s'attacher à affiner la mesure directe de l'exposition.

De plus, elles portent sur des effectifs beaucoup plus importants. En dépit de ces améliorations, la plupart de ces études ne montrent pas que le risque de leucémie puisse être associé ni avec la proximité des lignes ni avec le champ magnétique mesuré.

* - Hill AB. *The environment and disease : association or causation ? Proc Royal Soc Med* 1965



DIFFÉRENCE ENTRE ASSOCIATION ET CAUSE À EFFET : LE COMPLEXE DE CHANTECLERC

Tous les matins à l'aube, le coq chante et petit à petit la température

ambiante s'élève. Il y a une association forte entre les deux phénomènes... mais évidemment pas de relation de cause à effet. En l'occurrence, l'association observée s'explique par un troisième facteur (le lever du soleil) qui constitue la vraie relation de cause à effet : le lever du soleil fait s'élever la température.

L'étude britannique UKCCS (1999-2000) s'intègre dans cette démarche. Elle est la plus importante par la taille de la population étudiée : elle porte sur 2226 cancers chez l'enfant, dont 1073 leucémies (tous les cas diagnostiqués en Angleterre, au Pays de Galles et en Ecosse pendant 5 ans). Ses résultats ne révèlent aucun excès de risque de cancer associé au champ magnétique mesuré ou à la distance entre la résidence et les ouvrages électriques (lignes et postes).

Une troisième période s'ouvre avec les analyses conjointes.

Celles-ci visent à accroître la puissance statistique : en regroupant différentes études et donc l'effectif de la population observée. Ces dernières doivent être comparables, fondées sur des méthodologies proches. Ainsi le travail publié en 2000 par A. Ahlbom, rassemble neuf études épidémiologiques. Aucun excès de risque n'y est observé pour une exposition moyenne sur 24h inférieure à 0,4 μ T, c'est-à-dire pour plus

de 99 % de la population. Au-delà, elle observe un risque relatif de leucémie de 2* . Les auteurs, prudents dans leurs conclusions, évoquent de possibles biais, tels que le choix de la population étudiée, ou des facteurs environnementaux non pris en compte et ne concluent pas à une relation causale. Plus récemment une étude britannique a retrouvé une association entre la survenue de leucémies et la distance entre les lignes de transport et les résidences des enfants. Cette association persiste jusqu'à 600 mètres des lignes. De l'avis même des auteurs « ...il est surprenant de retrouver cet effet aussi loin des lignes... à cette distance les champs calculés dus aux lignes sont inférieurs à 0,1 μ T et souvent à 0,01 μ T, ce qui est encore moins que le niveau moyen de champ magnétique dans le domicile provenant d'autres sources que les lignes ».

LES ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES CHEZ LES ADULTES

Chez l'adulte en exposition résidentielle, aucune association avec le risque de cancer n'a été démontrée.

Les études en exposition professionnelle ont connu de notables progrès. Celles qui avaient été menées dans les années 1980 et le début

des années 1990 avaient montré une possible augmentation du risque de leucémie et de tumeur du cerveau chez les travailleurs occupant certains types d'emplois considérés comme exposés. Cependant, l'interprétation de ces dernières études était rendue difficile du fait de leurs limites méthodologiques, notamment le manque de mesures appropriées de l'exposition et l'absence de prise en compte d'autres facteurs de risque. Dans les années 1990, plusieurs grandes études ciblées sur le risque de leucémie et les tumeurs du cerveau ont amélioré l'évaluation individuelle de l'exposition professionnelle et pris en compte les facteurs professionnels reconnus comme possiblement cancérigènes. Leurs principales améliorations :

la mesure systématique de l'exposition sur le lieu de travail, la description de l'historique de carrière et l'utilisation de tableaux de correspondance entre postes de travail et expositions. Certaines de ces études ont montré une augmentation du risque de cancer pour les cas d'exposition moyenne ou haute au champ magnétique, mais sans établir de relation dose-réponse, ni identifier de métier à risque.

Étape importante, trois grandes compagnies d'électricité, EDF, Ontario - Hydro et Hydro - Québec, se sont associées pour entreprendre sur leur personnel, et avec sa collaboration, une étude épidémiologique de grande ampleur, conduite par des chercheurs

* - Le risque relatif permet de comparer la fréquence de la maladie étudiée entre une population exposée et une population non exposée. Ainsi, en l'absence d'augmentation du risque, le risque relatif est égal à 1.

indépendants, l'INSERM en France, l'Université Mc Gill de Montréal et l'Université de Toronto au Canada. Une analyse conjointe a été réalisée à partir des trois plus importantes études en exposition professionnelle (Sahl 1993, Thériault 1994 : étude franco-canadienne pour la partie EDF et Hydro-Québec, Savitz 1995) par Kheifets et publiée en 1999. Cette analyse a permis de regrouper près de 400 000 travailleurs des compagnies d'électricité, suivis tout au long de leur carrière professionnelle et même au-delà pour une grande partie d'entre eux. Les conclusions sont que « les inconsistances apparentes entre les résultats de ces différentes études peuvent s'expliquer par

des variations statistiques [...]. Sur la base de l'analyse combinée des données de ces études, le risque relatif était de 1,12 pour les cancers du cerveau et de 1,09 pour les leucémies ».

Des résultats qui ne sont donc pas statistiquement significatifs.

D'autres risques ont-ils été étudiés ?

La possibilité que l'exposition aux CEM puisse être responsable d'une augmentation du nombre de maladies cardio-vasculaires, de dépressions, ou de suicides a fait l'objet d'études épidémiologiques portant sur de larges effectifs sans montrer d'augmentation du risque.

1994 : PUBLICATION DE L'ÉTUDE FRANCO - CANADIENNE EDF, ONTARIO - HYDRO ET HYDRO - QUÉBEC

L'importance de la population étudiée (224 000 salariés), l'évaluation directe de l'exposition (2000 mesures), la prise en compte de l'exposition aux cancérogènes professionnels ont conféré à cette étude une dimension exceptionnelle. De l'avis même des auteurs de l'étude, « en dépit

des efforts réalisés pour assurer à l'étude une puissance statistique adéquate, la preuve définitive d'une association entre l'exposition au champ magnétique et la survenue d'une leucémie ou d'une tumeur cérébrale n'a pu être apportée ». Ils ne considèrent pas justifié, sur la base des résultats de cette étude, de proposer la mise en œuvre d'actions de prévention vis-à-vis des champs électriques et magnétiques pour les employés des compagnies d'électricité.

L'ÉLECTROSENSIBILITÉ

Au même titre que d'autres manifestations d'hypersensibilité, celle relative à l'électricité fait partie des syndromes imputés aux expositions environnementales à des niveaux habituellement considérés comme inoffensifs, car très inférieurs aux normes les plus sévères.

Décrit initialement en Norvège, dans les années 1980, chez des utilisatrices d'écrans d'ordinateurs, il s'est répandu en Scandinavie mettant en cause la proximité d'appareils électriques les plus divers, mais sans connaître une notable diffusion dans les autres pays européens pourtant soumis aux mêmes conditions d'exposition.

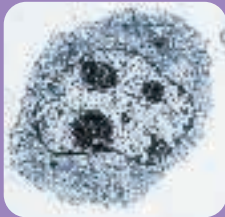
Les symptômes décrits varient d'un individu à l'autre : principalement dermatologiques, ils sont aussi respiratoires, cardio-vasculaires, etc. Ils présentent la particularité de ne pas être associés à des signes objectifs ou à des anomalies dûment répliquées en laboratoire. Dans les études réalisées en « double aveugle », les patients « électrosensibles » ont été incapables de percevoir s'il y avait ou non émission d'un champ magnétique ou même si l'appareil incriminé était encore sous tension. Ce syndrome n'est donc pas scientifiquement établi à ce jour, ce qui ne doit pas conduire à méconnaître les symptômes présentés et justifie une prise en charge adaptée.

Les études de laboratoire

Les études de laboratoire offrent l'avantage de concentrer la recherche sur le seul agent physique étudié, en contrôlant les autres facteurs environnementaux. Elles sont donc complémentaires des études épidémiologiques, dont elles peuvent indirectement confirmer les résultats en précisant les mécanismes et la cause d'une association statistique observée. Elles ont notamment porté sur la cancérogenèse et le risque de malformations.

UNE MÉTHODOLOGIE EXIGEANTE

Deux grands types d'études de laboratoire sont conduits.



Cellule souche
hématopoïétique
(du système sanguin).

Les expérimentations *in vitro* portent sur des modèles biologiques simplifiés (cellules, voire constituants cellulaires) et cherchent à identifier le détail des mécanismes d'action. Cette méthodologie ne prend pas en compte les mécanismes de régulation qui interviennent dans tout système biologique complexe. Avant de conclure à la réalité d'un effet, l'expérience doit être répliquée avec des résultats identiques dans des laboratoires différents. Aux États-Unis

À NE PAS CONFONDRE : EFFETS BIOLOGIQUES ET EFFETS SANITAIRES

L'Organisation Mondiale de la Santé établit la distinction suivante :

« On appelle effets biologiques les changements mesurables survenant après un stimulus donné ou un changement dans l'environnement. Ces effets ne sont pas nécessairement néfastes pour la santé. Ainsi, écouter de la musique ou lire ce document produit des effets biologiques, mais ni l'une ni l'autre de ces activités ne va avoir un effet sur la santé. Le corps possède naturellement des mécanismes pour compenser ou s'ajuster à tous types de changement. Cependant, un effet biologique peut devenir nocif si le corps est soumis à un stress (au sens modification biologique) suffisant pendant de longues périodes, et qu'il lui devient impossible de compenser ».

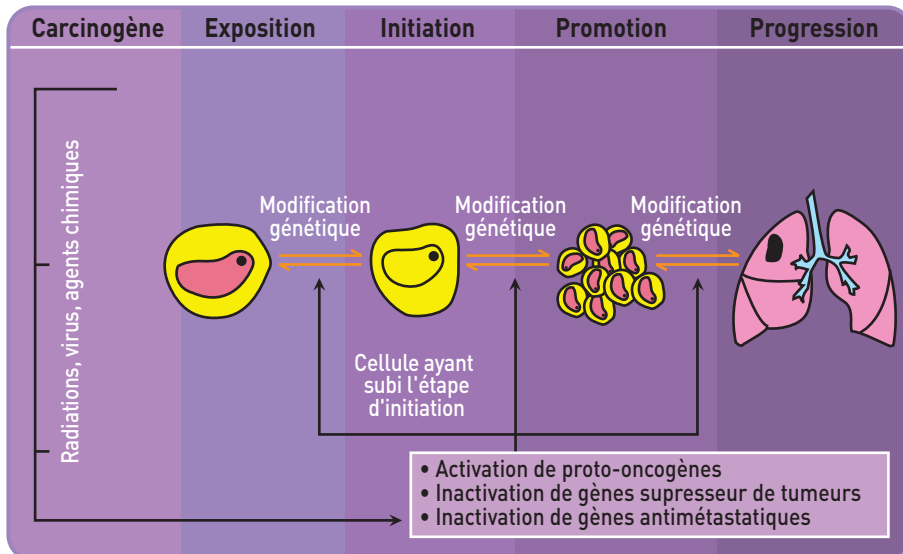
un programme systématique de répllication (the EMF-RAPID* program) avait d'ailleurs été engagé avec des résultats généralement négatifs.

Les expérimentations in vivo, sur animaux de laboratoire, recherchent quant à elles des mécanismes d'effet sur la santé de l'animal. On sait toutefois que l'extrapolation à l'homme demande certaines précautions.

LES EXPÉRIMENTATIONS IN VITRO : DES RÉSULTATS RASSURANTS

Les champs de 50 Hz à 60 Hz, à la différence des rayonnements ionisants ne transfèrent pas aux cellules une énergie suffisante pour générer un effet mutagène. Aucune étude in vitro répliquée n'a montré d'altération

Les mécanismes de la cancérogenèse sont complexes et pour certains encore mal connus, mais on sait qu'ils suivent deux étapes clés : un stade d'initiation où l'ADN des cellules est altéré et un stade de promotion où les cellules cancéreuses se multiplient. Les études expérimentales sur les effets des CEM ont porté sur ces deux étapes.



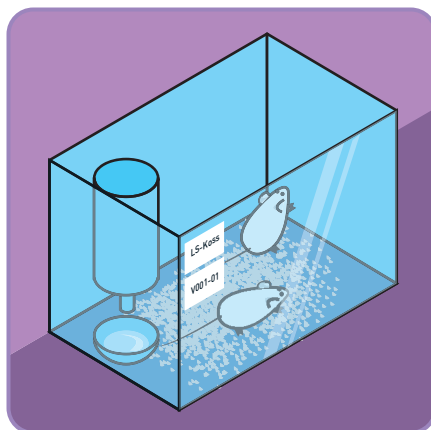
* - EMF-Rapid Program : Electric and magnetic field Research And Public Information Dissemination Program.

de l'ADN, ni de modification des mécanismes de réparation associés, même pour des valeurs de champs inhabituellement élevées. Les études expérimentales sur les cellules ont donc surtout porté sur l'étape de promotion des tumeurs, en recherchant un effet des CEM sur la croissance cellulaire ou sur le système immunitaire. D'autres études, fondées sur des hypothèses « électromagnétiques », ont recherché d'éventuels effets sur des éléments chargés électriquement (ions, radicaux libres) ou sur des cellules contenant des molécules supposées sensibles aux champs magnétiques comme les cristaux de magnétite. Ces travaux ne montrent pas de relation entre l'exposition aux CEM et la survenue ou le développement de tumeurs. Les rares études qui ont montré des effets, généralement avec des valeurs de CEM inhabituellement hautes, n'ont pu être reproduites.

LES ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR LES ANIMAUX DE LABORATOIRE : AUCUN EFFET CANCÉROGÈNE

Comme les études *in vitro*, les études animales ont recherché la possibilité d'un effet initiateur ou promoteur. On a étudié aussi un effet co-promoteur, c'est-à-dire un hypothétique effet

aggravant des CEM en cas d'exposition associée à des cancérogènes avérés. Cinq études ont porté sur l'apparition de cancer chez des milliers de rongeurs exposés pendant leur vie entière, sans montrer d'induction de tumeur. Aucun effet initiateur n'a donc été observé. Les expérimentations sur l'effet promoteur ou co-promoteur concernent des animaux sur lesquels des cancers sont provoqués par un cancérogène, tel que les rayonnements ionisants ou des substances chimiques. Les animaux sont ensuite séparés en plusieurs lots et exposés à différents niveaux de CEM. Les études ont porté sur le développement de tumeurs de la peau, du foie, du système nerveux central et de la mamelle, ainsi que de leucémies et de lymphomes, sans résultat concluant. Aucun effet promoteur ou co-promoteur n'est avéré.



LES ÉTUDES SUR LES ANIMAUX D'ÉLEVAGE : AUCUN POTENTIEL NOCIF

De nombreuses études ont été menées dans plusieurs pays sur les effets des CEM sur des animaux d'élevage : vaches, porcs, chevaux, ainsi que sur les chiens, et les abeilles. Elles ont porté à la fois sur les effets comportementaux et sur les productions animales (viande et lait notamment). Aucun résultat ne

montre un effet sur la santé des animaux. La « Dépêche vétérinaire » qui a publié une synthèse des travaux en 1993 conclut : « les études de santé animale, quelquefois réalisées à très grande échelle, n'ont pas révélé de potentiel nocif, ce qui rejoint les données obtenues sur l'animal d'expérience ». Cette conclusion rejoint celle du rapport Blattin-Bennetière « Influence sur les élevages des champs électromagnétiques induits par les lignes



Les recherches les plus poussées sur l'influence des CEM sur les animaux d'élevage sont celles que mène depuis 1987 Hydro-Québec en collaboration avec l'Union des producteurs agricoles québécois : des vaches laitières sont exposées en permanence à des champs électriques et magnétiques de 10 kV/m et 30 μ T, ce qui correspond aux conditions maximales d'exposition

sous les lignes 735 000 V québécoises. De faibles différences (par exemple sur le taux de matière grasse du lait) ont été observées entre les animaux exposés et les témoins. Elles restent dans tous les cas à l'intérieur des variations normales de la physiologie des animaux. Aucune différence n'a été notée sur la qualité du lait produit, ni sur l'état de santé des animaux.

électriques à haute tension » remis en 1998 au ministère de l'Agriculture et de la Pêche : « l'effet direct des CEM, par induction de courants dans l'organisme des animaux d'élevage, semble négligeable par rapport aux autres facteurs susceptibles de perturber le fonctionnement de l'atelier d'élevage ».

Pas d'effet sur la reproduction

Des générations entières de rongeurs ont été élevées dans des champs électromagnétiques intenses pour rechercher un risque accru de malformations foetales. Ces expérimentations n'ont montré ni anomalie de la fertilité, ni augmentation des malformations.



Épiphysse, ou glande pinéale, siège de la sécrétion de la mélatonine.

LA RECHERCHE D'AUTRES EFFETS BIOLOGIQUES

Des études ont porté sur le cycle journalier de sécrétion de la mélatonine chez l'animal et chez l'homme. Si chez le rongeur des perturbations variables ont été observées, aucun effet significatif n'a été avéré sur l'homme ni sur l'animal d'élevage. Les effets comportementaux ont été étudiés. On a observé, dans quelques cas, des variations faibles, réversibles et sans conséquences de l'électro-encéphalogramme, de l'électrophysiologie du sommeil et du cœur.

Les expertises collectives : un élément essentiel de l'évaluation des risques

L'une des originalités et des forces de la gestion du dossier des CEM a été le recours systématique aux expertises collectives. Comme l'affirme Philippe KOURILSKY*, « l'expertise est une des clés de voûte de la précaution comme de la prévention ».

Ces expertises pluridisciplinaires, organisées à l'initiative des agences gouvernementales ou des compagnies d'électricité, ont été régulièrement réévaluées pour tenir compte de l'évolution des connaissances. Elles ont ainsi assuré une complète visibilité des données sur le sujet au fil du temps.

En 20 ans, ce ne sont pas moins d'une centaine d'expertises collectives qui ont été rédigées avec, dans leur quasi-totalité, des conclusions rassurantes.

Les plus récentes sont celles de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, à Genève), du National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS, aux États-Unis), du National Radiological Protection Board (NRPB, en Grande-Bretagne), de l'IARC et de l'ICNIRP.

L'OMS

L'OMS a rédigé en septembre 1999 une brochure, dont les conclusions sont sans ambiguïté : «[...] malgré les efforts de recherche intense, il n'existe pas de preuves

selon lesquelles l'exposition aux CEM dans les limites recommandées présente un risque pour la santé ». Le rapport ajoute qu'« aucune des évaluations de groupes d'experts, ou qu'aucun gouvernement ou instance consultative sur la santé nationale ou internationale n'ait indiqué que les CEM provenant de lignes à haute tension [...] ne provoquent le cancer ». Une mise à jour est régulièrement assurée par l'OMS sur son site (www.who.int/peh-emf).

En octobre 2004, l'OMS a soumis à la consultation publique son projet de « cadre de précaution » dans lequel il est précisé qu'une limite autour de 0,4 μT n'est pas justifiée car les effets sanitaires à ce niveau ne sont pas établis.

LE NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCE

Le NIEHS (National Institute of Environmental Health Science), organisme de recherche américain, a publié en mai 1999 sa position

* - Ph Kourilsky, professeur au Collège de France, et G Viney : « rapport au Premier Ministre sur le principe de précaution », 15 octobre 1999.

détaillée sur le sujet. Son rapport prend en compte les recherches expérimentales menées au sein de l'Institut (le programme EMF-RAPID lancé en 1992), ainsi que l'ensemble des publications, dont les études épidémiologiques. Sa conclusion : « la probabilité que l'exposition aux CEM constitue un véritable risque pour la santé est actuellement réduite ».

LE NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD

En 2001, le NRPB (National Radiological Protection Board) a publié sa troisième expertise collective sur les CEM et le risque de cancer. Les auteurs concluent que « les expériences de laboratoire n'apportent pas de preuve valable que les CEM très basse fréquence soient capables de générer le cancer ; les études épidémiologiques humaines ne suggèrent pas non plus qu'ils causent le cancer en général. Cependant, il y a des données en faveur d'une augmentation

faible du risque de leucémie chez l'enfant pour des expositions prolongées aux niveaux les plus élevés de champs magnétiques ». En 2004, le NRPB a publié sa quatrième expertise sur le sujet. Ses conclusions sont que « actuellement, les résultats de ces études sur les CEM et la santé [...] sont insuffisants [...] pour quantifier des limites d'exposition appropriées. Cette conclusion est en accord avec la façon dont d'autres organismes, tels que l'ICNIRP (1998), ont développé leurs recommandations d'exposition aux CEM ».

LE CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHES SUR LE CANCER

Le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer, ou IARC en anglais), instance internationale sous l'égide de l'OMS, évalue régulièrement le potentiel cancérigène d'agents chimiques ou physiques en les classant dans une grille selon quatre catégories.

LE CLASSEMENT DU CIRC

- 1- Cancérigène démontré : une centaine de substances dont l'amiante, le tabac, l'arsenic ;
- 2-A- Cancérigène probable : quelque 70 substances dont les UV, les fumées d'échappements de moteurs diesel ;

- 2-B- Cancérigène possible : près de 250 substances dont le café, le nickel, le plomb, les progestatifs ;
- 3- Pas de données suffisantes pour conclure : près de 500 substances dont le dioxyde de soufre, les fibres acryliques, le thé ;
- 4- Probablement non cancérigène : une seule substance, le caprolactame

En 2001, le CIRC a conduit une expertise sur l'effet cancérigène éventuel des CEM statiques et très basse fréquence (donc 50 Hz à 60 Hz). Ses conclusions :

- les études menées sur les animaux en laboratoire ne montrent pas d'effet sur l'apparition et le développement des cancers non plus que sur la reproduction (malformation, avortement) ;
- aucun risque pour les adultes en exposition résidentielle ou professionnelle, ni pour les enfants exposés à moins de 0,4 μ T en moyenne ou à proximité des lignes de transport de l'électricité, n'a été établi par les études épidémiologiques ;
- certaines études épidémiologiques ont montré une association statistique entre l'exposition moyenne aux CEM supérieurs à 0,4 μ T et une augmentation du risque de leucémie pour l'enfant.

Le classement des CEM basse fréquence en catégorie 2 B concerne le risque de leucémie chez les enfants pour des expositions supérieures ou égales à 0,4 μ T en moyenne sur 24h.

Ce classement résulte des résultats épidémiologiques limités et de l'absence de données suffisantes à partir des études chez l'animal.

Toutes les autres situations d'exposition aux CEM très basse fréquence sont classées dans la troisième catégorie.

L'INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION

En 2003, l'ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection) a publié une mise à jour de son Livre Bleu sur les conséquences sur la santé humaine des expositions aux champs électriques et magnétiques de 0 à 100 kHz.

Ses conclusions sont que

« Un large corpus de données de grande qualité existe, avec des mesures de l'exposition, une bonne méthodologie, des études de taille suffisante pour la leucémie et les tumeurs cérébrales chez l'enfant et pour l'exposition professionnelle en lien avec la leucémie et les tumeurs cérébrales chez l'adulte. Parmi tous les risques évalués dans les études épidémiologiques sur les CEM, la leucémie de l'enfant en lien avec une exposition postnatale supérieure à 0,4 μ T est celui pour lequel il y a le plus de preuves en faveur d'une association. [...] Il est peu vraisemblable que cela soit dû au hasard, mais cela peut être en partie dû à des biais. Ces chiffres sont difficiles à interpréter en l'absence de mécanisme connu ou de résultats expérimentaux reproductibles ».

LE CONSEIL SUPÉRIEUR D'HYGIÈNE PUBLIQUE DE FRANCE

En mars 2005, le CSHPF* a publié un avis relatif aux champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence, dont le texte intégral figure dans l'encadré ci-contre.

CONSEIL SUPÉRIEUR D'HYGIÈNE PUBLIQUE DE FRANCE - SECTION MILIEUX DE VIE - SÉANCE DU 3 MARS 2005

Avis relatif aux champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence

Vu la recommandation 1999/519/CE du Conseil de l'Union européenne du 12 juillet 1999 relative à l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) ;

Vu l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France en date du 4 avril 1996 relatif aux champs électriques et/ou magnétiques ;

Vu le rapport « Champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence et santé » rédigé en 2004 par un groupe de travail du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France ;

Considérant que le Centre International de Recherche sur le Cancer a classé les champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence comme cancérigènes possibles pour l'homme (groupe 2B), sur la base des éléments suivants :

- il y a des indications limitées issues de l'épidémiologie sur une relation possible entre les expositions à des champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence et la leucémie de l'enfant ;
- aucune explication scientifique n'a été établie pour l'association que l'on observe entre l'élévation du risque de leucémie chez l'enfant et l'exposition aux champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence ;
- aucune association n'a été mise en évidence entre les expositions des enfants aux champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence et le risque de tumeur cérébrale ou de tout autre type de tumeur solide ;
- aucune association n'a été mise en évidence entre les expositions environnementales ou professionnelles d'adultes aux champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence et l'augmentation du risque de cancer, quel qu'en soit le type ;
- il n'y a pas de preuves de la cancérogénicité ou de la co-cancérogénicité des champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence chez l'animal ;

* Organisme de conseil de la Direction Générale de la Santé du ministère de la Santé et des Solidarités.

Considérant la diversité des situations d'exposition des populations et la méconnaissance globale des expositions aux champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence en France ; le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France préconise, à l'instar de l'Organisation Mondiale de la Santé, une approche de précaution et recommande :

- de donner un cadre réglementaire pour les limites d'exposition du public aux champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence par référence à la recommandation européenne de juillet 1999 (0-300 GHz) ;
- de réaliser une estimation et une caractérisation des expositions de la population française aux champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence, afin de préciser :

- les niveaux d'exposition ;
- les types de sources d'exposition et leur importance relative ;
- l'influence du type de résidence sur les niveaux d'exposition ;
- d'encourager, notamment dans le cadre de programmes nationaux et européens, la mise en œuvre coordonnée d'études expérimentales visant, en particulier :
 - à déterminer le mécanisme des effets biologiques potentiels, en privilégiant l'utilisation de modèles animaux de leucémie,
 - à étudier le rôle des facteurs génétiques et de l'intermittence de l'exposition dans la réponse biologique ;
- de mettre à disposition de la population l'information relative aux champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence.

Une vision claire : pas de risque de santé publique

La crise de santé publique que l'on pouvait redouter au début des années 80 n'est pas survenue.

Grâce à l'effort combiné de la communauté scientifique internationale, des agences gouvernementales et des compagnies d'électricité, la question posée par les premières études épidémiologiques a été prise en compte de manière scientifique et transparente. Les réponses apportées ont réduit notablement les incertitudes qui prévalaient et permis d'évaluer le plus précisément possible les risques éventuels, sans sacrifier ni à la prudence ni au sens de la responsabilité.

À la suite des conclusions des expertises collectives, particulièrement précieuses pour faire régulièrement le point en toute clarté sur toutes les données disponibles, il est désormais acquis que la grande majorité des expositions résidentielles habituelles, qu'elles concernent les enfants ou les adultes, dont les femmes enceintes, ne comportent pas de risque sanitaire. Il en est de même des expositions professionnelles.

Quand les expositions résidentielles dépassent une valeur moyenne de 0,4 μT sur 24 h, ce qui est très rare en Europe, il persiste un questionnement sur le risque pour les enfants.

Les études épidémiologiques ne disposent plus en effet, à ces niveaux d'expositions peu fréquents, d'effectifs suffisants.

En outre, les résultats négatifs des recherches expérimentales validées et répliquées, chez l'animal et sur les systèmes cellulaires, et l'absence de mécanisme plausible conduisent à douter de la réalité d'un lien de cause à effet.

Des études ciblées sur les populations les plus exposées, à condition qu'elles parviennent à réunir des effectifs suffisants, qu'elles affinent l'évaluation des expositions dans leurs diverses composantes environnementales et qu'elles évitent les facteurs de biais, pourront peut-être réduire la part d'incertitude qui persiste.



LE CADRE RÉGLEMENTAIRE

La protection des personnes vis-à-vis des champs électriques et magnétiques (CEM) est encadrée par trois types de textes très complémentaires. Tout d'abord, les recommandations sanitaires des comités d'experts, éclairent les décisions des autorités nationales et internationales. Celles-ci établissent les textes réglementaires.

Enfin, les normes fournissent les outils (méthodes et protocoles de mesure notamment) pour appliquer ces textes.

L'avis et les recommandations des comités d'experts : un poids considérable

À plusieurs reprises, des organismes internationaux et nationaux se sont penchés sur la question d'effets possibles des CEM à très basse fréquence sur la santé. Leurs conclusions ont un poids considérable, car elles expriment l'analyse de groupes d'experts reconnus et non l'opinion ou le sentiment d'individus isolés. De nombreux organismes scientifiques ont aussi étudié la question et sont arrivés à des conclusions similaires.

LE CONSENSUS ISSU DE L'OMS

Dès 1987, se fondant sur des études scientifiques, l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) a établi une échelle classant par ordre d'importance les effets des courants induits par les CEM sur le corps humain. Elle a ainsi retenu la valeur de 100 mA/m² comme seuil à partir

duquel des effets neurologiques (mineurs et réversibles) peuvent être constatés. Adoptant un facteur de sécurité de 10, elle a fixé à 10 mA/m² la limite fondamentale d'impact biologique des CEM à très basse fréquence. Cette valeur a été retenue par l'ensemble des comités d'experts internationaux et fait donc aujourd'hui l'objet d'un consensus.

OMS : TABLEAU DES EFFETS DU COURANT INDUIT

1 – 10 mA/m ²	Effet mineurs aléatoires et non reproductibles
10 – 100 mA/m ²	Effets mineurs réversibles au niveau du système visuel et nerveux
100 – 1000 mA/m ²	Effets sur les tissus excitables, effets possibles sur la santé
> 1000 mA/m ²	Risque de fibrillation ventriculaire

L'OMS s'est donnée deux missions : d'une part harmoniser les limites d'exposition dans les différents pays du monde ; d'autre part, conduire une expertise à paraître en 2005, concernant les effets des CEM sur le vivant.

L'ICNIRP : DES SPÉCIALISTES MONDIAUX FAISANT AUTORITÉ SUR LES CEM

L'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) est un

comité d'experts, indépendant de l'industrie, affilié à l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et composé de médecins, de physiciens, de biologistes et d'épidémiologistes spécialistes des CEM. Se fondant sur un examen approfondi des publications scientifiques existantes sur le sujet, il a régulièrement publié depuis 1998 des recommandations concernant l'exposition humaine sur l'ensemble du spectre électromagnétique des rayonnements non ionisants (de 0 à 300 GHz). L'ICNIRP a établi des valeurs limites d'exposition aux CEM à partir des courants induits sur l'organisme.

Des limites fondamentales établies avec une large marge de sécurité

Pour ce qui concerne les courants induits par les CEM dans l'organisme, l'ICNIRP établit des limites fondamentales, appelées « **restrictions de base** »*.

Pour les travailleurs, dont les conditions d'exposition sont connues, l'ICNIRP retient la valeur de **10 mA/m²**, fixée par l'OMS et unanimement reconnue, comme « restriction de base » des effets induits par les très basses fréquences, dont le 50 Hz.

Pour le public, où peuvent se trouver des personnes plus fragiles, l'ICNIRP introduit un facteur de sécurité supplémentaire et ramène la restriction de base à **2 mA/m²** pour ces mêmes fréquences.

Pour les CEM, des niveaux de référence calculés à partir des restrictions de base

Comme les courants induits ne sont pas directement mesurables et varient selon les parties du corps, l'ICNIRP établit une relation entre restriction de base (les courants induits) et les niveaux de références (CEM) par un calcul. Ce calcul aboutit à fixer pour ces « **niveaux de référence** » des valeurs conservatoires suffisantes pour garantir, **dans tous les cas, le respect des restrictions de base**.

Ces valeurs ont été reprises dans la recommandation européenne (cf. tableaux page 61).

UNE SYNTHÈSE BRITANNIQUE DES ÉTUDES LES PLUS RÉCENTES

Le NRPB**, organisme de recherche sur les rayonnements ionisants et non ionisants, est mandaté par le gouvernement britannique pour le conseiller en matière de protection de la population. À partir de son premier avis de 1992, il a rendu public en 2004 une quatrième mise à jour intégrant l'ensemble des nouvelles études, tant épidémiologiques que de laboratoire, publiées jusqu'à cette date.

De cette somme, le NRPB conclut qu'**aucun résultat scientifique ne requiert de modification des recommandations actuelles sur l'exposition des populations**.

Il rejoint en cela l'avis de toutes les autorités sanitaires et notamment celui de l'Organisation Mondiale de la Santé publié en 1999.

* - Ces restrictions de base s'appliquent aux courants induits au niveau du système nerveux central (tête et tronc), et des densités de courant supérieures sont donc autorisées dans les autres parties du corps.

** - Depuis le 1^{er} avril 2004, le NRPB a rejoint la Health Protection Agency, dans laquelle il constitue désormais la Radiation Protection Division.

Les dispositions réglementaires

Il revient aux autorités européennes et nationales compétentes de fixer le cadre réglementaire qui protège la santé publique.

LE CADRE COMMUNAUTAIRE : PROTECTION DU PUBLIC ET DES TRAVAILLEURS

L'Union européenne utilise deux catégories d'actes, les actes juridiques obligatoires comme les directives qui s'imposent à tous les États membres, tenus de les transposer dans leur législation, et les actes non contraignants (mais à forte valeur politique puisque ces actes expriment la position d'une institution sur un sujet donné) comme les recommandations, dont la transposition en droit national est laissée à l'appréciation de chaque Etat membre.

Pour le public : « un niveau élevé de protection de la santé contre les expositions aux CEM »

En juillet 1999, le Conseil des Ministres de la Santé de l'Union Européenne a adopté

une **recommandation*** sur l'exposition du public aux CEM, qui s'appuie sur les publications de l'ICNIRP de 1998 et en reprend l'approche et les valeurs limites. Cette recommandation couvre toute la gamme des rayonnements non ionisants, de 0 à 300 GHz. Elle se fixe pour objectif d'apporter aux populations « un niveau élevé de protection de la santé contre les expositions aux CEM ». Ainsi, en fixant pour les très basses fréquences les limites d'exposition à un niveau 50 fois inférieur au seuil d'apparition des premiers effets, elle « couvre implicitement les effets éventuels à long terme ». C'est pourquoi elle préconise d'appliquer ces limites seulement dans les lieux où « la durée d'exposition est significative ».

La recommandation se fonde sur la certitude qu'une exposition de 100 μT n'entraîne pas un courant induit supérieur à 2mA/m² dans la tête et le tronc.

100 μT est une valeur instantanée et non une valeur moyenne du champ magnétique établie sur la base d'une observation avérée. L'objectif est de garantir que le niveau de courants induits

dans un organisme par le champ auquel il est exposé ne dépassera pas 2 mA/m², une valeur 50 fois inférieure aux 100 mA/m² nécessaires pour stimuler une cellule excitable de l'organisme.

* - Recommandation 199/519/CE du Conseil du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 Hz).

RECOMMANDATION EUROPÉENNE POUR LA PROTECTION DU PUBLIC

Niveaux	Définition	Unité de mesure	Valeur limite
Restriction de base	Densité de courant induit dans le corps	Milliampères par m ²	2 mA/m ²
Niveaux de référence pour 50 Hz	Pour le champ électrique	Volts par mètre	5 000 V/m
	Pour le champ magnétique	MicroTesla	100 µT

Les travailleurs : « protégés des effets nocifs sur la santé » par une directive

Le 29 avril 2004, le Parlement européen a adopté une directive* sur l'exposition des travailleurs aux CEM. En cohérence avec la recommandation européenne de 1999, cette directive reprend aussi l'approche et les valeurs limites de l'ICNIRP.

Par souci de cohérence avec d'autres directives, elle en reprend les termes : les restrictions de base de la recommandation

deviennent valeurs limites d'exposition et les niveaux de référence sont dénommés niveaux déclenchant l'action, sans que rien ne change par ailleurs dans les concepts. Cette directive, qui couvre elle aussi toute la gamme des rayonnements non ionisants (de 0 à 300 GHz), précise les valeurs limites d'exposition dont le respect « **garantira que les travailleurs exposés à des champs électromagnétiques sont protégés de tout effet nocif connu sur la santé** ».

DIRECTIVE EUROPÉENNE POUR LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS À 50 HZ

Niveaux	Définition	Unité de mesure	Valeur limite
Valeur limite d'exposition	Densité de courant induit dans le corps	Milliampères par m ²	10 mA/m ²
Niveaux déclenchant l'action**	Pour le champ électrique	Volts par mètre	10 000 V/m
	Pour le champ magnétique	MicroTesla	500 µT

* - Directive 2004/40/CE du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) (dix-huitième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE).

** - Selon les articles 2-c et 5-2 de la directive 2004/40/CE « niveaux [...] à partir desquelles il faut prendre une ou plusieurs des mesures [...] techniques et/ou organisationnelles visant à empêcher que l'exposition ne dépasse les valeurs limites d'exposition »

UNE MISE JOUR RÉGULIÈRE DU PROCESSUS RÉGLEMENTAIRE

La recommandation de juillet 1999 prévoit d'interroger régulièrement les États membres de l'Union européenne sur les dispositions retenues nationalement. Dans le même esprit, il est prévu une mise à jour régulière à la lumière de l'évolution des connaissances scientifiques.

En 2002, un comité d'experts indépendants mandaté à cet effet par la Commission européenne, le CSTE (Comité Scientifique sur la Toxicité, l'Eco-toxicité et l'Environnement), a confirmé les termes de la recommandation, en constatant qu'aucun nouveau résultat scientifique ne conduisait à la modifier.

RÉGLEMENTATION FRANÇAISE : CONFORME AU CADRE RÉGLEMENTAIRE EUROPÉEN

La France applique la recommandation européenne du 12 juillet 1999.

Dans le domaine électrique, l'arrêté technique du 17 mai 2001* reprend les limites de 5 000 V/m et de 100 µT pour tous les nouveaux ouvrages, et dans les conditions de fonctionnement en régime de service permanent.

Dans le domaine des réseaux de télécommunication des installations radio-électriques, c'est le décret du 3 mai 2002** qui, sur les mêmes bases, fixe les limites d'exposition du public. En particulier, tout émetteur radioélectrique doit respecter les valeurs limites de champ électrique de 41 V/m et 58 V/m aux fréquences respectives de 900 MHz et 1800 MHz.

* - Arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique, J. O n° 134 du 12 juin 2001 page 9270.

** - Décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 pris en application du 12° de l'article L. 32 du code des postes et télécommunications et relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques.

LA RÉGLEMENTATION DANS DIFFÉRENTS PAYS EUROPÉENS (D'APRÈS OMS ET EURELECTRIC AU 31 DÉCEMBRE 2004)

Pays	Réglementation		Remarques
	Champ électrique	Champ magnétique	
Danemark, Suède, Norvège, Estonie, Royaume-Uni, Pays-Bas	Pas de réglementation, mais la recommandation est prise en référence. Dans certains États, il existe des comités nationaux ayant produit leur propres recommandations (Royaume-Uni, Pays-Bas, Suède)		
Belgique	5 kV/m (zones habitées)		Pas de réglementation sur les champs magnétiques
France, Allemagne, Croatie, Espagne, Autriche, Irlande, Lituanie, Australie	5 kV/m	100 μ T	
Grèce	4 kV/m	80 μ T	valeurs ICNIRP avec coefficient 0,8
Suisse	5 kV/m	100 μ T 1 μ T pour les zones sensibles (écoles, hopitaux, maisons de retraite...)	Limite pour zones sensibles applicable uniquement aux nouveaux ouvrages
Slovénie	5 kV/m 500 V/m. pour les zones sensibles	100 μ T 10 μ T pour les zones sensibles	Limite pour zones sensibles applicable uniquement aux nouveaux ouvrages
Italie	5 kV/m	100 μ T 10 μ T (moyenne sur 4h/jour) 3 μ T (moyenne sur 4h/jour)	« Valeur d'attention », applicable dans tous les lieux de vie et pour les ouvrages existants « Valeur qualité », applicable dans les lieux de vie et pour les nouveaux ouvrages

La normalisation : l'outil de la réalisation

Il convient de noter que, dans l'Union européenne, les normes revêtent une importance particulière, car elles font partie intégrante du dispositif législatif communautaire. Elles complètent en effet les directives, qui se contentent de fixer les exigences essentielles. Le Conseil européen confère à la Commission européenne la compétence de définir par des « normes harmonisées » les modalités de mise en œuvre des directives*.

Associées à des directives, de telles normes sont donc également d'application obligatoire. Ces normes précisent en particulier les protocoles d'essais et de mesure permettant aux acteurs concernés (industriels, organismes de contrôle, etc.) de vérifier la conformité de leurs réalisations par rapport aux exigences essentielles d'une directive donnée.

Deux mandats, délivrés par le Conseil européen, définissent le travail normatif de la Commission européenne sur l'exposition humaine aux CEM : le premier, publié en 2000, est relatif à l'exposition du public ; le second, de 2004, concerne l'exposition des travailleurs. Cette mission de normalisation est confiée à l'ensemble des organismes compétents européens, et en premier lieu au CENELEC (Comité

Européen de Normalisation Électrique). Les normes sont établies au sein de comités techniques, où se rencontrent des experts, des représentants des gouvernements et des représentants de l'industrie. Le comité CENELEC compétent est le TC 106X, qui existe depuis plus de 10 ans.

Les autres organisations normatives compétentes sont :

- La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) organisation normative travaillant à l'échelle mondiale. En 2000, a été créé le comité CEI 106, centré sur les « Méthodes pour l'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine ». À noter que contrairement aux normes harmonisées du CENELEC, les normes CEI ne sont pas obligatoires, sauf si elles sont imposées par un texte réglementaire. Néanmoins, CEI et CENELEC travaillent autant que possible en étroite collaboration.
- En France, l'UTE/CEF 106 (Union Technique de l'Électricité/Comité Electrotechnique Français), miroir des deux précédents, élabore les positions nationales, qui sont ensuite proposées à la normalisation internationale.

* - Procédure de la « comitologie » prévue à l'article 202 du Traité de l'Union Européenne.



✓

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-



NEUF QUESTIONS

À EDF ET À RTE

LA POSITION DE EDF ET DE RTE

De nombreuses expertises ont été réalisées ces vingt dernières années concernant l'effet des CEM sur la santé, dont certaines par des organismes officiels tels que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'Académie des Sciences américaine, le Bureau National de Radioprotection anglais (NRPB) et le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Elles ne montrent pas à ce jour d'effet significatif sur la santé.

Ces expertises ont permis à des instances internationales telles que la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) ou la Commission Européenne d'établir des recommandations relatives à l'exposition du public aux CEM, afin de garantir « un haut niveau de protection de la santé ».

Le Conseil d'Administration du NRPB a confirmé, en 2001, que les dernières expertises menées ne donnaient pas d'indications justifiant un changement de ces recommandations.

Face à ces éléments, EDF et RTE s'engagent à :

- soutenir la recherche biomédicale dans le domaine, en coordination avec les organismes internationaux, en garantissant l'indépendance des chercheurs et en assurant la publication des résultats obtenus ;
- respecter les recommandations émises par les instances sanitaires françaises ou internationales et notamment la recommandation de la Commission Européenne ;
- informer régulièrement leurs employés, le public, les professions de santé et les médias en toute transparence des avancées de la recherche ;
- garantir la concertation avec les différents partenaires : pouvoirs publics, élus, associations et riverains.

1. POUVEZ-VOUS ÉVALUER LA POPULATION CONCERNÉE PAR LES CEM DE VOS INSTALLATIONS ?

En France, environ **4000 agents EDF et RTE** travaillent fréquemment près des lignes de transport et de distribution d'électricité, réparées et entretenues sans coupure de courant. Environ **300 000 personnes** vivent à proximité des lignes THT, avec des niveaux d'exposition au champ magnétique non uniformes.

En tant qu'opérateurs responsables, nous considérons comme un devoir d'identifier les effets éventuels du fonctionnement de nos installations sur la santé du personnel et de la population et de contribuer à l'acquisition des connaissances sur tout ce qui touche de près ou de loin à l'électricité ainsi qu'à l'information du public.

2. POUVEZ-VOUS GARANTIR QUE TOUS VOS OUVRAGES, MÊME LES PLUS ANCIENS, SONT CONFORMES A LA RÈGLE EUROPÉENNE ?

La très grande majorité des ouvrages existants d'EDF et de RTE respectent la recommandation de l'Union européenne sur l'exposition du public aux CEM*.

- Pour **le champ électrique**, il peut arriver que les 5000 V/m soient dépassés quand on se trouve juste en dessous

des lignes 400 kV. Mais ces zones sont généralement situées en pleine campagne, dans des endroits où l'on ne fait que passer et pour lesquelles on ne peut pas parler de durée d'exposition significative. Cependant EDF et RTE ont engagé un programme de mise en conformité de leurs ouvrages dans tous les endroits fréquentés par le public. Dans le cas particulier où des lignes THT surplombent des maisons, ces lignes sont plus hautes et les maisons réduisent notablement l'exposition au champ électrique.

- Concernant le **champ magnétique**, le seuil n'est jamais dépassé, compte tenu notamment de la hauteur des lignes.

3. 100 µT D'UNE PART, 0,4 µT D'AUTRE PART, À QUOI SE RÉFÉRER ?

Il n'y a pas contradiction car on ne parle pas de la même chose. **100 µT est une valeur mesurée en instantané** du champ magnétique retenue par la recommandation européenne comme limite d'exposition pour le public. Ce niveau garantit que les courants induits par un tel champ n'excéderont pas 2 mA/m², soit une valeur 50 fois inférieure aux 100 mA/m² nécessaires pour stimuler une cellule excitable de l'organisme. 0,4 µT est une valeur moyenne d'exposition sur 24h, fixée comme seuil statistique

* Recommandation 1999/519/CE du Conseil du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 Hz).

LA NOTION DE PRINCIPE DE PRÉCAUTION

Le principe de précaution ne consiste pas à appliquer une règle du type « dans le doute ou en cas de risque, abstiens-toi », car cela reviendrait à ne plus rien faire (pas même traverser une rue), le risque zéro n'existant pas.

Ce principe est tout d'abord apparu dans les déclarations (Déclaration de Rio de juin 1992) et traités internationaux (Convention-cadre sur les changements climatiques) relatifs à l'environnement.

Il a également été introduit dans le droit communautaire par le Traité de Maastricht (article 174 du traité CE) et a fait l'objet d'une communication de la Commission européenne* qui le présente comme une réponse politique et proportionnée face à un risque environnemental ou sanitaire créé par un phénomène, un produit ou un procédé dont les effets négatifs sont potentiellement identifiés et qui doivent faire l'objet d'une évaluation scientifique.

En France, il est formulé en ces termes à l'article L. 110-1 du Code de l'environnement : « l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages

graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable ».

Il s'agit donc d'une règle de conduite, visant à protéger l'environnement face à des risques mal connus, mais que les tribunaux français ont interprété comme susceptible de s'appliquer également à la santé publique.

Depuis mars 2005, la Constitution française reprend, dans son article 2, le texte de la Charte de l'environnement, qui y fait ainsi référence : « lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement, les autorités publiques veillent par application du principe de précaution et dans leurs domaines d'attribution, à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques et à l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage ».

Ainsi formulé, c'est un principe d'action concernant les autorités publiques exclusivement, action de recherche scientifique notamment, qui impose à ces autorités, à même de sauvegarder l'intérêt général, la mise en œuvre, sous certaines conditions, de procédures d'évaluation des risques et d'adoption de mesures provisoires.

* - Communication de la Commission sur le recours au principe de précaution, Bruxelles, 2 février 2000, COM (2000) 1 final.

méthodologique dans les études épidémiologiques, pour séparer dans la population le groupe le plus exposé. Aucune autorité sanitaire n'a recommandé de retenir cette valeur comme seuil d'exposition pour la population.

4. NE DEVRAIT-ON PAS APPLIQUER LE PRINCIPE DE PRÉCAUTION AUX CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ?

La Charte de l'environnement, intégrée depuis mars 2005, dans la Constitution française en appelle au principe de précaution lorsque « la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement ». Ce n'est pas le cas. Le progrès des connaissances scientifiques depuis plus de 20 ans a permis de borner le risque de mieux en mieux et a abouti, dans le domaine des très basses fréquences, à un certain nombre de consensus scientifiques. Le seuil d'exposition de 0,2 μT , autrefois utilisé, est aujourd'hui considéré comme un seuil de non-effet. Pour les cancers en général, tant pour l'adulte que pour l'enfant, l'hypothèse d'un effet biologique des CEM basse fréquence est écartée. Les dernières questions scientifiques qui subsistent, portent sur les leucémies infantiles pour les sujets exposés à plus

de 0,4 μT en moyenne. À ce seuil, le nombre de cas de leucémies infantiles qui pourrait être attribué aux CEM très basse fréquence a été estimé à deux cas par an au Royaume-Uni.

Les conditions d'exposition de la population étant comparables avec la France, ces chiffres peuvent également s'appliquer à notre pays. Tous les experts internationaux s'accordent à reconnaître que les CEM ne posent pas un problème de santé publique, tout en continuant à encourager la recherche scientifique pour essayer de répondre aux dernières interrogations.

5. PAR PRÉCAUTION, NE POURRAIT-ON PAS, DU MOINS, PRENDRE DES MESURES POUR REDUIRE L'EXPOSITION DE LA POPULATION, PAR EXEMPLE EN DEÇA DE 0,4 μT ?

Non : l'exposition aux champs magnétiques est omniprésente car tous les appareils produisant, transportant ou consommant de l'électricité génèrent des champs magnétiques très basse fréquence. Dans de nombreuses situations courantes, le niveau de 0,4 μT est fréquemment dépassé. Dans certains transports en commun, le niveau d'exposition peut atteindre 20 μT et des appareils électriques, comme les outils

électroportatifs, un rasoir électrique ou un sèche-cheveux, génèrent des champs supérieurs à 100 μ T. Il n'existe donc pas de mesures simples et peu coûteuses pour réduire l'exposition aux CEM, sauf à supprimer le recours à l'électricité, ce qui représenterait alors un risque majeur certain pour la qualité de la vie et la santé publique.

6. EDF ET RTE N'ENTENDENT DONC PAS APPLIQUER LE PRINCIPE DE PRÉCAUTION ?

Nous appliquons la réglementation française en matière de protection de la population vis-à-vis des CEM, et adoptons par ailleurs une démarche de précaution qui se traduit par les mesures suivantes :

- le soutien apporté à la recherche biomédicale dans le domaine des CEM, en coordination avec les organismes internationaux ;
- l'information régulière et honnête, la communication et les échanges avec le public et nos employés,
- la concertation avec nos partenaires : pouvoirs publics, élus, associations et riverains.

7. QUELLE EST VOTRE POSITION FACE AUX ÉTUDES MENÉES CES DERNIÈRES ANNÉES SUR LES CEM ?

De nombreuses expertises ont été réalisées ces vingt dernières années concernant l'effet des CEM sur la santé, dont certaines par des organismes officiels tels que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'Académie des Sciences américaine, le Bureau National de Radioprotection anglais (NRPB) et le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Elles ne montrent pas à ce jour d'effet significatif sur la santé.

Ces expertises ont permis à des instances internationales telles que la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) ou la Commission européenne d'établir des recommandations relatives à l'exposition du public aux CEM, afin de garantir « un niveau élevé de protection de la santé ». Le Conseil d'Administration du NRPB a confirmé, en 2001, que les dernières expertises menées ne donnaient pas d'indications justifiant un changement de ces recommandations.

8. CONCRÈTEMENT, QUE FAITES-VOUS POUR FAIRE AVANCER LA RECHERCHE ?

Depuis plus de 10 ans, nous consacrons en moyenne environ 1,8 million d'euros par an aux différents domaines de la recherche sur les CEM : études expérimentales sur les cellules, les animaux et les humains, épidémiologie et mesure des expositions. Les études financées par EDF et RTE sont toutes réalisées par des laboratoires indépendants des entreprises et internationale-ment reconnus par les milieux scientifiques. On peut citer, par exemple, le CHU Cochin, le CNRS, la Faculté de Pharmacie, l'École Vétérinaire de Maison Alfort, le CHU Pitié Salpêtrière de l'Assistance Publique des Hôpitaux de Paris (APHP), l'hôpital Nord de l'Assistance Publique des Hôpitaux de Marseille (APHM). Au niveau international, deux études sont conduites par des universitaires étrangers en collaboration avec EPRI (Electric Power Research Institute - États-Unis) et avec Hydro-Québec. Par contrat, EDF et RTE demandent systématiquement aux chercheurs de s'engager à publier les résultats de leurs travaux dans des journaux scientifiques de notoriété internationale.

9. QUELLES GARANTIES DONNEZ-VOUS QUANT À LA TRANSPARENCE DE L'INFORMATION ?

À EDF comme à RTE, nous assurons une information régulière de nos employés, du public, des professions de santé et des médias sur les avancées de la recherche concernant les effets des CEM. Nous entretenons une concertation suivie avec nos différents partenaires : les pouvoirs publics, les élus, les associations et les riverains.

Quelques sites Internet utiles

- Belgian BioElectroMagnetic Group (BBEMG)
www.bbemg.ulg.ac.be
- Bioelectromagnetics Society (BEMS)
www.bioelectromagnetics.org
- Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC ou IARC en anglais)
www.iarc.fr
- Commission Electrotechnique Internationale (CEI)
www.iec.ch
- Comité Européen de Normalisation ELECTrotechnique (CENELEC)
www.cenelec.org/Cenelec
- Comité Scientifique sur la Toxicité, l'Ecotoxicité et l'Environnement (CSTEE)
europa.eu.int/comm/health/ph_risk/committees/sct/sct_en.htm
- Commission Européenne
europa.eu.int/comm
- Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF)
www.sante.gouv.fr/dossiers/cshp
- Electric Power Research Institute (EPRI)
www.epri.com
- Health Council of Netherlands
www.gr.nl

- Health Protection Agency (HPA)
www.hpa.org.uk
- Hydro-Québec
www.hydroquebec.com
- International Commission on
Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)
www.icnirp.de
- Ministère de la Santé et des Solidarités
www.sante.gouv.fr
- National Institute of Environmental
Health Sciences (NIEHS)
www.niehs.nih.gov
- National Radiological Protection
Board (NRPB), maintenant rattaché
au Health Protection Agency (HPA)
www.nrpb.org
www.hpa.org.uk/radiation
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS)
www.who.int
- Protection of the Human Environment
(de l'OMS)
www.who.int/peh-emf
- Union Technique de l'Electricité
et de la Communication (UTE)
www.ute-fr.com
- Université du Wisconsin,
Professeur John Moulder
**[www.mcw.edu/gcrc/cop/
static-fields-cancer-FAQ/toc.html](http://www.mcw.edu/gcrc/cop/static-fields-cancer-FAQ/toc.html)**

Conseil éditorial et rédaction Doussot Conseil

Conception, réalisation  **les éditions stratégiques**

Illustrations Laurent Sako, Frédéric Estimbre

Crédits photo Getty Images, Palais de la Découverte, Médiathèque RTE, Hydro-Québec.

Impression JPA-Imprimeurs

EDF
22-30 AVENUE DE WAGRAM
75382 PARIS CEDEX 08
www.edf.fr

SA au capital de 8 129 000 000 euros - 552 081 317 R.C.S Paris

RTE
1, TERRASSE BELLINI - TSA 41 000
92919 LA DEFENSE CEDEX
www.rte-france.com