**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 92 (2001)

**Heft:** 17

**Artikel:** Compatabilité électromagnétique et effets biologiques

**Autor:** Rubinstein, Marcos

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-855738

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 15.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Compatibilité électromagnétique et effets biologiques

La baisse des prix de l'électronique et des services entraîne une prolifération de dispositifs personnels de communication sans fil. Il en résultera des niveaux plus élevés de rayonnements électromagnétiques qui, à leur tour, feront apparaître un nombre croissant de problèmes de compatibilité électromagnétique (CEM). L'analyse et la résolution de ces problèmes de compatibilité électromagnétique seront rendues plus difficiles par l'utilisation, dans les systèmes modernes, de techniques performantes de codages, d'accès multiple et de spectre étalé, autant de questions dont doivent s'occuper les ingénieurs travaillant dans le domaine de la CEM.

Au sujet des effets biologiques du rayonnement électromagnétique, selon les connaissances actuelles, l'augmentation générale attendue des niveaux de rayonnement ne sera pas nuisible à la santé humaine à condition que l'on ne dépasse pas les limites internationales acceptées de l'Icnirp, comme on s'y attend d'ailleurs.

*Marcos Rubinstein*

## Sources naturelles et artificielles de champs électromagnétiques

Le rayonnement électromagnétique nous entoure depuis toujours. Ses sources sont soit naturelles – par exemple la lumière du soleil et le rayonnement provoqué par un éclair d'orage – soit artificielles comme tous les dispositifs et systèmes créés par l'homme et utilisant des charges et courants électriques.

Une question souvent posée est de savoir si l'énergie électromagnétique est nuisible à notre santé. Il est beaucoup plus intéressant de formuler la question d'une manière plus générale: L'énergie électromagnétique de sources naturelles et artificielles a-t-elle un effet positif ou négatif quelconque sur notre santé?

Les sources de rayonnements aussi bien naturelles qu'artificielles présentent des effets positifs et négatifs.

- La lumière du soleil par exemple est indispensable à la vie: Elle favorise l'absorption de certaines vitamines, elle est à la base de la photosynthèse des plantes et nous permet de voir les objets autour de nous. D'un autre côté, il est un fait établi qu'une exposition exagérée au rayonnement solaire favorise le cancer de la peau.
- Quant aux sources artificielles, il y a une multitude d'exemples d'effets bénéfiques: les lasers dans la chirurgie, le chauffage infrarouge et les diagnostics aux rayons X, les aides auditives, chaises roulantes motorisées, ordinateurs, appareils électroménagers etc. Comme pour les sources naturelles, les effets négatifs des champs artificiels sont généralement liés à une exposition excessive et incontrôlée, par exemple aux rayons X ou encore aux micro-ondes si le mécanisme de sécurité de la porte de four est défaillant.

Le présent rapport se concentre sur les sources artificielles et cherche la réponse à deux nouvelles questions:

1. Sous quelles conditions le rayonnement de sources artificielles est-il nuisible?
2. Peut-on trouver des moyens permettant d'éviter les effets nuisibles tout en conservant les bénéfiques?

## La tendance

La production de masse de dispositifs électroniques perfectionnés en a constamment fait baisser les prix. Le meilleur exemple de cette tendance est l'offre de téléphones mobiles gratuits que les opérateurs font en échange d'un abonnement à leurs services. Plus de 50% de la population de certains pays (dont la Suisse) possède déjà un téléphone cellulaire et les nombres d'agendas numériques personnels, GPS et autres gadgets ne font que croître également. En outre, la libéralisation du marché des télécommunications a fait baisser les prix des services, si bien que l'on se sert de plus en plus souvent de ces appareils. La tendance à l'intégration de la communication sans fil et de l'interconnexion en réseau à chaque produit est encore renforcée par le fait que le public veut pouvoir accéder à l'internet et lire les messages électroniques même pendant les déplacements. La forte densité d'appareils électroniques dans l'espace et la haute densité d'utilisation dans le temps, ainsi que le fait que la communication sans fil exige nécessairement un rayonnement, font augmenter les niveaux de rayonnement électromagnétique et la probabilité de problèmes d'interférences.

Une autre tendance susceptible d'accroître la probabilité des interférences est l'utilisation de nombreux systèmes sur les mêmes fréquences. Un exemple est la bande ISM[1] de 2,4 GHz. La raison pour laquelle les bandes ISM sont souvent choisies est qu'elles sont disponibles dans le monde entier et que leur utilisation n'est pas soumise à concession.

## Compatibilité électromagnétique classique

Tous les appareils électroniques engendrent de l'énergie électromagnétique. Une source de rayonnement électromagnétique est représentée sur le côté gauche de la figure 1. Le téléphone cellulaire pourrait être remplacé par tout autre dispositif électrique contenant de l'électronique. Les sources typiques pour différentes bandes de fréquences sont indiquées au tableau I.

Une partie de l'énergie produite par la source peut être transportée par un canal ou un trajet quelconque (voir figure 1) avant d'être couplée aux dispositifs qui en sont victimes. Ce canal peut être l'air,

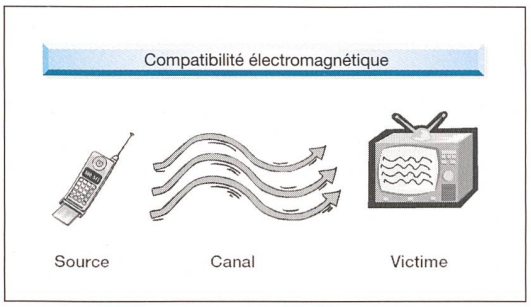



**Fig. 1 Définitions fondamentales concernant la compatibilité électromagnétique (CEM).**

| Frequency | Devices |
|---|---|
| < 1 kHz | Power supply networks for private homes, trains |
| 3 kHz to 30 kHz | video monitors |
| 30 kHz to 3 MHz | AM radio transmitters, induction heaters |
| 3 MHz to 30 MHz | Industrial heat sealers |
| 30 MHz to 300 MHz | FM radio |
| 300 MHz to 3 GHz | Microwave ovens, mobile telephones, television transmitters |

**Tableau I Sources typiques pour différentes bandes de fréquences**

une conduite métallique, un câble, un plan de sol, etc. L'énergie qui passe à travers ce chemin peut induire des surtensions dans l'équipement touché et peut provoquer un mauvais fonctionnement de celui-ci. Les ingénieurs en compatibilité électromagnétique ont pour tâche de veiller à ce que cela ne se produise pas.

La CEM peut être définie comme la condition dans laquelle différents systèmes électriques et électroniques fonctionnent à un niveau donné de performance en présence les uns des autres. La manière idéale d'y parvenir est de veiller dès la conception à ce que les émissions de l'équipement perturbateur potentiel (la source de la figure 1) ne dépassent pas des limites fixées et en adaptant l'immunité de la victime potentielle afin de supporter des limites préétablies. Les limites sont fixées par des organismes nationaux et internationaux de standardisation dans lesquels sont représentés les fabricants et exploitants d'équipements.

Les procédures servant à mesurer les émissions et limites d'immunité sont décrites dans des normes internationales. Les tests peuvent être exécutés par des ingénieurs qualifiés en ce qu'on appelle un site d'essai ouvert. Il s'agit généralement d'un terrain de plein air avec un plan de sol et éloigné de toute source de perturbations. Alternativement (et plus souvent), les tests sont effectués dans ce qu'on appelle des chambres anéchoïques dont les parois intérieures et le plafond sont recouverts d'un matériau spécial absorbant le rayonnement. La réflexion réduite des parois simule un site d'essai ouvert. De plus, aucun rayonnement ne peut pénétrer à l'intérieur des chambres anéchoïques étant donné que l'extérieur métallique constitue une cage de Faraday.

Pour les mesures, l'équipement à l'essai est considéré comme une «boîte noire». L'ingénieur en CEM n'a guère à se préoccuper du fonctionnement intérieur des dispositifs. Comme on le verra au chapitre suivant, ces techniques, bien qu'elles soient toujours très précieuses pour les essais classiques de CEM, ne sont plus suffisantes si l'on considère les tendances technologiques actuelles.

## La nouvelle compatibilité électromagnétique

Les progrès réalisés dans les communications, comme le codage, l'accès multiple et le spectre étalé peuvent avoir des répercussions sur la manière dont sont fixées les limites et exigences de CEM. Pour illustrer cela, un aperçu de quelques-unes de ces techniques sera donné et les événements historiques qui ont marqué les tendances technologiques des cent-cinquante dernières années seront mentionnés brièvement.

En 1837, Morse a perfectionné le télégraphe. Il s'agissait là du premier système de communication numérique en temps réel puisqu'il utilisait un ensemble fini de symboles pour transporter l'information: une série de points, de traits et d'espaces. Une quarantaine d'années plus tard, en 1875, les limites imposées par la technologie numérique rudimentaire du télégraphe ont été supprimées par l'invention d'un nouveau système analogique prometteur, le téléphone. Ensuite, durant de nombreuses années, les messages transportés par les systèmes de communication ont été essentiellement analogiques. Cependant, les bruits et distorsions des systèmes analogiques entraînaient des pertes irrécouvrables d'informations. Ceci est illustré à la figure 2 où la courbe supérieure représente sous forme analogique un message émis et la courbe inférieure la version reçue qui a subi des changements au long du canal de transmission, par suite des distorsions et des bruits superposés.

Etant donné que le bruit est toujours présent, la figure 2 fait apparaître une limitation fondamentale des systèmes analogiques: Il est impossible de récupérer une réplique exacte du signal original émis à partir du signal reçu. En conséquence, une transmission à répéteurs multiples rend le message de plus en plus bruyant. En revanche, la transmission numérique peut surmonter cette limitation comme le montre la figure 3.

Le message, composé d'une séquence binaire, peut être régénéré avec précision au récepteur à condition que la puissance de bruit soit maintenue dans certaines limites et que la transmission des informations se fasse à une vitesse plus lente que la capacité du canal.

Quel est le rapport entre les techniques numériques modernes comme le codage, l'accès multiple ou l'élargissement de la bande passante et la CEM? Comme on le verra plus loin, le codage de canal sert à détecter et à corriger automatiquement les bits erronés. Ceci peut cacher des problèmes de CEM car un système semblera fonctionner correctement alors qu'en réalité, il fonctionne de manière non optimale par suite de la retransmission

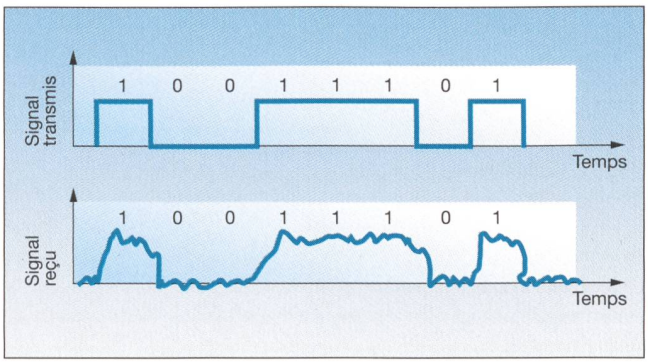



**Fig. 2 Illustration de la perte d'informations du fait du bruit superposé**

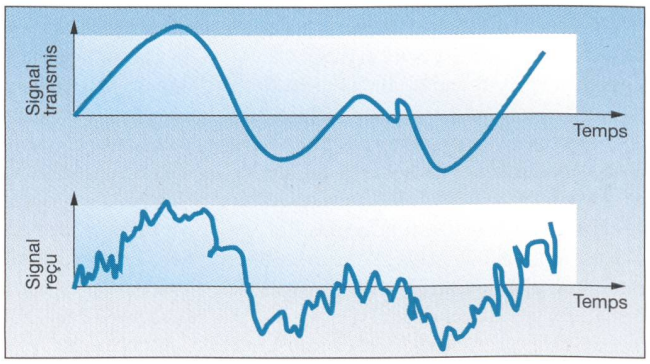



**Fig. 3 Illustration de la parfaite récupération d'une séquence binaire après transmission sur un canal bruyant**

automatique de paquets contenant des bits erronés. Le téléchargement d'un fichier sur Internet paraîtra lent et on en imputera la faute par erreur à un trafic intense ou au manque de capacité d'un serveur.

Les techniques modernes d'accès multiple peuvent donc aboutir à une évaluation erronée de la performance CEM d'un système. Un test de CEM effectué par exemple sur un Wireless LAN (WLAN) indiquera que le système est résilient à des champs électriques relativement importants. Etant donné que le WLAN a recours à une technique Carrier-Sense-Multiple-Access pour accéder au canal – comme on le verra au chapitre suivant – il se peut qu'il ne fonctionne pas correctement même en présence de très faibles champs perturbateurs s'il se trouve à proximité de systèmes quelconques employant d'autres techniques d'accès multiple.

Bien que ces techniques soient bien connues des ingénieurs en télécommunications, les ingénieurs en CEM ne les connaissent généralement pas bien.

## Techniques

### Codage

La figure 3 montre comment l'application de la technologie numérique pourrait aboutir à la transmission exempte d'erreurs de l'information émise. Dans tous les systèmes pratiques de communication cependant, le bruit introduit des erreurs de bits étant donné que le bruit thermique présente des statistiques gaussiennes. La technologie numérique moderne utilise des techniques sophistiquées basées sur la superposition contrôlée de redondance sur les messages émis afin de détecter et/ou corriger ces erreurs. Si des erreurs sont détectées et qu'il y ait un canal de retour, la retransmission des données incorrectes peut être demandée. Cela a rendu plus difficile l'identification et la compréhension des problèmes relatifs à la CEM: le récepteur de communication peut sembler fonctionner correctement tandis qu'en réalité, il travaille de manière non optimale étant donné les retransmissions provoquées par le bruit électromagnétique. L'ingénieur en CEM doit bien comprendre ces techniques afin d'examiner les problèmes éventuels et de proposer des contre-mesures appropriées.

La méthode par laquelle la redondance est introduite aux messages émis de manière contrôlée est appelée codage de canal (channel coding). Cette technique va être présentée au moyen d'un code simple de correction d'erreurs appelé code Hamming [1, 2, 3, 4].

| $c_1$ | $c_2$ | $c_3$ | $c_4$ | $c_5$ | $c_6$ | $c_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

**Tableau II Chaque ensemble de messages à sept bits pourrait être émis «légalement».**

Chaque message est représenté par les bits $c_1$ à $c_7$. Ces messages ont été conçus de manière que les erreurs d'un seul bit puissent être corrigées automatiquement. La correction d'erreurs peut être effectuée au moyen de la formule (1) dans laquelle $n_{error}$ représente la position du bit erroné. Si $n_{error} = 0$, il n'y a pas eu d'erreur. En substituant par exemple les bits de la séquence 0011001 sans erreur dans formule (1) on obtient formule (2).

Le résultat est zéro, ce qui indique, comme on s'y attendait, que la séquence est légale et qu'il n'y a pas eu d'erreur. Prenons maintenant la même séquence de bits mais en changeant le cinquième de 0 à 1. La nouvelle séquence avec une erreur d'un bit est 0011101. Le nouveau résultat est désormais formule (3).

Ce résultat indique que le cinquième bit est erroné et qu'il doit être corrigé. Avec la correction d'erreur, les problèmes surgissent soudainement. La correction d'erreur est transparente à l'utilisateur de l'équipement et la présence de bruit est masquée efficacement jusqu'à atteindre des niveaux dépassant les possibilités de correction du code. Cela peut être représenté en examinant la performance du code simple si, à la place d'une erreur d'un bit, il y a deux erreurs. En prenant la même séquence de bits et en introduisant des erreurs aux bits 3 et 5 (0001101) le résultat est représenté dans formule (4).

Cela semble indiquer que le bit 6 est faux, ce qui est incorrect. Etant donné que le récepteur n'a aucun moyen de savoir que c'étaient les bits 3 et 5 qui étaient erronés, il change le bit 6 et introduit de ce fait une troisième erreur. Manifestement, le code de «correction d'erreur» peut introduire de nouvelles erreurs dès que ses limites sont dépassées. La panne brusque du schéma de codage est illustrée à la figure 4.

D'autres types de codes utilisés couramment dans les équipements modernes de communication numérique permettent de détecter de nombreuses erreurs et de demander une nouvelle émission des données. Dans ce cas, l'existence d'erreurs liées à la CEM peut être masquée et il se peut que la performance non optimale du système passe inaperçue. La performance diminue progressivement étant donné que plus le champ perturbateur est élevé, plus

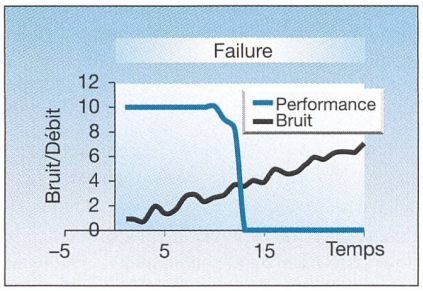



**Fig. 4 La rapidité d'un canal de communication tombe brusquement sous l'effet d'un code de détection/correction d'erreurs poussé au-delà de ses limites.**

## Formules

$$(1)\quad n_{error} = \frac{7-(-1)^{c_1+c_3+c_5+c_7} - 2\cdot(-1)^{c_2+c_3+c_6+c_7} - 4\cdot(-1)^{c_4+c_5+c_6+c_7}}{2}$$

$$(2)\quad n_{error} = \frac{7-(-1)^{0+1+0+1} - 2\cdot(-1)^{0+1+0+1} - 4\cdot(-1)^{1+0+0+1}}{2} = \frac{7-1-2-4}{2} = 0$$

$$(3)\quad n_{error} = \frac{7-(-1)^{0+1+1+1} - 2\cdot(-1)^{0+1+0+1} - 4\cdot(-1)^{1+1+0+1}}{2} = \frac{7+1-2+4}{2} = 5$$

$$(4)\quad n_{error} = \frac{7-(-1)^{0+0+1+1} - 2\cdot(-1)^{0+0+0+1} - 4\cdot(-1)^{1+1+0+1}}{2} = \frac{7-1+2+4}{2} = 6$$

le nombre de transmissions est élevé. Il devient alors difficile de faire la distinction entre un faible débit par suite de problèmes de CEM et ce qui ne se produit que trop souvent par suite d'un fort trafic sur le réseau et de serveurs trop lents.

**Accès multiple**

Les techniques utilisées par les dispositifs de communication partageant le même canal peuvent être affectées de manière non négligeable par les interférences électromagnétiques.

*Carrier Sense Multiple Access (CSMA)*

Une forme de cette méthode d'accès multiple est utilisée dans la technologie Wireless LAN. Dans cette méthode, un certain nombre de stations rivalisant pour l'accès au canal de diffusion palpent continuellement celui-ci, attendant que toutes les autres stations aient terminé leurs émissions en cours. Une fois que le canal est calme, elles attendent pendant un temps aléatoire pendant lequel elles ne tentent pas d'émettre. Si durant cet intervalle de temps une autre station (ayant un temps aléatoire d'attente plus court) commence à émettre, les stations perdantes se remettent en état d'attente. C'est un peu comme plusieurs personnes communiquent dans un groupe. Chacune écoute et attend que les autres aient fini de parler. Dès que l'on détecte le silence, on tente de prendre la parole.

*Méthode «Directeur»*

Dans cette technique, l'accès au canal se fait à tour de rôle. Le temps peut être alloué d'avance aux stations ou fixé en temps réel par une station maîtresse. On peut faire ici une analogie avec la manière dont des députés s'expriment au parlement. Ce type d'accès est utilisé en Bluetooth.

*Incompatibilité de deux méthodes*

La méthode CSMA est basée sur le principe que l'on attend que les autres aient fini d'émettre avant de commencer sa propre émission. Dans la méthode «Directeur», les stations émettent leurs messages pendant les intervalles de temps qui leurs sont alloués sans se préoccuper de savoir si une station d'un autre système est en train d'émettre en même temps. Si on les met séparément à l'épreuve, les deux systèmes présenteront une performance affectée par un niveau donné de champ électromagnétique. Cependant, si on les place près l'un de l'autre, seul le système «Directeur» pourra émettre étant donné que le système CSMA attendra constamment un canal libre.

## Effets biologiques

Quels sont les effets du rayonnement électromagnétique sur les êtres humains? La principale organisation travaillant à l'évaluation des risques potentiels présentés par le rayonnement électromagnétique est la Commission Internationale pour la Protection contre le Rayonnement non Ionisant (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Icnirp). Après examen d'un grand nombre d'études scientifiques du monde entier, cet organisme a publié en 1998 des directives sur l'exposition au rayonnement non ionisant. Les chapitres suivants en sont tirés.

**Mécanisme**

Lorsqu'on parle des effets potentiels du rayonnement non ionisant sur les êtres humains, il importe de faire la distinction entre les expressions «effets biologiques» et «effets négatifs sur la santé». Les effets biologiques sont des changements mesurables de l'état physique ou psychologique de l'individu pouvant résulter ou non en effets négatifs sur la santé. Les effets négatifs sur la santé, en revanche, concernent des dommages décelables à la santé de l'individu par suite de l'exposition au rayonnement.

Il y a de nombreuses anecdotes sur l'existence d'effets psychosomatiques comme les insomnies ou la transpiration, lorsque certaines personnes croient être en présence d'un rayonnement émis par l'antenne d'une station de base récemment installée, avant même que celle-ci ne soit mise en service. Bien entendu, ceci ne prouve ni l'existence, ni l'absence d'effets négatifs sur la santé.

*L'influence de la fréquence*

Le mécanisme d'induction d'énergie électromagnétique dans les tissus vivants dépend de la fréquence. Une absorption appréciable entraînant une augmentation de température n'apparaît qu'à des fréquences supérieures à 100 kHz environ. Jusque vers 20 MHz, la plus grande partie de l'absorption se fait dans la nuque et les jambes. Aux fréquences situées entre 20 MHz et 300 MHz environ, l'absorption se fait sur tout le corps. Au-dessus de 300 MHz, l'absorption se fait localement et, quand la fréquence atteint 10 GHz, l'absorption d'énergie est confinée à la surface des tissus.

Bien que donnant quelques informations sur les champs à basse fréquence, l'article se concentre sur la gamme de fréquences allant de 300 MHz à quelques GHz, dans laquelle fonctionnent les téléphones cellulaires et mobiles, Bluetooth, WLAN, et autres équipements modernes de télécommunication.

**SAR**

La quantité dosimétrique utilisée pour mesurer le niveau d'absorption dans cette plage de fréquence est le $SAR^2$, soit le taux d'absorption spécifique d'énergie mesuré en W/kg. La valeur du SAR est proportionnelle au carré de l'intensité du champ électrique dans le tissu.

Le SAR dépend non seulement des caractéristiques électriques du corps mais aussi de l'orientation relative de celui-ci par rapport à la polarisation du champ électrique et de la présence d'objets situés à proximité. Les variations de SAR en fonction de la fréquence dépendent très largement de la distance entre l'émetteur et le corps. Avec les téléphones cellulaires, les tissus de la tête sont dans le champ situé à proximité immédiate où le SAR est très différent de ce qui est le cas à plus longue distance. La distribution d'énergie absorbée par le corps humain est extrêmement inhomogène. La quantité d'énergie absorbée est estimée par des mesures et des calculs numériques.

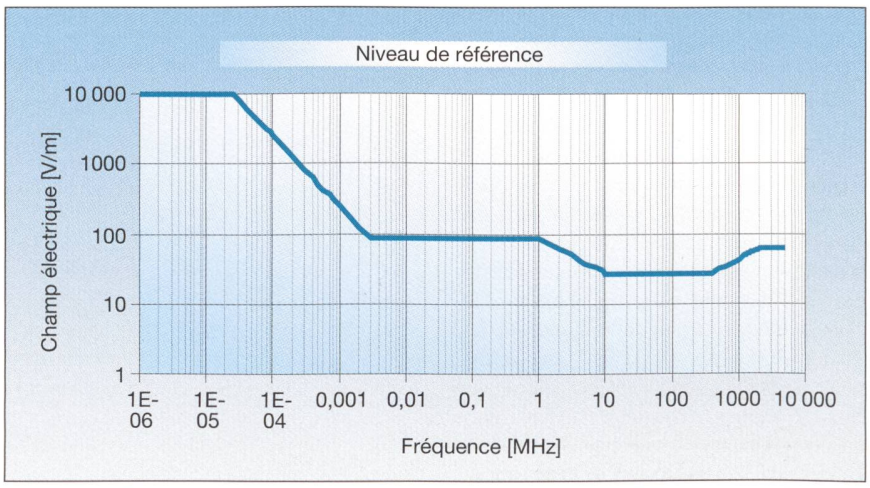



**Fig. 5** Niveau de référence du champ électrique pour le public en fonction de la fréquence

Les mesures sont faites par exemple au moyen de modèles de tête creux et remplis d'un liquide conçu de manière à présenter des propriétés électriques et thermiques proches de celles du cerveau.

Les simulations effectuées au moyen de techniques numériques ont montré qu'à courte distance, les sources de rayonnement pouvaient produire des valeurs locales importantes de SAR dans la tête, les poignets et d'autres parties du corps. Les résultats de ces calculs et mesures ainsi que des études épidémiologiques ou réalisées avec des volontaires ou des animaux constituent la base des directives internationales décrites au chapitre suivant.

**Directives internationales: Restrictions fondamentales et niveaux de référence**

Les études épidémiologiques effectuées sur des personnes exposées au rayonnement non ionisant n'ont pas prouvé jusqu'à présent de manière convaincante l'existence d'effets nocifs dans des conditions normales d'exposition.

Des études effectuées avec des volontaires montrent que l'exposition au rayonnement au point où la température du corps augmente de 1 °C à 2 °C avait des effets négatifs sous la forme de coups de chaleur ou d'épuisement dû à la chaleur. D'autres études effectuées sur des primates et des rongeurs ont montré que les tissus étaient endommagés lorsque la température augmentait de plus de 1 °C à 2 °C. Une augmentation de la température du corps de 1 °C a été proposée comme la limite au-dessous de laquelle il n'y aurait pas d'effets négatifs sur la santé. Plusieurs études effectuées sur le mécanisme thermorégulateur du corps humain exposé au rayonnement électromagnétique ont montré que si l'exposition était telle que le SAR du corps entier reste inférieur à 4 W/kg, la température du corps augmentait de moins de 1°C. Des études effectuées sur des animaux ont fait apparaître un seuil de réaction comportementale dans la même gamme de SAR. En outre, on ne constate aucun dommage aux tissus pour des niveaux de SAR locaux ou sur le corps entier dépassant légèrement 4 W/kg.

Ces résultats ont abouti à la définition des restrictions fondamentales et des niveaux de référence d'exposition de l'Icnirp. Les restrictions fondamentales sont dérivées directement des niveaux produisant des effets négatifs mesurables sur la santé en introduisant une marge de sécurité. Elles sont données en termes de SAR pour les fréquences discutées dans cet article. D'un autre côté, les niveaux de référence sont utilisés dans l'évaluation de l'exposition en pratique. Ils sont donnés en termes de quantités plus facilement mesurables comme le champ électrique, le flux magnétique, le courant ou la densité de puissance. Les niveaux de référence sont définis de manière qu'il suffise de s'y conformer pour se conformer du même coup aux restrictions fondamentales. Néanmoins, si les champs mesurés ou calculés dépassent les niveaux de référence, cela ne veut pas nécessairement dire que les restrictions fondamentales soient également dépassées et il faut procéder à des mesures de celles-ci.

Il existe deux directives différentes de limitation à l'exposition, une pour la population exposée de par son activité professionnelle et l'autre pour le public. La raison de cette différence est que les personnes travaillant dans des zones généralement exposées le font dans des conditions contrôlées et sont suffisamment conscientes et instruites pour prendre les précautions qui s'imposent contre les risques potentiels. Le public en revanche à besoin d'être protégé par une marge supplémentaire étant donné que cette catégorie peut comprendre des personnes plus fragiles, plus âgées ou plus menacées pour toutes autres raisons particulières, qui ne sont pas conscientes des risques potentiels et dont on ne peut s'attendre qu'elles prennent des mesures de précaution pour éviter une exposition excessive.

**Restrictions fondamentales**

Comme expliqué ci-dessus, aucun effet négatif sur la santé n'est observé en cas d'exposition provoquant une augmentation de température inférieure à 1 °C. Un SAR de 4 W/kg ou moins sur le corps entier garantit que l'augmentation de température restera au-dessous de cette limite. La restriction fondamentale d'exposition professionnelle est fixée à un dixième de cette valeur sur une moyenne de six minutes. Pour le public, la limite est fixée à un cinquantième de 4 W/kg – 0,08 W/kg – également pour une moyenne de six minutes. Etant donné que le SAR est on ne peut moins uniforme, les valeurs de restriction d'exposition sont également données pour le SAR localisé. Elles sont mesurées ou calculées dans un volume de 10 grammes. La restriction professionnelle est de 10 W/kg. Pour le public, la valeur est de 2 W/kg.

**Niveaux de référence**

Les niveaux de référence sont obtenus à partir des valeurs de restrictions fondamentales par modélisation et/ou par des mesures en laboratoire dans des conditions de couplage maximum étant donné que cela donne un maximum de protection. La figure 5 représente le niveau de référence du champ électrique en fonction de la fréquence pour le public.

Un être humain non relié à la terre agit comme une antenne réceptrice et a une fréquence de résonance qui va à peu près de quelque 60 MHz pour une personne de grande taille à environ 100 MHz pour une personne assise ou un enfant en bas âge. Lorsque la personne est reliée au potentiel de terre, ces fréquences sont divisées par deux. Ceci se voit sur la figure où il y a un creux correspondant aux fréquences pour lesquelles l'induction d'énergie dans le corps humain est la plus marquée.

## Bibliographie


[1] *G. Wade:* Coding Techniques. Palgrave, NY, 2000.

[2] A. Spataru: Fondements de la Théorie de la Transmission de l'information. Presse polytechniques romandes, Lausanne, 1987.

[3] *C. E. Shannon:* A mathematical theory of communication. Bell Syst. Tech. J., 27, July 1948, pp. 379–423 and October 1948, pp. 623–656.

[4] Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, Volume 74, 4:494–522, 1998.


## Adresse de l'auteur


Ecole d'ingénieurs du Canton de Vaud, Haute Ecole Spécialisée de la Suisse Occidentale: Prof. Dr. *Marcos Rubinstein*, marcos.rubinstein@eivd.ch

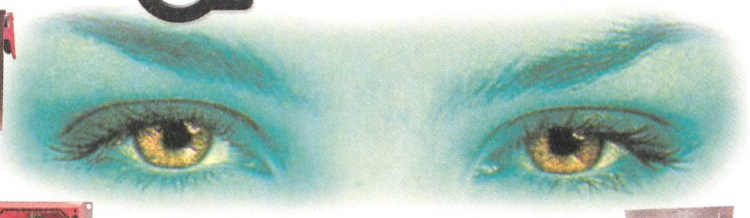

[1] ISM = Industrial, Scientific and Medical Equipment (équipement industriel scientifique et médical)

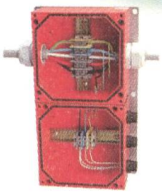
[2] SAR = Specific Energy Absorption Rate

## Elektromagnetische Verträglichkeit und biologische Effekte


Der Einbruch der Preise für elektronische Geräte und Dienstleistungen führt zu einer verstärkten Verbreitung kabelloser Kommunikationsmittel. Dadurch erhöht sich die elektromagnetische Strahlung, was wiederum zu vermehrten Problemen im Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) führt. Analyse und Behebung dieser Probleme wird durch die Verwendung moderner leistungsstarker Kodierung, Multiple-Access- und Spread-Spectrum-Techniken erschwert. Im vorliegenden Artikel werden auf elektromagnetischer Strahlung basierende Fehlerquellen in der Datenübertragung aufgezeigt und mögliche Effekte elektromagnetischer Strahlung auf den menschlichen Körper beschrieben.

GIFAS-ELECTRIC



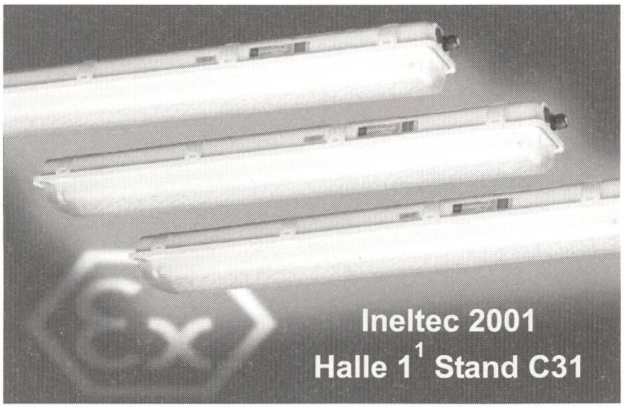


**Neugierig?**
**Lassen Sie sich unsere Neuheiten präsentieren!**

**Besuchen Sie uns an der INELTEC 01, Stand E09, Halle 1.0!**
**Wir freuen uns auf Sie!**

GIFAS-ELECTRIC GmbH
Dietrichstrasse 2 / Postfach 275
CH-9424 Rheineck

Tel. 071 886 44 44 / Fax 886 44 49
Internet: www.gifas.ch
E-Mail: gifas.electric@gifas.ch




*Wir bringen Licht in die Ex-Zone 2*

STAHL-Fribos AG
Bänihübel
CH-5070 Frick

STAHL Fribos

**elvatec ag** DEHN

**Blitzstromableiter Dehnventil**
Anforderungsklasse B
nicht ausblasend
Leckstromfrei

**NEU!**

Folgestromlöschvermögen
bei $U_c$ $I_f$ 25 $kA_{eff}$
Ableitvermögen 10/350
100 $kA_{eff}$ gesamt

**Tiergartenstrasse 16, 8852 Altendorf**
Telefon 055 451 06 46 Telefax 055 451 06 40

**Energie erzeugen Energie transformie**

Jetzt zusammen mit der Stationenbau AG an der 4.–7.9.2001 ineltec 2001 Messe Basel. Halle 1.0, Stand D 54

RUTSCHMANN

Rutschmann AG
Industriestrasse 13
8627 Grüningen

Telefon +41 (0)1 936 72 20
Telefax +41 (0)1 936 72 21
E-mail: mail@rutschmann-ag.ch

IWB, Lenzburg

# AGRO
# Electrotechnique Highlight
# No. 159

## Nouveau: tout métrique!

## La gamme des presse-étoupes selon EN 50262 est arrivée.

### Les avantages:

■ Assortiment complet en laiton nickelé, acier A2 ou A4, ou synthétique ■ Presse-étoupes de M6 à M75 ■ Joints en TPE, NBR ou FPM ■ Pour un ou plusieurs câbles ■ Vaste gamme d'accessoires

AGRO
... your quality-connection!

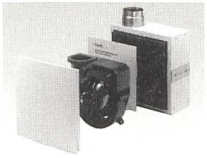
AGRO SA · CH-5502 Hunzenschwil
Téléphone 062 889 47 47 · fax 062 889 47 50
E-Mail: info@agro.ch · www.agro.ch

**Commandez dès maintenant le nouveau catalogue no. 23A!**

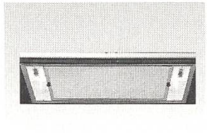
---

**ANSON liefert die besten + modernsten Lüftungsgeräte für STWE, EFH und MFH:**

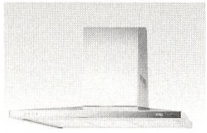
**ANSOMATIC Bad-/WC-Venti mit Zeitautomatik**
die besten, die es gibt! 230 V 100 m³/h 50 Pa. Putzbündig. Preisgünstig von ANSON



**Superleise 1-Rohr-Ventilatoren UP**
Mit Zeitautomatik. Formschön. 230 V 80 m³/h 300 Pa. Auch in AP-Ausführung. CE-konform. Von ANSON



**Formschöne Einbau-Hauben ANSOLUX**
1- und 2-motorig. Hohe Leistung 570 m³/h 310 Pa. Einbaumasse ab 258 x 494 mm. Pflegeleicht.



**ANSON DECOR Abzughauben**
für designbetonte Küchen und Kochinseln. Auch inox. 230 V 400–1000 m³/h.–Angebot verlangen von:

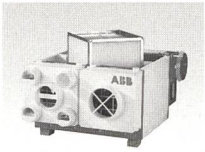



**ABB Ventilatoren mit WRG**
4 Anschlüsse 80 mm Ø; 400 m³/h, für Bad-/WC- und Küchen-Entlüftung in STWE und EFH. Von ANSON!

**Luft-Entfeuchter für Wäsche-Trockenräume**
in EFH und MFH. Wartungsfrei. Geringer Energiebedarf. 4 Modelle 230 V 400–800 W. Ab Lager! Von ANSON.

**Verlangen Sie Besuch + Beratung:** **ANSON 01/461 11 11** Friesenbergstrasse 108 8055 Zürich Fax 01/461 31 11

---

**ren Energie messen Energie verteilen**

Jetzt zusammen mit der Rutschmann AG an der 4.–7.9.2001 ineltec 2001 Messe Basel. Halle 1.0, Stand D 54

stationenbau

Stationenbau AG
Schützenhausstrasse 2
5612 Villmergen

Telefon +41 (0)56 619 88 00
Telefax +41 (0)56 619 88 04
E-mail:info@stationenbau.ch

# GEDACHT, GETAN!

## DER NEUE FIAT DOBLÒ CARGO.

Jetzt dominiert in der Klasse der Kleintransporter einer, der mit charmanter Effizienz jedes Unternehmen lohnend vorantreibt: der neue Fiat Doblò Cargo.

**1. Profitabel belastbar.** So setzt die klassenbeste Transportfähigkeit neue Massstäbe: 3,2 m³ bis 3,8 m³ Ladevolumen und eine Nutzlast von 685 bis 805 kg.

**2. Profitabel beladbar.** Die tiefe Ladekante von 535 mm, bis zu zwei seitliche Schiebetüren – die breitesten in der Klasse – und die asymmetrische Heckflügeltüre garantieren optimale Beladbarkeit auch auf engsten Standplätzen.

**3. Profitabel bedienbar.** Die komplette Armaturentafel mit integriertem Schalthebel, der erhöhte Fahrersitz, die praktische Ablage unter dem Kabinendach und viele clevere Details mehr schaffen den privilegierten Arbeitsplatz der Klasse – auf Wunsch neu mit interaktiver Kommunikationsanlage: Connect.

**4. Profitabel und sicher.** Die crashgetestete Fahrgastzelle mit Seitenaufprallschutz, umgreifenden Stossstangen und Seitenleisten, Fahrer-Airbag, optionalem Beifahrer-Airbag, Seiten-Airbag und Fire Prevention System sorgen für die Klasse Sicherheit.

**Den neuen Fiat Doblò Cargo in insgesamt 10 Versionen gibt es als 1.2- oder 1.6-Benziner, als 1.9-Diesel sowie als 1.9 JTD und in zwei reichhaltigen Ausstattungsvarianten ab Fr. 16 310.– (exl. 7,6% MwSt.). Machen Sie jetzt eine Probefahrt beim Fiat-Nutzfahrzeug-Vertreter in Ihrer Nähe und prüfen Sie den Fiat Doblò Cargo auf seine Tüchtigkeit. Infoline 0800 810 855 oder www.fiat.com**

**FIAT-NUTZFAHRZEUGE. IHRE PARTNER.** FIAT