

## Chapitre 10 : Sécurité et santé

par Pierre Cornélis, ON7PC rue J. Ballings, 88 1140 Bruxelles

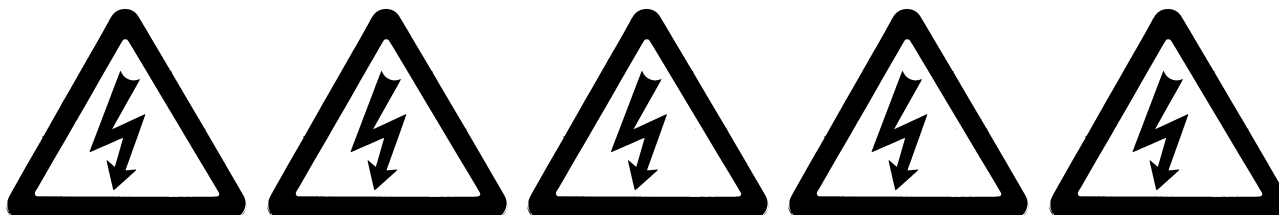
*La deuxième partie de ce chapitre concerne la **protection de la santé** : Il vous est déjà tous arrivé de recevoir une "drille" en touchant une pièce métallique sous tension. Avec du 220 V ceci n'est généralement pas mortel, ça picote un peu, on jure un bon coup et puis c'est oublié, c'est tout. Il en va tout autrement si on vous ligotait sur une chaise et qu'on vous appliquerait du 220V entre vos poignets (c'est la chaise électrique en somme !).*

*Enfin, pour "ceux qui jouent" avec des tubes et des linéaires à tube, des contacts accidentels avec des tensions plus élevées qui peuvent être fatales.*

*Puisqu'un radio amateur va "jouer" avec ces tensions, il est donc important de bien connaître les risques et les règles de mise en œuvre des circuits électriques d'alimentations en 220 V. Ces règles sont reprises dans le Règlement Techniques des Installations électriques (le "RGIE") dont nous reprendrons les articles qui nous concernent directement.*

*Le dernier élément concerne les dangers des rayonnements hautes fréquences.*

## 10.1. Protection contre les dangers électriques



**ATTENTION DANGER ATTENTION DANGER ATTENTION DANGER**

### PRECAUTIONS A PRENDRE POUR LES HAUTES TENSIONS

Les hautes tensions que le radioamateur rencontre se trouvent principalement dans les amplificateurs linéaires à tubes. On y trouve des tensions de plusieurs milliers de Volts sous des courants pouvant atteindre l'Ampère.

**DE TELLES TENSIONS, AVEC DE TELS DEBITS, SONT FATALES !**

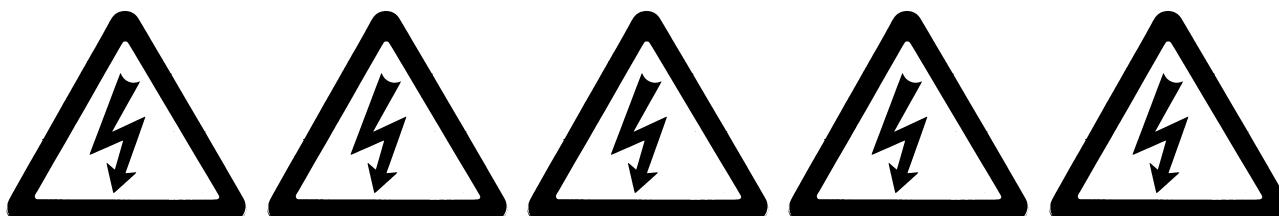
Donc si vous voulez contrôler ou mesurer ces tensions, réfléchissez bien si la mesure est utile, s'il n'y a pas moyen de faire autrement.

Et si vraiment il faut le faire, travaillez de la façon suivante :

- soyez sûr que le châssis de l'appareil (par exemple l'amplificateur linéaire) est bien relié à la terre, non seulement par le cordon secteur, mais aussi et surtout par la vis "GROUND" sur votre appareil
- branchez le voltmètre sans alimenter le circuit,
- mettez une main dans le dos et enclenchez le secteur,
- mettez l'autre main dans le dos et lisez la tension,
- coupez le secteur et attendez que les condensateurs se déchargent,
- **EN AUCUN CAS** vous n'essayerez de touchez aux fils, de retourner l'appareil pour voir ce qui se passe de l'autre côté, ou de pousser sur un composant pour voir ce qui se passe ... ne le faites même pas avec un tournevis isolé !!

Sachez que si par mégarde vous touchez des pièces sous une telle tension, **C'EST LA MORT !**  
Et vous ne serez plus là pour raconter au radioclub comment cela s'est passé !

Dans les téléviseurs il y a aussi des hautes tensions, pouvant même atteindre 25 kilovolts, mais le courant débité est limité par la résistance interne du circuit. Dans ce cas le choc électrique est important, l'arc que l'on peut "tirer" est impressionnant, mais du fait que le courant est limité, les séquelles sont beaucoup moins importantes que dans le cas ci-dessus.



### **10.1.1. Les effets du courant électrique sur le corps humain**

L'**électrisation**<sup>1</sup> désigne l'ensemble des manifestations physiopathologiques liées à l'action du courant électrique alors que le terme **électrocution** désigne un décès par électrisation.

Il faut tout d'abord faire la distinction de l'action du courant électrique sur plusieurs types de "tissus biologiques" :

- les muscles moteurs commandés par le cerveau : les mains, les bras, les pieds et les jambes par exemple. Si ces muscles sont parcourus par un courant électrique, le cerveau ne les contrôle plus ce qui pour effet de provoquer de violentes contractions. Ces contractions, générant des mouvements intempestifs, se traduisent : soit par le non lâcher de la pièce ou la partie en contact ou par répulsion en fonction du muscle sollicité (fléchisseur ou extenseur).
- les muscles auto réflexes qui fonctionnent automatiquement tels que le cœur et les poumons.
  - Le cœur, en tant que muscle, fonctionne selon un cycle de contraction (systole) et de décontraction (diastole) et il est caractérisé par des impulsions électriques (électrocardiogramme ou ECG) d'une durée de 0,75 sec environ (80 pulsation/minute). Une tension électrique extérieure (électrisation) va perturber profondément ce cycle. Le danger de l'électrisation est d'autant plus grand si le courant passe par le cœur ou par des tissus proches du cœur, donc si par exemple une main touche un des pôles et l'autre main touche l'autre pôle.
  - Le danger pour les poumons est relativement semblable à celui du cœur.
- la peau est un élément important dans la résistance offerte au passage du courant. La peau peut être plus ou moins épaisse, elle peut être plus ou moins humide, plus ou moins grasse, ou présenter des callosités (mains). Tous ces facteurs font que la résistance de contact peut varier dans un rapport de 1 à 1000 et par conséquent le courant va également varier dans une telle proportion. Il faut également noter qu'au-delà de 1000 V, il y a rupture diélectrique de la peau, c-à-d que la peau perd soudain son pouvoir isolant.

Le fait d'avoir la peau à nu (salle de bain, période estivale, ...) ou mouillée (salle de bain, ...) augmente donc les risques d'électrisation. Le fait de porter des vêtements, des chaussures, et à fortiori des équipements spécialement conçus pour résister à l'électricité (gants isolants d'électricien, ...) sont de nature à diminuer les risques d'électrisations.

Trois facteurs sont également à prendre en compte : la **tension** , le **courant** et le **temps de contact** :

---

<sup>1</sup> Dans le cours d'électricité on désigne par électrisation le fait de charger un corps isolant (petits morceaux de papier, bâton de verre ou d'ambre), ici dans l'approche médicale de l'accident produit par l'électricité, ce terme à une autre signification !

Il est bien évident que plus la tension est élevée, plus le courant sera élevé. Ceci conduit à la classification des tensions suivantes :

		CA	CC	
TBTS	Très Base Tension de Sécurité	0 à 12 V		En dessous de 12 volts il n'y a aucun danger, c'est la raison pour laquelle tous les appareils qui se trouvent dans le volume de sécurité d'une salle de bain (c-à-d le volume qui contient la baignoire et/ou la douche) doivent être alimenté par une tension de 12 V au maximum.
TBT	Très Basse Tension	jusqu'à 50 V	0 à 120 V	aucun danger d'électrocution
BT	Basse Tension	51 à 1000 V	121 à 1500 V	danger de mort au toucher
HTA	Haute Tension A	1001 à 50 000 V	1501 à 75000 V	danger de mort à moins de 20 cm
HTB	Haute Tension B	au-delà de 50 kV	au-delà de 75 kV	danger de mort à moins d'un mètre

Le courant qui traverse les tissus est un autre facteur important :

- un courant de 1 mA est considéré comme le seuil perceptible
- la douleur apparaît à 5 mA
- le seuil de contraction musculaire se situe à environ 10 mA.
- au-delà d'une centaine de mA, le phénomène d'échauffement ( $RI^2$ ) apparaît et cet échauffement peut donner lieu à de brûlures du 1er, 2eme ou 3eme degré.

### Conduite à tenir en cas d'accident

- 1) S'il s'agit d'une simple "drille" il n'y a rien de spécial à faire sinon prendre conscience du danger et faire plus attention la prochaine fois !
- 2) Si la victime rester "coller" au conducteur
  - a) la réaction immédiate, est de **couper le courant** en amont, soit en retirant une fiche de la prise de courant, soit en coupant au niveau du compteur électrique.
  - b) ensuite alerter les secours, le **112**
  - c) **puis**,
    - si la personne est consciente, l'installer dans la position où elle se sent le mieux (par défaut position allongée) et la surveiller
    - si la personne est inconsciente et respire, la tourner sur le côté en chien de fusil (position latérale de sécurité PLS)
    - si la personne ne respire pas, effectuer la réanimation cardio-pulmonaire et si vous trouvez un Défibrillateur Externe Automatique DEA (ou AES) l'utiliser en suivant les instructions.
- 3) En cas d'électrisation où la victime est "propulsée" du conducteur, écarter le danger en coupant le courant sur des parties métalliques. Le cas échéant, procéder comme aux points b et c comme ci-dessus.
- 4) En cas d'électrisation par **très haute tension**, il faut de plus prendre soit même toutes les précautions requises pour "décoller" la victime : emploi de tabouret isolant, de gants isolants (des gants d'électriciens adaptés à la tension de service) ou de perches

Mais le courant électrique peut aussi soulager ....

En physiothérapie on utilise des courants de l'ordre de 5 à 10 mA et des tensions de l'ordre de 30 V pour traiter des affections rhumatismales. Bien sûr le contact avec la peau est fortement amélioré, par l'utilisation d'éponges humides ...

### **10.1.2. Le réseau d'alimentation public**

Dans nos contrées, l'énergie électrique est distribuée en triphasé avec une fréquence de 50 Hz. Le système est connu sous l'appellation 220/380 V car il y a 220 V entre une phase et le neutre, par contre il y a 380 V entre phases. Le rapport  $380/220$  vaut  $\sqrt{3}$ . Mais le cuivre coûte cher et les producteurs d'électricité ont tendance à passer au système 230/400 V.

La plupart des habitations sont donc raccordées en triphasé, mais le triphasé n'est utilisé que pour les applications qui requièrent le plus de puissance : les fours de cuisson à l'électricité, les gros moteurs (si vous avez un atelier par exemple) et à l'alimentation de certains moteurs de chauffage central par exemple. Tout le reste se fait en monophasé.

### **10.1.3. Le Règlement Général sur les Installations Électriques ou RGIE**

Toutes les installations électriques en Belgique doivent répondre au RGIE par conséquent le raccordement d'une station de radioamateur doit également répondre à ces normes<sup>2</sup>.

D'autres part, le RGIE est essentiellement basé sur la notion de **sécurité**, il est donc important d'en comprendre les grands principes.

#### **10.1.3.1 Fusible, disjoncteur et différentiel**

Le RGIE impose en tête du coffret, le placement d'un **interrupteur différentiel** avec une sensibilité de **300 mA** et un **pouvoir de coupure de 40 A** minimum. Ce différentiel détecte les courants de défaut s'écoulant vers la terre. Il s'agit donc d'une excellente protection contre les risques d'incendie et d'électrocution. Le différentiel général doit être plombable. Pour s'assurer de leur bon fonctionnement les différentiels doivent être vérifiés régulièrement, de préférence en appuyant sur le bouton-test.

En plus du différentiel général de 300 mA et,

- si la résistance de terre est  $< 30 \Omega$  , il faudra un différentiel de 30 mA pour la salle de bains (douche), machine à laver, séchoir et lave – vaisselle. Pour le chauffage par résistances noyées dans le sol un différentiel séparé de 100 mA est obligatoire
- si la résistance de terre est comprise entre 30 et 100  $\Omega$ , il faudra un différentiel de 30 mA pour chaque circuit d'éclairage, il faudra aussi un différentiel de 100 mA par circuit ou groupe de circuits comportant au maximum 16 prises et un différentiel pour les circuits du frigo, surgélateur et cuisinière

Les fusibles et les disjoncteurs servent à interrompre le circuit en cas de surcharge ou de court-circuit, protégeant ainsi les fils et les appareils.

Les disjoncteurs peuvent être thermique, magnétique ou magnéto-thermique.

- une disjoncteur thermique est basé sur la dilatation d'un bilame qui déclenche le disjoncteur (ouvre), ce type de dispositif possède une certaine inertie, et il faut donc quelques secondes avant de déclencher
- un disjoncteur magnétique est basé sur l'action d'un électroaimant qui déclenche presque instantanément le disjoncteur.

Les fusibles ne sont plus recommandés dans les installations domestiques. Ils conviennent toutefois encore dans les installations industrielles ou semi industrielles pour des intensités supérieures à 32 A.

#### **10.1.3.2. Circuits**

Une installation domestique est composée de plusieurs circuits et on fait en général la distinction entre circuit d'éclairage et circuit prise de courant.

Le circuit prise de courant comportera au maximum 8 prises simples ou multiple. On sépare aussi les circuits en fonction de l'étage.

Si un point lumineux est placé sur le même circuit qu'un circuit d'éclairage, ce point lumineux comptera pour une prise de courant.

Chaque circuit est protégé par une paire de fusibles ou un disjoncteur magnéto-thermique bipolaire.

<sup>2</sup> Pour obtenir ces normes voir <http://www.aib-vincotte.com/Frontmodules/FR/arei.asp>



### **10.1.3.3. Calibre**

En général on utilise un calibre de 1,5 mm<sup>2</sup> pour les circuits d'éclairage et 2,5 mm<sup>2</sup> pour les circuits de prises de courant. Pour les appareils de chauffe électrique ou les appareils de forte puissance on utilisera du 6 mm<sup>2</sup>. Le tableau général suivant reprend les calibres, sections de conducteurs :

les calibres maxima pour fusibles et disjoncteurs			
section (mm <sup>2</sup> )	couleur	fusible (A)	disjoncteur (A)
1	rouge	6	10 A
1,5	orange	10	16 A
2,5	gris	16	20 A
4	bleu	20	25 A
6	brun	32	40 A
10	vert	50	63 A
16		63	80 A
25		80	100A
35		100	125 A

### **10.1.3.4. Les types de câblage et de câble**

On distingue

- le câblage sous gaine
- le câblage sous tube extérieur ou encastrés
- le câblage sous plinthes (et goulotte)
- le câblage enterré

et les câbles suivants

désignation belge	désignation HAR (européenne)	
VOB	H07 VU	Conducteur monobrin, destiné au câblage sous tube isolé
VOB.S	H07 VK	Conducteur multibrin (souple) destiné au câblage interne d'appareils
VTB	H05 VU	Câblage interne d'appareils
VTLBp	H03 VVH2F	Petits appareils transportables (câble p <sup>l</sup> at)
VTLB	H03 VVF	Petits appareils transportables (câble rond)
VTMB	H05 VVF	Appareils transportables pour l'ext. : tondeuses, taille-haies ...
CSUB	H03 RTF	Appareils transportables : fer à repasser, grille-pain...
VVB XVB		
VFVB XFVB		Câble armé destiné à être enterré
VMVB		Câble similaire au VFVB, mais dont la gaine bourrante est chargée d'une poudre de ferrite, ce qui contribue à tenir le champ électromagnétique à l'intérieur du câble et donc à une haute compatibilité électromagnétique.



Mode de pose	VFVB (XFVB)	VVB (XVB)	VOB,VOBs(t)
dans l'air	accepté	accepté	interdit
sans tube dans le mur	accepté	accepté	interdit
sous tube (plastique ou métal)	accepté	accepté	accepté
dans des plinthes non métalliques et incombustibles	accepté	accepté	accepté

### **10.1.3.5. Prise de terre**

Le RGIE prévoit également que chaque habitation soit pourvue d'une **boucle de terre**<sup>3</sup>. La boucle de terre

- est constituée d'un conducteur massif (cuivre ordinaire ou plombé) de 35 mm<sup>2</sup> qui
- est placé sur tout le pourtour, sous les fondations des murs extérieurs.
- est placée à fond de fouille et recouverte de terre afin qu'il n'y ait aucune connexion avec la fondation (problème d'oxydation en cas de contact avec le ferrailage du béton armé)
- les extrémités de la boucle sont accessibles des deux côtés
- et la boucle de terre est reliée à un **sectionneur de terre** (barrette coupe terre) qui doit permettre de mesurer la résistance de la prise de terre. Le conducteur entre l'extrémité de la boucle de terre et la barrette coupe terre est de couleur jaune vert.

La résistance de la prise de terre doit être inférieure à 30 Ω, toutefois on admet sous certaines réserves (ajouts de différentiels sur tous les circuits) une résistance de terre de maximum 100 Ω.

Les dispositions du RGIE prévoient également que les armatures métalliques des appareils d'éclairage (lustre, ...) soient également raccordées à la terre.

### **10.1.3.6. Les prises de courant et fiches**

Excepté quelques applications bien particulières (rasoir électrique, téléviseur, radio domestique ....) le RGIE impose **des prises de courants et des fiches avec terre c-à-d avec 3 broches**. De plus ces prises doivent être munies d'obturateurs automatiques pour éviter l'introduction d'objets.

Les fils peuvent être repérés "L" pour Line et "N" pour Neutral. Le troisième fil est le fil de terre

PHASE	NEUTRE	TERRE
brun	bleu	jaune vert

<sup>3</sup> La boucle de terre remplace le "piquet de terre" des anciennes installations.

### **10.1.3.7. Contrôle de l'installation et agrégation**

- Toute extension (comme l'ajout d'un circuit) réalisée après le 1er octobre 1981 doit satisfaire au RGIE.
- Un **plan de position** et un **schéma unifilaire** doivent être réalisés pour chaque extension
- Toute extension d'une installation doit être contrôlée par un organisme de contrôle
- Les manquements doivent être corrigés dans les plus brefs délais
- Un nouveau contrôle par un organisme de contrôle agréé est obligatoire au bout de 25 ans.
- En cas d'incendie, l'assureur peut se retirer si le client n'est pas en mesure de démontrer que tous les raccordements étaient en ordre

Schéma unifilaire  
plan de situation

### **10.1.3.8. Problèmes relatifs aux anciennes installations**

Les problèmes ci-dessous peuvent être la cause d'accident et il est impératif d'y apporter les remèdes :

1. **Anciens coffrets de répartition ouverts** avec plaque de marbre ou de plastique noir avec un interrupteur « à couteau » non protégé : à remplacer par des coffrets de répartition fermés et sûrs
2. **Absence de différentiel** ce qui implique qu'en cas de perte de courant, certains éléments en métal des appareils vont être sous tension et seront donc une cause possible d'accident. Il faut obligatoirement faire installer un différentiel de 300 mA après le compteur électrique et un différentiel de 30 mA pour la salle de bain.
3. **Absence de terre ou mauvaise terre** donc par conséquent aussi broche de terre de prises de courant non raccordées d'où danger d'électrocution. Solution : remplacez toutes les prises sans broche de terre, veillez à ce qu'elles soient convenablement reliées à l'électrode de terre via un conducteur de protection jaune-vert.
4. **Anciennes canalisations** Risques : l'isolation des fils s'effrite, augmentant ainsi le risque d'incendie le fil n'est pas suffisamment fixé à la borne de raccordement ; il peut se détacher et provoquer une surchauffe Solution : les fils électriques dont la section est inférieure à 1 mm<sup>2</sup> doivent être remplacés par des fils d'au moins 1,5 mm<sup>2</sup> pour l'éclairage et d'au moins 2,5 mm<sup>2</sup> pour les prises ; vérifiez toutes les prises et bornes de raccordement et réparez ou remplacez les éléments détériorés.
5. **Protections inadaptées** : Risques : l'intensité nominale des fusibles ou disjoncteurs existants est trop élevée pour les conducteurs en place présence de fusibles qui ont été réparés de manière insensée Solution : remplacez les fusibles par des disjoncteurs adaptez la protection des disjoncteurs (ou des fusibles) à la section des fils

### **10.1.4. Connexions à l'intérieur des véhicules**

Il est souhaitable de tirer une ligne spéciale (2 fils) qui va directement de la batterie au TCVR et d'installer les fusibles près de la batterie. La plupart des TCVR mobiles sont fournis de ces câbles et fusibles.

Il ne faut pas perdre de vue qu'avec une tension de 13,8 V, les chutes de tensions prennent une importance beaucoup plus grande qu'en 220V par exemple. Il ne faut pas perdre de vue que les arcs électriques sont beaucoup plus spectaculaires en continu qu'en alternatif.

### **10.1.5. Les hautes tensions**

Les équipements à tubes utilisent des hautes tensions continues. On peut donner les ordres de grandeurs suivants :

- pour un amplificateur BF, un récepteur ou un émetteur à tube (excepté l'étage final) : 150 à 300 V
- étage final d'un émetteur à tube jusqu'à 100 à 150 W : 400 à 600 V
- amplificateur linéaire à tube jusqu'à 1500 W : 3000 V et parfois plus

## **10.2. La foudre**

Le coup de foudre direct représente un courant de 10 000 à 25 000 ampères sous une tension de 10 à 100 millions de volts, il dure quelques 20 millisecondes. Sachant que la charge d'un tel nuage est de l'ordre de 5 Cb, l'énergie est donc de  $5 \text{ Cb} \times 100 \text{ MV} \times 20 \text{ ms}$  soit 10 MW ! C'est une puissance énorme et on comprend mieux pourquoi rien ne résiste au coup de foudre direct. Les coups de foudre directs sont, fort heureusement, très rares.

Le coup de foudre par induction est lié au coup de foudre direct, son intensité est beaucoup moins importante.

Pare le fait même qu'une installation de radioamateur utilise des antennes, le risque de foudre est plus important que la moyenne.

Il est recommandé de mettre toutes les parties métalliques des pylônes et des mâts à la terre (sauf les pylônes rayonnants et les antennes verticales bien sûr).

Des parafoudres peuvent aider dans le cas de coups de foudre par induction.

### 10.3. Protection contre les dangers des champs HF

*Trop souvent on entend des rumeurs alarmantes concernant les dangers des champs HF. Trop souvent ces rumeurs proviennent des médias totalement ignorants et/ou totalement incompetents en la matière. A leur décharge il faut dire que les scientifiques eux-mêmes ne sont pas tous d'accord et fixent des normes qui évoluent au fil des années.*

*Le paradoxe est qu'on crie haro sur les stations de base des GSM qui ont une dizaine de watts, mais qui se trouve à plusieurs mètres des habitations, et qu'on ne dit rien du GSM, l'appareil que l'on utilise et qui rayonne quand même 2 watts à quelques cm de la tête. Bien sûr on argumentera que les temps d'expositions ne sont pas les mêmes.*

*Bien sûr, il y a eu des accidents, des techniciens chargés de l'entretien d'équipements micro-ondes (radars, ...) ont perdu la vue (partiellement ou totalement) en regardant dans un guide d'onde où il y avait de la puissance.*

*Mais il y a aussi des techniciens qui sont chargés de l'entretien et de l'exploitation d'émetteurs OM ou OC et qui sont exposés à des puissances TRES importantes, et donc des champs TRES importants et ceci à raison de 8 h par jour. Ces techniciens ont vécu jusqu'à un âge raisonnable et ne souffrent d'aucun problème particulier.*

*Mieux encore les kinésithérapeutes utilisent des ondes électromagnétiques pour soigner et guérir.*

*Malgré 70 ans d'observations des effets possibles des ondes électromagnétisme sur l'organisme humain, malgré les 20 dernières années où l'étude a été plus approfondie, "on n'est toujours pas sûr d'être certain" que les normes proposées sont suffisantes pour garantir que la santé ne sera pas mise en danger.*

*Il y a évidemment deux comportements extrêmes :*

- *si on n'est pas absolument sûr, il faut interdire (appelons cela le comportement de l'extra-écologiste), et,*
- *si on n'est pas sûr c'est qu'il n'y a pas de problème, sinon on l'aurait déjà constaté !*

*Il convient donc de remettre un peu de sérieux et de rigueur dans cette matière et nous y intéresser. En tant que radioamateur, les questions que l'on DOIT se poser sont les suivantes :*

- *quels sont les dangers encourus?*
- *quelles sont les normes ?*
- *quel est le champ HF que l'on peut supporter sans encourir de risque pour la santé ?*
- *est-ce que l'emploi d'une puissance de 1 kW dans une beam 3 éléments 10/15/20 m peut produire un champ tel qu'il existe un risque pour la santé ? et si oui quelle est la distance de sécurité ?*
- *même question pour 1 kW et une antenne verticale  $\lambda/4$  en 40 ou 80 m ou pour un dipôle 40/80 m à 10 m du sol par exemple*
- *même question pour la bande des 2 m (ou 70 cm) avec une puissance de 100 Watts et une antenne à haut gain (disons 12 dB)*
- *est-ce que le passant qui se trouve à 2 m de ma voiture où j'émet dans la bande des 2 m (ou 70 cm) avec une puissance de 50 Watts est soumis à un champ dangereux ou non ?*
- *est-ce que le portable 2 m (ou 70 cm) avec une puissance de 5 Watts, dont l'antenne est à 3 cm de ma tête est dangereuse ou non ?*

### 10.3.1. Effets ionisants

On dit qu'un rayonnement est **ionisant**, lorsqu'il parvient à arracher un (ou plusieurs) électron(s) à un atome et qu'il peut le transformer en ion. Pour arracher 1 électron il faut que l'énergie soit supérieure à l'énergie qui retient cet électron donc ....

Le physicien allemand Max Planck a établi que l'énergie d'un rayonnement dépendait de sa fréquence selon la relation  $E = h f$  où  $h$  est une constante qui porte le nom de constante de Planck et qui vaut  $6,62 \cdot 10^{-34}$  J sec. Faisons quelques rapides calculs et reportons-les dans un tableau

	$\lambda$	fréquence		E (J)	E (eV)
limites des bandes radioamateurs les plus utilisées	160 m	1,8 MHz	$1,8 \cdot 10^6$	$1,19 \cdot 10^{-27}$	$7,44 \cdot 10^{-9}$
	3 cm	10 GHz	$1 \cdot 10^{10}$	$6,6 \cdot 10^{-24}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$
limite des radiofréquences	0,1 mm	3.000 GHz	$3 \cdot 10^{12}$	$1,98 \cdot 10^{-21}$	0,0124
lumière visible : rouge	750 Å		$4 \cdot 10^{14}$		1,65
lumière visible : violet	400 Å		$7,5 \cdot 10^{14}$		3,10
UV	250 Å		$1,2 \cdot 10^{15}$		4,96
Rayon X mou	100 Å		$3 \cdot 10^{16}$	$1,98 \cdot 10^{-13}$	124
Rayon X dur	0,01 Å		$3 \cdot 10^{20}$	$1,98 \cdot 10^{-13}$	$1,24 \cdot 10^6$
Rayons $\gamma$	0,001Å		$3 \cdot 10^{21}$	$1,98 \cdot 10^{-12}$	$1,24 \cdot 10^7$

$1 \text{ \AA} = 0,001 \mu$
$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Les rayonnements radioactifs (alpha, beta et gamma), de même que les rayons X, les UV peuvent donc casser les liaisons moléculaires, et produire des ions. Lorsqu'une cellule est ionisée, il peut y avoir des modifications des cellules et apparition de cancer.

Par contre les rayonnements HF, et plus particulièrement la bande de 1,8 MHz à 10 GHz, où se déroule presque toutes les activités radioamateurs, l'énergie est bien inférieure à l' eV. Il n'est donc pas possible d'extraire un e<sup>-</sup> d'un atome. Il n'y a donc pas d'ionisation, ni d'effet ionisant, pour ce qui nous concerne.

Les rayonnements électromagnétiques ("radiofréquences") sont dits **rayonnements non-ionisants** car à ces fréquences l'énergie n'est pas suffisante pour créer des ions.

## 10.3.2. Effets thermiques des ondes électromagnétiques

Mais lorsqu'un tissu est exposé à un rayonnement électromagnétique, il subit un **échauffement**. Les tissus humains sont essentiellement constitués d'eau et comme la molécule d'eau est polarisée, elle est influencée par les champs électriques et tente de s'orienter dans le sens du champ. Si ce champ est alternatif la molécule d'eau va donc constamment changer d'orientation, ce qui crée un échauffement.

D'autre part, on sait que

- la profondeur de pénétration est d'autant plus grande que la fréquence est faible
- si l'intensité est trop forte, il peut y avoir des dégâts irréversibles et irréparables
- l'élévation de température est contrecarrée par la circulation sanguine qui joue le rôle de liquide de refroidissement
- certains tissus sont plus sensibles à cette augmentation de température que d'autres.
- les effets thermiques sont plus marqués pour des fréquences proches des fréquences de résonances du corps humain. Pour un adulte, les effets sont les plus nocifs aux environs de 35 MHz si le corps est à la masse et de 70 MHz si le corps est isolé de la terre. Si la source est par exemple un portable, et donc près de la tête, les effets sont plus nocifs vers 400 MHz qui est la fréquence de résonance de la tête.

Il est actuellement admis qu'au-delà d'une augmentation de température de 1°C, il apparaît des effets thermiques nuisibles. La puissance qui fait augmenter de 1°C une masse de 1 kg (1 kg de tissus humains bien entendus) est de 4 W / kg. Cette puissance s'appelle **Specific Absorption Rate (SAR)**.

On distingue aussi deux catégories de personnes exposées ou deux zones :

- le domaine professionnel où les personnes sont au courant des dangers des ondes radio et où l'énergie peut être déterminée avec précision. On dit aussi que ces personnes sont dans une **zone contrôlée**, et,
- et le domaine grand public où les personnes ne sont pas au courant des dangers des ondes radio. On dit aussi parle alors de **zone non contrôlé**.

Dans le domaine professionnel (= zone contrôlée), la puissance ne doit pas dépasser 1/10 du SAR donc 0,4 W/kg. Dans le domaine grand public (= zone non contrôlée), la puissance ne doit pas dépasser 1/50 du SAR. donc 0,08 W/kg

### 10.3.2.1. L' EIRP

La puissance considérée ici est l' EIRP (**Equivalent Isotropic Radiated Power**). Il faut donc multiplier la puissance HF appliquée à l'antenne par son gain donc  $EIRP = G \times P$ . Le gain est le gain de l'antenne par rapport à l'antenne isotrope :

- un quart d'onde a un gain de 5,16 dB par rapport à l'antenne isotrope.
- un dipôle a un gain de 2,15 dB par rapport à l'antenne isotrope, par conséquent comme les antennes yagi ont des gain exprimé en dBd, il vient :  $G_{dBi} = G_{dBd} + 2.15 \text{ dB}$

Pour calculer l' EIRP, on peut bien entendu également tenir compte des pertes dans les câbles, par exemple:

dB/100 m	160 m	80 m	40 m	20 m	15 m	10 m	6 m	2 m	70 cm	23 cm
RG58	1.98	2.78	3.86	5.4	6.7	7.79	10.49	17.5	30.3	51.8
RG213	0.27	0.74	1.37	2.32	3.03	3.67	5.24	9.35	16.8	29.4
Aircell7								7.9	14.1	26.1
Aircom +								5	8.5	21.5

On peut aussi ajouter les pertes dans les connecteurs, dans les appareils de mesure et dans les coupleurs d'antennes. Ci après quelques valeurs typiques:

	perte par paire de connecteur	TOS-mètre ou appareil de mesure de la puissance	perte pour un coupleur d'antenne
HF	0,005 à 0,05 dB	0,03 dB	0,1 à 0,3 dB
VHF	0,01 à 0,05 dB	0,05 dB	
UHF	0,02 à 0,1 dB	0,1 dB	

Dans le cas du service radioamateur où on utilise différents modes de transmissions, on peut aussi pondérer cette puissance par un facteur

mode		$C_{mode}$
SSB	J3E	0,2
AM (m = 100 %)	A3E	0,3
CW	A1A	0,4
AM avec m = 50 %	A3E	0,5
SSB avec compresseur	J3E	0,5
ATV (cf en 70 cm)	C3F	0,6
ATV FM (cf en 23 cm)	F3F	1
FM	F3E	1
RTTY	F2B, J2B	1
SSTV	J3F	1
TUNE	N0N	1

Le facteur de correction des 3 minutes. Certains auteurs (entre autres, le législateur allemand) admettent que si sur tout intervalle de 6 minutes, il n'y a pas plus de 3 minutes d'émission, alors on peut introduire un facteur de correction  $C_{3\min} = 0,5$ .

### **10.3.2.2. Conversion puissance/champ électrique ou champ magnétique**

La relation fondamentale qui donne le **champ électrique** en fonction de la puissance et de la distance est :

$$E_{(V/m)} = \sqrt{30 \text{ EIRP}_{(W)} / d_{(m)}}$$

Par conséquent la relation qui donne la **distance de sécurité** est :

$$d_{(m)} = \sqrt{30 \text{ EIRP}_{(W)} / E_{(V/m)}}$$

On parle aussi parfois de **densité de puissance** : Pour une distance d, on peut en effet considérer une sphère de surface  $s = \pi d^2$  ( avec  $d = 2r$ ). Toute la puissance passe au travers de cette sphère et la densité de puissance est par conséquent égale à  $S = P / s$

L'autre formule importante permet la conversion d'une densité de puissance en champ électrique :

$$E_{(V/m)} = \sqrt{S_{(W/m^2)} \times 377}$$



### **10.3.2.4. Champ maximal admissible**

Plusieurs organisations ont tenté de fixer des normes fixant les valeurs maximales des champs, citons :

- l' ANSI ou American National Standards Institute
- l' IEEE ou Institute of Electrical and Electronics Engineers
- l' ICNIRP ou International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
- le **NCRP** ou National Council on Radiation Protection and Measurements

La courbe de l' IEEE :

On y distingue les courbes pour les zones **contrôlées** et **non contrôlées** de même que pour deux polarisations. On notera que le creux se situe entre 10 et 1000 MHz.

A partir de ce graphique on peut refaire un tableau qui reprend les bandes radioamateurs et les limites en zones contrôlées et en zone non-contrôlée. Il vient alors (voir plus loin)

Par ailleurs le Conseil de l'Europe a émis la Recommandation 1999/519/CE le 12 juillet 1999 qui traite de l'exposition du public aux champs électromagnétiques de 0 à 300 GHz. D'une façon générale cette recommandation reprend les travaux de l' ICNIRP et propose un facteur de précautions de 50 pour le grand public.

La législation belge est définie par

- l' Arrêté Royal du 29 avril 2001,
- l' Arrêté Royal du 21 décembre 2001, et,
- l' Arrêté Royal du 10 août 2005

cette législation belge utilise un facteur de précaution de 4 par rapport à la recommandation européenne

fréquence (MHz)	environnement contrôlé (V/m)	environnement non contrôlé (V/m)	recommandation <sup>4</sup> européenne (V/m)	législation belge (V/m)
1,8	4000	600	64,8 <sup>5</sup>	non applicable
3,5	1700	220	46,5	non applicable
7	850	120	32,8	non applicable
10			28	<b>13,7</b>
14	400	55	28	<b>13,7</b>
18			28	<b>13,7</b>
21	270	35	28	<b>13,7</b>
24			28	<b>13,7</b>
28	210	27	28	<b>13,7</b>
144	60	27	28	<b>13,7</b>
432	75	32	28,68 <sup>6</sup>	<b>14,25<sup>7</sup></b>
1296	120	60	49,5	<b>24,69</b>
2350			61	<b>30,7</b>
5700			61	<b>30,7</b>
10 000	200	150	61	<b>30,7</b>
au-delà de 10 GHz			61	non applicable

<sup>4</sup> Ces valeurs sont pratiquement identiques à la norme allemande (norme VDE) et à la législation française (Décret 2002-775 paru au Journal Officiel du 5 mai 2002)

<sup>5</sup> Entre 1 et 10 MHz, la valeur est égale à  $87/\sqrt{f}$

<sup>6</sup> Entre 400 MHz et 2 GHz, la valeur est égale à  $1,375\sqrt{f}$

<sup>7</sup> Entre 400 MHz et 2 GHz, la valeur est égale à  $0,686\sqrt{f}$

### **10.3.2.5. "Worst case"**

Tous les calculs se font toujours dans le cas le plus défavorable ("worst case"). Ainsi si on utilise une antenne directionnelle, on calculera par exemple la distance dans la direction principale sans tenir compte qu'en dehors du lobe principal la puissance chute de 10 à 20 dB.

### **10.3.2.6. Nécessité de signalisation**

Les endroits publics où il existe un risque que le champ électromagnétique dépasse la valeur admise par les normes, doivent être délimité par une clôture et le danger doit être signalé par le symbole ci-contre.

De même dans les entreprises où il y a un risque d'exposition aux ondes électromagnétiques (cyclotron, soudure et séchage HF, entreprise de construction de matériel HF,...) les zones à risques doivent être clairement délimitées et signalées par le symbole ci-contre.



## **10.3.3. Effets non thermiques des ondes électromagnétiques**

Mais depuis peu, on prétend que pour des niveaux de puissance plus bas, il peut y avoir des effets sur la santé. Ces effets sont appelés **non thermiques** ou **athermiques**. Ces effets se répercuteraient après de longues expositions, et ne seraient perceptibles qu'au bout de plusieurs générations. Les chercheurs qui traitent ces problèmes se divisent en deux groupes :

- les épidémiologistes qui font des études statistiques sur des groupes relativement importants. Les épidémiologistes auraient constaté quelques cas suspects de leucémie ou de cancer des vaisseaux lymphatiques parmi les radioamateurs.
- les biologistes qui étudient plutôt la cellule et sa mutation.

On parle ainsi de

- migration et de changement de l'ion calcium (élément très important dans le fonctionnement de la cellule)
- changement de la vitesse de prolifération des cellules
- perturbation de l'activité des enzymes
- influence sur l'ADN

Mais les effets ne sont pas clairement établis et donc controversés. Un travail important devra encore être fait dans les années qui viennent.

## **10.3.4. Conclusions**

Dans l'état actuel des choses on se contente donc de limiter le champ électromagnétique à une valeur acceptable pour éviter les effets thermiques.

## **10.4. Protection contre les dangers des champs à 50 Hz**

L'autre danger provient du courant industriel à 50 Hz (ou 60 Hz en Amérique) on parle alors d'ELF (Extremely Low Frequency). Ces champs électromagnétiques peuvent en effet apparaître sous les lignes hautes tensions, près de transformateurs HT/BT ou dans les milieux industriels ou domestiques.

Etant donné la très grande longueur d'onde, il est plus aisé de mesurer de champs magnétiques plutôt que des champs électriques. Quelques valeurs de champs du champ électrique sont:

	$\mu\text{T}$
télévision	0,04 à 2
micro-ondes	4 à 9
sous ligne HT	10 à 30
champ terrestre (en permanence)	50
four	0,4 à 200
rasoir électrique	100 à 1000
sèche cheveux	0,1 à 2000

Le Conseil de l'Europe fixe la limite à  $0,1 \mu\text{T}$ <sup>8</sup> (voir Rec. 1999/519/CE le 12 juillet 1999).

## **10.5. Epilogue**

Ce chapitre peut paraître alarmiste, mais il ne doit certainement pas vous empêcher de poursuivre votre hobby, c-à-d le radio amateurisme. Toute activité humaine entraîne des risques, en cuisinant vous pouvez vous couper ou vous brûler, en traversant la rue vous pouvez vous faire écraser, ...

---

<sup>8</sup> En réalité  $5/f$  comme  $f$  est de 50 Hz on obtient  $0,1 \mu\text{T}$

## Annexe

### La distribution de courant aux Etats-Unis et au Canada

De nombreux appareils proviennent des Etats-Unis ou du Canada où les normes son sensiblement différentes, notons à titre d'information:

- la fréquence du réseau est de 60 Hz. Les transfos américains ont donc "moins de fer", en d'autres termes un transfo américain utilisé en Europe chauffe plus (pertes dans le fer et saturation) à moins qu'il n'ait été surdimensionné et que le constructeur ait prévu un usage sur 50 Hz et sur 60 Hz !
- aux Etats-Unis le système est 120/240 V ,
- la fiche secteur comporte deux broches plates, une fiche avec terre comporte en plus une broche ronde,
- les couleurs des fils sont aussi différentes :

	LINE	NEUTRAL	GROUND
couleur aux USA	noir ou rouge	blanc	vert

- les conducteurs sont classés en numéros AWG ("American Wire Gauge"). Le tableau ci après reprend les AWG les plus courants, le diamètre et la section équivalente en SI et les intensités maximales :

	diamètre approximatif (mm)	section approximative (mm <sup>2</sup> )	intensité maximum	fusible
# 6AWG			55 A	50 A
# 8 AWG	3,251	8,302	40 A	40 A
#10 AWG	2,641	5,480	30 A	30 A
#12 AWG	2,032	3,243	25 A	20 A
#14 AWG	1,625	2,075	20 A	15 A

## 10.6. Le programme HAREC

Que faut-il connaître d'après le programme HAREC ?

<b>CHAPITRE 10 10. PROTECTION ELECTRIQUE</b>	<b>Vilnius 2004<sup>9</sup></b>
- Le corps humain	
- Alimentation à secteur alternatif	
- Hautes tensions	
- Foudre	

<sup>9</sup> Cette colonne indique la nouvelle matière ajoutée ou supprimée lors de la réunion CEPT de 2004.

## **10.7. Table des matières**

10.1. Protection contre les dangers électriques .....	2
10.1.1. Les effets du courant électrique sur le corps humain .....	3
10.1.2. Le réseau d'alimentation public.....	5
10.1.3. Le Règlement Général sur les Installations Électriques ou RGIE.....	6
10.1.3.1 Fusible, disjoncteur et différentiel.....	6
10.1.3.2. Circuits .....	6
10.1.3.3. Calibre .....	8
10.1.3.4. Les types de câblage et de câble.....	8
10.1.3.5. Prise de terre.....	9
10.1.3.6. Les prises de courant et fiches.....	9
10.1.3.7. Contrôle de l'installation et agrégation .....	10
10.1.3.8. Problèmes relatifs aux anciennes installations.....	10
10.1.4. Connexions à l'intérieur des véhicules.....	11
10.1.5. Les hautes tensions .....	11
10.2. La foudre .....	12
10.3. Protection contre les dangers des champs HF.....	13
10.3.1. Effets ionisants.....	14
10.3.2. Effets thermiques des ondes électromagnétiques .....	15
10.3.2.1. L' EIRP .....	15
10.3.2.2. Conversion puissance/champ électrique ou champ magnétique .....	16
10.3.2.4. Champ maximal admissible .....	17
10.3.2.5. "Worst case" .....	18
10.3.2.6. Nécessité de signalisation.....	18
10.3.3. Effets non thermiques des ondes électromagnétiques .....	18
10.3.4. Conclusions .....	18
10.4. Protection contre les dangers des champs à 50 Hz .....	19
10.5. Epilogue.....	19
La distribution de courant aux Etats-Unis et au Canada .....	20
10.6. Le programme HAREC.....	20
10.7. Table des matières .....	21