

NOS ANTENNES ET NOTRE SANTÉ.

Par John Devoldere, ON4UN
Traduction: Daniel Vivier, ON4LD

En tant que radioamateur nous ne devons pas seulement satisfaire à la réglementation en ce qui concerne la possession et l'utilisation d'appareils d'émission. Si nous souhaitons "construire" une antenne, nous devons aussi satisfaire aux règles relatives à l'urbanisme et maintenant aux règles concernant l'influence du rayonnement RF sur le corps humain.

En effet, L'Arrêté Royal du 29/4/2001, complété par l'arrêté royal du 21/12/2001, tous deux fixant la norme pour les antennes émettant des ondes électromagnétiques entre 10 MHz et 10 GHz, sont aussi d'application pour les radioamateurs. On peut charger les deux documents sur le Website de l'UBA (www.uba.be).

Nous ne devons pas seulement satisfaire à la norme parce que c'est prescrit par la loi, mais nous devons aussi prendre conscience que le rayonnement RF PEUT représenter un réel danger pour la santé. En tant que techniciens nous sommes suffisamment compétents pour pouvoir faire la distinction entre les racontars de la presse et la réalité. Cet article contribuera aussi à faire correctement le point.

Nous essaierons, en quelques épisodes, d'expliquer l'état exact des choses et ce que le radioamateur doit faire pour satisfaire à cette réglementation.

Je voudrais, à cette occasion, remercier l'IBPT pour les discussions que nous avons eues à ce sujet avec les spécialistes et pour leur approbation du programme de calcul Excell dont nous parlerons plus loin.

John Devoldere, ON4UN

janvier 2002

1. Effets thermiques du rayonnement RF sur le corps.

Quand le corps humain est exposé à un rayonnement électromagnétique, il se produit un échauffement des tissus. Quelques caractéristiques de cet "échauffement" sont:

- La profondeur de la pénétration est la plus importante à des fréquences plus basses.
- A très grande intensité il peut se produire des dégâts irréversibles, comparables à des brûlures au troisième degré causées par un rayonnement IR (chaleur).
- L'échauffement des tissus est contrecarré par le flux sanguin qui agit comme un liquide de refroidissement.
- Certains tissus sont beaucoup plus sensibles aux dégâts que d'autres (rétine des yeux, cerveau, testicules, etc.).
- Les effets thermiques provoqués par le rayonnement RF sont le plus prononcés à des fréquences où le corps ou une partie du corps peuvent être en résonance. Pour un adulte ces fréquences de résonance tournent autour de 35 MHz si le corps est "à la terre" et environ 70 MHz si le corps est isolé. De plus la tête d'un adulte a une fréquence de résonance naturelle d'environ 400 MHz, ce qui est donc un facteur important pour l'évaluation de dangers de rayonnement d'un Hand-Held (portable) sur la bande 70 cm, utilisé tout près de la tête!
- Les rayonnements haute fréquence ne peuvent pas tous être dangereux, ils sont utilisés depuis de nombreuses années comme remèdes à un certain nombre de maladies et sont couramment appliqués en kinésithérapie par exemple.

SAR

Lors d'une exposition au rayonnement RF, la quantité d'énergie que prend réellement le corps humain (débit d'absorption) est déterminante pour la nature et l'ampleur des conséquences possibles. Le débit spécifique d'absorption (Anglais: Specific Absorption Rate) est le débit avec lequel l'énergie électromagnétique est absorbée par unité de masse du tissu biologique. Ce débit est exprimé en W/Kg.

Il est intéressant de savoir que la production de chaleur métabolique du corps d'un adulte (au repos) s'élève à environ 80 Watts. C'est la puissance qui fait que la température normale du corps s'élève à

environ 37°C. Pour un poids normal de 80 ça signifie une puissance de 1 W/Kg. Lors d'un effort modéré du corps cela augmente jusque environ 4 W/Kg, et le mécanisme propre de régulation du corps, contrôlé à partir du cerveau, fait en sorte que aussi alors la température du corps reste sous 37°C en veillant à un refroidissement complémentaire par exemple par une respiration plus rapide, par la transpiration et la circulation sanguine activée.

Si de l'énergie venant de l'extérieur est absorbée, un corps sain peut assimiler sans problèmes l'énergie complémentaire à la condition que cette énergie soit seulement une petite partie de la propre production de chaleur.

L'absorption de l'énergie RF par le corps peut cependant, dans des cas très spécifiques, surtout à de très hautes fréquences, être très locale, et peut mener à ce qu'on appelle des **hot spots**, c-à-d. que la dissipation de la puissance absorbée se fait très localement et que le système de contrôle de chaleur du corps ne l'enregistre pas dans le cerveau. Nous pensons ici aux dangers possibles de rayonnement des téléphones portables GSM, qui sont utilisés très près du cerveau, ainsi qu'aux dangers d'une énergie très concentrée des antennes radar qui provoquent des dégâts irréparables aux yeux. Ce n'est donc pas seulement la quantité d'énergie absorbée (par unité de temps) qui est importante mais aussi la fréquence (profondeur de pénétration, et l'effet de résonance lié au rapport longueur d'onde / dimension du corps irradié, l'angle d'incidence ainsi que les dimensions du faisceau de rayonnement (très concentré ou non).

L'échauffement des tissus de notre corps par rayonnement RF est observable comme chaleur à partir de niveaux de densité de puissance (voir plus loin) d'environ 300W/m². Ce sont cependant des niveaux qui sont des centaines de fois plus élevés que ce qui est considéré comme "sûr". Quand donc dans un faisceau de rayonnement vous percevez une impression de chaleur vous avez nettement franchi la barrière de sécurité. Le temps joue aussi un rôle, et les cellules ne meurent pas immédiatement (voir plus loin "facteur temps"), de sorte qu'une exposition très courte et démesurée ne conduit pas nécessairement à des conséquences catastrophiques pour la plupart des sortes de cellules. Dans des circonstances normales ce sont seulement les professionnels (personnel d'entretien) qui courent le danger d'être exposés à de tels niveaux de rayonnement, mais les radioamateurs aussi qui travaillent en VHF/UHF avec des antennes à très haut gain (par ex moon-bounce) doivent prendre les mesures de précaution nécessaires pour ne jamais venir à courte distance dans le foyer de telles antennes en fonctionnement.

La recherche scientifique a montré qu'une augmentation de la température des tissus de 1°C peut avoir des effets nuisibles. Cette valeur est acceptée mondialement comme point de départ pour l'élaboration des normes en la matière. La puissance nécessaire pour faire monter la température d'une masse de 1 de 1°C est 4 W. Dans le cas ci-dessus nous parlons donc d'un SAR de 4 W/Kg.

Le nombre ci-dessus est le nombre de base, dans lequel à chaque cas un coefficient de sécurité est ajouté, coefficient différent selon les circonstances, et aussi surtout de pays à pays, où ces coefficients de sécurité semblent être la conséquence de surenchère politique.

Densité de puissance ou densité du flux de rayonnement

Les valeurs SAR (exprimées en W/Kg) ne peuvent pas être mesurées. C'est pourquoi on fait couramment usage de la notion de **densité de puissance** (S exprimé en W/m²), au lieu de SAR. A hautes fréquences la profondeur de pénétration dans le corps est en effet faible. La densité de puissance est le quotient de la puissance rayonnée incidente perpendiculaire à une surface par l'aire de cette surface.

La relation entre SAR et densité de puissance est dépendante de la fréquence. Aux USA (IEEE/ANSI) nous voyons que cette relation dépendante de la fréquence est respectée sur tout le spectre jusque 2 GHz, alors que les instances européennes s'en tiennent à une valeur constante en-dessous de 400 MHz.

Lors de l'élaboration des normes les spécialistes ont aussi fait une distinction entre les zones contrôlées et non contrôlées. Une zone non contrôlée est une zone où tout le monde peut venir, en opposition à une zone contrôlée où seulement le personnel qualifié peut pénétrer. Votre propre QTH est considéré comme une zone contrôlée.

Pour l'environnement non contrôlé:

Fréquence (bande) en MHz	ICNIRP directive (W/m ²)	European Council Recommendation (1999/519/EC) (*1)	Densité de puissance selon la norme belge (W/m ²)	Densité de puissance (W/m ²) selon IEE/ANSI	Densité de puissance selon la norme allemande Vfg 306/1997 (W/m ²) (*1)
1,8	Pas de norme	64,8	Pas de norme	450	64,8
3,5	Pas de norme	46,5	Pas de norme	112	46,5
7	Pas de norme	32,8	Pas de norme	33,8	32,8
10	2,0	2,0	0,5	17,5	2,0
14	2,0	2,0	0,5	8,8	2,0
18	2,0	2,0	0,5	5,5	2,0
21	2,0	2,0	0,5	4,0	2,0
25	2,0	2,0	0,5	2,9	2,0
28	2,0	2,0	0,5	2,1	2,0
50	2,0	2,0	0,5	2,0	2,0
144	2,0	2,0	0,5	2,0	2,0
430	2,15	2,15	0,54	2,8	2,15
1,2 GHz	6,0	6,0	1,5	4,1	6,0
2,3 GHz	10	10	2,5	10,0	10
5,6 GHz	10	10	2,5	10,0	10

ICNIRP: International Commission of Non-ionizing Radiation Protection

IEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

ANSI: American National Standards Institute

(*1) : les valeurs sont indiquées comme intensité du champ électrique maximale (V/m) et intensité du champ magnétique maximale correspondante (A/m), la valeur reprise dans le tableau est le produit, ce qui est toujours applicable dans un champ éloigné (intensité de champ électrique x intensité de champ magnétique = densité de puissance)

Plus loin nous voyons que la norme allemande s'est totalement alignée sur la directive européenne (et CNIRP), alors que la norme belge a voulu mieux faire avec un facteur 4 (???), et ce sur l'avis du CSH (Conseil Supérieur d'Hygiène). Le CSH rejette donc le coefficient de sécurité qui est retenu dans la directive ICNIRP, cependant sans en montrer la logique.

La densité de puissance est très dépendante de la distance jusque la source. Deux cas se présentent. Dans l'environnement immédiat de la source (antenne) on parle du "**champ proche**", plus loin on parle du "**champ éloigné**". Le passage de champ proche à champ éloigné est fixé par différentes sources à des distances différentes, mais se produit toujours à une fraction de longueur d'onde de l'antenne .

La réglementation en vigueur concerne seulement le 'champ éloigné'. Pour les radioamateurs, qui, il est vrai, sont surtout dans un environnement contrôlé, c-à-d où le public ordinaire n'a pas accès, il est important de savoir ce que sont les densités de puissance dans l'environnement immédiat des antennes, surtout sur les bandes basses (surtout 160, 80 et 40 m).

Dans le champ proche il faut compter ou mesurer les intensités de champ magnétique et électrique séparément. Dans le champ proche la relation $E/H = Z_0 = 377 \text{ Ohms}$ (voir plus loin) n'est d'ailleurs pas valable.

Quand nous comparons maintenant les intensités de champ ainsi obtenues avec celles mesurées dans le champ proche (sur des distances égales) nous déterminons par des modèles

et par des mesures pratiques que les valeurs obtenues via la formule pour le champ éloigné suffisent et ce pour des distances jusque environ $\lambda/4$ de l'antenne.

Nous devons donc en premier lieu regarder la situation dans le champ éloigné, où la densité de puissance diminue en fonction du carré de la distance. Si on double la distance vers la source, la densité de puissance sera alors 4 fois plus petite.

Dans le champ éloigné le rapport suivant prévaut:

Densité de puissance $S_{(W/m^2)}$ = intensité de champ électrique $E_{(V/m)}$ x intensité de champ magnétique $H_{(A/m)}$
--

Intensité de champ électromagnétique

Le rapport entre l'intensité de champ électrique et magnétique dans le champ proche est:

$E/H = Z_0 = 377 \text{ Ohm}$

où: $E = S/H$ ou encore

$E = (S \times 377)^{1/2}$
--

$H = S/E$ ou

$H = (S/377)^{1/2}$

Exemple : pour $S = 0,5 \text{ W/m}^2$

$$E = (0,5 \times 377)^{1/2} = 13,7 \text{ V/m}$$

$$H = (0,5/377)^{1/2} = 0,036 \text{ A/m}$$

La grandeur la plus utilisée dans les différentes normes est l'intensité de champ électrique.

Le facteur temps

Le dommage biologique causé à une cellule d'un tissu biologique par échauffement RF n'est PAS cumulatif au niveau de la cellule. Cela veut dire que certaines cellules peuvent sur un temps plus court être échauffées de plusieurs degrés, et ensuite refroidies sans conséquences dommageables. C'est important pour la fixation des niveaux de rayonnement sûrs dans le cas de stations radioamateur, où les émissions sont le plus souvent de courte durée (à moins que ce ne soit des balises ou des repeaters) avec des intervalles plus longs. Cet effet est aussi reflété dans la plupart des normes par le fait qu'on parle d'un SAR moyen sur une période déterminée. La pré-norme européenne ainsi que l'arrêté royal belge (voir ci-après) parle d'une moyenne sur chaque période de 6 minutes.

L'influence du type de modulation

La réglementation belge dit "Hors de la zone de sécurité le SAR moyen sur tout le corps dû aux rayonnements électromagnétiques ne peut dépasser les 0,2 W/Kg (moyenne durant une période quelconque de 6 min)". Cela veut dire qu'on peut tenir compte de la puissance moyenne de sortie de l'émetteur, c-à-d qu'on peut tenir compte du type de modulation utilisé. Le tableau ci-dessous est repris d'une directive FCC, et reproduit les facteurs de correction en fonction des types d'émission. Les valeurs de correction repris dans le tableau ont été acceptés par l'IBPT.

Mode	Abréviati on	Facteur de cor.
SSB	J3E	0,2
SSB avec compresseur	J3E	0,5
AM (m=100%)	A3E	0,3
AM (m=50%)	A3E	0,5
AM (m=0%)	A3E	1,0
CW	A1A	0,4

ATV	C3F	0,6
ATV (FM)	F3F	1,0
FM	F3E	1,0
RTTY	F2B, J2B	1,0
SSTV	J3F	1,0
TUNE (full carrier)	-	1,0

2. Les normes en Belgique

2.1 L'AR du 29/4/2001

Cet "Arrêté Royal fixant la norme pour les antennes émettant des ondes électromagnétiques entre 10 MHz et 10 GHz" concerne seulement le spectre des fréquences entre 10 MHz et 10 GHz. En-dessous de 10 MHz il n'y a pas de norme fixée.

La norme est simple:

- La puissance d'émission par "antenne" doit être limitée au maximum, en tenant compte d'un service de qualité.
- En dehors de la zone de sécurité le SAR moyen sur tout le corps dû au rayonnement électromagnétique ne peut dépasser les 0,02 W/Kg (moyenne durant une période quelconque de 6 min). Cela équivaut à:

Fréquence	Densité de puissance (S en W/m²)	Intensité du champ électrique (E en V/m)
10 MHz à 400 MHz	0,5	13,7
400 MHz à 2 GHz	$f/800$	$0,686 (f)^{1/2}$
2 GHz à 10 GHz	2,5	30,7

f = fréquence en MHz

Zone de sécurité: la zone autour de l'antenne où le public n'a pas accès.

Bien qu'il n'y ait pas de valeurs données pour des fréquences en-dessous de 10 MHz, nous lisons dans le "rapport au Roi" qui accompagne le texte proprement dit de l'AR du 29 avril 2001: "Pour les fréquences restantes les recommandations européennes et internationales sont de rigueur". Dans le tableau sous le par. 1 ces valeurs sont reprises pour les bandes 1.8, 3.5 et 7 MHz (respectivement max. 64,8 V/m, 46,5V/m et 32,8 V/m). Puisque dans le texte de l'A.R. aucune mention n'est faite des recommandations Européennes, ces recommandations ne sont strictement pas d'application. Il n'est d'ailleurs pas spécifié dans le rapport au Roi de quels recommandations il s'agit.

L'AR du 29/4/2001 fixe clairement ce qu'est la densité de puissance moyenne autorisée (durant une période quelconque de 6 minutes), causée cumulativement par toutes les sources (qui ont une influence sur le lieu d'intérêt). Il ne fixe donc pas quelle intensité de champ (ou densité de puissance ou flux de puissance) peut être causée par une certaine combinaison émetteur /antenne en un point quelconque (de l'espace non contrôlé), autrement dit si votre combinaison émetteur /antenne (qui travaille entre 10 MHz et 400 MHz) cause une intensité de champ inférieure à 13,7 V/m, cela NE veut PAS dire automatiquement qu'il est satisfait à l'A.R. Pour le savoir on doit en principe connaître l'intensité de champ qui est causée à ce point par toutes les autres sources (dans les environs). Nous appelons cela le champ résiduel. Dans des endroits ruraux, loin d'autres antennes, le champ résiduel sera très faible, mais au voisinage d'antennes radio et TV ces champs résiduels peuvent être importants!

Dans l'AR, l'IBPT est désigné responsable des mesures en la matière et des contrôles. Dans cet AR aucun rôle n'est cependant attribué à l'IBPT concernant l'approbation ou non des dossiers relatifs à de telles installations. En principe ils peuvent seulement faire des mesures à la demande des ministres concernés.

Au moment de la publication de cet AR presque toutes les demandes de construction pour antennes ont été bloquées par l'urbanisme. Il ne s'agissait pas ici uniquement de dossiers des opérateurs GSM et

autres grands réseaux, mais aussi d'un certain nombre de dossiers de radioamateurs. L'AR n'a pu y donner une solution car aucune instance n'est déclarée compétente par le législateur pour l'approbation des dossiers concernés.

Commentaire de cette norme:

- Pas de norme en-dessous de 10 MHz ?
- En comparaison avec l'Allemagne, la norme belge est 2 x plus sévère (Allemagne: ex: 1- 400 MHz: 27,5 V/m) comme intensité de champ et naturellement 4 x plus sévère comme densité de puissance.
- En comparaison avec les USA: intensité de champ: 28 MHz; 27.5 V/m (donc 2 x plus sévère)
- La norme NE dit PAS ce qui doit satisfaire dans ce qu'on appelle "l'environnement contrôlé", ce au contraire de la norme américaine par exemple.
- Il n'y a pas d'instance qui puisse approuver des dossiers techniques, autrement dit tous les dossiers en suspens sont restés bloqués.

2.2 l'AR. du 21/12/2001

Vraisemblablement surtout sous la pression des opérateurs de GSM qui depuis des mois ne pouvaient plus obtenir d'autorisations pour l'installation d'antennes, un deuxième arrêté royal a été rédigé. L'AR du 21/12/2001 "**modifiant l'arrêté royal du 29/4/2001 fixant la norme pour les antennes émettant des ondes électromagnétiques entre 10 MHz et 10 GHz**" donne une solution à un certain nombre de problèmes évoqués ci-dessus.

En premier lieu on a fait la distinction entre le **SAR propre** (le SAR causé par l'antenne qui fait l'objet du dossier) et le **SAR global**, c-à-d le SAR causé par l'ensemble des antennes qui produisent un champ électromagnétique dans le point concerné. La norme, fixée dans le premier AR, un SAR de **0,02 W/Kg** (c'est par ex.13,7 V/m entre 10 MHz et 400 MHz) est valable **en tant que norme du SAR global** (voir aussi par. 2.1). La limite du **SAR propre** est fixée à 5 % de la limite du Sar global (donc **0,001 W/Kg**).

Ensuite un rôle qui allait de soi est attribué à l'IBPT, et qui faisait nettement défaut dans le premier AR: l'IBPT examinera et approuvera tous les dossiers des constructeurs et des utilisateurs d'antennes. En troisième lieu un délai est fixé dans lequel les antennes déjà en service doivent être "traitées"

Quiconque veut utiliser une antenne rédigera un dossier technique, dans lequel il calculera le **SAR propre** (ou l'intensité de champ équivalente) dans tous les points critiques. Que sont les points critiques? Ce sont les limites entre la zone contrôlée (dans le cas du radioamateur généralement son "terrain") et la zone non contrôlée, ainsi que les points de mesure importants dans l'environnement proche, tels que: le chemin public et l'habitation des voisins (calculé éventuellement à différentes hauteurs).

S'il apparaît du dossier que le SAR propre est **en-dessous de 0,001 W/Kg** (la limite du SAR propre proprement dit), on part du principe que la contribution de ce **SAR propre** est suffisamment faible pour influencer de façon négligeable le SAR global de sorte qu'il ferait dépasser la norme du SAR global de 0,02 W/kg.

La norme pour le SAR propre de 0,001 W/Kg est traduite comme suit:

Fréquence	Densité de puissance (S en W/m²) (*)	Intensité du champ électrique (E en V/m) (*)
10 MHz to 400 MHz	0,025	3,07
400 MHz tot 2 GHz	$f/16000$	$0,154 (f)^{1/2}$
1 GHz tot 10 GHz	0,125	6,86

Si des calculs il apparaît qu'il est satisfait à la limite du SAR propre de 0,001 W/Kg, il suffit que le concerné envoie le dossier de ses calculs à l'IBPT. Ce dossier est appelé « **Dossier technique d'antenne** ». L'IBPT renverra un document affirmant qu'un dossier a été introduit, conforme aux exigences de l'A.R. L'IBPT n'entreprendra ensuite aucune action.

Si des calculs il apparaît que la limite de 0,001 W/Kg est dépassée le demandeur devra soumettre à l'IBPT en plus des calculs du SAR propre un **dossier de mesure**. Ce dossier est appelé « **Dossier**

d'attestation ». Le demandeur doit mesurer sur place le SAR résiduel. Ce dossier élargi doit être transmis à l'IBPT. Si du dossier il apparaît qu'il est satisfait à la norme (0,02 W/Kg) l'IBPT délivrera une attestation de conformité après examen du dossier.

Ces dossiers doivent être envoyés à l'IBPT, Section Rayonnement-RF, Avenue de l'Astronomie 14B 21, 1210 Bruxelles.

Aussi bien le dossier d'antenne que l'attestation de conformité peuvent être utilisés par le demandeur par exemple auprès de l'urbanisme. Les deux documents déclarent que l'installation satisfait à la norme légale.

Ces dossiers doivent être soumis à l'IBPT avant le 31 décembre 2006. **Cela vaut dire que tous les radioamateurs devront déposer un tel dossier technique auprès de l'IBPT.**

Il est à remarquer que le 2^{ème} AR précise clairement qu'il ne s'agit pas d'installations dites mobiles, donc pas de ce que nous appelons des stations mobiles, mais non plus de stations portables, y compris les hand-held stations (walkie-talkie). Il est cependant prouvé que l'échauffement des tissus biologiques par l'utilisation de walkie-talkies (ainsi que d'appareils GSM) est beaucoup plus réel que celui causé par des rayonnements RF de stations fixes, même celles fonctionnant avec de grandes puissances. Nous y reviendrons plus loin.

Origine de la norme SAR propre de 0,001 W/Kg ?

Nous pouvons facilement calculer des champs composés (voir par 3.1.5.7), donc nous pouvons aussi recalculer facilement ce que signifie cette norme de SAR propre de 0,001 W/Kg (= **3,07** V/m entre 10 MHz et 400 MHz) par rapport à la norme du SAR global de 0,02 W/Kg (= 13,7V/m entre 10 MHz et 400 MHz).

La question que nous pouvons nous poser est la suivante: supposez que je calcule (dans la bande de fréquences susmentionnée) un SAR propre de **3,1** V/m, c'est donc marginalement au-dessus de la norme SAR propre. Combien d'autres "antennes" doit-il y avoir dans mon environnement pour arriver à un SAR global de 13,7 V/m?

La plupart des "antennes" que les radioamateurs auront dans leur environnement (et qui travaillent au-dessus de 10 MHz) sont:

- antennes GSM
- Stations locales FM
- Police, pompiers, etc.

Quels sont maintenant les champs électromagnétiques typiques produits par de telles stations?

- antennes GSM : hauteur 35 m, 2000 Watt EIRP: champ sur 300 m (2 m haut) : env. 0,35 V/m
- émetteur FM : hauteur 30 m, 300 Watt EIRP, champ sur 300 m (2 m haut): 0,25 V/m
- Police, pompiers, etc.: hauteur 30 m, 250 Watt EIRP, champ sur 300 m (2m haut): 0,26 V/m

Si, dans un rayon de 300 m du point de mesure, sauf l'antenne amateur (qui a produit un champ de **3,1** V/m au point de mesure), de chacune des antennes précitées on en a utilisé 1, le champ global est augmenté de **3,1 V/m à 3,14 V/m** par la présence de ces trois sources supplémentaires! C'est une augmentation tout à fait négligeable.

Nous pouvons encore aller un peu plus loin: si on a de chacun de ces trois types d'antennes **VINGT** exemplaires dans ce même rayon de 300 m du point de mesure, alors le champ global augmentera seulement (de **3,1** V/m) jusque **3,85 V/m** ! Autrement dit la hausse provoquée par les antennes les plus présentes (GSM, stations FM locales, radio de la police, des pompiers, etc.) est très petite voire négligeable à moins qu'elles ne soient à moins de 200m du point de mesure..

Données typiques GSM: une antenne GSM, avec une puissance totale – tous les canaux ensemble - de 2000 W EIRP produit (avec une antenne 15 dBi de gain) un champ de 20,6 V/m (la norme pour 900 MHz) à seulement 12 m de l'antenne! La plus haute intensité de champ électrique est mesurée à une distance de 100 à 300 m du pylône, mais est toujours nettement inférieure à 1 V/m (à 2 m du sol)!

On doit déjà être confronté aux signaux d'émetteurs puissants (par ex FM ou TV) à très courte distance pour avoir un niveau de champ électromagnétique résiduel (background) considérable.

Un émetteur de radiotélévision avec un EIRP de 250 kW avec ses antennes placées à 200 m de haut produit approximativement les champs suivants (à 2m de haut):

P =250 kW EIRP	
Distance	Champ (V/m)
300m	0,47
500 m	0,77
1 km	0,93
2 km	0.76
5 km	0,46

Si l'intensité de champ calculée pour votre antenne amateur s'élève à **3,1 V/m** (marginale trop haute pour obtenir une approbation automatique du dossier) alors un émetteur 250 kW EIRP situé à 1 km de votre station amateur (où l'intensité de champ est la plus importante) fera **seulement** monter le niveau jusque **3,24 V/m**, et c'est calculé avec en plus l'antenne GSM et la station de police!

Cela signifie aussi que dans la plupart des lieux, où on n'a pas, en deçà de quelques centaines de mètres, d'émetteurs avec une puissance EIRP de centaines de KW, le niveau résiduel sera faible et la différence du SAR propre calculé avec le SAR global sera tout à fait négligeable.

Le choix de la limite de **3.07 V/m** comme niveau de SAR propre nous paraît ULTRA CONSERVATEUR, et nous paraît seulement raisonnable dans des situations où dans un environnement très proche beaucoup d'installations haute puissance sont placées, comme par exemple sur de hauts immeubles-tours dans des villes, ou à proximité immédiate d'émetteurs à très hautes puissances (Wavre?). A cet égard il nous paraît logique qu'il faudrait faire une distinction entre de telles situations et les situations plus classiques qui représentent vraisemblablement 99 % des cas pour des radioamateurs.

PS. Le programme de calcul Excel, expliqué en détails plus loin, et qui peut être obtenu gratuitement par chacun (encore un service de l'UBA!), vous permet de calculer de tels champs et d'effectuer des simulations.

2.2 Niveau régional

En janvier 2002 il n'y a une réglementation additionnelle en vigueur dans les régions, bien qu'elles aient déjà chacune à leur tour beaucoup délibéré à ce sujet. Il semble que les régions se plieront à la réglementation fédérale, ce qui serait très souhaitable.

3. Comment pouvons-nous vérifier que notre station amateur satisfait aux normes?

Pour chaque dossier nous devons calculer le SAR propre. Si celui-ci dépasse la norme de 0,001W/kg nous devons mesurer en plus le niveau résiduel (intégré entre 10 MHz et 10 GHz).

3.1. Calculer.

Comment allons-nous calculer le SAR propre (ou intensité de champ équivalente) produit par notre émetteur plus l'antenne?

3.1.1 EIRP

Nous devons d'abord calculer l'**EIRP** (Effective Isotropic Radiated Power) pour l'installation d'émission. Cela sera différent pour chaque fréquence (bande) et chaque antenne, nous devons donc faire cela

pour chaque cas particulier. En français l'EIRP est également appelé PAR (Puissance Apparente Rayonnée).

Nous partons de la puissance de sortie de l'émetteur, tenant compte des pertes (de connecteurs, ligne d'alimentation par ex.) et du gain de l'antenne employée (par rapport à une antenne isotropique).

L'IBPT prescrit l'usage des chiffres de gain en espace libre (« free space ») dans le contexte du calcul de l'EIRP.

Un émetteur avec un puissance de sortie de 100 W couplé à une antenne à gain très haut de 20 dB (en VHF, UHF) produit un EIRP de 10 kW ! Mais faites attention, il n'y a nulle part 10 kW ! La puissance émise reste 100 W ! Un EIRP de 10 kW veut dire que pour produire un même signal avec une antenne isotropique (antenne théorique sans gain) il faudrait une puissance de 10 kW . l'EIRP est donc une notion théorique !

Exemple:

Puissance de sortie émetteur: 1.000 Watts

Pertes dans 50 m de câble coaxial RG213 sur 14 MHz: 1,16 dB

Pertes dans les connecteurs: 0,3 dB

Gain d'antenne 3 él Yagi (par rapport à une antenne isotropique) = 7,0 dB

"Gain" total = 7 - 1,16 - 0,3 = 5,54 dB

5,54 dB correspond à un rapport de puissance de 3,5809 (voir plus loin sous "Conversion dB en rapport de puissance")

EIRP = 1000 x 3,5809 = 3581 Watts

3.1.2 Correction pour le MODE

Si la puissance EIRP mentionnée ci-dessus concerne un émetteur CW, on peut faire une correction de 0,4. L'EIRP devient donc 3581 x 0,4 = 1432 Watts

Voir tableau sous par.1

3.1.3 Correction sur une période quelconque de 6 minutes.

Si nous pouvons établir que, dans une période quelconque de 6 minutes, l'émetteur ne restera jamais sur l'air plus de 3 minutes, suivies d'une période d'arrêt de 3 minutes, on peut instaurer un facteur de correction de 0,5. Un facteur inférieur à 0,5 n'est en aucun cas accepté.

Dans le cas de notre exemple et en supposant que l'affirmation ci-dessus est correcte, le nouveau EIRP devient:

$$P_{\delta_{\min}} = 1432 \times 0,5 = 716 \text{ Watts}$$

3.1.4 Calcul de la distance de sécurité

La relation entre le EIRP et la valeur du champ électrique (dans le champ éloigné) est donnée par:

$$E_{(V/m)} = (30 \text{ EIRP}_{(W)})^{1/2} / d_{(m)}$$

où d = distance en m

D'où nous déduisons la distance de sécurité:

$$d_{(m)} = (30 \text{ EIRP}_{(W)})^{1/2} / E_{(V/m)}$$

Pour notre exemple:

$$D = (30 \times 716)^{1/2} / 13,7 = 10,69\text{m}$$

Nous devons réaliser qu'il s'agit ici du rayonnement dans le plan de l'antenne, et dans la direction préférentielle de l'antenne. Si nous avons l'antenne à, par exemple, une hauteur de 10m, 10,69 m représente la distance de sécurité minimum pour quelqu'un se trouvant à une hauteur de 10 m, et précisément dans la direction préférentielle de l'antenne, *en supposant que le champ résiduel (d'autres sources) est égal à ZERO.*

Directivité horizontale de l'antenne: Pour toutes les autres directions azimutales la distance de sécurité sera (beaucoup) plus petite (à moins qu'il ne s'agisse d'une antenne omnidirectionnelle), mais il est évident que nous voulons calculer la distance de sécurité dans la circonstance la plus dangereuse. Pour une antenne tournante nous partons du fait que l'antenne est toujours tournée vers le point le plus critique. Pour des antennes fixes on peut tenir compte du diagramme de direction horizontal pour calculer l'intensité de champ en certains points critiques.

Directivité verticale: La plupart des antennes ont une directivité verticale, par laquelle la plus grande puissance est diffusée à 0 degré, et diminue selon que l'angle de rayonnement vertical (aussi vers le bas) augmente.

3.1.5 Méthodes de calcul et exemples

3.1.5.1 Conversion gain dB en rapport de puissance linéaire

Pour calculer l'EIRP de notre installation nous partons de la puissance de sortie de l'émetteur après laquelle nous prenons en compte les pertes du câble d'alimentation, des connecteurs, etc ainsi que le gain de l'antenne par rapport à l'antenne isotropique. Ces pertes/gains sont exprimés en dB. Enfin nous devons transformer la somme des valeurs en dB en rapport de puissance linéaire, et finalement employer ce nombre pour multiplier avec la puissance de sortie de l'émetteur pour calculer l'EIRP (dans cette simplification il n'est pas tenu compte des facteurs de correction qui concernent le mode de transmission ou l'aspect temps).

La conversion de la somme des valeurs dB [$G_{(dB)}$] en rapport de puissance (ratio) se fait comme suit:

Rapport de puissance linéaire = antilog ($G_{(dB)}/10$)

3.1.5.2 Pertes nominales dans les câbles d'alimentation

Consultez les données du fabricant ou la littérature en la matière (voir entre autres les abaques dans l'ARRL Antenna Handbook).

3.1.5.3 Affaiblissement dans les connecteurs etc.

L'affaiblissement de chaque élément entre l'émetteur et l'antenne peut être tenu en compte pour calculer l'EIRP. Nous pensons ici entre autres aux connecteurs mais aussi par exemple à l'affaiblissement causé par les SWR mètres, etc.

On peut dire que l'affaiblissement dans les connecteurs est dans l'ordre de grandeur de 0,05 à 0,1 dB de 1MHz à 30 MHz, et entre 0,1 et 0,5 dB pour les bandes VHF/UHF/ondes courtes, alors que la perte de connexion intermédiaire pour un pont SWR typique peut être évaluée à environ 0,2 dB. Si les données du fabricant sont disponibles le mieux est de les utiliser.

3.1.5.4 Gain d'antenne

Pour calculer l'EIRP la connaissance du gain d'antenne est l'élément le plus important. S'il s'agit d'une antenne commerciale, on peut toujours utiliser les données du fabricant. On doit être bien sûr qu'il s'agit du gain dBi dans l'espace libre. Les fabricants publient souvent des nombres de gain d'antennes au-dessus du sol. Ceux-ci sont inutilisables. Attention aussi aux nombres surfacts proposés par les vendeurs. Ci-dessous les données typiques pour un nombre d'antennes. Est reproduit l'évolution du gain (dBi) pour un angle de rayonnement vertical allant de 0° degré (tout à fait horizontal, vers l'horizon) à 90° (droit vers le bas, sous l'antenne). **Faites attention, il ne s'agit donc PAS du diagramme de rayonnement horizontal classique !**

Ce sont des valeurs moyennes obtenues par modélisation d'antenne. On peut naturellement utiliser de préférence les valeurs précises données par le fournisseur ou obtenues par modélisation de l'antenne utilisée.

Antenne:	dipôle hor. $\frac{1}{2} \lambda$	Dipôle V inversé	FD4-80	FD4-40	FD40-20	FD4-17	FD40-12	FD40-10
0°	2.15	1.65	2.15	3.2	3.8	5.7	4.9	7.1
10°	2.15	1.65	2.15	3.2	3.8	5.7	4.9	7.1
20°	2.15	1.65	2.15	3.2	3.8	5.7	4.9	7.1
30°	2.15	1.65	2.15	3.2	3.8	5.7	4.9	7.1
40°	2.15	1.65	2.15	3.2	3.8	5.7	4.9	7.1
50°	2.15	1.65	2.15	3.2	3.8	5.7	4.9	7.1
60°	2.15	1.65	2.15	3.2	3.8	5.7	4.9	7.1
70°	2.15	1.65	2.15	3.2	3.8	5.7	4.9	7.1
80°	2.15	1.65	2.15	3.2	3.8	5.7	4.9	7.1
90°	2.15	1.65	2.15	3.2	3.8	5.7	4.9	7.1
angle 3dB hor	78°	98°	78°	-	-	-	-	-
angle 3 dB vert	-	-	-	-	-	-	-	-
Remarque	(1)		(2)					

(1) L'IBPT prescrit l'usage du gain en espace libre pour les calculs

(2) La FD4 est une demi-onde complète sur 80 m. Sur les autres bandes l'antenne est un multiple d'un quart-onde. Ci-après suit un modèle de rayonnement avec plusieurs lobes étroits et un gain correspondant plus important (au moins dans ces lobes étroits). Les valeurs de gain sont données dans l'espace libre.

Antenne:	Dipôle vertical	$\frac{1}{4} \lambda$ vert sur le sol	$\frac{1}{4} \lambda$ vert radiales horiz	$\frac{1}{4} \lambda$ vert radials en pente	2 él yagi	2 él quad	3 él yagi	3 él triband yagi
0°	2.16	1.5	1.5	2.1	6.6	7.4	7.5	6.0
10°	2.16	0.4	0.4	1.9	6.5	7.3	7.3	5.8
20°	2.16	1.1	1.1	1.4	6.3	6.9	7.15	5.65
30°	2.16	0.5	0.5	0.6	5.9	6.2	6.8	5.3
40°	2.16	-0.4	-0.4	-0.6	5.4	5.3	6.3	4.8
50°	2.16	-1.8	-1.8	-2.2	4.7	4.1	5.6	4.1
60°	2.16	-3.8	-3.8	-4.8	3.9	2.6	4.7	3.2
70°	2.16	-7.0	-7.0	-8.0	2.9	0.9	3.7	3.3
80°	2.16	-12.7	-12.7	-14.0	1.6	1	2.6	1.1
90°	2.16	-99.9	-99.9	-99.9	0.1	-2.9	1.1	-0.4
long. boom	-	-	-	-	0.08		0.25	-
angle 3dB hor					68°	73°	61°	61°
angle 3dB vert	78°	78°	78°	85	127°	93°	91°	91°
Remarque		(3)	(4)	(5)				(6)

(3) L'IBPT prescrit l'usage du gain en espace libre pour les calculs

(4) Antenne verticale quart d'onde (ou plus courte) du type « ground plane », montée au dessus du sol et ayant (4) radiales montées horizontalement.

(5) Antenne verticale quart d'onde (ou plus courte) du type « ground plane », montée au dessus du sol et ayant (4) radiales montées en pente.

(6) Pour la 3-band yagi (typique avec trappes) les chiffres sont basés sur ceux d'une full-size 3 el. yagi min 1.5 dB (pertes de trappes et pertes de compromis)

Antenne:	4 él yagi	5 él yagi	6 él yagi	6 él KLM	7 él yagi	11 él yagi	15 él yagi	16 él yagi
0°	8.3	10.5	11.0	10.6	11.9	14.4	16.2	16.4
10°	8.2	10.2	10.7	10.0	11.5	13.4	14.7	15.0
20°	7.8	9.4	9.6	9.1	10.1	12.5	10.2	8.7
30°	7.2	7.9	7.6	7.0	7.8	4.4	-1.8	-3.6
40°	6.3	5.5	4.2	3.0	3.1	-8.0	-8.8	2.0
50°	5.1	2.1	-0.9	-0.3	-0.5	1.5	-8.8	-13.0

60°	3.6	-1.9	-3.2	-20.0	-0.7	.11.0	-8.8	-9.0
70°	1.5	-3.0	-0.2	-4.5	-0.8	-1.5	-8.8	-5.0
80°	-1.0	-1.8	-1.2	0.0	-25.0	-6.0	-8.8	-12.0
90°	-4.0	-1.5	-0.4	-1.0	-10.7	-10.0	-8.8	-13.0
Long. boom	0.37λ	0.7 λ	0.9 λ	0.83 λ	1.15 λ	2.56 λ	4.03 λ	4.17 λ
Angle 3dB hor	50 °	50 °	47 °	48 °	43 °	32 °	28 °	27 °
Angle 3dB vert	85 °	64 °	57 °	58 °	50 °	39 °	30 °	30 °
Remarque				(7)				

(7) Antenne populaire KLM « big Stick » avec deux éléments alimentés.

Antenne:	17 él yagi	17 él yagi	2 x 17 él vert stack	4 x 17 él quad stack	18 él yagi	22 él yagi	31 él yagi	35 él yagi	2 x 35 él vert stack
0°	16.6	18.1	20.7	23.3	17.4	18.5	19.5	20.1	22.1
10°	15.0	15.6	12.7	14.0	15.0	16.0	16.8	16.6	12.1
20°	10.0	8.1	3.2	7.0	14.0	8.5	-10.5	5.1	-2.9
30°	-3.5	-2.0	-10.0	7.0	1.5	2.5	-5.5	-7.9	4.1
40°	0.0	-10.0	-25.0	-7.0	-12.5	-6.5	-5.5	-7.9	-7.9
50°	-9.0	-4.0	-10.0	-20.0	0.0	-6.5	-5.5	-7.9	-7.9
60°	-15.0	-7.0	-5.0	-10.0	-8.0	-6.5	-5.5	-7.9	-7.9
70°	-15.0	-8.0	-6.0	-10.0	-8.0	-5.5	-5.5	-7.9	-7.9
80°	-16.0	-9.0	-7.0	-8.0	-8.0	-5.5	-5.5	-7.9	-7.9
90°	-13.0	-10.0	-8.0	-10.0	-8.0	-5.5	-5.5	-7.9	-7.9
Long. boom	4.5 λ	6.13 λ			7.4 λ	10.4 λ	10.4 λ	13.1 λ	
angle 3 dB hor	27 °	23 °	23 °	12.5 °	23 °	22°	20.5 °	16 °	16 °
angle 3dB vert	30 °	24 °	13 °	13 °	23.5 °	23 °	21 °	17 °	13 °
Remarque			(8)	(9)					(10)

(8) Deux 17 éléments yagis (l'une au-dessus de l'autre, pol.hor., distance = 2 λ)

(9) Quatre 17 éléments yagis dans une quad (pol.hor., hor et vert., distance stacking = 2 λ)

(10) Deux 34 éléments yagis (l'une au-dessus de l'autre, pol. hor., distance = 2 λ)

Antenne:	4 x 35 el quad stack	40 el yagi	2 elem colineair	4 elem. colineair	6 elem. colineair	Loop Diam 0,02 λ	Loop Diam 0,03 λ	Loop Diam 0,04 λ	Loop Diam 0,06 λ	Loop Diam 0,08 λ
0°	23.8	20.9	4.8	7.6	9.3	-9	-3	-1	1	1.3
10°	13.8	16.4	4.0	4.0	0.3	-9.07	-3.07	-1.07	0.93	1.23
20°	3.8	-6.0	1.3	-20.0	-5.4	-9.27	-3.27	-1.27	0.73	1.03
30°	-1.2	-9.0	-3.8	-5.5	-15.3	-9.62	-3.62	-1.62	0.38	0.68
40°	-6.2	-10.0	-14.4	-12.0	-14.8	-10.7	-4.7	-2.7	-0.7	-0.4
50°	-6.2	-10.0	19	-16.3	-13.2	-10.92	-4.92	-2.92	-0.92	-0.62
60°	-6.2	-10.0	-12.3	-11.5	-16.4	-12.01	-6.01	-4.01	-2.01	-1.71
70°	-6.2	-10.0	-12.6	-15.0	-31.5	-13.66	-7.66	-5.66	-3.66	-3.36
80°	-6.2	-10.0	-17.3	-23.0	-24.5	-16.6	-10.6	-8.6	-6.6	-6.3
90°	-6.2	-13.0	-99.9	-99.9	-99.9	-99	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9
Long. boom		13.5 λ								
3dB hoek hor	12.8 °	17.8 °	-	-	-					
3dB hoek vert	13 °	18 °	37	18	12					
Opmerk.	(11)					(12)	(12)	(12)	(12)	(12)

(11): Quatre 34 éléments yagis dans une quad (pol hor., hor.et vert. Distance stacking = 2 λ)

(12): Gain typique pour antenne Loop Magnétique. Les pertes peuvent varier considérablement en fonction des pertes dans les conducteurs, contacts etc.

Remarque: les valeurs d'angle d'ouverture 3dB sont valables pour l'antenne montée pour polarisation horizontale.

3.1.5.5 Feuille de calcul avec prise en compte du modèle de rayonnement vertical.

J'ai écrit un petit programme "spreadsheet" avec lequel chacun disposant d'un ordinateur avec Excel peut effectuer tous les calculs très simplement.

Ce programme vous permet de visualiser la zone spatiale qui satisfait aux normes, ainsi que de calculer le champ électrique dans un point quelconque. En utilisant un programme spreadsheet on peut facilement changer les paramètres d'input, et chaque fois observer le résultat immédiatement.

INPUTS		SAR tot champ (V/m)
Fréquence (MHz) =	28	13.70
P-out (Watt)=	50	
Pertes coax (dB) =	2	SAR propre champ (V/m)
Pertes connect. (dB) =	0.3	
Correction pour mode =	0.5	
Correction interv temps =	0.5	
Hauteur antenne (m) =	19	
		6.14

Au démarrage du fichier Excel nous trouvons au-dessus à gauche de l'écran un nombre de champs colorisés en jaune. Ce sont les champs où vous pouvez entrer vos données input.

Fréquence (MHz): complétez la fréquence. Dès que ce champ est complété, les niveaux de limite (de l'intensité de champ exprimée en V/m), correspondant au SAR global (0,02W/kg) et au SAR propre (0,001W/kg) apparaissent.

P(out): la puissance de sortie de l'émetteur (Watt)

Perte coax: pertes dans la ligne d'alimentation (dB)

Pertes connecteur: pertes dans les connecteurs, etc. (dB)

Correction pour mode: le tableau est également repris à côté du tableau input-tablet dans la feuille de calcul :

Facteurs de correction pour mode			
SSB	0.2	ATV	0.6
SSB avec processor	0.5	ATV (FM)	1.0
AM (m=100%)	0.3	FM	1.0
AM (m=50 %)	0.5	RTTY	1.0
AM (m=0 %)	1.0	SSTV	1.0
CW	0.4	TUNE	1.0

Correction temps: un facteur de 0.5 peut être inséré si dans aucune période quelconque de 6 minutes l'émetteur n'émet plus de 3 minutes.

Dans le coin supérieur gauche il faut compléter les gains dBi de l'antenne pour angles de rayonnement verticaux allant de 0° à 90°.

u.1	-3.6	-1.3	-2.8	-4.6			
0	68	73	61	61	58		<< angle ouverture
85	127	93	91	91	85		<< angle ouverture 3dB
an		15mquad	freda	3el-1.5db	204ba		<< nom de référence
17 el	18 el yagi	22 el yagi	31 el yagi	35 el yagi	2 x 35 el	4 x 35 el	
23.3	17.4	18.5	19.5	20.1	22.1	23.8	<< gain à 0° (dBi)
14	15	16	16.8	15.6	12.1	13.8	<< gain à -10° (dBi)
7	14	8.5	-10.5	5.1	-2.9	3.8	<< gain à -20° (dBi)
7	1.5	2.5	-5.5	-7.9	4.1	-1.2	<< gain à -30° (dBi)
-7	-12.5	-6.5	-5.5	-7.9	-7.9	-6.2	<< gain à -40° (dBi)
-20	0	-6.5	-5.5	-7.9	-7.9	-6.2	<< gain à -50° (dBi)
-10	-8	-6.5	-5.5	-7.9	-7.9	-6.2	<< gain à -60° (dBi)
-10	-8	-5.5	-5.5	-7.9	-7.9	-6.2	<< gain à -70° (dBi)
-8	-8	-5.5	-5.5	-7.9	-7.9	-6.2	<< gain à -80° (dBi)
-10	-8	-5.5	-5.5	-7.9	-7.9	-6.2	<< gain à -90° (dBi)
2.5	23	22	20.5	16	16	12.8	<< angle ouverture 3dB hor
23.5	23	21	17	13	13		<< angle ouverture 3dB vert
2m18xxx		222-7wl	hg7031ds	hg205ca	k.1fo4070		<< nom de référence
		40 el yagi	2 el col vert	4 el col vert	6 el col vert		
		20.9	4.8	7.6	9.3		<< gain à 0° (dBi)
		16.4	4	4	0.3		<< gain à -10° (dBi)

Dans la feuille de calcul les chiffres typiques de gain vertical pour un nombre d'antennes à gain sont repris en dessous des deux graphiques (les mêmes que celles reprises au par 3.1.5.4). En utilisant la spreadsheet on peut simplement copier les nombres de gain importants par copier-coller de cette colonne vers le coin gauche en haut de la feuille.

dBi (0deg)	7.6	
dBi(-10deg)	7.5	
dBi(-20deg)	7.2	
dBi(-30deg)	6.7	
dBi(-40deg)	6.1	F
dBi(-50deg)	5.2	cor
dBi(-60deg)	4	corr
dBi(-70deg)	2.5	h
dBi(-80deg)	0.8	
dBi(-90deg)	-1.3	<- r

Une fois que les données input ci-dessus sont complétées, on peut calculer l'intensité de champ dans n'importe quel point autour de l'antenne (c'est toujours en supposant que l'antenne est dirigée vers ce point).

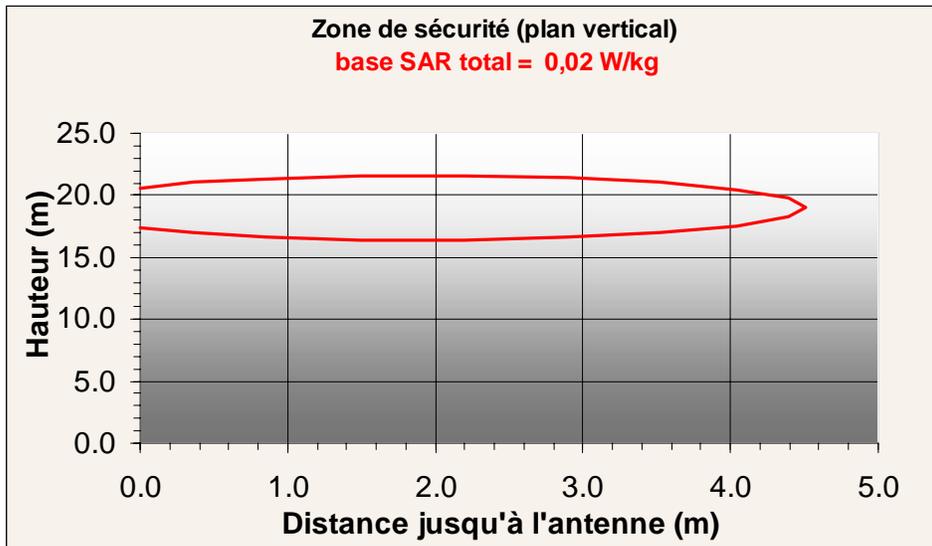
En haut à droite il y a un petit cadre dans lequel sont complétées les coordonnées concernant un tel point quelconque.

Calcul d'intensité de champ en un point quelconque		
Hauteur (m)	2	<- encodez la hauteur du point
Distance (m)	25	<- encodez la distance jusqu'à ce point
V/m	1.82	= intensité de champ à ce point

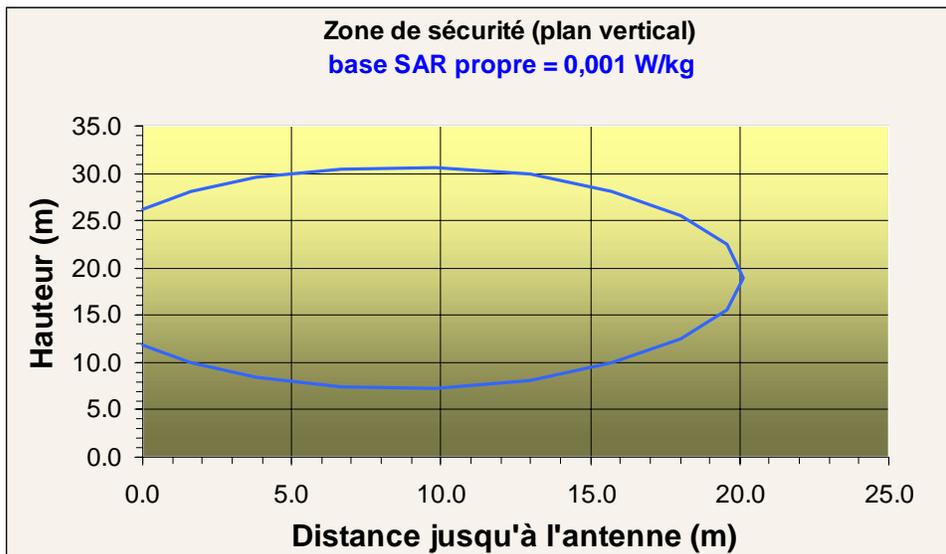
Notez que la hauteur du point quelconque peut être négative, c'est le cas quant ce point se trouve plus bas que le point de référence (d'habitude le sol au niveau de l'antenne).

Le programme montre aussi, dans le plan vertical, dans la direction préférentielle horizontale de l'antenne, la zone qui satisfait à la norme SAR globale de 0,02 W/kg et la limite du SAR propre de 0,001 W/kg.

Dans tous les points à l'intérieur du diagramme de rayonnement (vertical) représenté par une ligne continue, la limite du SAR global est dépassée.



Dans le cas de la figure jointe, nous voyons que la limite du SAR global (qui correspond à une intensité de champ de 13,7 V/m dans notre exemple en 28 MHz) est atteinte à une distance de 1 à 3 m à une hauteur d'environ 16,5 m (donc 1,5 mètres plus bas que l'antenne). En-dessous de 16,5m la limite n'est nulle part atteinte.



Tout ce qui est sur le deuxième graphique à l'intérieur du « diagramme de rayonnement vertical » de l'antenne, sont les domaines où la limite du SAR propre de 0,001 W/Kg (dans cet exemple en 28 MHz cela correspond à une intensité de champ de 6,12V/m) est dépassée. Ce qui se trouve à l'extérieur satisfait à la limite du SAR propre.

Si un voisin habite à 6 m de l'antenne et si sa maison a une hauteur de 15 m, il ne sera pas satisfait en ce point (la maison du voisin) à la norme du SAR propre de 0,001W/Kg.

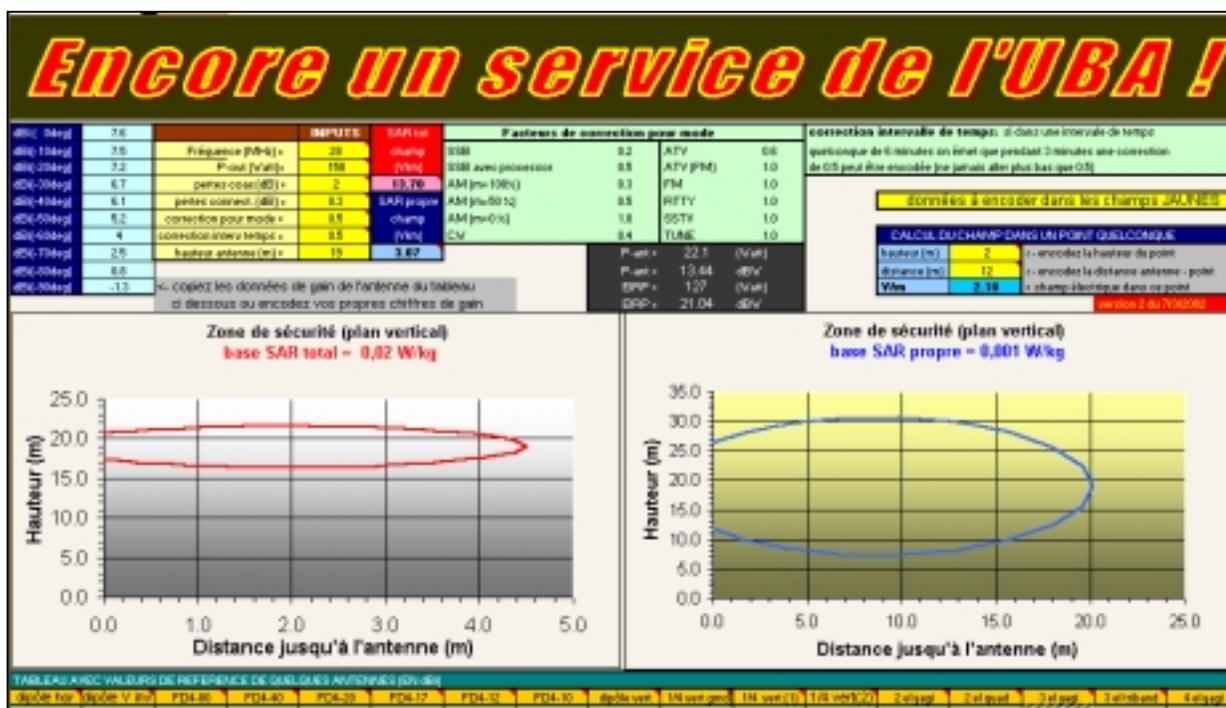
3.1.5.6 Comment préparer un dossier pour l'IBPT?

Pour chaque antenne il faut faire un dossier. Une antenne 3-band signifie trois dossiers! L'article 2 de l'AR du 21/12/2001 fixe clairement ce qu'un tel dossier doit comprendre:

- Les coordonnées du demandeur: nom, adresse, composition des antennes
- Les données techniques de/des antenne(s): les gains des antennes (en fonction de l'angle de rayonnement vertical): ceux-ci sont repris dans les champs supérieurs gauche de la spreadsheet.
- Un plan de l'implantation avec le voisinage environnant: ici on peut utiliser de préférence une copie du plan cadastral du voisinage.
- Une projection verticale sur laquelle est indiquée l'intensité du champ électromagnétique calculée: voici les graphiques qui sont montrés dans le programme spreadsheet.
- Sur le plan il faut dessiner un cercle autour de l'antenne, celui où les niveaux de limite du SAR propre sont atteints (à la hauteur où la radiation est maximale, donc dans la plus part des cas à la hauteur de l'antenne).

Lors de la rédaction du dossier on peut prendre une copie ou un print-out de l'écran du programme spreadsheet, sur lequel toutes les données demandées sont visibles. Dans ce cas l'IBPT sait aussi quel programme est utilisé pour faire les calculs. Le programme a été testé et approuvé par l'IBPT.

En plus du rapport de calcul (et éventuellement de mesure) rédigé par le concerné, celui-ci doit remplir un nombre de formulaires élaborés par l'IBPT. Ceux-ci peuvent être obtenus à partir du site web de l'IBPT. S'il apparaît que la norme pour le SAR propre (0,001 W/Kg) n'est pas dépassée, un simple « **dossier technique d'antenne** » dossier suffira, c'est un dossier avec uniquement des calculs. S'il apparaît des calculs que cette norme est dépassée, alors des mesurages sur place seront exécutés pour connaître le niveau de rayonnement résiduel (sur tout le spectre de 10 MHz à 10 GHz), et un dossier plus complet (« **dossier d'attestation** ») devra être rédigé.



Un manuel complet au sujet de la rédaction des dossiers est disponible sur le site Internet de l'IBPT. Il s'agit des documents suivants :

- "Dossier technique d'antenne en matière de normes de rayonnement pour antennes dans la bande de 10 MHz et 10 GHz"
- "Dossier en vue de l'obtention d'une attestation de conformité en matière de normes de rayonnement pour antennes dans la bande de 10 MHz et 10 GHz"

Dans les formulaires de l'IBPT on demande la puissance à l'antenne en dBW et le EIRP en dBW (dans le dossier d'attestation). Sur notre feuille de calcul ces valeurs sont reprises dans un petit tableau.

P-ant =	7.4	(Watt)
P-ant =	8.67	dBW
EIRP =	40	(Watt)
EIRP =	16.07	dBW

L'UBA publiera, sur son site Internet, quelques dossiers exemples, qui ont été approuvés par l'IBPT en tant que forme et contenu.

3.1.5.7. Plusieurs sources

Si le radioamateur envoie simultanément des signaux RF sur différentes fréquences, il faut tout d'abord calculer, tout comme pour 1 antenne seulement, si chaque antenne provoque un SAR propre de plus de 0,001 W/Kg dans les endroits qualifiés comme critiques.

Si les antennes chacune séparément causent un SAR propre de moins de 0,001 il faut seulement faire un dossier simple (dossier technique d'antenne) par antenne et ne doit donc pas être additionné.

Dans le cas où dans un des endroits critiques le niveau dépassera la limite du SAR propre, il faudra additionner les champs. Pour cela on peut utiliser les formules suivantes:

A/ Calcul de la distance de sécurité:

Dans ce cas la formule suivante vaut pour le calcul de la distance de sécurité $d_{(m)}$:

$$d(m) = [(30 \cdot EIRP_1)/(E_1)^2 + (30 \cdot EIRP_2)/(E_2)^2]^{1/2}$$

où:

$EIRP_1$ = l'EIRP pour la station 1 (W)

E_1 = intensité de champ électrique maximum autorisée pour la station 1 (V/m)

$EIRP_2$ = l'EIRP pour la station 2 (W)

E_2 = intensité de champ électrique maximum autorisée pour la station 2 (V/m)

Exemple:

Calculez la distance de sécurité (élévation 0 degré) pour le SAR global, en supposant que l'intensité de champ résiduel est négligeable:

Station 1: 20 m 3 el. multiband yagi (6 dBi), avec $P_{out} = 1000$ Watt, pertes totales 1 dB, pas de facteurs de correction

Station 2: 70 cm station packet, antenne colinéaire, $G = 8.3$ dBi, $P = 30$ Watts, pertes totales 3 dB, pas de facteurs de correction

$EIRP_1 = 3162$ Watts

$EIRP_2 = 102$ Watts

$E_1 = 13,7$ V/m (voir AR)

$E_2 = 14,2$ V/m (voir AR.)

$d_{(m)}$ pour station 1 = 22,48 m

$d_{(m)}$ pour station 2 = 3,87 m

$d_{(m)}$ pour les deux stations ensemble = **22,8 m**

B/ Calculer si un champ composé en un point déterminé satisfait à la norme

On peut aussi calculer pour chaque point quelconque si le champ composé de différentes antennes (SAR propre de plusieurs antennes) satisfait à la norme. Pour ce faire il faut:

$$(E_1/E_{max1})^2 + (E_2/E_{max2})^2 + (E_3/E_{max3})^2 + \dots \leq 1$$

où:

E1 = intensité de champ calculée pour l'antenne 1

E_{max1} = niveau maximum autorisé pour cette fréquence

etc

Si nous utilisons plusieurs antennes en même temps, nous devons seulement additionner si une des antennes ne satisfait pas à la limite du SAR propre de 0,001 W/Kg.

Exemple:

Nous voulons vérifier si l'utilisation simultanée de deux antennes satisfait à la norme du SAR propre pour un point à 150 m de distance (2 m de haut):

Pour l'antenne 1 qui travaille sur 14 MHz nous avons un SAR propre de 6,2 V/m, pour l'antenne 2, sur 430 MHz il était de 2,3 V/m

E1 = 2,1 V/m (calculé avec spreadsheet)

E_{max1} = 3,07 V/m

E2 = 2,2 V/m

E_{max2} = 3,18 V/m

Calcul: $(2,1/3,07)^2 + (2,2/3,18)^2 = 0,46 + 0,47 = 0,93$. C'est < 1 donc il est satisfait

C/ Calcul de l'intensité de champ d'un champ composé en un point

Calculez l'intensité de champ causée par chacune des antennes individuellement en ce point (E1, E2 etc).

$$E_{\text{tot}} = (E1^2 + E2^2 + E3^2 \dots)^{1/2}$$

Exemple (même exemple que ci-dessus):

E1 = 5,76 V/m

E2 = 0,3 V/m

$$E_{\text{tot}} = (5,76^2 + 0,3^2)^{1/2} = 5,77 \text{ V/m}$$

Sur la spreadsheet nous trouvons une aide simple pour calculer des champs composés.

CALCUL DE CHAMP COMPOSE		
E1 (V/m) =	5.76	<- ENTER CHAMP 1
E2 (V/m) =	0.3	<- ENTER CHAMP 2
E3 (V/m) =	0	<- ENTER CHAMP 3
E4 (V/m) =	0	<- ENTER CHAMP 4
E5 (V/M) =	0	<- ENTER CHAMP 5
Total champ =	5.77	

3.2.Mesures

La mesure de champs additionnés moyens sur un spectre de 10 MHz à 10 GHz n'est pas une mince affaire et seulement très peu de radioamateurs disposeront des appareils de mesure nécessaires pour le faire avec une précision satisfaisante.

L'IBPT a évalué un certain nombre de procédures de mesure et d'appareils de mesure. Ces procédures et appareils sont acceptés par l'IBPT. Des mesures qui se font avec les appareils approuvés et acceptés par l'IBPT seront aussi acceptées par l'IBPT.

Voici en bref les spécifications auxquelles l'appareil de mesure doit satisfaire:

1. l'appareil est un mesureur d'intensité de champ large bande équipé d'un probe adéquat, équipé pour le mesurage du champ électrique (exprimé en V/m)
2. largeur de bande: 10 MHz à 10 GHz
3. réponse en fréquence: plate
4. le mesurage doit se faire sur trois plans, le résultat des mesures est la RSS (root sum square)de trois mesurages
5. sensibilité minimale: 1.5 V/m
6. les résultats des mesures sont enregistrés (disquette, par ex.)
7. L'appareil de mesure doit au moins faire deux mesures par seconde sur le spectre complet
8. Le mesurage se fait sur une superficie dégagée d'environ 10 m²
9. l'appareil est posé précisément à l'endroit où le plus grand champ est mesuré (déplacement maximal de 1 m)
10. les mesurages sont faits en continu sur une période de 6 minutes.
11. toutes les mesures sont enregistrées (si 2 par seconde cela fait 720 mesures)
12. toutes les mesures sont notées dans une feuille de calcul Excel
13. on calcule la valeur moyenne (RSS) ainsi que l'écart type .
14. on génère un graphique avec l'évolution de l'intensité de champ sur la période de 6 minutes

Il est de l'intention de l'UBA d'aider à faire ces mesures (intensité de champ résiduel additionnée) pour les membres contre une compensation minime. Les appareils de mesure sont trop coûteux pour un achat individuel ainsi que pour un achat par l'UBA, mais il y a des négociations en cours pour éventuellement louer les appareils ou faire les mesurages en sous-traitance.

Nous vous tiendrons au courant de la façon dont nous organiserons ce service UBA spécial pour nos membres.

4. Qu'en est-il des stations portables et mobiles?

Celles-ci sont exclues de la réglementation, mais cela vaut la peine d'y regarder de plus près.

Un **portable 5 Watts** avec une antenne -3dB cause un champ qui atteint juste la limite (13,7 V/m) à **63 cm**. A 10 cm (c'est la pratique) l'intensité de champ est de 76 V/m.

Un **portable 1 Watt** avec une antenne -3dB cause un champ qui atteint juste la limite (13,7 V/m) à **28 cm**. A 10 cm l'intensité de champ est de 39 V/m.

A propos, une antenne GSM de 30 m de haut provoque à environ 100-300 m un champ maximal typique d'environ 0,5 V/m. Notre portable d'1 W produit (à 10 cm de notre tête) une densité de puissance qui est **10.000 fois plus grande** (le carré du rapport d'intensité de champ)!

Donc: soyons quand même prudents avec ces portables, tout comme avec nos GSM!

5. Qu'en est-il si, dans la zone de sécurité, la valeur du SAR global est dépassée?

Si nous tenons compte du fait que nos normes belges sont apparemment plus sévères que par exemple les américaines, et si nous savons qu'on tient déjà compte d'une large marge de sécurité, cela signifie qu'un dépassement des valeurs du SAR propre dans votre maison ou sur votre terrain ne provoquera pas nécessairement des problèmes de santé.

Ainsi par exemple la norme américaine pour "controled environment" (c-à-d. dans la zone de sécurité) est, pour 14 MHz, à 128 V/m alors que la norme belge (c'est vrai hors de la zone de sécurité) est à 13,7 V/m. C'est là un rapport de puissance de près de 100 ! On peut donc considérer cela au mieux par rapport à la norme américaine.

Bande	Champ (V/m)
1.8	614

3.5	460
7	252
10	181
14	128
18	101
21	86
24	74
28	62
50	61
144	61
430	61

Si ces valeurs sont atteintes il est conseillé de remédier à cette situation, et cela signifie le plus souvent de placer l'antenne d'émission plus haut! Si maintenant les ministres de la santé et de l'aménagement du territoire se mettent bien d'accord nous pourrions rester en bonne santé en montant nos antennes un peu plus haut, ce que nous désirons tous !

6. Assistance de l'UBA à l'élaboration de votre dossier

Vous pouvez charger le programme Excel, ainsi que quelques exemples de dossiers sur le website UBA. Les formulaires spéciaux de l'IBPT se trouvent aussi sur le website de l'IBPT.

Si vous avez des questions à ce sujet, contactez-moi franchement. Il est clair qu'il ne m'est pas possible de fournir une aide à chacun qui doit rédiger un dossier (selon estimation 3.000 endéans les 5 années à venir). Ce serait bien si dans chaque section quelqu'un se spécialisait dans ce domaine et donnait alors assistance à nos membres.

Je serais heureux de pouvoir recevoir des informations en retour, même d'éventuelles difficultés concernant des dossiers présentés auprès de l'IBPT.

7. Qui doit instamment rédiger un dossier?

Nous sommes convaincus que dans la majeure partie des dossiers de radioamateurs la norme SAR propre de 0,001 W/Kg sera obtenue. Pour ces cas il n'y a aucun problème, et il suffit de faire les calculs et d'envoyer le **dossier technique d'antenne** pour info à l'IBPT.

Si votre dossier de construction (pour une maison avec mât d'antenne, ou seulement mât d'antenne /antenne) est bloqué à l'urbanisme ou toute autre instance à cause de l'AR du 29/4/2001, **c'est à vous** de débloquent le dossier: préparez sans plus attendre le dossier technique et envoyez-le à l'IBPT, comme il est clairement expliqué dans le récent AR (29/12/2001). Le document que vous recevrez en retour de l'IBPT pourra vous débloquent toutes les impasses.

Si des personnes dans votre voisinage pensent avoir des problèmes de santé à cause du rayonnement RF de votre antenne, je peux aussi vous conseiller d'introduire aussi vite que possible un dossier auprès de l'IBPT. La preuve écrite que l'IBPT délivre, dit clairement que votre installation est conforme aux normes en vigueur dans notre pays et vous aidera à imposer le silence à tous les agitateurs potentiels et psychopathes de votre voisinage.

Les autres parmi nous ont jusque fin 2006 pour faire approuver leur(s) antenne(s) par l'IBPT.

A propos, ceux qui n'utilisent pas d'antennes fixes ne doivent pas composer de dossier. Ce sont ceux qui travaillent en mobile ou portable (pour autant que l'installation portable ne soit pas placée plus de 2 semaines à un même endroit). Ceux qui chaque soir placent sur le petit balcon de leur appartement leur antenne loop magnétique ou une antenne wip ne doivent pas non plus composer de dossier, il s'agit d'ailleurs ici d'antennes faciles à déplacer comme définies dans l'AR du 21 décembre 2001, et qui ne tombent pas sous la nouvelle réglementation.

Si vous pensez que cela vaut la peine d'avoir une présentation détaillée et des éclaircissements sur ce sujet, je vous aiderai bien volontiers!

John Devoldere, ON4UN

Références:

Publication: EMVU, publié par le DARC

RF Exposure and You, édité par l'ARRL (ISBN 0-875259-662-1)