

# Les lignes de transmission

## Applications pratiques

**D**ans un précédent article, nous avons examiné la propagation d'une onde HF sur une ligne de transmission et précisé certaines définitions : onde incidente, réfléchie, coefficient de réflexion, etc. Ces notions débouchent sur des solutions aux problèmes qui se posent aux OM. En voici trois, décrites aux chapitres suivants.

### 1. Comment éviter de se fâcher avec ses voisins ?

Il arrive que les émissions d'un OM perturbent la réception sur le téléviseur d'un voisin. Et aussi que l'on brouille son propre téléviseur, d'où la possibilité de conflits...

Un dispositif simple peut résoudre le problème : il suffit de piéger la HF perturbatrice à l'entrée du téléviseur à l'aide d'un circuit réjecteur. Le principe est le suivant : on insère à l'entrée du téléviseur une ligne coaxiale quart d'onde ouverte à son extrémité, pour la fréquence que l'on veut éliminer (voir figure 1).

Prenons le cas de la VHF (144 MHz). Cette fréquence correspond à une longueur d'onde de 208 centimètres environ, soit 52 centimètres pour un quart de longueur d'onde.

La ligne quart d'onde sera une longueur de câble coaxial plus courte que 52 centimètres pour tenir compte du coefficient de vitesse du câble utilisé.

Lorsque l'isolant est constitué de polythène plein (c'est le cas du RG58

et de certains câbles TV), le coefficient de vitesse est égal à 0,66. On a en effet :

$$V_{(coax)} = \frac{V_{(air)}}{\sqrt{\epsilon}}$$

avec  $v_{(coax)}$  qui est la vitesse de propagation dans le câble,  $v_{(air)}$  la vitesse de propagation si l'isolant était de l'air : 300 000 km/seconde,  $\epsilon$  la constante diélectrique de l'isolant.  $\epsilon$  valant 2,25 pour le polythène, nous avons :

$$V_{(coax)} = \frac{V_{(air)}}{\sqrt{2,25}} = \frac{V_{(air)}}{1,5} = V_{(air)} \times 0,66$$

La longueur du coaxial quart d'onde sera donc ramenée à 52 cm x 0,66 = 34 centimètres.

Le cas d'une ligne de transmission ouverte à son extrémité a été examiné dans un précédent numéro de MEGAHERTZ. Rappelons-en brièvement le principe.

Lorsqu'une ligne ouverte à son extrémité a une longueur électrique (c'est-à-dire en tenant compte du coefficient de vitesse) de  $\lambda/4$ , le parcours de l'onde correspond à 2 fois  $\lambda/4$  (un aller et un retour), donc à un déphasage de  $\lambda/2$  entre cette onde réfléchie et une nouvelle onde

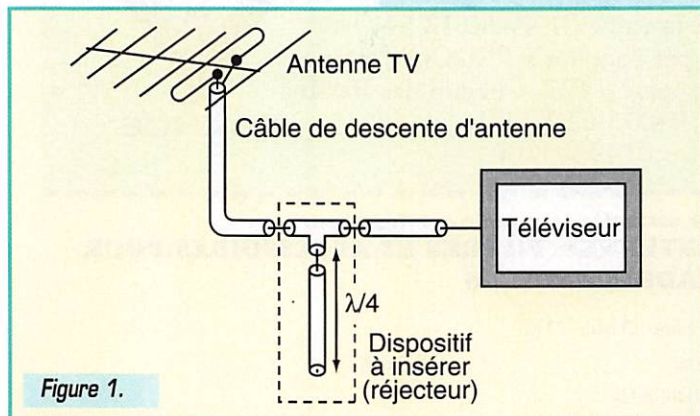


Figure 1.

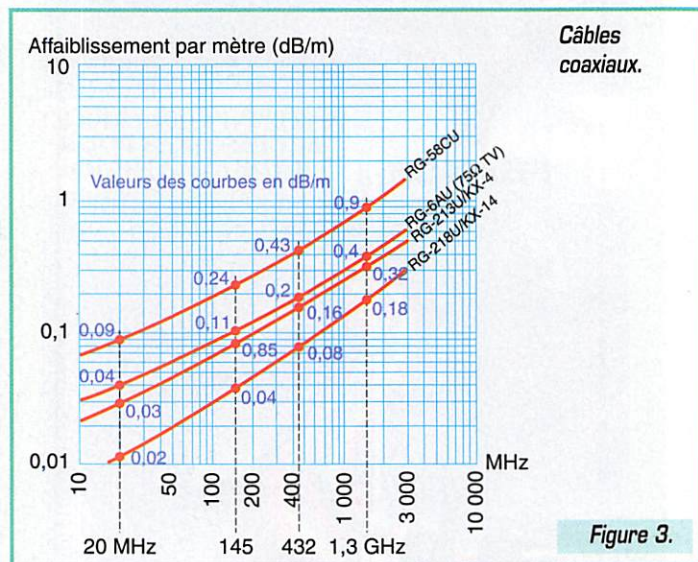


Figure 3.

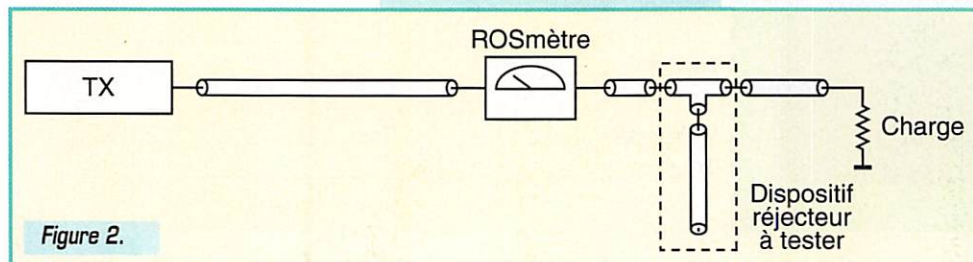
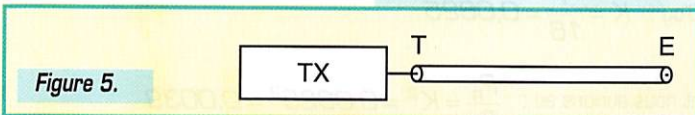
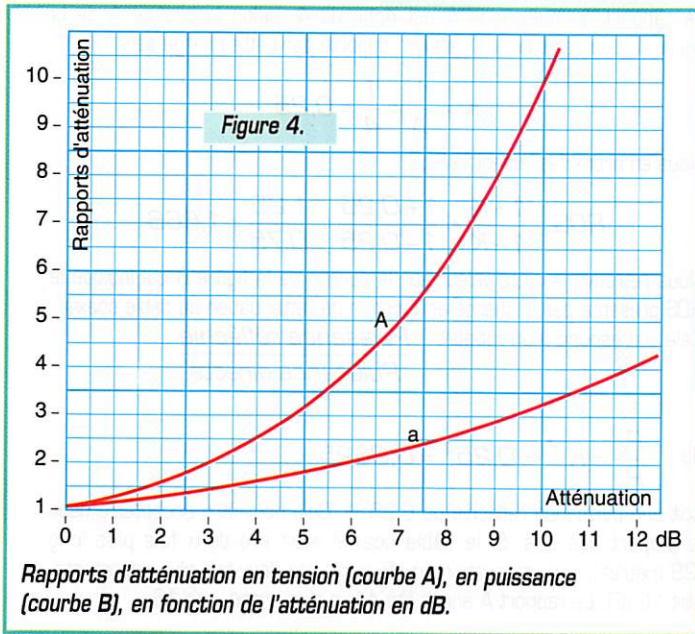


Figure 2.

incidente. Le point situé à  $\lambda/4$  de l'extrémité du câble ouvert à son extrémité est un nœud de tension, donc un véritable court-circuit pour la fréquence considérée.

Notons que cette longueur de coaxial de 34 centimètres correspond à trois quarts de longueur d'onde pour la fréquence de 432 MHz. Elle constitue égale-





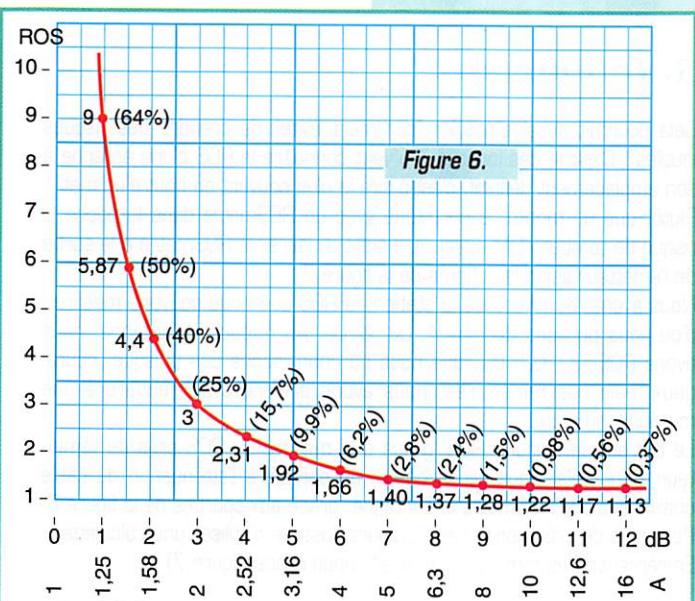
ment un circuit réjecteur pour cette fréquence. C'est d'ailleurs un circuit réjecteur pour toutes les fréquences qui sont des multiples impairs de 144 MHz. C'est également vrai pour 1,296 GHz : 34 centimètres de coaxial représentent 9 quarts de longueur d'onde à cette fréquence.

Il est évident que dans ce dernier cas, le réglage de la longueur du coaxial sera plus pointu, mais s'il est correct pour cette fréquence, a fortiori il le sera aussi pour les bandes 432 et 144 MHz.

Si on utilise un té (comme indiqué sur la figure 1), il faudra tenir compte de la longueur du té qui mène à l'âme centrale du câble de descente d'antenne.

Une bonne solution pour obtenir un réglage précis de la longueur du brin quart d'onde consiste à utiliser le montage de la figure 2.

Si la charge correspond à l'impédance caractéristique de la ligne, le ROS mesuré avec la charge en place mais sans le dispositif réjecteur doit



Ligne coaxiale utilisée comme charge.  
ROS mesuré à l'entrée en fonction de l'atténuation A du câble coaxial (extrémité ouverte ou en court-circuit). Entre parenthèses : pourcentage de puissance réfléchi correspondant aux valeurs du ROS.

être de 1. Après avoir inséré le réjecteur, on ajuste la longueur du brin quart d'onde pour avoir un ROS maximum.

S'il y avait un ampli large bande au niveau de l'antenne TV, il serait plus judicieux de placer le réjecteur à l'entrée de cet ampli. Si cela n'était pas suffisant, on pourrait utiliser les deux configurations : un réjecteur à l'entrée de l'ampli large bande, et un autre à l'entrée du téléviseur.

Des essais ont montré qu'une antenne d'émission 144 MHz 9 éléments, avec une puissance de 30 watts, perturbait violemment un téléviseur dont l'antenne était située à une distance de 2 mètres de l'antenne émettrice.

L'insertion du dispositif réjecteur améliorerait considérablement la qualité de l'image. La mise en place à demeure de ce circuit n'a aucune influence néfaste sur la réception des bandes TV. Il ne vous en coûtera qu'un té et une fiche femelle TV, ainsi qu'un petit morceau de coaxial (50 ou 75 Ω).

Eviter de brouiller un téléviseur peut aussi éviter de se brouiller avec son voisin.

## 2. Une charge performante et immédiatement disponible

Il arrive que, lors de différents essais (mise au point d'un ampli de sortie d'un émetteur, par exemple), on ait besoin d'une charge bien adaptée et susceptible de dissiper une puissance assez conséquente.

Si la puissance à dissiper est faible, la solution est simple : une résistance classique non bobinée fera l'affaire, même en UHF, à condition de réaliser des connexions courtes. Dès que la puissance à dissiper devient importante, il est difficile de trouver des résistances non inductives, que l'on peut difficilement connecter avec des liaisons courtes, compte tenu de leur encombrement.

On peut contourner la difficulté de la manière suivante : une charge capable de supporter une faible puissance sera mise à l'extrémité d'un câble coaxial dont l'atténuation sera telle qu'il dissipera l'essentiel de la puissance délivrée par l'émetteur. Prenons un exemple précis : ne disposant que d'une résistance non inductive de 50 Ω pouvant dissiper 4 watts, nous voulons tester un ampli 144 MHz de 20 watts sur une charge de 50 Ω. Nous allons souder cette résistance à l'extrémité d'un câble coaxial RG58 dont l'atténuation est de 0,24 dB par mètre, à 145 MHz, selon la courbe de la figure 3. De 20 watts à l'entrée du coaxial, nous voulons arriver à 4 watts à l'autre extrémité, ce qui correspond à une atténuation de

$$\frac{20 \text{ watts}}{4 \text{ watts}} = 5$$

La courbe A de la figure 4 nous indique que le rapport de 5 en puissance correspond à environ 7 dB. D'où la longueur minimale nécessaire du câble coaxial :

$$\frac{7 \text{ dB}}{0,24 \text{ dB/m}} = 29,1 \text{ mètres}$$

Pour une fréquence de 432 MHz, la courbe de la figure 3 concernant le RG58 nous indique une atténuation de 0,43 dB/mètre. La longueur du câble coaxial serait alors de :

$$\frac{7 \text{ dB}}{0,43 \text{ dB/m}} = 16,2 \text{ mètres}$$

Et à 1,3 GHz, toujours selon cette courbe, nous aurions une atténuation de 0,9 dB/mètre, d'où une longueur de :

$$\frac{7 \text{ dB}}{0,9 \text{ dB/m}} = 7,7 \text{ mètres}$$

On voit que la solution est simple et rapide. L'adaptation sera en principe parfaite (ROS = 1).

Il est même possible de se passer d'une résistance en bout de câble si l'on admet une certaine désadaptation de cette ligne coaxiale utilisée comme charge. Pour cela, considérons le schéma de la figure 5.



L'extrémité E du câble coaxial est ouverte. Elle peut également être terminée par un court-circuit : dans les deux cas, il y a réflexion totale de l'onde HF à l'extrémité E. La tension HF qui se propage de T vers E subit durant ce trajet une atténuation qui dépend du câble coaxial utilisé et de sa longueur. L'atténuation en dB, obtenue à partir de la figure 3, est convertie en rapport de tension selon la courbe a de la figure 4. La tension HF incidente  $U_D$  subit donc une atténuation a dans son parcours T → E.

La réflexion en E étant totale, l'onde HF réfléchie aboutit au point T après avoir subi une nouvelle atténuation a dans son parcours E → T. Nous pouvons donc dire que  $U_R$  (tension HF réfléchie) vaut, au point T,

$$\frac{U_D}{a \times a} = \frac{U_D}{a^2}$$

$U_D$  étant la tension directe venant de l'émetteur. Le coefficient de réflexion au point T vaut donc :

$$K = \frac{U_R}{U_n} = \frac{\frac{U_D}{a^2}}{\frac{U_D}{a^2}} = \frac{1}{a^2}$$

$a^2$  est l'atténuation en tension élevée au carré, c'est-à-dire l'atténuation en puissance, que nous appellerons A.

Le coefficient de réflexion est donc égal à  $\frac{1}{A}$

Comme il est facile de convertir une atténuation exprimée en dB en un rapport d'atténuation A, et inversement, (voir courbe A de la figure 4), nous voyons que la qualité de la charge ainsi constituée par un câble coaxial ouvert ou en court-circuit à son extrémité peut être facilement évaluée.

Prenons un exemple : on veut utiliser un câble coaxial ouvert RG58 comme charge, à une fréquence de 432 MHz. Sa longueur est de 14 mètres correspondant, selon la courbe de la figure 3, à une atténuation de 6 dB.

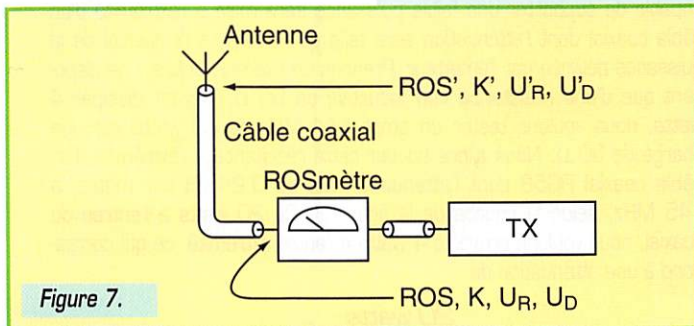
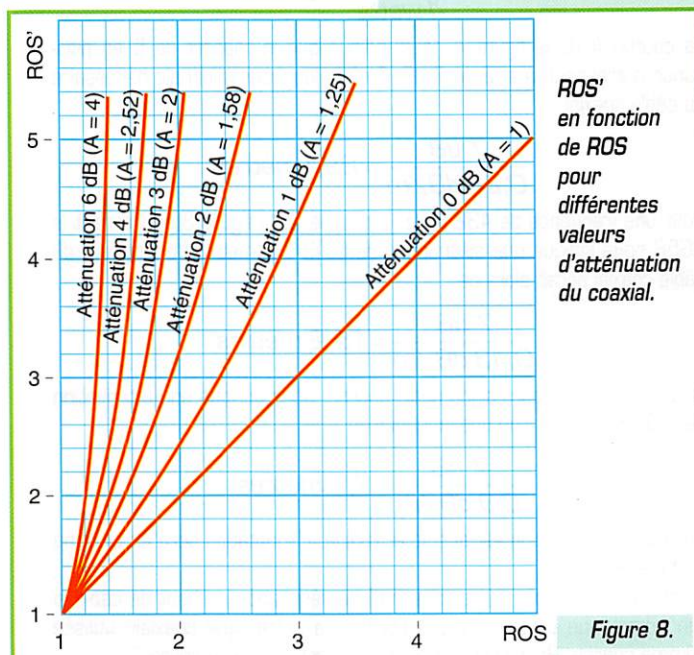


Figure 7.



ROS' en fonction de ROS pour différentes valeurs d'atténuation du coaxial.

Figure 8.

Le rapport en puissance A est donc de 4, selon la courbe A de la figure 4. Le coefficient de réflexion apporté par cette charge sera :

$$K = \frac{1}{A} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Nous en tirons facilement le ROS\* :

$$ROS = \frac{1+K}{1-K} = \frac{1+0,25}{1-0,25} = \frac{1,25}{0,75} = 1,666$$

Nous retrouvons cette valeur sur la courbe de la figure 6 qui indique le ROS présenté par la charge en fonction de l'atténuation du câble coaxial.

Cela correspond à un rapport  $\frac{\text{Puissance réfléchie}}{\text{Puissance directe}}$

de  $\frac{P_R}{P_D} = K^2 = 0,25^2 = 0,0625$

soit une puissance réfléchie de 6,25 %. Cela peut être acceptable dans la plupart des cas. Si le câble coaxial avait été deux fois plus long (28 mètres), son atténuation en dB aurait été deux fois plus importante, soit 12 dB. Le rapport A aurait été 4 fois plus grand, soit 16.

D'où :  $K = \frac{1}{16} = 0,0625$

et nous aurions eu :  $\frac{P_R}{P_D} = K^2 = 0,0625^2 = 0,0039$

soit 0,39 % de puissance réfléchie. Cela reviendrait à avoir une charge presque parfaite. Mais la figure 6, ainsi que la formule qui a servi à la tracer, nous indiquent que cela ne pourrait exister que pour une longueur de coaxial de longueur infinie. Nous nous contenterons donc d'une très bonne approximation...

Sur cette courbe de la figure 6 sont pointées les valeurs du ROS avec, entre parenthèses, les pourcentages de puissance réfléchie correspondants.

Bien entendu, nous utiliserons le câble coaxial qui conviendra le mieux, en fonction de la qualité de la charge souhaitée, en nous servant des courbes de la figure 3. La puissance se dissipant dans toute la longueur du câble coaxial, il suffira de se reporter aux indications fournies par le fabricant du câble pour connaître la puissance maximale que celui-ci peut supporter.

### 3. Télémessure

Cela pourrait aussi s'intituler "comment éviter de prendre des risques inutiles". C'est le cas lorsque l'on veut connaître le ROS d'une antenne à son emplacement définitif, c'est-à-dire le plus souvent en haut d'un mât.

Plutôt que de monter à un pylône avec un ROSmètre dans la poche (il risque de tomber, l'OM aussi...), il suffit d'insérer le ROSmètre à la sortie de l'émetteur selon le schéma de la figure 7.

Nous avons, au niveau de la station, le ROS que nous pouvons mesurer, d'où nous pouvons déduire K,  $U_R$ , et  $U_D$ . Au niveau de l'antenne, nous avons ROS', K',  $U_R'$ ,  $U_D'$ , que nous ne connaissons pas puisque, courageux mais pas téméraires, nous avons préféré avoir recours à une méthode indirecte...

Le but est de calculer ROS' grâce à la mesure du ROS près de l'émetteur. Pour cela, nous avons besoin de connaître l'atténuation du câble coaxial entre le ROSmètre et l'antenne, grâce aux courbes de la figure 3. Pour plus de précision, il sera toujours possible d'utiliser une calculatrice. En reprenant les formules connues\*, nous avons (figure 7) :

$$K = \frac{U_R}{U_D}, \quad ROS = \frac{1+K}{1-K}, \quad K = \frac{ROS-1}{ROS+1}$$

et  $K' = \frac{U_R'}{U_D'}$ ,  $ROS' = \frac{1+K'}{1-K'}$ ,  $K' = \frac{ROS'-1}{ROS'+1}$



Comme nous l'avons déjà fait, appelons a le rapport d'atténuation en tension de ce câble coaxial (voir courbe a de la figure 4). La tension réfléchie se déplaçant, par définition, de l'antenne vers l'émetteur, nous avons une tension  $U_D$  a fois plus grande que  $U_R$ , soit :  $U_R = U_D \times a$ . Par ailleurs, la tension directe  $U_D$  se déplaçant de l'émetteur vers l'antenne,  $U_D$  est a fois plus petite que  $U_D$ .

$$D'où : U'_D = \frac{U_D}{a}$$

$$\text{Nous avons donc : } K' = \frac{U'_R}{U'_D} = \frac{U_R \times a}{\frac{U_D}{a}} = a^2 \times \frac{U_R}{U_D} = a^2 \times K$$

a étant l'atténuation en tension de la longueur du câble coaxial,  $a^2$  en est l'atténuation en puissance. Nous passons donc  $a^2 = A$ . D'où  $K' = AK$ . Le rapport d'ondes stationnaires à la base de l'antenne vaut donc :

$$ROS' = \frac{1+K'}{1-K'} = \frac{1+AK}{1-AK}$$

formule qui peut devenir, en remplaçant K par sa valeur :

$$ROS' = \frac{1+A \left( \frac{ROS-1}{ROS+1} \right)}{1-A \left( \frac{ROS-1}{ROS+1} \right)}$$

Cette formule nous permet de tracer la famille de courbes de la figure 8, nous indiquant la valeur de  $ROS'$  en fonction du  $ROS$ , avec comme paramètre l'atténuation de la ligne coaxiale. Ainsi, pour une atténuation nulle du coaxial,  $ROS$  et  $ROS'$  ont la même valeur. A l'inverse, un câble ayant une forte atténuation masquera un  $ROS$  important. Cas limite : une ligne coaxiale ouverte ou en court-circuit à son extrémité nous conduira au cas examiné au chapitre 2, c'est-à-dire à la figure 6. Nous avons alors  $K' = 1$  ( $ROS'$  infini).

Dans la formule  $ROS' = \frac{1+KA}{1-KA}$

cela correspondra à  $KA = 1$ , c'est-à-dire  $K = \frac{1}{A}$

Dans ce cas particulier, nous retrouvons la formule concernant une ligne ouverte utilisée comme charge.

Pour conclure, nous voyons que l'atténuation d'un câble coaxial peut être utile si l'on veut en faire une charge, ou pénalisante si l'on veut alimenter une antenne : même si celle-ci rayonne toute la puissance qui lui est fournie ( $ROS' = 1$ ), on peut facilement calculer au moyen des courbes jointes qu'à 145 MHz, une ligne coaxiale en RG213 de 20 mètres de longueur apporte une atténuation de 1,7 dB, soit un rapport en puissance de 1,48, d'où une puissance rayonnée égale à 67,5 % de la puissance fournie par l'émetteur\*\*. A 432 MHz, l'atténuation est de 3,2 dB. Seulement 47,8 % de la puissance de l'émetteur est fournie à l'antenne. Si la longueur de ce câble coaxial est de 40 mètres, à 144 MHz, l'atténuation est de 3,4 dB, d'où 45,7 % de puissance disponible à l'antenne. Et à 432 MHz, avec une atténuation du coaxial de 6,4 dB, il n'en reste plus que 22,9 %.

Souvent, la puissance à l'émission annoncée lors d'un QSO est celle qui est mesurée à la sortie de l'émetteur.

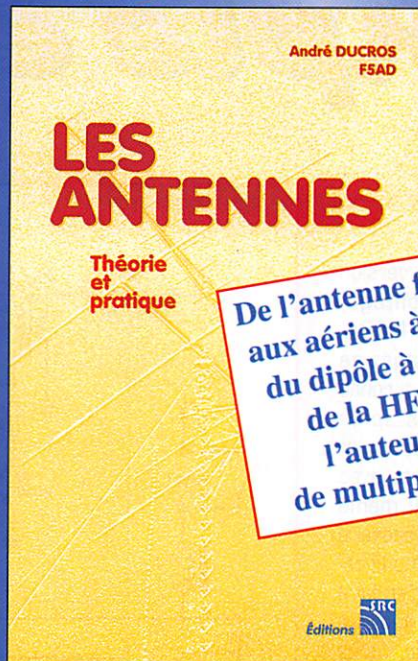
Pour mieux coller à la réalité, il serait bon de tenir compte des pertes dues au câble d'alimentation de l'antenne.

Jean TERRIER, F6FJG

\* Voir MEGAHERTZ n° 186.

\*\*  $\frac{100 \text{ w}}{1,48} = 67,5 \text{ watts}$

## LE LIVRE INCONTOURNABLE SUR LES ANTENNES !



Réf. : EA21

De l'antenne filaire simple aux aériens à grand gain, du dipôle à la parabole, de la HF aux SHF, l'auteur propose de multiples solutions.

250 F + port : 35 F

Véritable bible sur les antennes d'émission-réception, cet ouvrage est tout autant destiné aux techniciens qu'aux amateurs

## VOYAGEZ AU-DESSUS DE NOTRE PLANÈTE !

**CD-ROM PHOTOSPACE**  
L'ATLAS DE L'EUROPE VUE DE L'ESPACE  
Réf. : CD021  
**269 F + PORT 20 F**

Plus de 300 images satellite, révélées pour la première fois sous leurs vraies couleurs naturelles

### ZOOMS GÉOGRAPHIQUES 50 X 70 cm

DÉSIGNATION	RÉP*	NI	TB
MASSIF ALPIN OUEST DE LA FRANCE	MAL		
LONDRES	OF		
LE HAVRE (60 x 75 cm)	LH		
BAIE DE SEINE	BN	NIVERNAIS/BOURGES	NI
COTENTIN	CT	TULLE/BRIVE/LIMOGES	TB
BAIE DU MONT ST MICHEL	BM	ANNECY/MONT BLANC	AB
GRANIT ROSE/GOELO	GG	BRESSE/MACONNAIS	CS
FINISTÈRE NORD	FN	GRENOBLE/CHAMBERY	GM
FINISTÈRE SUD	FS	JURA/GENÈVE	JG
QUÉBERON/MORBIHAN	QB	LYON/ST ETIENNE	LE
LA BAULE/LE D'YEU	LB	LYON RHONE ET SAONE	LS
ILES DE RÉ/D'OLERON	IR	CORBIÈRE MONT. NOIRE	CI
BORDEAUX/GIRONDE	BG	MONTP./NIMES/BEZIERS	MS
LES LANDES/ARCACHON	LD	NICE/ALPES MARITIMES	NC
PAYS BASQUE	PB	NIMES/ALES/LOZERE	NS
AIX/MARSEILLE	AM	PYRÉNÉES ORIENTALES	PY
TOULON ET SA RÉGION	TR	RODEZ/MILLAU	RM
MULHOUSE/BAL D'ALSACE	MB	BOCAGE NORMAND/VIRE	BNO
STRASBOURG/VAL RHIN	ST	BOCAGE VENDEEN	BVE
MASSIF CENTRAL (48 x 92 cm)	MC	DU MANS A LAVAL	MAA
BOURBONNAIS	BB	ST BRIEUC/VANNES	SBV
CLERMONT-FD/SANCY	CF	ANGERS/LOIRE EN ANJOU	ALA
CANTAL MARGERIDE	CG	BASSIN DE RENNES/	
GUERRET/BERRY	GU	BAIE DU MONT ST MICHEL	BBR

### LES POSTERS...



FRANCE 70 X 85 cm  
Réf. : PO-F

149 F + PORT 39 F

### RÉGIONS ET DÉPARTEMENTS

DÉSIGNATION	RÉP*	LANGUEDOC-ROUS.	LR
ALSACE	AL	MIDI-PYRÉNÉES	MP
AQUITAINE	AQ	NORD-PAS DE CALAIS	NP
AUVERGNE	AU	PACA	PA
BASSE NORMANDIE	BN	POITOU-CHARENTES	PC
BRETAGNE	BR	PICARDIE	PI
CHAMPAGNE-ARD	CA	PAYS DE LOIRE (60x85 cm)	PL
CENTRE	CE	RHÔNE-ALPES (60x85 cm)	RA
CORSE	CO		
FRANCHE COMTÉ	FC		
HAUTE NORMANDIE	HN	AISNE	02
ILE-DE-FRANCE	IF	ARDENNES	08
LIQUINOIS	LI	MARNE	51
LORRAINE	LO	BAS-RHIN	67
		HAUT-RHIN	68

129 F + PORT 39 F

60 X 80 cm  
sauf mention particulière  
\* merci d'indiquer la mention PO avant la référence de votre poster.

Utiliser le bon de commande MEGAHERTZ