

400 mA ansteigen kann. Beim Erreichen der Zenerspannung (ca. 13.7 V) beginnt der Transistor BUZ 71 zu sperren und der Ladestrom sinkt. Im leitenden Zustand hat der Transistor einen Widerstand von nur etwa 0.1 Ohm.

Die Sendetaste (PTT) ist mit der Fahrradklingel gekoppelt. Es wird ein Modell ohne Räderwerk verwendet, das erst nach dem Drücken, wenn der Hebel wieder losgelassen wird, einen Klingelton erzeugt. Der Klingelton kann unterdrückt werden, falls der Hebel «langsam» losgelassen wird, während jedoch die Sendetaste einwandfrei betätigt wird.

Das benutzte IC-24E eignet sich übrigens besonders gut für die hier beschriebene Anwendung und zwar aus drei Gründen:

- Das Gerät braucht keine besondere Tastleitung, der Mikrofon-Stromkreis muss nur mit einer Taste geschlossen werden, damit das Gerät auf Senden geht.

- Auf der gleichen Leitung wird auch die Betriebsspannung für das Electret-Mikrofon zugeführt.
- Das Gerät braucht keine besondere Ruftaste, weil mit zwei kurz aufeinanderfolgenden Betätigungen der Sendetasten der Rufton ausgelöst wird.

Schlussbemerkungen

Das ganze Konzept hat sich während etwa 3 Jahren zum heutigen Stand entwickelt und funktioniert bestens. Als angenehme Nebenerscheinung sei noch bemerkt, dass bei diesem Anlagekonzept das Licht auch im Stillstand brennt.

Diese Beschreibung will keine Bauanleitung sein. Sie soll aber einem interessierten OM Anregungen geben, wie er seine Anlage aufbauen kann. Für Auskünfte und Ratschläge stehe ich gerne zur Verfügung.

Ich wünsche viel Erfolg mit «velomobil»!

Le plus petit émetteur de télévision du monde

Dr. Angel Vilaseca (HB9SLV), Chemin du reposoir 20, 1255 Veyrier
Jean-Pierre Morel (HB9RKR), Avenue Haldimand 51, 1400 Yverdon

Dernièrement sont apparus sur le marché des surplus, des transistors GaAsFET bon marché, ce qui a permis à beaucoup d'amateurs de faire des essais de circuits hyperfréquence.

Cet article décrit une nouvelle sorte d'émetteur hyperfréquence, à 10 GHz de faible puissance et de faible coût. Il utilise un GaAsFET surplus, monté sur un petit circuit imprimé en Teflon/fibre de verre.

L'émetteur peut être modulé en fréquence sur une plage suffisamment large pour transmettre un signal vidéo, ou toute autre modulation large bande.

Les essais ont eu lieu sur la bande radio-amateur, située entre 10 et 10,5 GHz, mais le circuit peut facilement être adapté pour fonctionner dans la même bande que les alarmes volumétriques à hyperfréquences. Dans ce cas, et vu la faible puissance, aucune autorisation n'est nécessaire.

Nous avons commencé nos expérimentations en hyperfréquences au cours des années 80, en utilisant précisément des modules destinés aux alarmes volumétriques. Ces montages étaient basés sur des diodes Gunn, montées dans des assemblages de guides d'ondes. Ce qu'on appelle «guide d'ondes», est tout simplement du tuyau métallique de section rectangulaire. Construire un circuit électronique à base de tuyaux métalliques revient à faire pas mal de «plomberie» avec l'équipement en outillage que cela suppose.

L'utilisation de composants modernes (transistors GaAsFET) permet de s'affranchir de tout le travail de mécanique. Le circuit proposé se construit tout comme un montage électronique habi-

tuel, excepté que le matériau du circuit imprimé est en verre/teflon.

Ce matériau est le même que celui utilisé dans les LNB satellites (la petite boîte qu'on place en face des paraboles de télévision par satellite). Une installation de réception satellite peut être utilisée telle quelle pour recevoir les signaux de télévision que nous allons produire avec notre émetteur.

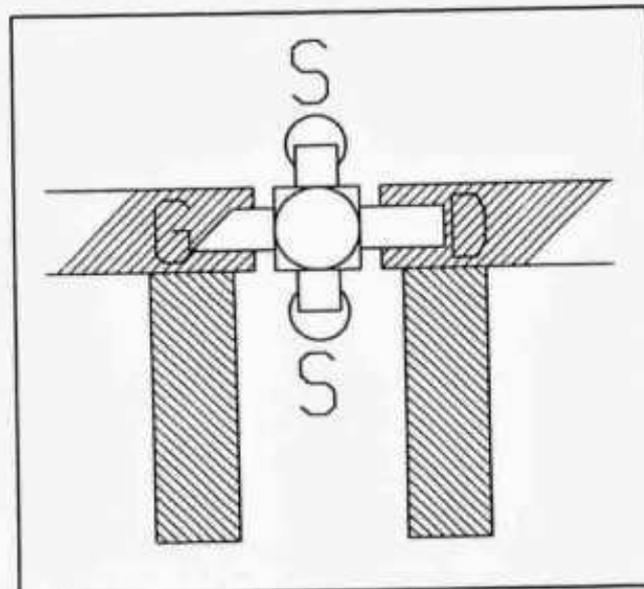


Figure 1: Un oscillateur à GaAsFET. G, D et S = Gate, Drain et Source respectivement. Les deux lignes parallèles connectées à la source et au drain exercent le couplage nécessaire à l'oscillation.

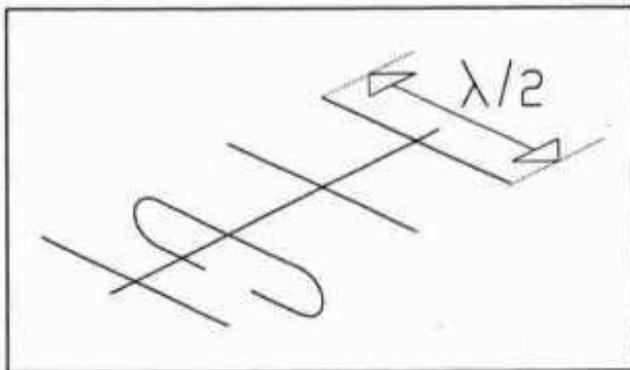


Figure 2: Dans une antenne de télévision, les brins mesurent environ une demi-longueur d'onde.

Une des caractéristiques des hyperfréquences étant de se propager comme la lumière, il suffira d'orienter la parabole TV SAT vers celui-ci.

L'oscillateur GaAsFET

Il s'agit d'un transistor monté en amplificateur, sur un circuit microstrip (figure 1), mais afin de faire osciller cet amplificateur, il faut introduire un certain couplage de la sortie vers l'entrée. Un peu comme l'effet Larsen qu'on peut observer en utilisant une installation de sonorisation: si on approche le micro du haut-Parleur, il se produit un couplage entre la sortie de l'ampli (haut-parleur) et l'entrée (micro) et on obtient alors une forte oscillation à une fréquence donnée, qui se manifeste par un violent sifflement caractéristique.

Le couplage est obtenu, dans notre cas, en ajoutant deux portions de lignes, l'une à l'entrée (gate), l'autre à la sortie (drain), placées parallèlement et suffisamment rapprochées pour que le couplage se fasse dans de bonnes conditions. Les deux pattes de la source du GaAsFET sont connectées directement au plan de masse.

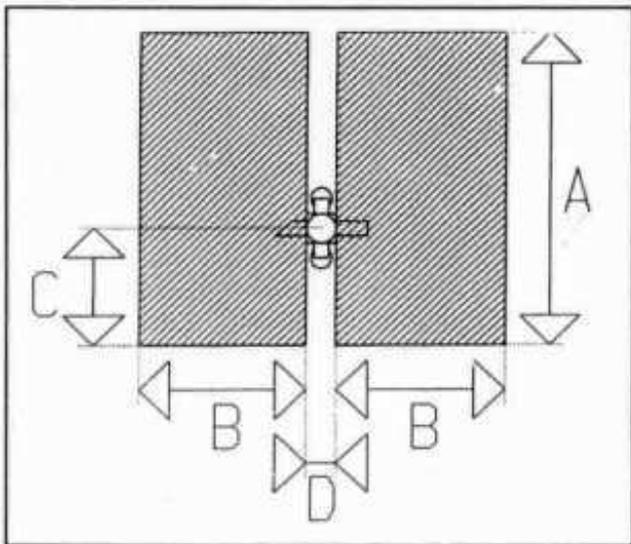


Figure 3: Les dimensions du circuit de l'oscillateur. Voir texte.

Comment faire rayonner l'oscillateur?

Toute ligne microstrip d'un circuit rayonne une partie de l'énergie qu'elle véhicule. Si les dimensions de la ligne sont petites en comparaison de la longueur d'onde, peu d'énergie est rayonnée. Si on augmente la longueur de la ligne, l'énergie rayonnée augmente aussi, pour atteindre un maximum lorsque la longueur est égale à une demi-longueur d'onde.

Le principe est le même que pour une antenne de télévision: la longueur des brins est sensiblement égale à une demi-longueur d'onde (figur 2). Nous allons donc créer sur notre circuit imprimé des structures de dimension équivalente à une demi-longueur d'onde, qui vont constituer une antenne microstrip, et, simultanément, exercer un couplage de la sortie vers l'entrée du GaAsFET (figure 3). Pour les premiers essais, nous avons décidé de prendre deux rectangles identiques. Comme le GaAsFET va introduire un certain déphasage entre les deux rectangles, ils vont rayonner simultanément, mais le rayonnement de l'un va annuler partiellement celui de l'autre. C'est-à-dire qu'une partie de l'énergie émise par le rectangle de gauche va être captée par celui de droite et vice-versa. Cette énergie va donc contribuer au couplage entrée-sortie et rester dans le circuit. Seule une petite partie va être émise. Ceci présente l'avantage que comme le couplage entre le circuit et le

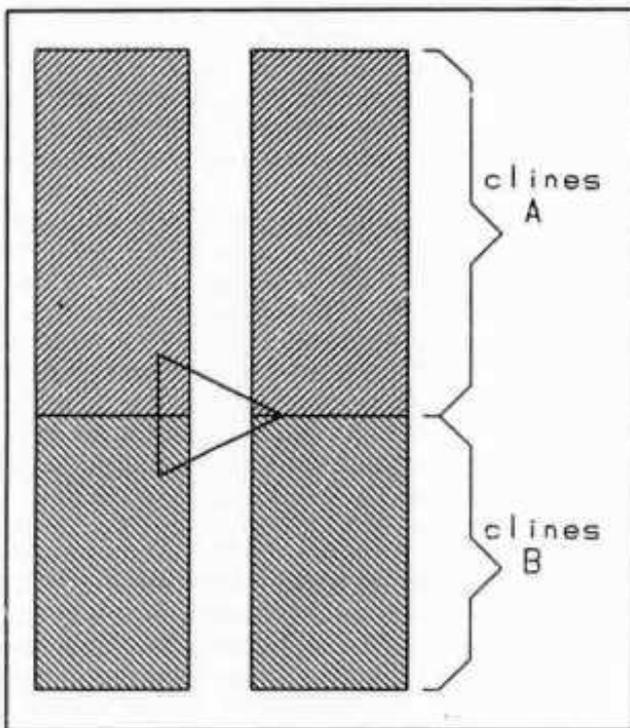


Figure 4: Pour le simulateur PUFF, l'oscillateur est décrit comme un dipôle amplificateur, représenté sur la figure par le triangle, avec deux paires de lignes couplées, connectées bout à bout. Diverses longueurs A et B ont été essayées lors de la simulation sur ordinateur, avec la longueur totale $A+B$ restant constante à $\lambda/2$.

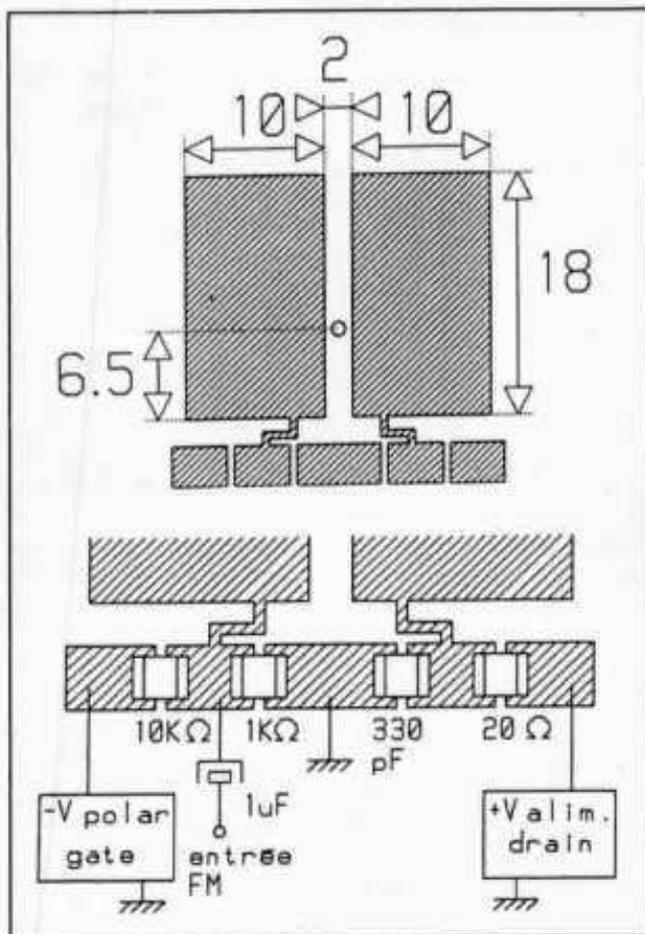


Figure 5: Le dessin du circuit imprimé.

monde extérieur est relativement faible, la stabilité de l'oscillateur reste bonne. Plus on extraira d'énergie du circuit, et plus la stabilité va se dégrader, c'est-à-dire que par exemple la fréquence va se modifier si on approche un objet du circuit, («effet de main»!).

Le dessin du circuit imprimé

Il faut déterminer les quatre dimensions A, B, C et D (figure 3). Pour cela, nous avons utilisé un programme informatique, nommé PUFF, qui a été développé au Caltech à Pasadena, en Californie, et sur lequel nous reviendrons dans un prochain article.

Le circuit est subdivisé en deux paires de lignes couplées (figure 4) montées bout à bout. Les deux paires de lignes doivent avoir la même impédance et le même degré de couplage, c'est-à-dire que leur largeur et leur espacement vont être identiques. Afin de se rapprocher des caractéristiques habituelles des antennes microstrip, l'impédance devra être choisie relativement basse, aux environs de 20 ohms.

Nous allons nous intéresser seulement à leur longueur respective, en tenant compte de ce que la longueur totale des deux lignes bout à bout doit être d'environ une demi-onde (180°). Ce que nous cherchons à déterminer, c'est le point idéal entre les deux rectangles où nous allons brancher le

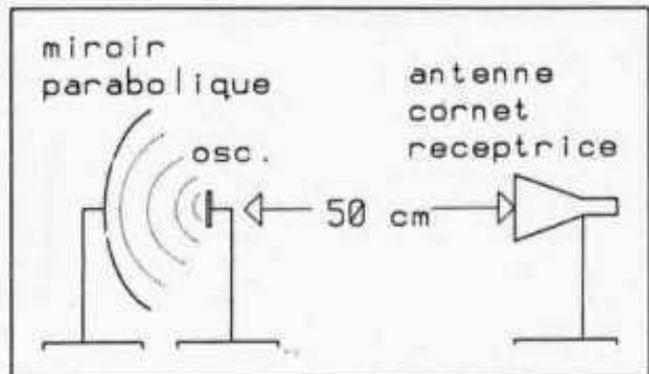


Figure 6: Le banc d'essais.

GaAsFET, ceci afin d'avoir le retour sortie → entrée le plus élevé possible.

Nous avons commencé à expérimenter avec le circuit de la figure 5.

Le montage a tout d'abord été essayé en tant qu'illuminateur d'une parabole IKEA. Il s'agit en fait d'un abat-jour de lampe bon marché, que l'on peut trouver dans certains magasins d'ameublement grande surface. Son diamètre est de 40 cm et la distance focale de 11 cm, ce qui nous donne un rapport focale/diamètre plutôt bas, de 0,27. Le circuit a été simplement fixé au foyer de la parabole, ce qui - en soi - est déjà une simplification, puisqu'aucun illuminateur n'est ainsi nécessaire, le circuit rayonnant de lui-même (figure 6).

Le GaAsFET utilisé était un «Red Spot» de chez Birkett, 25, The Strait, Lincoln LN2 1JF, Angleterre. Les dimensions D et B de la figure 3 ont été gardées constantes tout au long des essais: D = 2 mm, B = 10 mm.

Essais

Tout d'abord, nous avons essayé A = 18 mm et C = 6,5 m (figure 5) avec une tension d'alimentation de +4 V sur le drain et une polarisation de -3,5 V sur le gate (figure 5b); le courant dans le drain était de 23,4 mA et le signal reçu par l'antenne de mesure (cornet) était de -3dBm. La fréquence d'oscil-

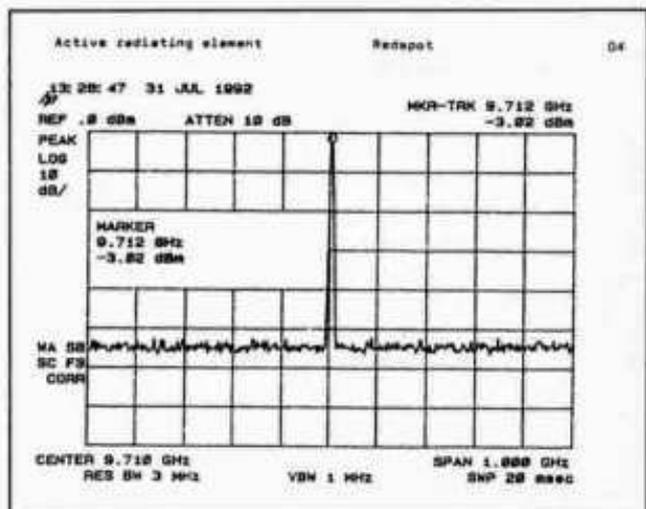


Figure 7: Le signal reçu.

lation était plus basse que prévu, à 9,712 GHz (figure 7).

Le signal reçu était plus fort si l'oscillateur était placé à 16,2 cm du fond de la parabole plutôt qu'au foyer, qui, lui, se trouve à 11 cm. Ceci signifie probablement que le lobe de radiation du circuit est trop étroit pour illuminer cette parabole de manière optimale. Une parabole plus plate, donc avec une distance focale plus éloignée du sommet, permettrait probablement une amélioration sensible (figure 8).

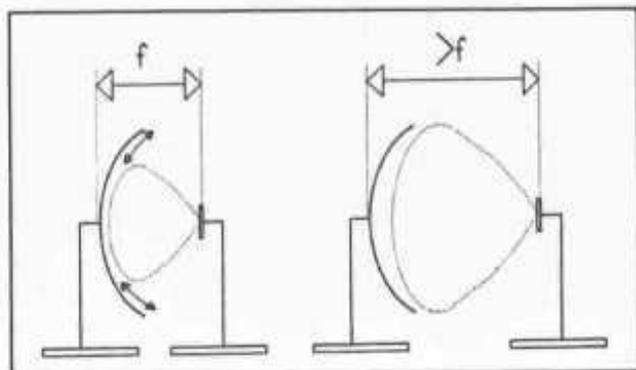


Figure 8: Si on éloigne un peu l'oscillateur du foyer de la parabole, son lobe de rayonnement illumine cette dernière de manière plus uniforme. On obtient ainsi un meilleur compromis, aboutissant à un signal reçu plus important.

Mais idéalement, si la parabole était un peu plus plate, le foyer serait plus éloigné et coïnciderait alors avec la position de l'oscillateur. On obtiendrait ainsi une efficacité maximale.

Nous avons ensuite fait un essai avec un autre GaAsFET de 1er choix (avec le prix en conséquence), un CFY 18-23 de chez Siemens. La distance A n'a pas été modifiée. D a été fixée à 7 mm. Le signal reçu était beaucoup plus faible, à -17,3 dBm. Avec D = 8,5 mm, l'oscillation cesse. Le point intéressant était que cette petite variation de D a fait augmenter la fréquence de presque 1 GHz, à 10,653 GHz.

Nous avons ensuite remplacé le CFY 18-23 par un GaAsFET redspot avec D = 7 mm et la fréquence est restée la même; il semble donc bien que le changement de fréquence provienne de la variation de D plutôt que du changement de GaAsFET. Pour faire redescendre la fréquence, nous avons prolongé les deux rectangles au moyen de deux morceaux de feuillard de cuivre (voir photo), de manière à ce que la dimension A soit de 19 mm. La fréquence est redescendue à 10,293 GHz. La tension sur le drain était de + 3,5 V; celle sur le gate de -4 V, Id = 16,5 mA.

La figure 9 montre le signal reçu lorsque l'oscillateur est modulé en fréquence en appliquant un signal sinusoïdal à 4,5 MHz sur le gate. La linéarité est bonne.

Si on modifie la tension d'alimentation, le courant

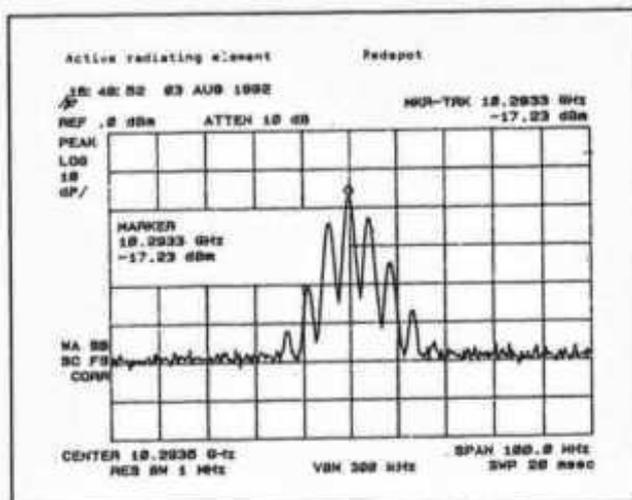


Figure 9: Le signal hyperfréquences vu à l'analyseur de spectre lorsque l'oscillateur est modulé en fréquence.

de drain change peu. La fréquence change, elle aussi, mais non linéairement.

+V (drain)	-V (gate)	Id	Fréquence
+ 3,0 V	-4 V	15,5 mA	18,363 GHz
+ 3,5 V	-4 V	16,5 mA	10,354 GHz
+ 4, = V	-4 V	17,5 mA	10,376 GHz

Le signal hyperfréquence produit par l'émetteur est énergiquement polarisé: si on croise les polarisations de l'émetteur et de l'antenne de réception, l'atténuation atteint 30 dB.

La puissance rayonnée par l'oscillateur a été estimée à 1 mW: en effet, si on remplace le circuit par un oscillateur à diode Gunn de cette puissance, le signal reçu est le même.

En diminuant la distance D à 5 mm, la puissance de sortie a augmenté de 3dB et le courant de drain Id a baissé à 11,4 mA. La fréquence d'oscillation a diminué à 10,180 GHz, ce qui nous a permis d'enlever les deux morceaux de feuillard que nous avons soudés au bout des rectangles du circuit imprimé. Cela a permis de ramener la fréquence à 10,430 GHz.

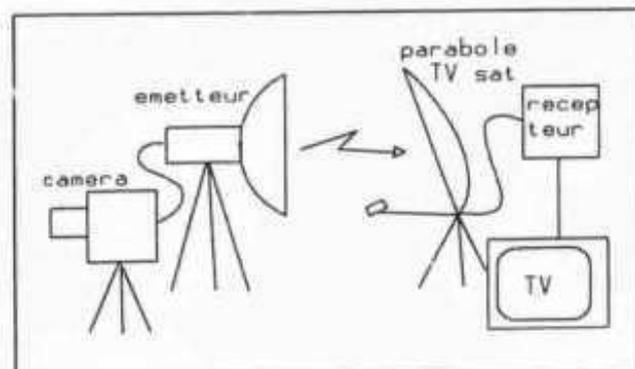


Figure 10: Utilisation d'un ensemble de réception TV sat.

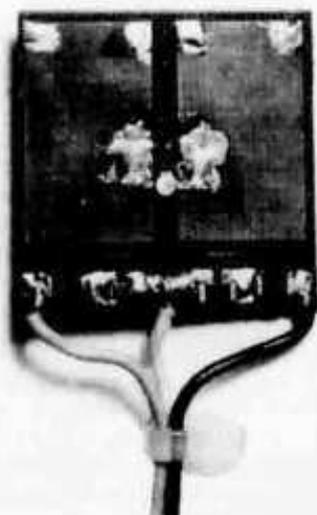


Photo 1: Vue du circuit

Conclusion et utilisations possibles

Nous venons de décrire un émetteur de télévision sur 10 GHz, ne comportant que 6 composants sur un circuit imprimé, ce qui doit sans doute être un record! Malgré cela, la stabilité en fréquence était bonne, très peu affectée par le déplacement d'objets au voisinage (peu d'«effet de main»). La stabilité par rapport aux changements de température ambiante pourrait sans doute être rendue excellente en montant l'émetteur entre deux plaques de polystyrène. Ce matériau n'amène que très peu de pertes à 10 GHz. Toujours pour stabiliser encore davantage la fréquence, un autre perfectionnement possible serait d'adapter un résonateur diélectrique à l'oscillateur.

Un émetteur de ce type rend inutile le travail de «plomberie» habituel sur guide d'ondes. Et il présente non seulement l'avantage de la simplicité de réalisation mais il évite aussi du même coup les pertes liées aux lignes de transmission, guides d'ondes, transitions, connecteurs, etc. en étant monté directement à l'antenne. On pourrait même dire «en faisant partie intégrante de l'antenne» ou encore parler d'«antenne active d'émission».

La modulation de l'émetteur en fréquence par un signal vidéo, par exemple en provenance d'une caméra, produit un signal hyperfréquence de même type que les signaux en provenance des satellites de télévision. Un système de réception ASTRA, que l'on trouve à prix très avantageux dans les grandes surfaces, peut donc être utilisé sans modification pour la réception des images TV (figure 10).

La faible puissance de l'émetteur, ainsi que la très forte directivité inhérente aux aériens paraboliques, rendent les brouillages pratiquement impossibles, même si l'émetteur fonctionne sur les fréquences TV sat.

La portée maximale de cet émetteur, si on l'utilise en faisceau hertzien, avec un ensemble TV sat en réception, peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres. En effet, les antennes de réception de la télévision par satellite sont, malgré leur coût modique, des instruments sophistiqués, faisant appel à la technologie la plus récente et dotés d'une très grande sensibilité. Or, qui peut le plus peut le moins: Si une installation TV Sat est capable de capter les quelques watts d'un satellite se trouvant à 36000 Km de distance, de capter 1mW à quelques dizaines de kilomètres ne présente aucune difficulté. Toutefois, il faut prendre en considération deux facteurs limitants, qui sont les suivants:

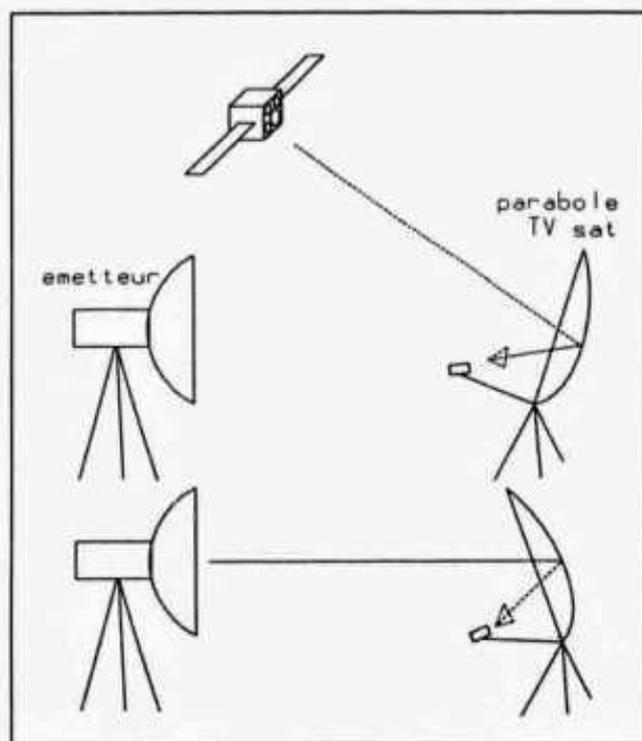


Figure 11: Le signal d'ASTRA arrive selon une élévation de 40 degrés environ en fonction de la latitude de la station réceptrice. Pour capter un signal d'origine terrestre, il faut donc pencher la parabole de 40 degrés vers l'avant.

a) pointage des antennes

Il faut que les deux paraboles soient pointées EXACTEMENT l'une vers l'autre, à plus ou moins 5 degrés. Ceci toujours à cause de la propagation des ondes, analogue à celle de la lumière. Il ne faut pas oublier que les paraboles TV sat sont conçues pour capter un satellite qui se trouve haut dans le ciel. Notre émetteur ne se trouvant, quant à lui, que sur la terre, la parabole devra être penchée vers l'avant d'environ 40 degrés (figure 11).

b) il ne doit pas y avoir d'obstacle entre les antennes.

Toujours pour la même raison.