

LES ONDES SIFFLANTES

Le mystère du siècle dernier

F4EOB, Thierry ALVES

Je vous invite dans cet article à voyager dans les profondeurs du spectre radio et à découvrir un monde connu de peu. Un monde aux signaux étranges, éléments d'une perpétuelle musique, sans début, ni fin...

Les " ondes sifflantes " sont des signaux radio présents dans le spectre des basses fréquences, communément appelé VLF. Les VLF (Very Low Frequency) s'étendent de 3 à 30 kHz, mais les sifflements sont généralement compris entre une centaine de hertz et 10 kHz. Ce sont des signaux naturels.

Nous sommes en 1888. Peu à peu, le téléphone apparaît dans les foyers, et les lignes téléphoniques aériennes sont de ce fait de véritables antennes. Beaucoup d'utilisateurs et de techniciens font la remarque suivante : " On entend des sifflements dans le combiné ! ". Pendant la Première Guerre Mondiale, le célèbre physicien allemand Barkhausen développe un système permettant l'écoute des conversations ennemies ; Deux piquets distants plantés dans le sol sont connectés à un amplificateur à tube. Il pouvait ainsi recevoir les courants de retour des lignes téléphoniques ennemis, circulant dans le sol. Il s'étonna lui aussi d'entendre ce genre de sifflements. Dans les années 20, un ingénieur de la Bell du nom de Eckersley fut chargé d'étudier le phénomène. Après quelques parutions d'articles décrivant ses théories, il finit en 1935 par résoudre une partie du problème, donnant ainsi la possibilité à Storey en 1953 de finir par résoudre ce mystère vieux de plus de 60 ans !

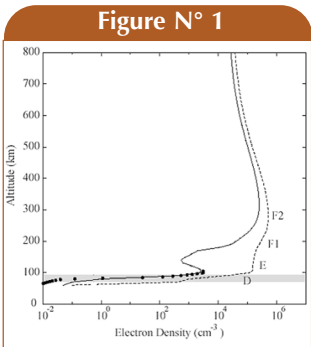
Mais alors, d'où viennent ces sifflements ?

C'est donc Storey qui répondit à cette interrogation, en 1953. Un éclair orageux est capable de par son énergie fulgurante et

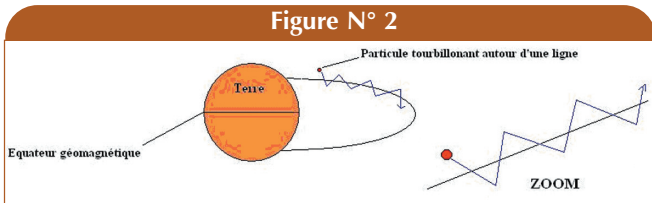
sa durée très brève de rayonner dans tout le spectre électromagnétique, avec un maximum pour des fréquences de l'ordre de 10 kHz.

Le signal que transmet l'éclair en VLF peut parcourir des distances de plusieurs milliers de kilomètres. Notamment, il peut voyager à travers des sortes de " tuyaux " reliant un hémisphère terrestre à l'autre.

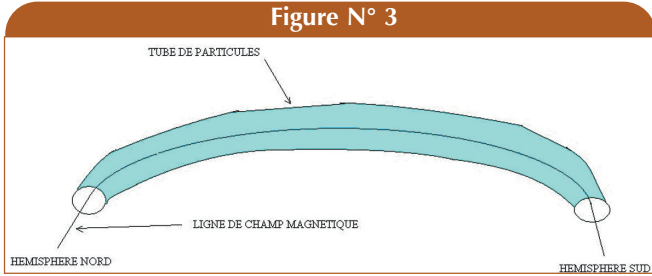
En effet, notre planète est capable, grâce à la rotation de son noyau liquide, d'entretenir un courant électrique responsable du champ magnétique terrestre. De plus, il existe dans l'atmosphère terrestre des régions dites ionisées, c'est-à-dire contenant des électrons libres, comme dans l'ionosphère et la magnétosphère.



En figure 1, nous pouvons voir un graphe de la concentration en électrons libres dans l'ionosphère. La magnétosphère se situe au-dessus de l'ionosphère et s'étend très loin dans l'espace. On la nomme ainsi, car les particules qui y sont présentes sont principalement sous l'influence du champ magnétique terrestre. Ainsi, les particules soumises au champ magnétique vont s'enrouler (tourbillonner) autour de ses lignes, donnant naissances



Trajectoire de la particule.



Vue schématisée d'un tube.

a des tubes permettant aux ondes d'être guidées d'un hémisphère à un autre.

La figure 2 nous montre la trajectoire d'une telle particule, un électron par exemple. Les particules formant le tube vont tourner à une certaine vitesse, ou fréquence, dite gyrofréquence. Ce tube peut en fait être vu comme une irrégularité dans la distribution du plasma (ensemble de particules ionisées). La théorie développée par Eckersley prédit que les ondes de fréquence supérieure à la gyrofréquence ne peuvent se propager dans ce tube.

La figure 3 montre une vue de ce genre de tube. L'axe du tube étant une ligne de champ magnétique. Le tube a un diamètre de quelques kilomètres.

De plus, comme Eckersley l'avait montré, le sifflement est dû au voyage des ondes dans un milieu dispersif (le tube). C'est-à-dire que les ondes ne vont pas avoir la même vitesse suivant la fréquence. Les hautes fréquences y voyageront plus vite que les basses fréquences. Jusqu'au début des années 30,

les scientifiques pensaient que les ondes de très basses fréquences étaient réfléchies par l'ionosphère (ce qui est en partie vrai, mais il y a une autre possibilité). Et c'est pourquoi Barkhausen n'arrivait pas à donner une explication au phénomène. Mais, si l'on tient compte du champ magnétique terrestre, comme l'a fait Eckersley (une théorie développée par Appleton dans les années 30 a permis cela), on trouve qu'il existe une " fenêtre " dans l'ionosphère qui s'ouvre lorsque certaines conditions sont réunies et pour des fréquences inférieures à la gyrofréquence.

La gyrofréquence a une valeur d'environ 1.4 MHz à la base de l'ionosphère, puis diminue progressivement avec l'altitude, car le champ magnétique diminue lorsque l'on s'éloigne de la terre. La fréquence haute d'un sifflement sera donc limitée suivant l'altitude atteinte par le tube dans lequel il se propage.

La figure 4 représente une vue schématisée de la magnétosphère. Les lignes de champs face au soleil sont écrasées à cause du vent solaire.

technique

technique

Tandis que du coté nocturne, elles sont allongées, à la manière de la queue d'une comète. Les sifflements se propagent dans la zone proche de la terre. Ils peuvent cependant atteindre des altitudes de l'ordre de 50000 km. Plus la latitude du site de réception sera élevée et plus le sifflement aura voyagé, car les lignes de champ font une boucle plus grande, comme on peut le voir.

Cette nouvelle catégorie est tout à fait prédictible théoriquement, mais elle avait échappée aux calculs de Storey en 1953, car il avait fait plusieurs simplifications, qui cependant étaient tout à fait valables pour le trajet suivi par les sifflements qu'il recevait à Cambridge. Et c'est donc en 1957 que Helliwell, un scientifique américain de l'université de Stanford a refait les calculs

Cette figure montre également la partie d'un sifflement qui est reçu aux latitudes moyennes. On montre que les sifflements reçus sont plus nombreux aux latitudes moyennes, soit environ 45 degrés.

Les ondes émises par les orages, le sont en même temps, quelque soit la fréquence, voir figure 5. Par contre, comme les tubes sont dispersifs ce sont les basses fréquences qui voyageront moins vite que les hautes, voir figure 5. Résultat, on entend une sorte de "Tiouuuu" de quelques secondes.

En conclusion, le spectre initial d'un éclair qui est une droite verticale est complètement "distordu" après un voyage à travers la magnétosphère, du fait des différentes vitesses de propagation pour chaque fréquences.

Les sifflements ayant voyagés à travers une partie de la magnétosphère, ils en contiennent alors toutes les informations. On les utilise pour connaître l'état des magnétosphères d'autres planètes en embarquant des RX VLF à bord des sondes spatiales. On a ainsi put entendre les sifflements de Jupiter, de Saturne, et même de Vénus.

Sur les images qui suivent, figures 7,8,9 et 10 vous pouvez voir quelques sifflements reçus au Portugal, ils ont en tout parcouru quelques 40000 km à travers la magnétosphère. Une succession de sifflements nez est représentée sur la figure 11. Ils ont été reçus dans une zone polaire.

Comme nous venons de le voir, sur ces dernières figures les lignes verticales sont la signature d'un éclair, il peut y en avoir près d'une centaine par seconde.

On pourrait d'ailleurs facilement le vérifier en faisant un zoom sur le spectrogramme.

Certains sifflements sont précédés de la signature d'un éclair reçu très fortement, et bien visible sur les spectrogrammes (car ils se distinguent des autres). Le temps séparant la réception de l'éclair et celle du début du sifflement est généralement de 2 à 3 secondes sous nos latitudes.

Par contre, d'autres sifflements peuvent être reçus sans avoir été précédés par la signature d'un éclair "significatif", c'est-à-dire plus puissant que les autres. La encore l'explication nous est donnée par la première étude menée par Storey en 1953.

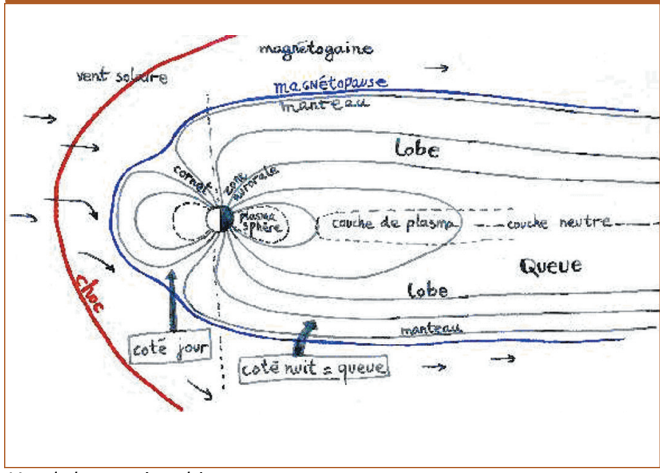
Les sifflements reçus précédés d'une signature d'éclair puissante sont dus à des orages ayant lieu dans le même hémisphère que celui de réception et généralement, l'orage est situé dans une zone ne dépassant pas les 2000 km du lieu de réception. En effet, d'abord on reçoit l'éclair "par voie directe", c'est-à-dire par propagation entre le sol et l'ionosphère.

L'onde voyage également à travers un tube arrive à l'autre hémisphère, y est réfléchi et donc rebrousse chemin. Il faut environ 2 à 3 secondes pour faire l'aller retour. Les ondes peuvent ainsi faire plusieurs rebonds, et on reçoit plusieurs sifflements à la suite. Dans certaines conditions, on peut recevoir plus de 100 sifflements en l'espace de deux minutes, nous donnant l'impression qu'une rafale de bombes nous tombe sur la tête (Tiouuu, tiouuu, tiouuuu ...).

Pour ce qui s'agit des sifflements qui ne sont pas précédés par un éclair puissant, c'est que l'orage est très loin et ce situe donc de l'autre coté du tube, c'est-à-dire à l'hémisphère opposé du lieu de réception.

Le point opposé au lieu de réception (dans l'autre hémisphère) s'appelle point conjugué.

Figure N° 4



Vue de la magnétosphère

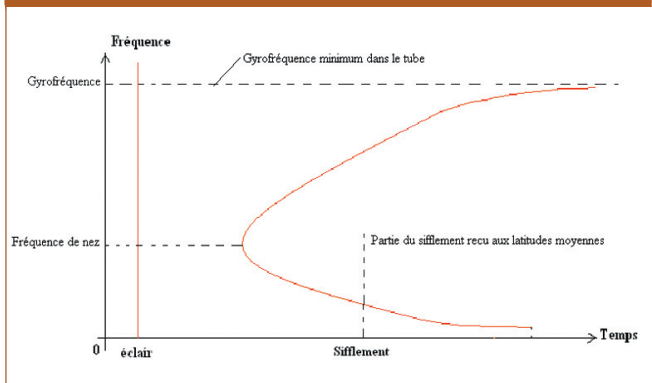
Les sifflements reçus en Europe ne sont eux pas limités par la gyrofréquence, car même au point culminant d'une ligne de champ, elle reste élevée, de l'ordre de 100 kHz. Les éclairs orageux rayonnent moins bien à ces fréquences, et les tubes ont eux aussi des pertes considérables. Ce qui explique qu'un sifflement soit limité à environ 10 kHz, au lieu de 100 kHz environ. Par contre, dans les zones proches des pôles on peut recevoir des sifflements limités par la gyrofréquence, car elle est de faible valeur au point culminant de la ligne de champ, environ 4 kHz.

En 1957, lors de l'Année International de la Géophysique une étude des sifflements reçus dans les grandes latitudes a permis de découvrir une nouvelle espèce : les sifflements "nez". Ils sont ainsi nommés car ils rappellent la forme d'un nez lorsqu'ils sont vus sur un spectrogramme, figure 11.

et ainsi démontré théoriquement l'existence des sifflements "nez".

On peut les expliquer de la manière suivante : il existe une fréquence pour laquelle les ondes vont se propager plus vite dans le tube. Au-dessus et en dessous de cette fréquence la vitesse diminue, si bien que c'est elle qui est reçue la première, les autres arrivants après. On l'appelle fréquence de nez, voir figure 5.

Figure N° 5



Spectrogramme d'un sifflement.

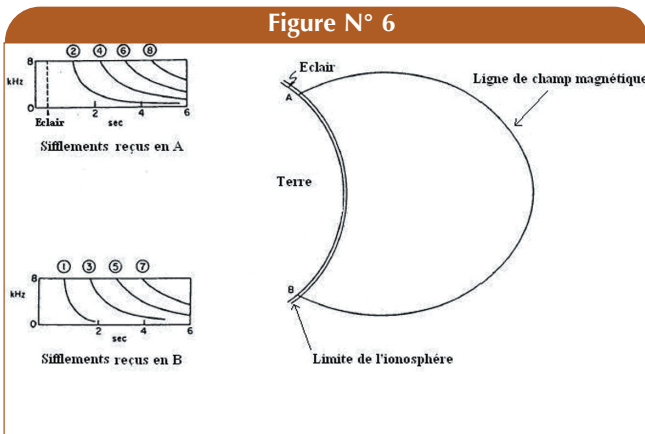
Pour la France, ce point se situe dans les environs des cotes du Cap Vert. Ainsi les orages compris dans un rayon de 2000 km autour de ce point pourront eux aussi créer des sifflements qui seront reçus en France. La figure 6 résume ce qui vient d'être dit, on peut imaginer que l'orage se situe quelque part en France, l'onde pourra faire plusieurs aller-retour entre la France et les cotes du Cap Vert par le biais de ces fameux tubes alignés sur les lignes de champ magnétique terrestre. Les numéros sur les spectrogrammes donnent le nombre de trajets effectués par le signal sifflant. Les spectrogrammes montrent ce que l'on pourrait recevoir si l'on était en A ou en B.

Il arrive que certains sifflements apparaissent très fin et avec une seule trace, voir la figure 10.

Dans le deuxième cas, les sifflements sont décalés dans le temps, car chaque éclair donne un sifflement, comme sur la figure 8. Sur ces différents spectrogrammes, on peut voir certaines signatures d'éclairs avec une forme légèrement arrondie à l'extrémité basse de la signature.

Ces signaux sont nommés "tweaks" de parts leurs bruits caractéristiques (une sorte de tiouk...) et nous auront peut-être l'occasion d'en reparler.

Sur la figure 9, nous pouvons voir des signaux qui ne sont pas d'origine naturelle, mais



Spectrogrammes des sifflements aux extrémités d'un tube.

En parcourant les différents spectrogrammes ici présentés, on peut se rendre compte que certains sont épais, d'autres sont multiples, etc....

Il y a deux raisons à la création d'un sifflement multiple, comme celui de la figure 8 :

- Les ondes ont voyagés à travers plusieurs tubes très proches.

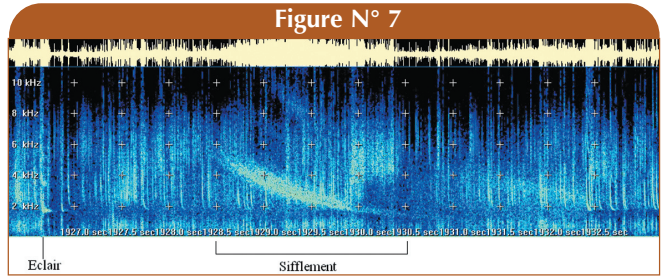
- Les sifflements sont issus de plusieurs éclairs orageux se produisant à intervalles très proches (éclairs multiples).

Dans le premier cas, les sifflements apparaissent soit très épais, comme sur la figure 7, car les tubes sont très proches et très nombreux. Ou alors les sifflements apparaissent bien distincts, "les uns sur les autres", car le nombre de tube est alors faible, comme en figure 9.

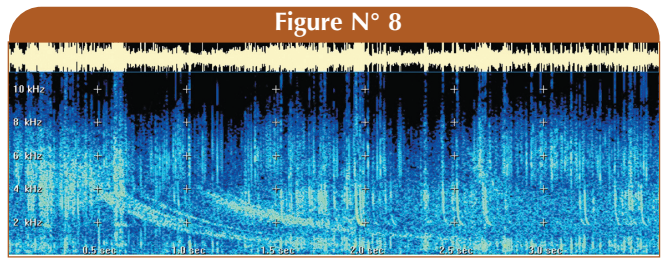
humaine. Les différentes traces horizontales correspondent à des émetteurs militaires, à destination des sous-marins. Les tonalités brèves comprises entre 12 et 16 kHz sont nommés signaux "ALPHA" et sont issues de plusieurs émetteurs éparpillés en Russie, formant le réseau dit RSDN-20.

C'est signaux sont similaires aux signaux OMEGA utilisés en Amérique jusque dans les années 90. En Russie ils sont toujours actifs, certains jours presque tous les émetteurs sont en fonction, ce qui rajoute "un instrument de musique" au concerto ! Le réseau ALPHA comme anciennement le réseau OMEGA, est utilisé comme aide à la navigation, c'est une sorte d'ancêtre du GPS.

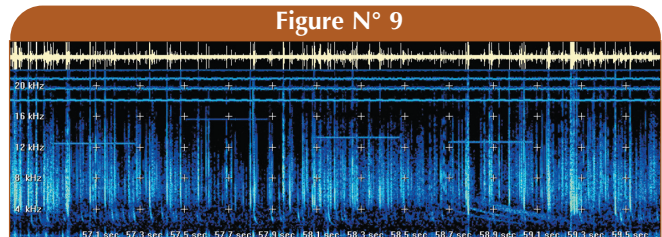
Au-delà de 16 kHz, les traces



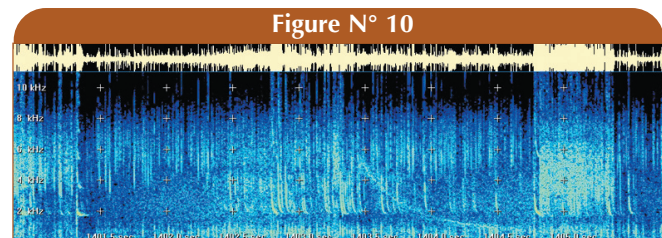
Spectrogramme montrant un éclair et son sifflement associé



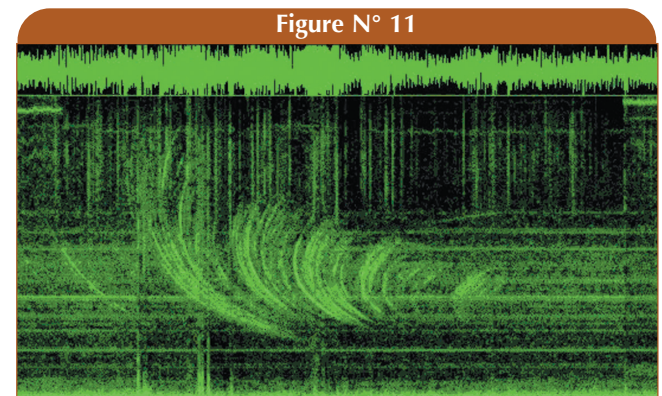
Spectrogramme d'un sifflement double.



Sifflement triple.



Sifflement à une seule trace.



Spectrogramme d'un sifflement " nez ".

horizontales de grandes durées sont des émetteurs militaires transmettant des informations pour les sous-marins en FSK (Frequency Shift Keying). Il paraît également évident que les sifflements ne peuvent se

propager que si le tube est bien constitué, c'est-à-dire qu'il ne soit pas "troué" par manque de particules. Cela implique qu'il faut donc une certaine concentration électronique tout le long du tube pour qu'il soit bien ▶

technique

technique

formé ; ce qui n'est pas toujours le cas. Et il peut arriver que les sifflements reste absent pendant plusieurs jours, voir des semaines...

Les sifflements dans les autres planètes...

Nous avons vu que pour qu'il y ai existence d'un sifflement, il faut trois conditions principales :

- Existence d'une activité orageuse.
- Existence d'un champ magnétique planétaire.
- Existence d'un plasma pour constitué le tube (régions ionisées comme l'ionosphère, et la magnétosphère).

Certaines planètes autres que la terre réunissent ces conditions. On peut citer Vénus, Jupiter, ou Saturne.

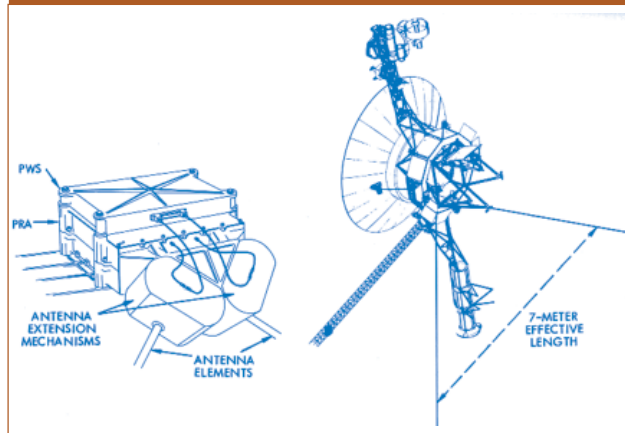
Les sifflements et autres signaux naturels émis par ces planètes servent aux scientifiques à étudier la composition des magnétosphères.

Les signaux sont reçus par des récepteurs placés à bord de sondes spatiales, comme Voyager. Le système de réception est nommé PWS (Plasma Waves System) ou PWR (Plasma Waves Receiver).

Sur la figure 12 montrant la sonde Voyager, on peut voir les deux antennes verticales utilisées pour la réception des signaux naturels de basses fréquences.

La figure 13 montre quelques sifflements (whistlers en anglais) reçus par la sonde lors de son passage dans la magnétosphère terrestre.

Figure N° 12



Voyager et ses deux antennes VLF.

Dans un prochain article on verra comment faire simplement un récepteur VLF pouvant recevoir les sifflements et autres signaux naturels étranges. Il y sera également décrit un petit émetteur UHF permettant la retransmission de ces signaux. En effet, le récepteur doit être placé " dans la nature " loin de toute installation électrique interférant avec les signaux qui nous intéressent.

On peut déjà réfléchir sur le récepteur, puisque les ondes à recevoir sont de la BF, il n'est nul besoin de changement de fréquence. Il faut juste faire une amplification, simple, non ?

En attendant et afin d'assouvir votre curiosité, je vous propose de visiter le site Internet suivant : www.vlf-hf.fr

Vous trouverez notamment dans la rubrique "VLF SOUNDS" des exemples de sifflements reçus.

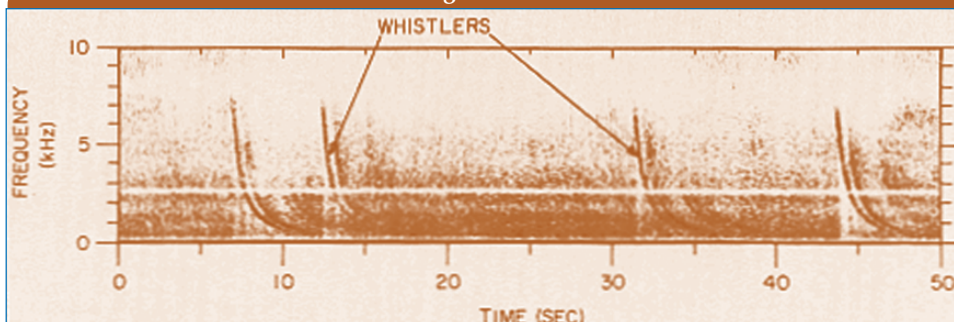
Si tout ceci vous intéresse ou vous intrigue, sachez qu'il existe une liste de diffusion internet française dont l'un des sujets sont les sifflements et les signaux naturels basses fréquences, mais aussi le 137 kHz et les émissions en tout genre des ELF aux LF.

Aller voir sur : http://fr.groups.yahoo.com/group/LF_VLF_ELF/

Références :

- A l'écoute des basses fréquences, Jean-Louis Rault (F6AGR), Radio-REF de : décembre 2002 et janvier 2003.
- An investigation of whistling atmospherics, Owen Storey, Phil.Trans-Royal Society, volume 246, 1953.
- Whistlers and related Ionospheric Phenomena, Stanford University Press, 1965.
- International Dictionary of Geophysics, rechercher le mot "Whistlers".
- Un site Internet à voir absolument: www.vlf.it.

Figure N° 13



**BRÈVES
BXC**

des skis intelligents

Le fabricant d'articles de sport Head fabrique des skis intégrant des fibres piézo-électriques et un circuit électronique chargé de corriger dynamiquement les déformations du ski lors des descentes. En effet, dans les virages, les skis sont soumis à de telles forces de torsion qu'elles peuvent provoquer des déformations susceptibles de diminuer la surface de contact entre ski et neige. Pour contrôler ces forces, les skis de la gamme I.C (Intelligence Chip) intègrent des fibres piézo-électriques chargées dans une première étape de transformer la déformation du ski en courant électrique. Ce courant est ensuite transmis à une puce intégréesous le fixation, où il est amplifié puis renvoyé vers les fibres piézo, qui opposent alors une déformation contraire à la déformation initiale.

L'ensemble du cycle action-réaction prend moins de 5 millisecondes. Le système associant les fibres piézo-électriques et l'électronique de traitement a été développé par Continuum Control, une entreprise bostonienne.

convertisseur

C'est Power-One qui annonce la fabrication d'un convertisseur capable de gérer 15 A dans un boîtier au format 10x12x1,5 mm. Il regroupe pas moins de 22 semi-conducteurs de puissance et composants passifs. Il peut tenir 15 A avec des tensions de sortie pouvant varier de 0,75V à 4V.

Il lui manque quelques composants non intégrés comme inductance et capa chimique et un bon refroidissement. Il est annoncé pour un rendement de 95%. Il est référencé XP3015P. La plage d'entrée varie de 3 V à 6 V.