

Radiodétection de météorites

Olympiades de la Physique, année 2003 – 2004

Mémoire mis à jour le 14 janvier 2004

Groupe de Pontarlier, lycée Xavier Marmier

Les élèves :

Viennet Laetitia,
Lombardot Carole

Les professeurs :

Jussiaux Jean-Michel, Physique
Esseiva Nicolas, Sciences de la Vie et de la Terre

Les conseillers scientifiques :

Obert Dominique
Van Labeke Daniel

Résumé :

Les ondes électromagnétiques dont la fréquence est inférieure à la fréquence de coupure de l'ionosphère (située entre 10 et 30 MHz) ne peuvent se propager dans celle-ci ; elles sont donc réfléchies par l'ionosphère, et peuvent ainsi être reçues à de grandes distances. Celles dont la fréquence est supérieure traversent l'ionosphère (seule une toute petite partie est réfléchi), se perdent dans l'espace et, du fait de la rotondité de la Terre, ne portent qu'à quelques dizaines de kilomètres. Sauf si une zone de l'atmosphère est ionisée, par le passage d'une météorite, cette zone se comportant comme une antenne réémettrice.

Un récepteur radio, réglé sur un émetteur lointain de fréquence 100 MHz (donc en modulation de fréquence), ne recevra que du bruit, souffle, sauf lors du passage d'une météorite, ou d'un avion. Pendant une durée très courte (météorite) ou plus longue (avion) de la musique sera reçue, ce qui permettra la détection du passage de météorites.

La vérification de la pertinence de nos détections sera faite par comparaison avec d'autres sites de radiodétection, des calendriers de passage de météorites et des vérifications en direct.

Nous ne publierons pas tous les détails techniques du montage, ceux-ci figurant sur des sites Internet spécialisés, dont les adresses figurent dans la bibliographie, en fin de mémoire.

Introduction :

Ce sujet nous a été proposé par notre professeur de Sciences de la Vie et de la Terre, également responsable d'un atelier d'astronomie au lycée. Participant à cet atelier l'année dernière, nous nous sommes intéressées à ce sujet qui nous a tout de suite enthousiasmé. Mais rapidement, le comportement de l'ionosphère qui renvoie certaines ondes et pas d'autres nous est apparu bien mystérieux. Ne parvenant pas à comprendre ce phénomène, nous nous sommes adressés à notre professeur de physique et aux conseillers scientifiques des Olympiades de Physique.

Nous avons entrepris la lecture d'ouvrages de Physique bien trop ardues pour des élèves de Terminale S. Puis nous avons réalisé des simulations expérimentales, illustrant (au moins de manière approchée) le comportement de l'ionosphère, masse suspendue à un ressort, pendules couplés, propagation d'ondes sur la cuve à ondes, réflexion totale, ondes évanescentes, réflexion totale frustrée.

Nous avons réalisé un émetteur en modulation d'amplitude (porteuse à 100 kHz, puis 10 kHz) et un émetteur en modulation de fréquence (porteuse à 10 kHz), puis examiné le spectre en fréquences du signal émis. Nous avons aussi examiné les spectres en fréquence d'émetteurs en modulation de fréquence proches. Nous avons comparé ces résultats expérimentaux à des simulations réalisées sous Excel. Nous avons incidemment découvert que la fonction de Bessel J d'Excel semble incorrecte.

Nous nous sommes procuré le matériel nécessaire à la radiodétection des météorites : Antenne Yagi, radio récepteur en modulation de fréquence numérique, boîtier amplificateur d'interfaçage avec l'ordinateur, câbles, logiciel de traitement des données spécialisé, ordinateur.

En fait, l'antenne et le boîtier électronique ont été donnés à notre professeur de S.V.T. par des collègues parisiens qui avaient tenté la même manipulation, mais n'y étaient pas parvenus, du fait du trop grand nombre d'émetteurs proches. Le logiciel ColorGramme Wmeteor a été acheté par l'atelier «Imagerie scientifique » de notre lycée. Le récepteur radio, modulation de fréquence à syntoniseur numérique, garanti 3 ans, a été acheté 80 euros chez ALDI, par les Olympiades de Physique. L'ordinateur est un PC un peu ancien, prêté par notre lycée.

Nous avons essayé de comprendre le fonctionnement de l'antenne et mesuré sa directivité, en la pointant vers un émetteur proche et connu. Nous avons démonté le boîtier électronique, pour comprendre son fonctionnement, ainsi que celui du logiciel associé, car peu d'indications sont disponibles sur ce sujet. Nous avons enfin réalisé le montage complet de radiodétection. Il a d'abord été testé en visant un émetteur connu, situé à Genève.

Nous avons observé nettement l'arrivée d'un son audible, lors du passage de chaque avion de ligne (Genève est un important aéroport international). Nous avons ensuite lancé la détection et après plusieurs essais infructueux (tempête tournant notre antenne, mauvaise détection ou au contraire détection trop forte du signal) nous avons, sur conseil de Monsieur Myotte, préparateur au laboratoire de Physique du lycée, pointé notre antenne vers l'Est, approximativement dans la direction de « Radio framboise » située à Lausanne.

Les résultats obtenus semblaient valides, en comparaison avec des résultats d'autres laboratoires publiés en direct sur Internet. Notre professeur de SVT, voulant en avoir le cœur net a même passé plusieurs nuits (claires et glaciales) allongé dans un champ, à côté d'un petit observatoire amateur, guettant les météorites et les avions, écoutant les crachements du poste de radio et observant les détections sur l'écran de

l'ordinateur. Hormis le fait que plusieurs personnes se sont inquiétées de son état de santé, il lui a nettement semblé que notre montage, réglé sur un émetteur Suisse détecte le passage des avions et pas celui des météorites.

Il faudrait pointer vers des émetteurs beaucoup plus lointains, pour minimiser les détections d'avions, ceux-ci traversant l'atmosphère à des altitudes très inférieures à celles des météorites. Mais compte tenu du grand nombre d'émetteurs en modulation de fréquence, il faudrait essayer de détecter des émetteurs de pays de l'Est, calés pour l'instant sur des fréquences différentes de celles en vigueur en Europe de l'Ouest, ce qui nécessite un récepteur spécial. Des émetteurs des pays de l'Est utilisent nos fréquences occidentales, mais il faut qu'ils ne soient pas sur les fréquences d'émetteurs plus proches. Il faut de plus que ces émetteurs soient assez puissants. De nouveaux essais sont en cours.

Nous avons découvert dans la presse, Sciences et Avenir, que cette méthode de transmission d'information à grande distance, avec des émetteurs à haute fréquence est utilisée en Egypte, pour centraliser les indications du niveau du Nil données par des capteurs, afin de prévoir les crues.

L'ionosphère

Elle est formée par plusieurs couches d'air, aux propriétés légèrement différentes, contenant un grand nombre de molécules de diazote et de dioxygène ionisées par absorption d'un quantum de lumière ultraviolet provenant du Soleil. La densité d'ions positifs et d'électrons est maximale entre 200 et 400 km d'altitude et varie de 10^{12} à 10^{13} électrons libres par mètre cube. Aux altitudes plus élevées, elle décroît du fait de la raréfaction de l'air ; aux altitudes plus basses, c'est le rayonnement ultraviolet qui a été absorbé (ce qui est fort heureux pour la vie sur Terre).

Montrons que le plasma, mélange d'électrons et d'ions positifs, est capable d'osciller et calculons sa fréquence d'oscillation.

Fréquence d'oscillation de l'ionosphère

L'ionosphère, un plasma, peuvent être le siège d'oscillations. Supposons à un instant, dans une région, un léger déséquilibre de charge dans le plasma globalement neutre : Ce déséquilibre crée un champ électrique qui accélère les électrons dans un sens et les ions positifs dans l'autre, comme une force de rappel créée par un ressort. Un peu plus tard, le déséquilibre disparaît, le champ électrique s'annule, ainsi que les forces électriques, mais les différentes charges ont acquis de la vitesse et dépassent le point d'équilibre (sauf pour les électrons qui heurteraient les ions) la force de rappel change de sens et *une oscillation se produit*. Les valeurs des forces agissant sur les électrons et les ions étant égales, *seuls les électrons ont un mouvement notable*, du fait de leur masse négligeable devant celle des ions.

Supposons une région de l'espace contenant une densité de N électrons par unité de volume et N ions portant une charge positive, donc globalement neutre. Supposons que cette région a la forme d'un pavé d'épaisseur L et de surface de base S . En fait, nous verrons que dans les calculs, L et S disparaissent, ce qui signifie que la région considérée peut avoir une forme quelconque.

Supposons que l'ensemble des électrons se déplace de x dans une certaine direction. Nous avons vu que les ions positifs sont quasiment fixes. Cela crée une couche de charges négatives d'épaisseur x , de densité N électrons par mètre cube, séparée d'une couche de charges positives de valeur opposée, par la distance L . Ceci est comparable à un condensateur d'armatures de surface S , d'épaisseur L , portant les charges $+ ou - N \cdot x \cdot S \cdot |e|$.

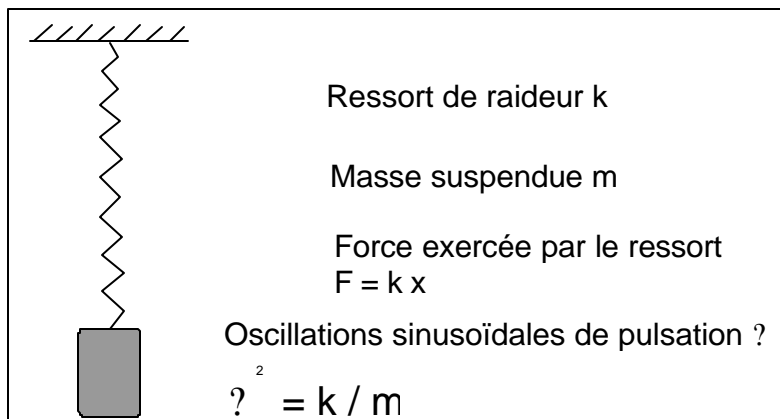
La capacité C d'un tel condensateur est $C = \epsilon_0 \frac{S}{L}$, la charge q d'une armature est donnée par $q = C U$, où U est la différence de potentiel entre les 2 armatures. Enfin, le champ électrique E à l'intérieur d'un tel condensateur est $E = \frac{U}{L}$.

Nous en déduisons la valeur de la force agissant sur 1 électron, de sens opposé à x :

$$F = |e| E = |e| \frac{U}{L} = |e| \frac{q}{CL} = |e| \frac{N |e| S x}{\epsilon_0 \frac{S}{L} L} = \frac{N |e|^2 x}{\epsilon_0}$$

Nous constatons que cette force ne dépend absolument pas de l'hypothèse faite sur la forme et les dimensions de la région de l'espace considérée ; S et L ont disparu des calculs.

Nous voyons que cette force de rappel élastique peut s'écrire $F = -k x$, comme dans le cas d'une masse suspendue à un ressort de raideur k , avec $k = \frac{N |e|^2}{\epsilon_0}$



Le cours de terminale scientifique montre que dans ce cas, des oscillations sinusoïdales de pulsation ω_0 sont possibles, avec $x = X_m \cos(\omega_0 t + \phi)$ et $\omega_0 = \sqrt{\frac{N |e|^2}{\epsilon_0 m}}$.

Dans cette relation, ω_0 est la pulsation de l'oscillation de plasma, N est la densité de charge (nombre d'électrons libres par mètre cube), $|e|$ la charge élémentaire, ϵ_0 , la permittivité diélectrique du vide égale à $8,89 \cdot 10^{-12}$ u.S.I. et m la masse de l'électron.

Avec $F = \frac{N |e|^2}{2 \epsilon_0}$, nous trouvons des fréquences d'oscillation du plasma de 10 à 30 MHz.

Nous montrerons plus loin que cette fréquence est une fréquence de coupure de l'ionosphère, qui ne laisse pas passer des fréquences inférieures. Rappelons que les émissions radio en modulation d'amplitude ont des fréquences porteuses aux environs de 200 kHz, donc inférieures à la fréquence du plasma ; elles ne peuvent pas traverser

l'ionosphère qui les réfléchira vers la Terre. Les émissions en modulation de fréquence, en Europe de l'Ouest ont des fréquences de porteuse de l'ordre de 100 MHz ; elles traverseront l'ionosphère.

Le comportement de l'ionosphère :

Nous allons montrer que l'ionosphère se comporte comme une suite (en 3 dimensions) d'oscillateurs couplés. Une telle suite constitue un filtre passe-haut (en fait passe-bande) et ne peut transmettre que les fréquences supérieures à une fréquence dite de coupure.

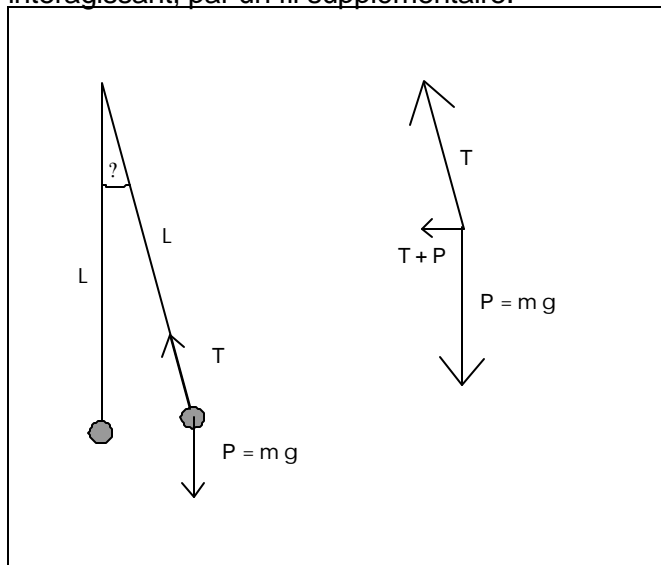
Lorsqu'une onde électromagnétique aborde la surface séparant l'atmosphère de l'ionosphère, 2 possibilités se présentent :

- Si la fréquence de l'onde est inférieure à la fréquence de coupure, elle ne peut se propager dans l'ionosphère. Elle est alors totalement réfléchie, vers la Terre donc. L'ionosphère est le siège d'ondes à décroissance exponentielle, ondes évanescentes, ne dissipant pas d'énergie. Selon ce que nous en a dit un conseiller scientifique, l'indice de l'ionosphère peut être considéré comme imaginaire. Et si nous avons bien compris le livre Ondes de Berkeley, la longueur d'onde λ est infinie, ainsi que la vitesse de phase, mais pas la vitesse de groupe.
- Si sa fréquence est supérieure, l'onde passe dans l'ionosphère, avec réfraction et elle se perd dans l'espace. Une petite partie doit cependant être réfléchie, comme lorsque de la lumière traverse une vitre.

Les calculs étant compliqués pour des élèves de terminale S, comparons l'ionosphère à un modèle plus simple, à 1 dimension pour commencer, une suite de pendule couplés.

Suite de pendule couplés.

Nous avons trouvé dans la cave du lycée un tel montage qui était utilisé par les professeurs de physique, avant qu'ils n'achètent un ondoscope. Il s'agit de plusieurs pendules identiques formés d'un plomb attaché à un fil, couplés entre eux, c'est à dire interagissant, par un fil supplémentaire.



Comme un électron du plasma, un plomb d'un pendule est ramené vers sa position d'équilibre (ici par la gravité). Il peut donc osciller à une fréquence

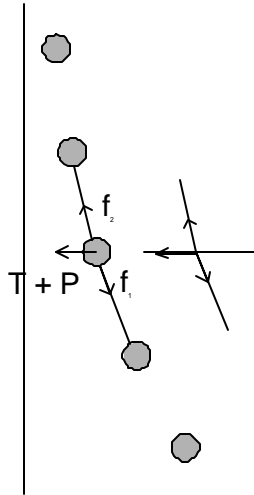
qui lui est propre, $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$,

où L est la longueur du pendule et g l'accélération de la pesanteur terrestre. Le fil de couplage représente l'interaction

électromagnétique des électrons : L'onde électromagnétique fait

vibrer les électrons et ceux-ci ré émettent une onde, car ils sont accélérés.
Examinons ce qui se passe lorsque cette suite de pendules est excitée à une fréquence f inférieure, puis supérieure, à cette fréquence F .

Excitation à une fréquence f inférieure à F , de la suite de pendule couplés :



Pour cela, nous allongeons le premier pendule qui est l'excitateur, de manière à augmenter sa période.

Nous observons que son oscillation se transmet peu aux autres qui oscillent tous en phase et de moins en moins, à mesure que l'on avance dans le milieu (décroissance exponentielle). L'énergie est réfléchiée et le pendule excitateur est peu amorti, 38 secondes pour passer d'une amplitude de 20 à 10 cm. Le livre de Physique Berkeley appelle un tel milieu, **milieu réactif**. En 3 dimensions, l'énergie réfléchiée ne retourne pas à l'émetteur. Cela correspond aux grandes ondes qui se réfléchissent sur l'ionosphère, pour faire « le tour de la Terre ».

Nous observons que tous les pendules oscillent en phase, dans un mouvement sinusoïdal et que les amplitudes d'oscillation diminuent, à mesure qu'on s'éloigne du pendule excitateur.

L'excitation créée par le premier pendule ne pénètre pas le deuxième milieu. Il s'agit d'une décroissance exponentielle, d'ondes évanescentes. Elles ne transportent pas d'énergie dans le deuxième milieu.

Conclusion : Les fréquences inférieures à la fréquence propre de chaque pendule ne pénètrent pas le deuxième milieu ; cette fréquence propre est une fréquence de coupure. Le milieu formé d'oscillateurs couplés est un **filtre coupe-bas**.

Essayons de comprendre ce qui se passe : Pour qu'un pendule qui sous l'effet de la seule pesanteur oscille à la fréquence propre F , oscille à une fréquence inférieure, il faut que la force supplémentaire appliquée, la force de couplage f , somme des 2 tractions f_1 et f_2 , soit de sens contraire à l'action de la pesanteur, donc opposée au point d'équilibre. Cela se produit si la courbure du fil de liaison entre les pendules est à l'opposé de la position d'équilibre des pendules : Les pendules sont tous du même côté par rapport à leur position d'équilibre ; tous les pendules oscillent en phase ; ils passent tous par leur position d'équilibre en même temps ; mais ils oscillent avec des amplitudes décroissantes, car il faut que le fil de liaison soit de plus en plus courbé, à mesure qu'on se rapproche de l'excitateur.

Excitation à une fréquence f supérieure à F , de la suite de pendule couplés :

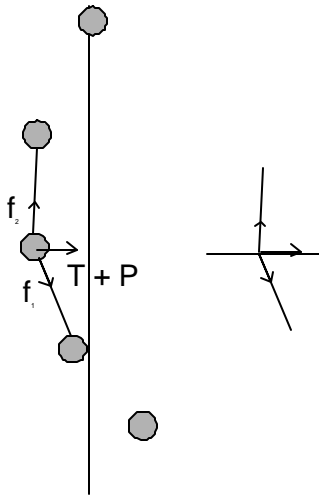
Pour cela, nous raccourcissons le premier pendule, excitateur.

Si le pendule excitateur est plus court que ceux simulant le milieu de propagation, nous observons une onde qui se propage, l'excitateur s'amortit beaucoup plus rapidement (10 secondes pour passer d'une amplitude de 20 à 10 cm, au lieu de 38) ; l'énergie n'est pas tout à fait la même, mais en fait, elle est plus importante pour le

pendule le plus court). Les pendules représentant le milieu n'oscillent pas en phase. Le Berkeley appelle un tel milieu, **milieu dispersif**.

Nous observons que tous les pendules oscillent dans un mouvement sinusoïdal qui se propage et que les amplitudes d'oscillation sont les mêmes, à mesure qu'on s'éloigne du pendule excitateur. L'excitation créée par le premier pendule pénètre le deuxième milieu.

Conclusion : Les fréquences supérieures à la fréquence propre de chaque pendule pénètrent le deuxième milieu ; cette fréquence propre est une fréquence de coupure. Le milieu formé d'oscillateurs couplés est un filtre passe-haut – en fait passe-bande, mais nous ne testons pas les hautes fréquences.



Essayons de comprendre ce qui se passe : Pour qu'un pendule qui sous l'effet de la seule pesanteur oscille à la fréquence propre F , oscille à une fréquence supérieure, il faut que la force supplémentaire appliquée, somme des forces f_1 et f_2 , la force due au couplage, soit de même sens que l'action de la pesanteur, donc vers le point d'équilibre. Pour cela, il faut que la courbure du fil de liaison entre les pendules soit toujours dirigée vers la position d'équilibre des pendules. Cela se produit si une onde se propage dans le deuxième milieu, c'est à dire si le fil réalisant le couplage coupe par endroits la ligne d'équilibre des pendules.

Simulation sur la cuve à ondes :

Notre cuve étant d'un modèle peu perfectionné, les expériences s'avèrent délicates et pas toujours convaincantes. Pour régler la puissance de notre émetteur, nous bouchons un trou plus ou moins avec une gomme ! La fréquence minimale est trop élevée. De plus, la diffraction crée des ondes partiellement circulaires qui perturbent les observations. Nos premières expériences ont été les meilleures, mais surestimant nos compétences, nous n'avons pas pris de photographies.

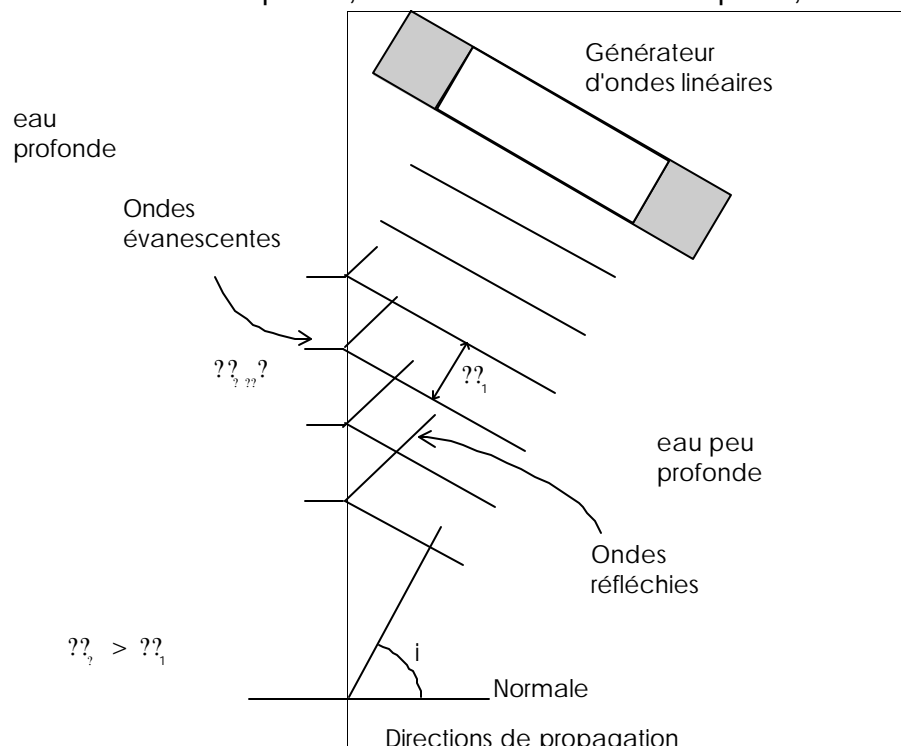
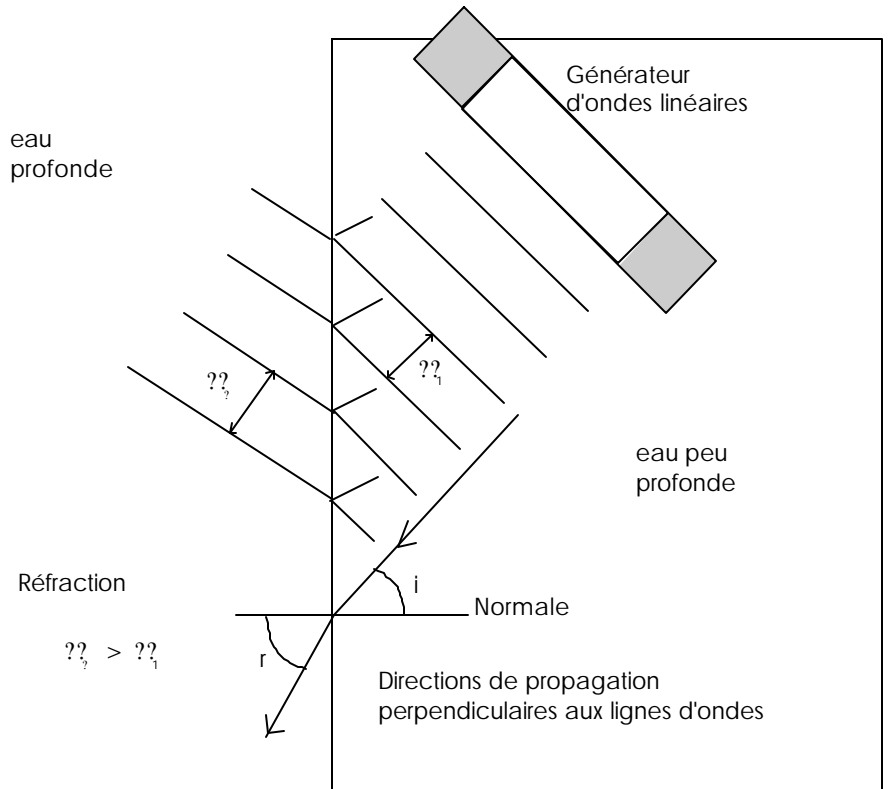
Nous passons d'un milieu de faible profondeur d'eau, 1 millimètre environ, où la célérité de l'onde est faible, donc la longueur d'onde λ_1 petite, à un milieu de plus grande profondeur (1 + 10 mm) où la célérité est supérieure mais pas infinie (la similitude n'est donc que partielle), donc la longueur d'onde plus grande.

Pour un angle d'incidence i faible : nous observons réfraction et réflexion partielle. Ce cas peut illustrer le comportement de l'ionosphère, pour des ondes de fréquence supérieure à la fréquence de coupure. Une petite partie des ondes est réfléchi, mais ceci se produit sur toute la surface de séparation des 2 milieux. Lorsque toutes ces ondes réfléchies frappent notre antenne, elles ne sont pas toutes en phase et ont tendance à s'annuler mutuellement. Contrairement à ce qui se produit pour les ondes réfléchies sur la traînée ionisée qui suit une météorite ou un avion.

La loi de la réfraction de Descartes, $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ ou ici $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ s'applique, avec $v_2 > v_1$, $i_2 > i_1$, $n_2 < n_1$ (ce qui signifie que la célérité de l'onde dans le deuxième milieu est supérieure à celle dans le premier), donc

$$\frac{n_1 v_2}{n_2 v_1}$$

Pour un angle d'incidence i grand : Nous observons une réflexion totale. Des ondes exponentielles évanescentes sont visibles dans le deuxième milieu ; elles sont perpendiculaires à la ligne de séparation des 2 milieux et se déplacent en longeant celle-ci. Ce cas illustre le comportement de l'ionosphère pour les ondes de faible fréquence, mais dans le cas de l'ionosphère, toutes les ondes de faible



fréquence subissent la réflexion totale, quel que soit leur angle d'incidence. Cela parce que la célérité est infinie dans le deuxième milieu. La relation de Descartes, $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ donne ici $\sin i_2 > 1$. Il n'y a pas de solution

pour i_2 , pas d'onde transmise dans le deuxième milieu.

Pour se faire plaisir, réflexion totale frustrée: Elle se produit si à proximité de la séparation entre les 2 milieux, nous plaçons 1 troisième milieu identique au premier. Les ondes exponentielles du deuxième milieu redonnent des ondes progressives dans le troisième, parallèles à celles du premier. C'est ce qui se produirait avec une ionosphère de faible épaisseur.

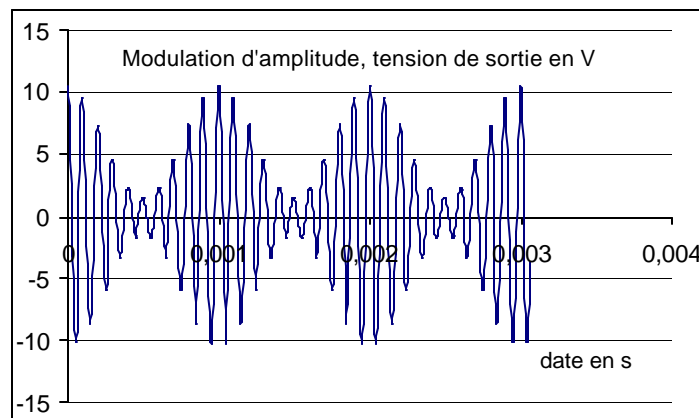
Emission en modulation d'amplitude, démonstration, spectre en fréquence :

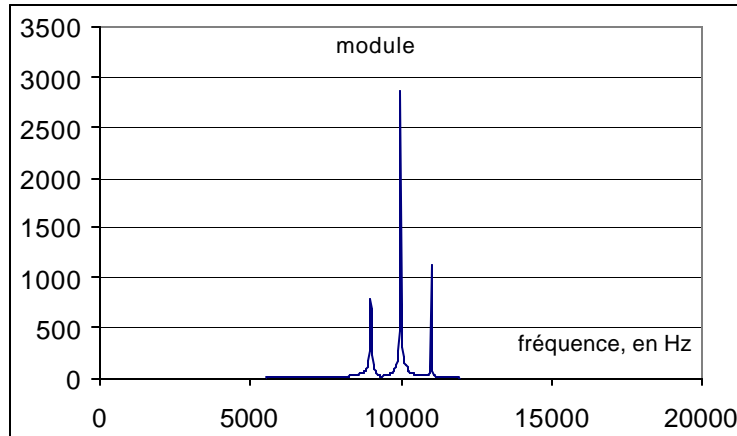
Nous utilisons le montage du cours de Spécialité Physique de la classe de terminale Scientifique. Un circuit multiplieur multiplie une tension sinusoïdale de fréquence 100 kHz appelée porteuse par le signal à transmettre appelé signal modulant. La tension obtenue est appliquée à une antenne émettrice, un simple fil. Nous recevons l'onde émise sur un poste de radio en modulation d'amplitude.

Le signal appliqué à l'antenne est observé à l'aide d'un oscilloscope numérique et traité par une fonction mathématique nommée FFT, transformée de Fourier Rapide. Si le signal modulant est sinusoïdal, de fréquence 1000 Hz, nous observons dans le spectre de Fourier 3 pics, 1 à 100 kHz, 1 à $100000-1000 = 99000$ Hz et 1 autre à 101000Hz.

Ces valeurs numériques sont proches de celles employées dans la réalité, puisque par exemple, une longueur d'onde de 1807 m correspond à une fréquence de porteuse de $3 \cdot 10^8 / 1807 = 166000$ Hz.

Voici une simulation réalisée sous Excel, avec une porteuse à 10000Hz et un signal modulant à 1000 Hz, une tension de décalage rendant le signal modulant toujours positif :





Emission en modulation de fréquence, démonstration, spectre en fréquence :

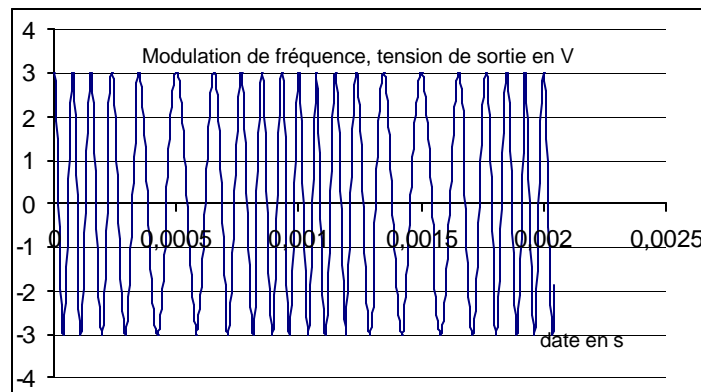
Le signal modulant, sinusoïdal de fréquence 1000 Hz, créé par un générateur basse fréquence, est envoyé sur l'entrée modulation d'un deuxième générateur, réglé lui pour émettre un signal sinusoïdal de fréquence 100000 Hz, la porteuse. Le mode modulation produit en sortie un signal modulé en fréquence, dont nous examinons la forme et le spectre de Fourier.

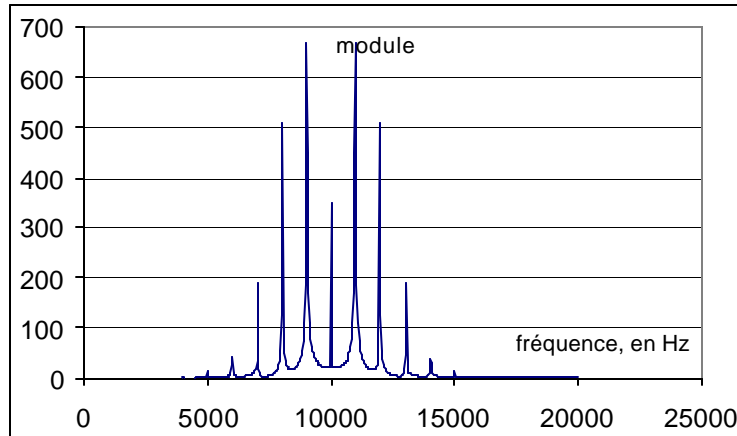
Dans la pratique, en Europe de l'Ouest, les fréquences de porteuse utilisées sont proches de 100 MHz, mais notre générateur basse fréquence est incapable d'y parvenir.

Nous constatons que le spectre est plus compliqué, avec des pics à 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103... kHz.

L'encombrement en fréquence d'un signal modulé en fréquence est donc plus important que celui d'un signal modulé en amplitude. Par contre, la fidélité est meilleure. C'est pour cette raison que les émetteurs radio en FM emploient des porteuses à fréquence élevée, de l'ordre de 100 MHz.

Voici une simulation réalisée sous Excel, avec une porteuse et un signal modulant identiques aux précédents, 10000 Hz et 1000Hz.





Directivité de l'antenne :

Introduction :

Notre but n'est pas de calculer le fonctionnement de l'antenne Yagi, qui nous semble compliqué. Les éléments ont tous des longueurs différentes. Le dernier, appelé réflecteur, a une longueur égale à la demi longueur d'onde. Les électrons libres de l'aluminium doivent donc vibrer en résonance avec l'onde radio. Les autres sont de plus en plus courts, en allant vers l'avant, et situés à des distances bien précises. Leur fréquence de résonance doit être supérieure à la fréquence de l'onde reçue. Les électrons doivent y vibrer assez fort, à la fréquence de l'émetteur, avec un décalage de phase. Nous ne pouvons en dire plus.

Nous cherchons donc à mesurer une caractéristique de l'antenne, sa la directivité.

En l'absence d'antenne Yagi, nous recevons peu d'émetteurs, dans notre petite ville de Pontarlier, en moyenne montagne.

Fréquence en mégahertz	Réception mono ou stéréo
95.8	Mono
	Mono
	Mono

Voici les fréquences reçues par notre récepteur radio modulation de fréquence, raccordé à notre antenne Yagi, avec en regard l'orientation de l'antenne (la direction vers laquelle elle pointe).

Fréquence en mégahertz	Réception mono ou stéréo	Antenne pointée vers Larmont	Antenne pointée vers Besançon
87.9	Mono	X	X
89.3	Mono		X
90.4	Mono	X	
93.3	Mono	X	
94.0	Mono		X
95.0	Mono		
95.8	Mono	X	X
96.5	Mono		X
97.2	Mono	X	
98.4	Mono		X

98.7	Mono	X	
99.5	Mono	X	X
102.8	Mono		

Nous détectons beaucoup plus d'émetteurs. Notre professeur de SVT, dans des endroits encore plus perdus que notre lycée, c'est à dire là où il habite et là où il observe les planètes et les étoiles, a même détecté des émetteurs sur toutes les fréquences accessibles à notre récepteur radio.

Nous essayons de comparer la réception, l'antenne ayant ses éléments horizontaux ou verticaux, et ne trouvons pas de différence sensible (ce qui ne veut pas dire qu'il n'y en ait pas, mais le récepteur adapte son amplification à la qualité du signal reçu). De même, il est capable de passer de stéréo à mono, lorsqu'il reçoit mal, mais tous les émetteurs reçus sont indiqués comme monophoniques, donc ceci ne peut pas nous servir.

Nous branchons ensuite l'antenne Yagi, directement sur l'entrée d'un oscilloscope numérique Tektronix (bande passante de 0 à 60 MHz). Le mode mathématique, FFT, avec zoom 10 x, permet d'observer des pics à :

MHz		Gros pic			
2.36	2.42	6.6	9.5	17.6	94 102

Nous retrouvons 2 des émetteurs reçus sur le récepteur radio, à 94,0 et 102,8 MHz.

Le pic centré sur 94 MHz s'étale de 93,75 à 94,2 MHz, soit une demi largeur de 0,2 MHz ou encore 200000 Hz. Il doit bien s'agir d'un émetteur en modulation de fréquence.

Nous cherchons sur un catalogue de fournisseur d'électronique si des émetteurs ou récepteurs radio ont les fréquences trouvées.

Le pic à 6,6 MHz est entre les bandes SW2 et SW3 des émetteurs en ondes courtes. A 9,5 MHz, il peut s'agir de la bande SW4 et à 17,6 de la bande SW7. 2,36 et 2,42 sont aussi dans les ondes courtes.

Méthode de mesure de la directivité :

La bande passante de notre oscilloscope est donnée pour s'étendre de 0 à 60 MHz. Nous espérons donc qu'il sera capable de détecter des signaux de fréquence supérieure à 60 MHz.

Nous pointons l'antenne Yagi vers un émetteur connu, le réémetteur du Larmont et accordons notre récepteur FM sur une station connue. Nous débranchons ensuite l'antenne du poste de radio et la raccordons à un oscilloscope numérique, par un petit bricolage. Bien que l'oscilloscope soit vendu pour une fréquence maximale de 20 MHz, il détecte le signal à 100 MHz de l'émetteur sans doute en diminuant la valeur de la tension observée, mais cela ne devrait pas nous gêner, puisque nous allons travailler à fréquence constante et par comparaison.

Comme il peut échantillonner jusqu'à 1 GHz nous ne devons pas avoir de problèmes de sous échantillonnage et de repliement de spectre.

Pour éliminer un peu les parasites à basse fréquence, nous court-circuitons la sortie de l'antenne par un fil formant quelques boucles.

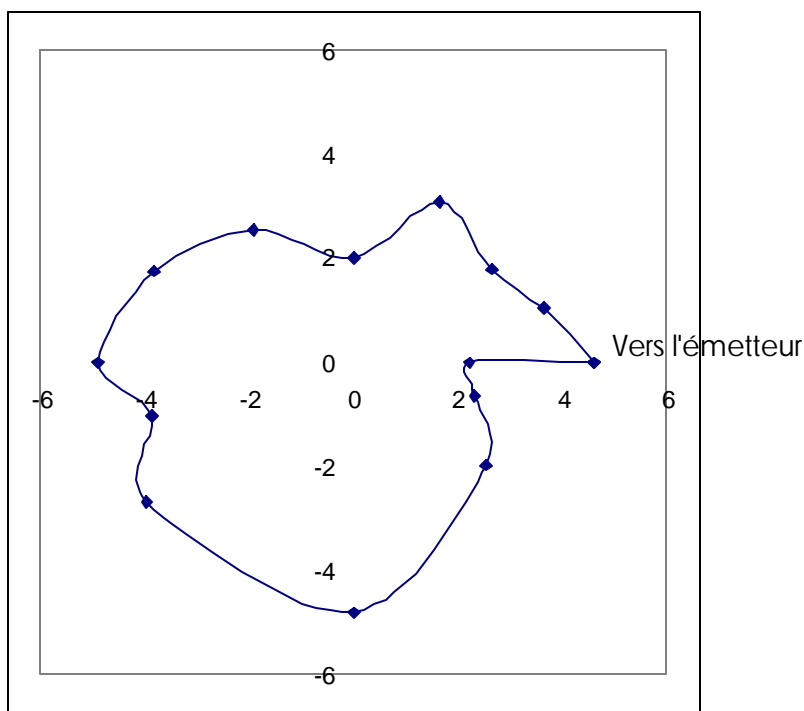
Nous cherchons dans le spectre de Fourier le pic correspondant à la porteuse de la station qui nous intéresse et nous mesurons son amplitude.

Nous faisons ensuite tourner notre antenne d'un angle connu et recommençons la mesure.

La série de mesures se révèle incorrecte ; après 1 tour complet, nous ne retrouvons pas la valeur initiale. Nous nous apercevons que nous avons appuyé notre antenne sur une armoire de physique, pleine d'objets métalliques.

Tension en V	4,6	3,8	3,2	3,5	2	3,2	4,2
Angle en °	0	15,8	33,9	62,2	90	127,3	155
V	4,9	4	4,8	4,8	3,2	2,4	2,2
°	180	195	214	270	322	344	360

Voici ce résultat, représenté en coordonnées polaires :



Les 2 résultats obtenus lorsque l'antenne pointe vers l'émetteur sont différents, mais de toute façon, l'antenne semble peu directive.

Le boîtier électronique mystérieux (5 mai 2003) :

Nous avons trouvé sur le site Internet, <http://radio.meteor.free.fr/>, le plan du montage électronique qui nous a été donné. Mais aucune explication sur son fonctionnement. Nous nous sommes donc transformées en détectives pour comprendre le circuit. Voici le résultat de notre enquête à la Sherlock Holmes. Le montage comporte un comparateur et un intégrateur. Il est alimenté par la prise RS232.

Le signal électrique issu de la prise écouteur du récepteur de radio (signal aux fréquences « audibles comprises entre 20 et 15000 Hz) entre dans le boîtier par le fil blanc. Il attaque le montage « amplificateur ».

La sortie de l'« amplificateur », fil blanc attaque la borne d'entrée CTS de la prise DB9, de la liaison RS 232. L'alimentation du montage est prise sur les sorties RTS, mise au 1 logique et délivrant 10 mA sous 12 V, et TXD, mise au 0 logique et délivrant 10 mA sous -12 V.

Le montage « amplificateur » comporte un double amplificateur intégré linéaire. Le premier est monté en comparateur. Le signal issu de la prise casque attaque l'entrée inverseuse. La sortie attaque la borne CTS de la prise DB9.

L'entrée non inverseuse reçoit une tension de référence créée par le deuxième amplificateur, monté en intégrateur. Celui-ci reçoit en entrée le signal de sortie du premier AIL, l'intègre avec une constante de temps de 0,2 seconde, c'est à dire donne en sortie la moyenne du signal d'entrée sur une durée d'environ 0,2 s. Le signal issu de la prise casque est donc comparé en permanence à sa valeur moyenne.

Lorsqu'il lui est inférieur, la sortie connectée à la borne d'entrée CTS de la prise DB9, de la liaison RS 232, est à +12 V, sinon, elle est à -12 V.

Observations, en employant en entrée le signal issu d'un générateur basse fréquence :

Nous constatons que des signaux sinusoïdaux, de fréquences comprises entre 20 et 6000 Hz donnent en sortie des créneaux de même fréquence.

Au-dessus de 6000 Hz, nous obtenons des triangles instables. Ceci est dû au temps de montée du premier amplificateur.

Comment l'ordinateur interprète-t-il cela ?

Nous raccordons l'entrée à la prise casque du récepteur de radio. De la musique donne des figures irrégulières, avec des plateaux assez grands, au cours du temps. Du bruit, souffle obtenu en réglant le récepteur sur une fréquence ne correspondant pas à un émetteur, donne des plateaux nettement plus courts.

Le logiciel doit donc tester à grande vitesse l'état de l'entrée CTS de la liaison RS232. Il mesure le nombre de points successifs à l'état haut. Il doit afficher selon l'axe des ordonnées, non pas la durée des plateaux, mais la vitesse de variation de cette durée.

Un passage de météorites, donnant une réception de musique pendant un temps très bref, correspond à une vitesse de variation maximale.

Un avion, provoquant une arrivée en douceur de la musique, correspond à une vitesse de variation plus faible.

Le logiciel :

Les hypothèses sur le fonctionnement du logiciel ont été évoquées au paragraphe précédent.

La détection de météorites :

Résultats :

Nous détectons moins d'impacts que Monsieur Pierre Terrier. Cela est sans doute dû au fait que nous écoutons un émetteur relativement proche, quoique séparé de nous par une montagne. Nos détections se produisent essentiellement le matin, alors que d'autres sites en obtiennent aussi l'après-midi.

Validation des résultats :

Nous avons déjà indiqué que notre professeur de SVT s'était proposé comme cobaye pour des tests en direct. Il semble que, pointant vers un émetteur relativement proche, nous détectons essentiellement le passage des avions de ligne fréquentant l'aéroport de Genève.

Conclusion :

La radiodétection de météorites, basée sur le fait que les ondes électromagnétiques de haute fréquence traversent l'ionosphère et se perdent dans l'espace, sauf si un trait ionisé se comporte comme une antenne réémettrice, nécessite pour conduire à des résultats valides, de pointer vers un émetteur assez lointain, pour ne pas être perturbée par le passage des avions.

Pour que cet émetteur lointain ne soit pas perturbé par des émetteurs plus proches, il doit émettre dans une gamme de fréquences non employées en Europe de l'Ouest.

Une autre façon de s'affranchir du passage des avions est d'effectuer des enregistrements en différents points, et de ne retenir que les événements corrélés.

La radiodétection peut être employée pour transmettre à grande distance et à faible coût, des données numériques en faible quantité.

Bibliographie, références, adresses :

Cours de Physique de Berkeley, Ondes

<http://www.rmob.org/>

<http://radio.meteor.free.fr/main.html>

Pierre TERRIER 14 rue Aimé Agussol

34725 St André de Sangonis (France)