

Comment peut-on capter la raie 21cm de l'hydrogène



VIDAL Mathilde
LOMBART Maxime
DUBOIS Emeline
LARIPPE Magali
CHASSIN DE KERGOMMEAUX Liliane

Lycée Charles Baudelaire
Cran-Gevrier

Sommaire

<u>Introduction</u>	p.3
<u>I) TPE</u>	p.4
<u>A) Théorie</u>	p.4
<u>1) Définition d'une onde:</u>	p.4
<u>2) Raie 21 cm de l'hydrogène</u>	p.4
<u>B) Expérimentation</u>	p.9
<u>C) Bilan & Evolution du sujet</u>	p.10
<u>II) Montage</u>	p.11
<u>A) Présentation générale</u>	p.11
<u>1) Présentation du réflecteur</u>	p.11
<u>a) Choix du réflecteur</u>	
<u>b) Elaboration du réflecteur</u>	
<u>2) La directivité des antennes</u>	p.12
<u>3) Présentation du récepteur:</u>	p.13
<u>B) Présentation plus détaillée du récepteur</u>	p.14
<u>1) Filtres</u>	p.14
<u>2) Amplificateur</u>	p.16
<u>3) Le mélangeur:</u>	p.16
<u>a) Qu'est ce qu'un mélangeur?</u>	
<u>b) Détection hétérodyne</u>	
<u>c) La diode Schottky</u>	
<u>4) L'oscillateur (ou VCO)</u>	p.19
<u>5) Les câbles coaxiaux:</u>	p.20
<u>6) L'alimentation des composants</u>	p.20
<u>III) Mesures</u>	p.23
<u>A) Mesures expérimentales</u>	p.23
<u>1) Evaluation de l'amplificateur</u>	p.23
<u>2) Construction d'un émetteur</u>	p.24
<u>B) Mesures en conditions réelles</u>	p.25
<u>IV) Conclusion</u>	p.26
<u>V) Remerciements & Bibliographie</u>	p.27
<u>VI) Annexes</u>	

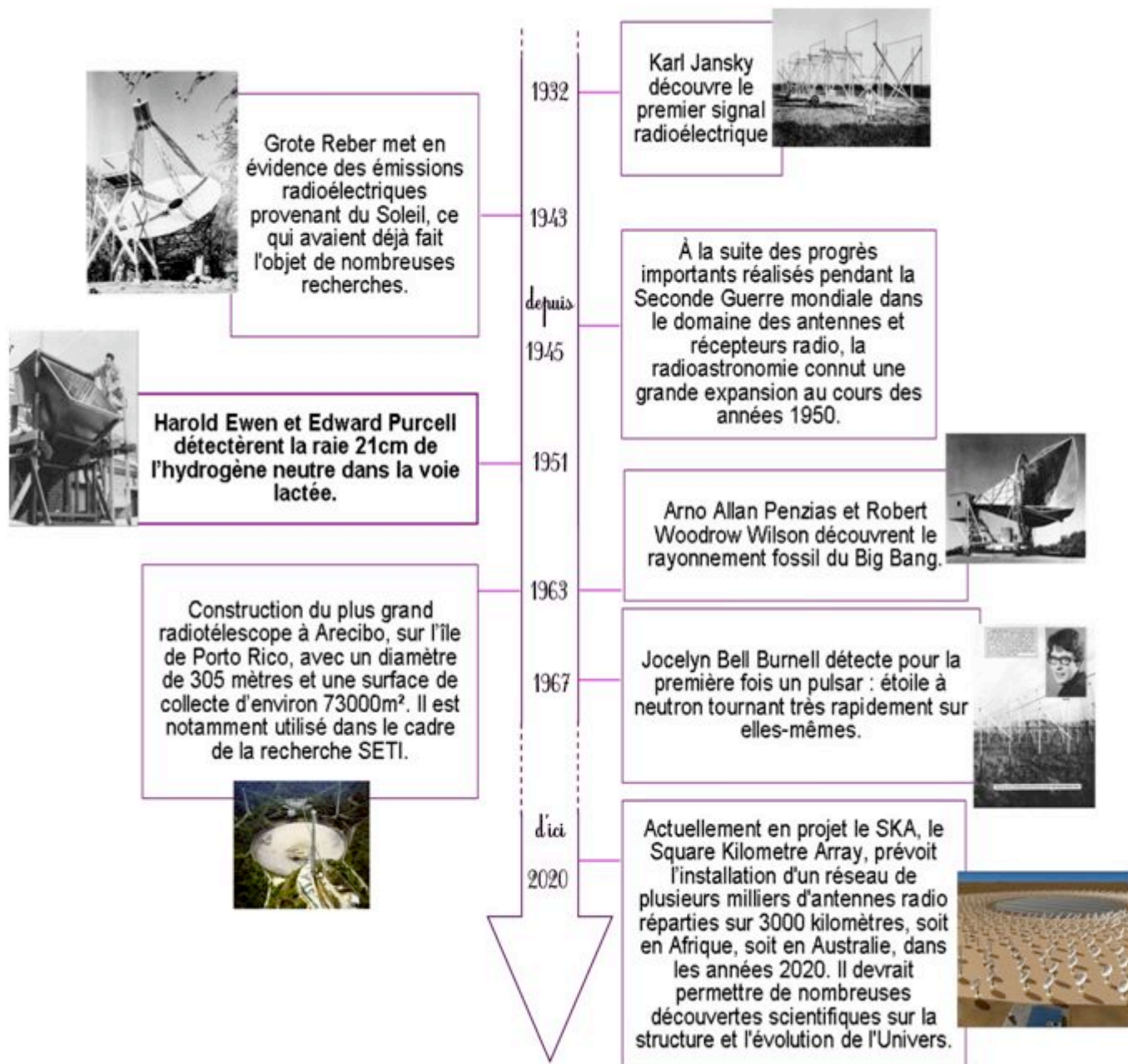
Introduction

Actuellement, groupe de cinq élèves en Terminale Scientifiques au lycée Charles Baudelaire de Cran Gevrier, près d'Annecy, nous avons choisi, à l'issue de notre TPE, de poursuivre notre projet sur deux ans. C'est à l'issue de l'option MPI (Mesures Physiques et Informatiques) suivie en seconde, que nous avons contacté Mr Bottos afin de participer aux ateliers scientifiques de physique pour la session 2010.

L'univers est un sujet assez abstrait à nos yeux, d'où notre volonté d'approfondir nos connaissances. Nous nous sommes donc tous naturellement penchés sur ce domaine par le biais de la radioastronomie.

Cette discipline est née dans les années 30, ce qui révolutionna l'observation du ciel. Elle n'a cessé de se développer et de nombreux projets prévoient son expansion (cf : chronologie de la radioastronomie)

Nos recherches se sont concentrées sur la détection de la raie de l'hydrogène neutre sur 1420 MHz, ce qui nous a conduit à formuler notre problématique : comment capter la raie 21cm de l'hydrogène ?



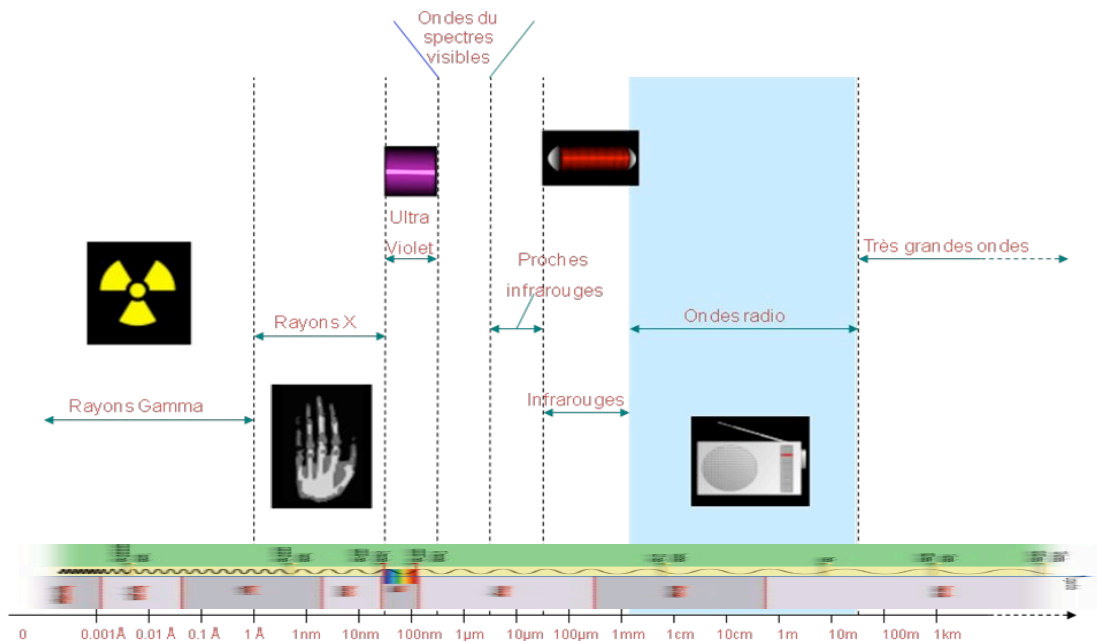
I) TPE

A) Théorie

1) Définition d'une onde:

Les échanges d'énergies, à l'origine des comportements de la matière, mettent en évidence des phénomènes de nature vibratoire, appelés communément ondes. Celles-ci transportent de l'énergie sans transport de matière. Il existe deux grandes catégories d'ondes : les ondes mécaniques et les ondes électromagnétiques, que nous cherchons à capter, puisque la raie 21 cm est une onde radio (voir ci-dessous).

Le spectre électromagnétique décrit la répartition des ondes électromagnétiques :



2) La raie 21 de l'hydrogène

Histoire :

Jusqu'à la fin de la seconde guerre mondiale, on ne comprenait pas très bien quelle pouvait être l'origine du rayonnement radio observé en provenance de la voie lactée. En 1944, un astronome hollandais, Van de Hulst prédit la production de rayonnement dans le domaine radio par une raie, située à 21 cm. Cette raie observée dès 1951, permit la connaissance de la répartition de l'hydrogène neutre dans la Galaxie, la mise en évidence de la structure spirale de notre galaxie et un peu plus tard dans des galaxies lointaines.

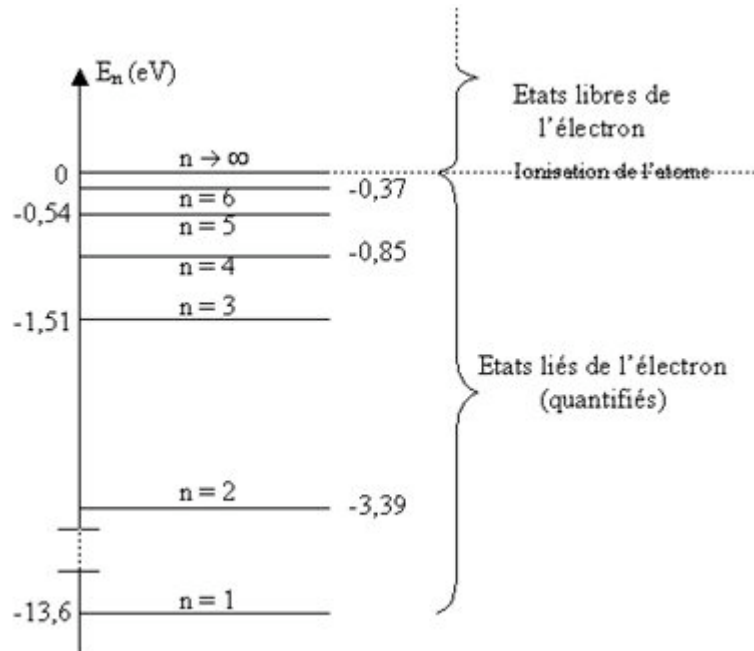
Problématique :

5 à 10% de la masse totale de notre galaxie se présente sous la forme d'hydrogène atomique présent dans le milieu interstellaire. L'hydrogène neutre est froid, il ne reçoit ni énergie thermique (par chocs, parce que la densité est trop faible), ni énergie lumineuse (car il est trop éloigné de toute étoile chaude). Son électron reste donc attaché au noyau, au niveau fondamental, aucune transition électronique ne peut se produire, donc, aucune émission de lumière (donc de photon). Le nuage est donc invisible, tout au plus détectable. Pourtant, il émet des ondes radio, c'est ce que l'on appelle couramment la raie à 21 cm de l'hydrogène neutre. Le mécanisme d'émission est un mécanisme de très faible énergie. Il correspond à la transition entre deux sous niveaux du niveau fondamental résultant de la structure hyperfine de l'atome. La transition se produit lorsque l'électron renverse son spin : le niveau supérieur correspond au spin de l'électron parallèle à celui du noyau et le niveau inférieur aux spins antiparallèles.

Explication

Propriétés de l'électron

L'atome d'hydrogène possède un seul électron (chargé négativement) et un proton (chargé positivement). Cet électron, qui gravite autour du noyau, possède des orbitales définies, c'est-à-dire des niveaux d'énergie quantifiés. Le niveau d'énergie le plus proche du noyau correspond à celui de moindre énergie, c'est le niveau fondamental. L'électron occupe cette orbitale s'il ne reçoit pas d'énergies, c'est-à-dire si il n'est pas excité. Plus l'électron s'éloigne du noyau, plus il possède d'énergie, on dit qu'il est excité.



L'électron d'hydrogène tourne autour du noyau selon une orbitale définie, c'est ce que l'on appelle le moment angulaire orbital, mais il tourne aussi sur lui-même : il possède son propre mouvement de rotation, appelé le spin de l'électron. Le spin définit donc le moment angulaire d'une particule, son moment cinétique. Pour les particules élémentaires, il existe deux types de moments angulaires : le moment angulaire de spin et le moment angulaire orbital. Le moment angulaire total d'une particule est une combinaison de ces deux moments.

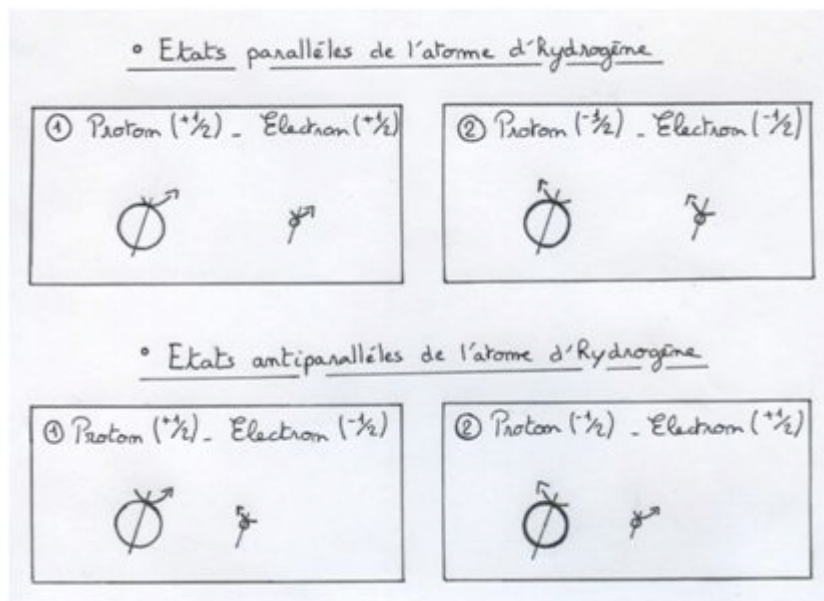
L'électron se décrit alors par deux nombres quantiques : le niveau d'énergie et le spin. C'est l'ensemble de ces deux nombres qui constitue son état quantique.

L'existence du spin fut suggérée en 1925 par les physiciens américains d'origine néerlandaise Samuel Abraham Goudsmit et George Eugene Uhlenbeck. Les deux physiciens remarquèrent que certaines particularités des spectres atomiques ne pouvaient être expliquées au moyen de la théorie quantique de l'époque. En considérant un nombre quantique supplémentaire — le spin de l'électron — Goudsmit et Uhlenbeck pouvaient fournir une explication plus complète des spectres atomiques. Bientôt, la notion de spin s'étendit à toutes les particules élémentaires, en particulier aux électrons, aux protons, aux neutrons. Il permet d'expliquer la structure en couches des électrons autour d'un noyau atomique, qui fut mise en évidence par les chimistes, par l'examen des propriétés des éléments, selon leur position dans le tableau de Mendeleïev. Les électrons s'organisent en couches autour d'un noyau, la première ne contient jamais plus de deux électrons (un seul pour l'hydrogène, puisqu'il n'a qu'un seul proton).

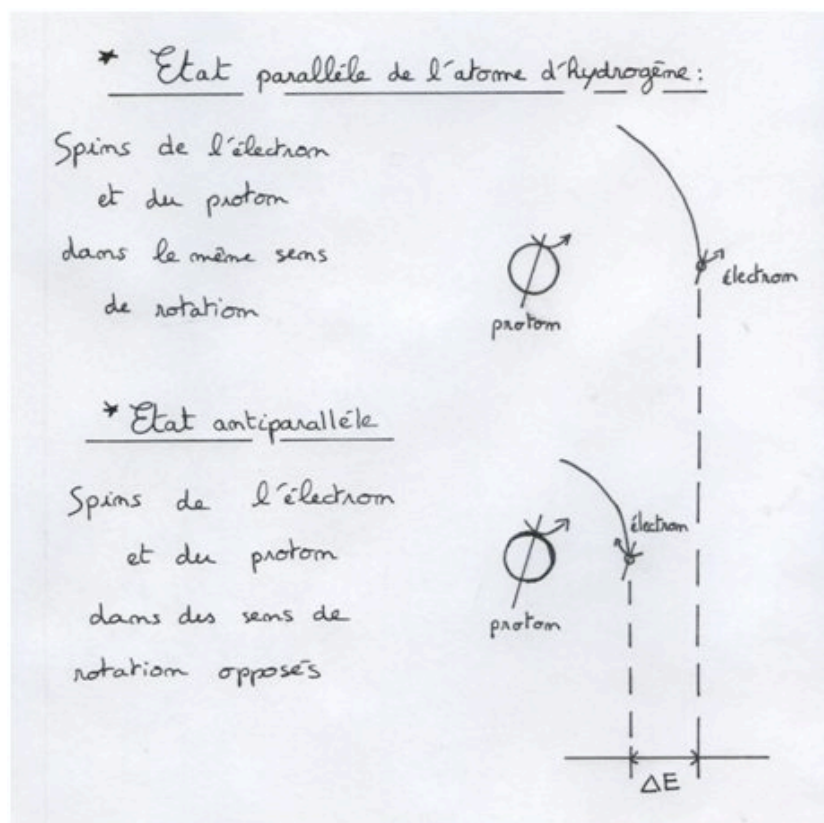
Mais pourquoi cette première couche peut-elle contenir deux électrons ?

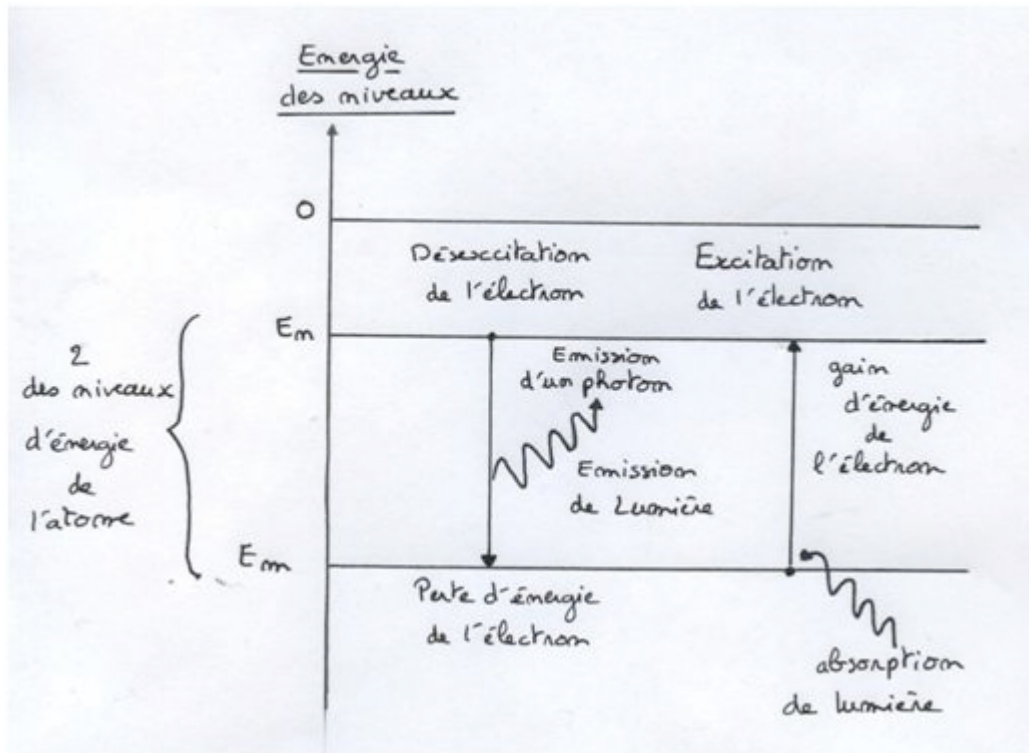
Les électrons sont des fermions, qui obéissent au principe d'exclusion de Pauli. Etant sur la même orbitale autour du noyau, ils ont la même énergie. Dans la théorie élémentaire, qui décrit l'électron avec le seul niveau d'énergie, ils sont donc dans le même état quantique, en violation du principe d'exclusion. En introduisant un spin de l'électron quantifié (en effet, ce moment cinétique peut prendre deux valeurs distinctes) alors les deux électrons de la première couche auront la même énergie, mais des moments cinétiques différents, en accord avec le principe d'exclusion qui se trouve ainsi respecté.

Le spin peut prendre deux valeurs différentes : $+\frac{1}{2} h$ ou $-\frac{1}{2} h$ (avec h étant la constante de Planck). L'électron possède alors deux sens de rotation différents de même que le proton (la vitesse de rotation est toujours la même, on ne l'indique donc pas). Un atome d'hydrogène étant constitué d'un proton et d'un électron, l'atome peut se trouver dans deux états : un état parallèle, dans lequel l'électron et le proton tournent dans le même sens, et un état antiparallèle dans lequel l'électron et le proton possèdent des sens de rotation différents.



Ces deux sens de rotation déterminent les deux sous niveaux du niveau fondamental. Lorsque l'atome est dans un état parallèle (l'électron et le proton ont le même sens de rotation), l'électron se trouve dans le sous niveau supérieur du niveau fondamental. Si l'atome est dans un état antiparallèle, son électron se trouve alors dans le sous niveau inférieur du niveau fondamental. L'énergie possédée par l'électron dans son sous niveau supérieur est plus élevée que lorsque les spins sont « antiparallèles ». Ainsi l'électron passe d'un sous niveau à l'autre en absorbant de l'énergie ou au contraire en en restituant.





Comment l'électron peut-il renverser son spin ?

Un atome peut changer d'état s'il reçoit de l'énergie, correspondant à la différence d'énergie entre deux de ces niveaux. L'atome d'hydrogène peut donc passer de l'état antiparallèle à l'état parallèle en absorbant de l'énergie : il renverse son spin. Il repassera spontanément à l'état parallèle, en émettant un photon dont l'énergie correspond à la différence d'énergie entre les deux états, et donc entre les deux sous niveaux. Cette différence d'énergie étant très faible, de l'ordre de 10^{-6} eV, le photon se trouve dans le domaine radio : c'est la raie de l'hydrogène.

➤ Calcul de la fréquence ν de l'onde émise :

D'après la loi de Planck : $\Delta E = |E_n - E_m| = h\nu$

$$\text{Donc } \nu = \frac{\Delta E}{h}$$

Avec $\Delta E = 5,88 \times 10^{-6}$ eV (différence d'énergie entre les deux sous niveaux)

$$\text{Or } 1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{D'où } \Delta E = 5,88 \times 10^{-6} \times 1,602 \times 10^{-19} = 9,42 \times 10^{-25} \text{ J}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (ou } \text{J} \cdot \text{s}^{-1}) \text{ la constante de Planck}$$

$$\text{D'où la fréquence } \nu = \frac{9,42 \times 10^{-25}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 1420,4056 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$\boxed{\nu = 1420,4056 \text{ MHz}}$$

➤ Calcul de la longueur d'onde λ :

D'après la formule $\lambda = \frac{c}{\nu}$ $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$

avec $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ (célérité de la lumière dans le vide)

$h = 6,63.10^{-34} \text{ m}^2.\text{kg.s}^{-1}$ (ou J.s^{-1}) la constante de Planck

$$\Delta E = 9,42 \times 10^{-25} \text{ J}$$

D'où la longueur d'onde $\lambda = \frac{6,63.10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{9,42 \times 10^{-25}} = 21,105 \text{ cm}$

$$\boxed{\lambda = 21,105 \text{ cm}}$$

Ainsi, quand l'électron passe du sous niveau supérieur du niveau fondamental sur le sous niveau inférieur, il restitue l'énergie acquise en émettant la raie de l'hydrogène de fréquence $\nu = 1.420,4056 \text{ MHz}$ et de longueur d'onde $\lambda = 21,105 \text{ cm}$.

Comment l'électron reçoit-il de l'énergie pour réaliser la transition ?

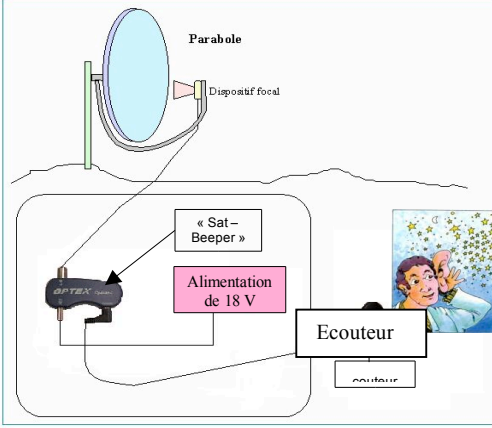
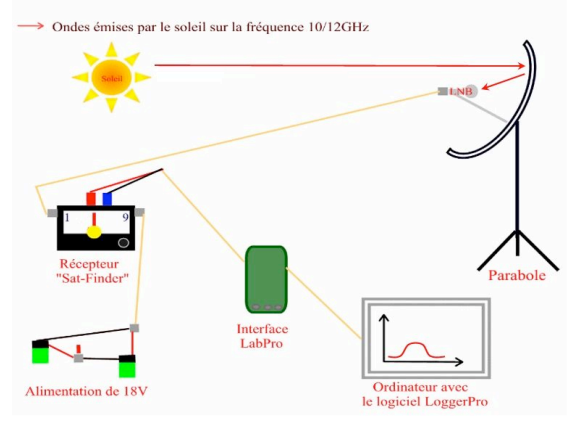
En effet, la transition spontanée du sous niveau supérieur de plus grande énergie vers celui de basse énergie (passage de l'état parallèle à l'état antiparallèle), a une très faible probabilité de se produire. Un atome d'hydrogène repassera à l'état antiparallèle qu'au bout de 1,1 millions d'années en moyenne. Malgré cela il y a tellement d'atomes d'hydrogène dans le milieu interstellaire que cette raie à une intensité appréciable.

Cette énergie peut provenir de légers chocs. En effet, l'hydrogène est le principal composant de l'univers : il représente 5 à 10% de la masse totale de notre galaxie. Le milieu interstellaire est donc suffisamment dense pour que les atomes d'hydrogènes « se heurtent », provoquant ainsi l'émission tous les cent ans (en moyenne pour un atome). Les nuages d'hydrogène deviennent ainsi détectables ! De plus, les chocs responsables de la désexcitation fournissent également assez d'énergie pour exciter à nouveau l'atome, et garantir l'émission d'un nouveau photon dans le domaine radio.

Ce rayonnement à 21 cm permet de détecter les nuages d'hydrogènes dans le milieu interstellaire et ainsi de mettre en évidence la structure spirale de notre galaxie.

B) Expérimentation

Tableau comparatif de nos deux premiers essais de montage. Notre but était de capter les ondes émises par le soleil. Ils ont été abandonnés, faute de résultats probants.

	1 ^{er} essai de montage	2 ^{ème} essai de montage
Schémas		
Composants utilisés pour la réception	<p>Récepteur «Sat-Beeper» :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bipe de manière plus ou moins aigu lorsqu'il capte un signal radioélectrique. • Composant employé généralement pour pointer les antennes paraboliques dans la direction du satellite à réceptionner. • Résultats transmis par le biais d'un écouteur que nous souhaitons par la suite remplacer par une interface « LoggerPro ». • Alimenté par deux piles de 9 V, car nous ne l'avions pas raccordé à un démodulateur. 	<p>Récepteur « Sat Finder » :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permet une indication visuelle de ce que nous recevons. • Modification apportée : le buzzer qui bipait en présence d'un signal et qui nous était inutile a été dessoudé et remplacé par deux fils à ses bornes + et - qui permettent la mise en place de deux nouveaux ports pour brancher notre interface « LoggerPro ». • Alimenté par deux piles de 9V.
Résultats obtenus	<p>Nous avons eu un son très aigu, monocorde te désagréable, où il était difficile de constater une variation de tonalité. Il ne correspondait donc pas à nos attentes.</p>	<p>Nous avons eu des pics d'une intensité maximum de 7 Volts de façon irrégulière, sur une durée d'une heure. Nous pensons à ce jour que ces variations sont dues à l'activité humaine nous entourant, puisque nous étions dans la cour de notre lycée et que l'endroit idéal pour ce genre de réception serait un lieu éloigné de la civilisation. Cependant nous aurions du avoir une courbe de gauss étant donné que l'intensité du signal reçu augmente puis diminue lorsque le soleil passe devant la parabole en suivant sa trajectoire est-ouest, sur un temps donné.</p>

C) Bilan & Evolution du sujet

Au début de notre TPE, nous avons voulu reproduire un montage déjà existant, dont le principe se trouvait sur un site de radioastronomie amateur. Malgré de nombreux essais avec les composants indiqués (Sat-Beeper puis Sat-Finder), nos résultats ne concordaient pas à ceux espérés. Du fait de l'évolution technologique importante survenue ces dernières années, nous avons supposées que la constitution interne du récepteur avait été modifiée de telle sorte que sa fonction s'en trouvait modifiée et qu'il devenait ainsi impossible de capter les fréquences radio du soleil.

Ces échecs nous ont poussés dans une nouvelle direction du point de vue de la démarche mais aussi de l'étude que nous souhaitions réaliser.

En effet, par la suite, nous avons cherché à élaborer notre propre montage afin de capter la raie 21 de l'hydrogène et à construire nous-mêmes les différents composants le constituant.

Le montage précédent nous restait inconnu dans les parties électroniques car nous ne savions pas comment était conçu le LNB et le sat-finder. C'est pour cela que nous avons décidé d'essayer de maîtriser la construction de ce récepteur afin de comprendre l'ensemble des problèmes.

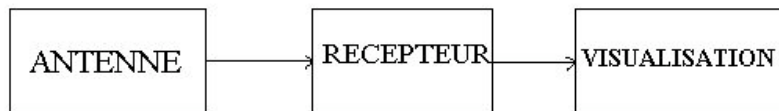
Pourquoi nous sommes nous intéressés à la raie 21 cm de l'hydrogène ?

- Tout d'abord, par le biais du programme SETI, que nous avons analysé dans le cadre de nos TPE. En effet, ce Projet ambitieux de recherche d'une intelligence extraterrestre, lancé par la NASA en 1992, consiste en un balayage systématique de tout le ciel sur les fréquences les plus susceptibles d'être retenues pour les télécommunications interstellaires. Notre galaxie étant principalement composée d'hydrogène, la fréquence de l'hydrogène neutre apparaît comme l'une des localisations les plus probables pour les transmissions extra-terrestres. La recherche des signaux extra-terrestres consiste donc à enregistrer une bande de fréquence large de 2,5 MHz centrée sur « la raie de l'hydrogène » à 1420 MHz.
- Dans un premier temps, nos montages tendaient à capter un rayonnement radio en provenance de la Voie Lactée, à savoir les ondes radio issues du soleil. Or, il existait une seconde source de rayonnement radio dans la Voie Lactée : la raie 21 cm de l'hydrogène.

De ce fait et pour ces deux raisons, nos expérimentations ont bifurqué des ondes radio vers la raie de l'hydrogène à 21 cm, que nous avons cherché à capter par la suite.

II) Montage

A) Présentation générale



1) Présentation du réflecteur

a) Le choix du réflecteur

Ils sont des dispositifs permettant de réfléchir des ondes électromagnétiques. Chacun est caractérisé par ses dimensions, sa forme, sa capacité à réfléchir des ondes, sa bande de fréquence d'utilisation, son gain (concentration de l'énergie reçue dans une direction ce qui a pour conséquence d'augmenter la puissance du signal)... En effet, une antenne de téléphone portable est toute petite alors que celle du radio télescope d'Arecibo est d'environ de 100 m de diamètre!

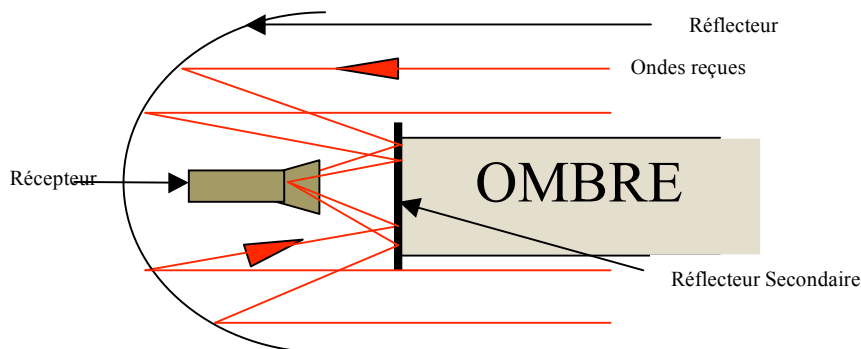
Il existe de nombreux types d'antennes tels que l'antenne yagi, l'antenne hélice, l'antenne parabolique.



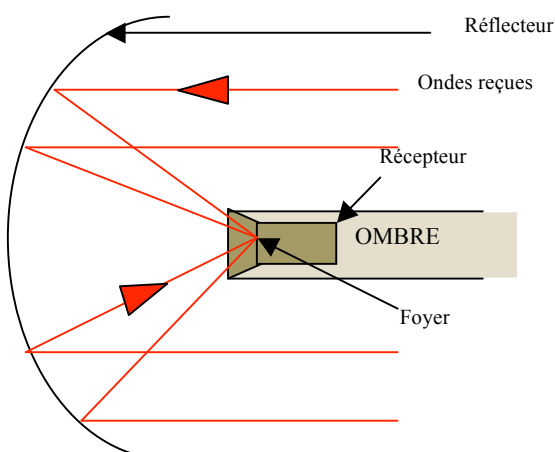
Pour des raisons de directivité, nous nous sommes tournés vers les antennes paraboliques. Elles ont une conception simple, similaire à un instrument d'optique. Cependant, nous avons pu remarquer qu'elles se différenciaient par leurs manières de réfléchir les ondes.

Le réflecteur est chargé de concentrer les ondes reçues vers l'antenne source qui se situe au foyer de la parabole.

Nous pouvons trouver de multiples types de réflecteurs, dont voici les plus intéressants :



"Cassegrain" : diminue la longueur de l'antenne mais l'ombre reste importante



"Prime focus" : le collecteur est au foyer primaire du réflecteur. L'ombre est négligeable comparée à la taille du réflecteur

Le modèle «prime focus» nous a paru le plus simple et le plus intéressant à réaliser.

Le gain est d'autant plus grand que la surface du réflecteur est importante mais il dépend aussi de la fréquence du signal reçu.

Afin de calculer l'ouverture maximale du lobe nous pouvons effectuer le rapport distance focale/Diamètre (f/D). Le résultat doit être situé entre 0,4 et 0,8. Un rapport f/D trop faible donne une antenne très compacte et nécessitant une source avec un angle d'ouverture très grand.

Le diamètre du réflecteur doit être supérieur à 4 fois la longueur d'onde du signal pour une meilleure réception, soit environ plus d'un mètre pour la raie 21 cm de l'hydrogène. Nous n'avons pas trouvé de parabole de cette dimension. Ainsi, nous avons entrepris d'en construire une nous même.

b) L'élaboration du réflecteur

Comme nous l'avons dit précédemment, plus la parabole est grande, plus le gain est grand. Nous avons donc cherché à fabriquer une parabole de plus de 1 mètre de diamètre. Ayant trouvé les plans d'une parabole de 1m80 de diamètre sur internet, nous avons décidé de la fabriquer. Cette parabole est fabriquée sur le modèle géodésique, ce qui est plutôt léger et facile à transporter une fois démontée. En effet, la parabole démontée se résume en un tas de barres en aluminium de 2mm d'épaisseur ainsi que de deux bouts de grillage fin que l'on peut rouler, ce qui est parfait dans le cadre des olympiades. De plus cette parabole est facile et rapide à monter: il suffit de relier les différentes barres, préalablement coupée et trouée, dans le bon ordre et en suivant le plan (voir annexe 1). Le creux de la parabole se fait tout seul lorsque l'on relie les barres entre elles.

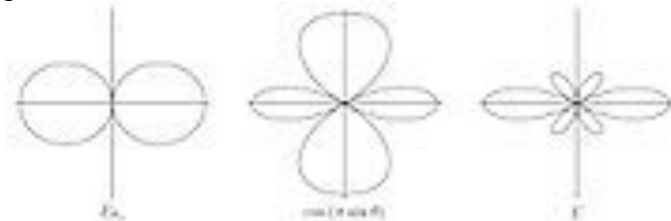
Après avoir monté la parabole, nous fixons le guide d'onde au foyer de la parabole, qui est situé à 65cm du centre, grâce à trois autres morceaux de barre en aluminium. Ensuite, nous pouvons la fixer sur un pied de télescope. On relie alors le guide d'onde au reste du circuit, et on est prêt pour faire nos mesures!

2) La directivité des antennes

Une antenne est directive lorsqu'elle concentre l'énergie qu'elle reçoit dans une direction. On améliore le gain d'une antenne en concentrant l'énergie rayonnée dans un lobe principal. Ainsi, une antenne directive équivaut à une antenne à gain.

Le gain est défini par l'augmentation de puissance reçue dans le lobe principal à cause de l'énergie concentrée en cette direction. Il s'exprime en dBi (décibels par rapport à l'antenne isotrope).

Nous avons un diagramme de référence de rayonnement d'une antenne qui se base sur une antenne isotrope. Ce modèle est théorique car l'énergie rayonnée par l'antenne est inégalement répartie dans l'espace. On retrouve des directions principales, appelées lobes de rayonnement ou lobes principaux. Cela permet de visualiser les lobes en trois dimensions sur les plans horizontal, vertical.



Une antenne sera très directive si le lobe le plus important sera très étroit. La directivité correspond à la largeur du lobe principal, entre les angles d'atténuation à 3 dB. Les autres lobes sont appelés lobes secondaires. On préfère qu'ils soient les plus petits possibles pour éviter les interférences. Ils servent à montrer la sensibilité de l'antenne.

Les antennes à directivité et à gain élevés seront toujours grandes par rapport à la longueur d'onde.

3) Présentation du récepteur:

Le récepteur que nous utilisons est une parabole avec un guide d'ondes. La parabole (Photo ci-contre) permet de concentrer les signaux dans le guide d'ondes, dont les dimensions sont calculées pour capter une longueur d'onde particulière.



Un guide d'ondes sert à obtenir une onde stationnaire de fréquence donnée, mesurable par différence de tension. Nous pouvons mesurer cette différence de tension grâce à une tige de métal placée à un endroit particulier du guide d'ondes (photo ci-dessous), l'équivalent d'une petite antenne, reliée à un circuit assez complexe que nous vous présenterons plus loin.



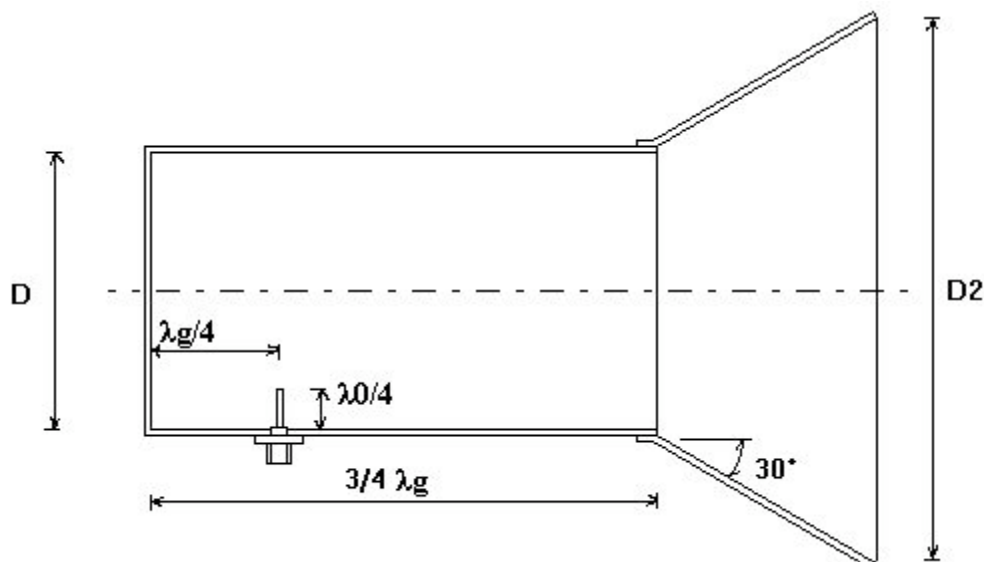
Nous avons dû calculer les dimensions de notre guide d'ondes pour la fréquence de la raie 21 cm de l'hydrogène: 1,42GHz.

Pour cela, nous avons utilisé la relation qui relie la longueur d'onde à l'intérieur du guide d'onde (λ_g), la longueur d'onde de coupure (λ_c) et la longueur d'onde du signal en plein air (λ_0) :

$$(1/\lambda_0)^2 = (1/\lambda_g)^2 + (1/\lambda_c)^2$$

- La longueur d'onde du signal en plein air est celle que nous voulons capter: ici, il s'agit de $\lambda_0=21\text{cm}$.
- La longueur d'onde de coupure est la longueur d'onde au dessus de laquelle l'onde ne peut pas entrer dans le guide d'onde. Elle dépend de diamètre du tube: $\lambda_c=1.706 \times D$.
Pour que le guide d'ondes soit fonctionnel, il faut donc que $\lambda_0 < \lambda_c$.
Dans notre cas, comme $\lambda_0=21.0\text{cm}$, nous avons pris $\lambda_c=30.0\text{cm}$
- La longueur d'onde à l'intérieur du guide d'onde dépend des deux précédentes et se calcule grâce à la relation ci-dessus, ce qui nous donne, pour la raie 21cm de l'hydrogène, $\lambda_g=29.4\text{cm}$.

Par ailleurs, nous avons trouvé le schéma d'un guide d'ondes faisant le lien entre les différentes longueurs d'ondes trouvée précédemment et les dimensions du guide d'ondes:



L'entonnoir à l'entrée du guide d'ondes, d'une ouverture de 30° , améliore l'efficacité du guide d'onde et permet de multiplier le gain de l'antenne par 2.

Notre récepteur:

En respectant toutes les conditions ci-dessus, notre guide d'ondes devait donc avoir comme mesure:

Longueur minimale=22.05cm (nous avons pris 25cm)

D=17.5cm

Hauteur de la tige de laiton=5.25cm

Ecart entre le centre de la tige de laiton et le fond du guide d'onde=7.35cm

D2=30cm

Après avoir calculé les dimensions du récepteur, nous avons construit un premier guide d'ondes en tôle isoxal (constituée en grande partie d'aluminium) en reliant les différentes parties avec des rivets, car on ne pouvait pas le souder, car la tôle isoxal se soude très mal (photo 1). Comme nous craignions que les rivets posent problème lors de la réception des ondes, nous avons fabriqué un autre guide d'ondes, en tôle (en acier), que nous avons pu souder (photo 2). Finalement, nous utilisons le guide d'onde en tôle isoxal car il est beaucoup plus léger. De plus, les rivets ne gênent pas car il ne dépassent que de quelques millimètres alors que notre guide d'onde a une marge de plusieurs centimètres au-dessus de la longueur d'onde étudiée au niveau de la longueur d'onde de coupure.

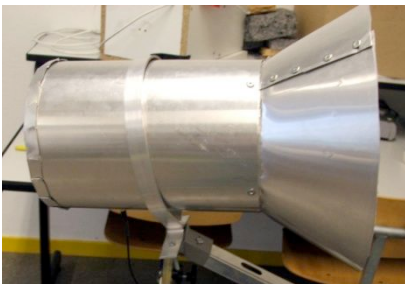
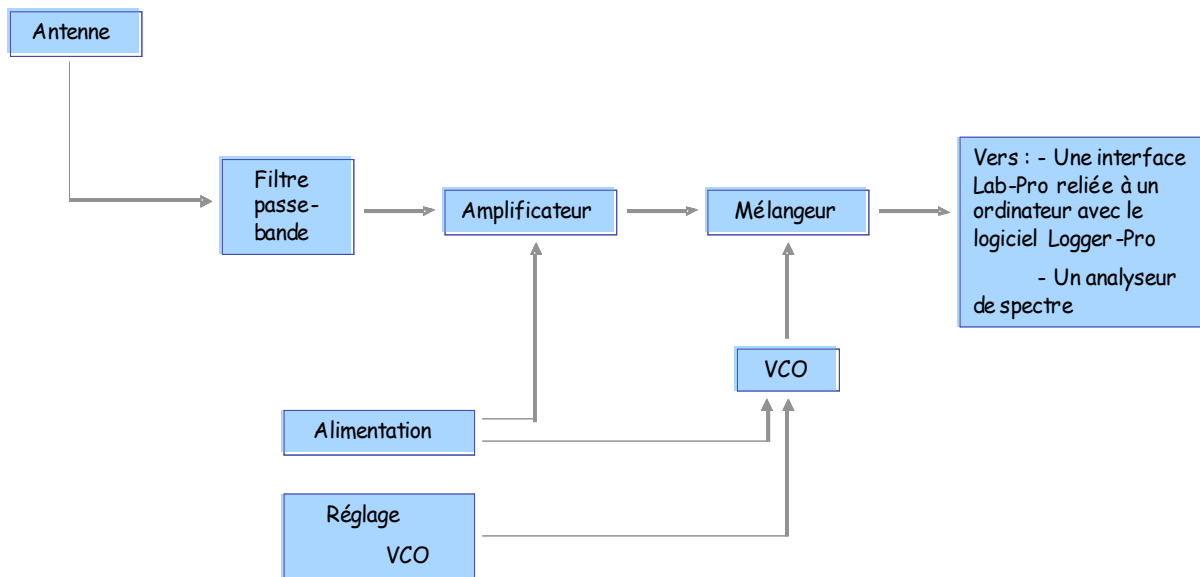


Photo 1



Photo

B) Présentation plus détaillée du récepteur



1) Filtres

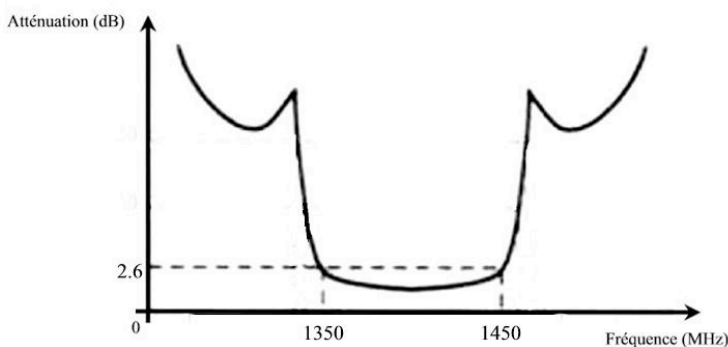


Le filtre passe-bande que nous utilisons dans notre montage (référence : VBFZ-1400+ chez «www.minicircuit.com »)

Un filtre passe-bande est un composant passif qui a pour rôle de conserver avec une atténuation minimale, les fréquences comprises entre deux fréquences de coupure basse et haute, et d'atténuer celle qui se trouve en dehors de cet intervalle.

Nous l'utilisons dans le but d'enlever les fréquences parasites autour de 1420 MHz, pour isoler ce signal que nous désirons capter et éliminer le bruit en dehors des fréquences de coupure. Nous avons donc trouvé un filtre passe-bande d'une longueur de coupure comprise entre 1350 et 1450 MHz (comme nous le voyons ci-dessous).

Graphique : Atténuation du filtre passe-bande utilisé dans notre montage en fonction de la fréquence du signal



2) Amplificateur



L'amplificateur que nous utilisons dans le montage.

Il amplifie le signal détecté par l'antenne. Contenu de la fréquence de ce signal il est indispensable que cet amplificateur fonctionne en haute fréquence (raie 21cm de l'hydrogène : $\lambda = c/f$ d'où $f = 1.42$ GHz). Par contre il amplifie toutes les fréquences reçues (RF) y compris les fréquences indésirables. Cet amplificateur « faible bruit » associé au filtre passe bande ne devra sélectionner que la fréquence voulue. L'amplificateur doit être protégé contre les perturbations électromagnétiques (nécessite d'un blindage). Les bornes d'accès à l'amplificateur sont des bornes coaxiales femelles. Comme tout composant électronique, cet amplificateur doit être polarisé : alimenté par une tension continue (rôle du régulateur de 9V associé à une résistance).

Avant et après l'amplificateur sont placés des condensateurs qui ont pour rôle de supprimer la composante continue du signal.

Sur notre montage, nous avons rajouter des fils à la sortie de l'amplificateur afin de pouvoir directement brancher un analyseur de spectre pour pouvoir vérifier si nous avons une bonne réception.

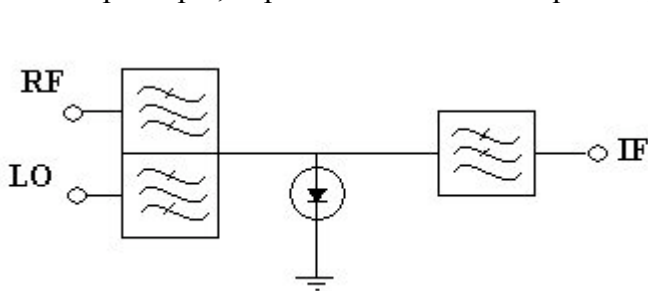
3) Le mélangeur:

a) Qu'est ce qu'un mélangeur?

Le mélangeur permet de diminuer considérablement la fréquence du signal grâce au principe de la **détection hétérodyne**. Nous en utilisons un car nous essayons de capter des signaux de hautes fréquences que nous ne pouvons pas mesurer sans en abaisser la fréquence.

Il existe plusieurs types de mélangeur: les mélangeurs à diodes, les baluns, et les mélangeurs FET. Dans notre circuit, nous utilisons un mélangeur à diodes (à quatre diodes) car c'est le plus simple à utiliser lorsqu'on utilise des fréquences élevées. Pour faciliter l'explication, nous prendrons le modèle d'un mélangeur à une seule diode, qui fonctionne de la même manière.

Un mélangeur simple diode (ou mélangeur à une seule diode) comprend une **diode Schottky**, qui est l'élément principal, et plusieurs filtres de fréquences, comme le montre le schéma ci-dessous:

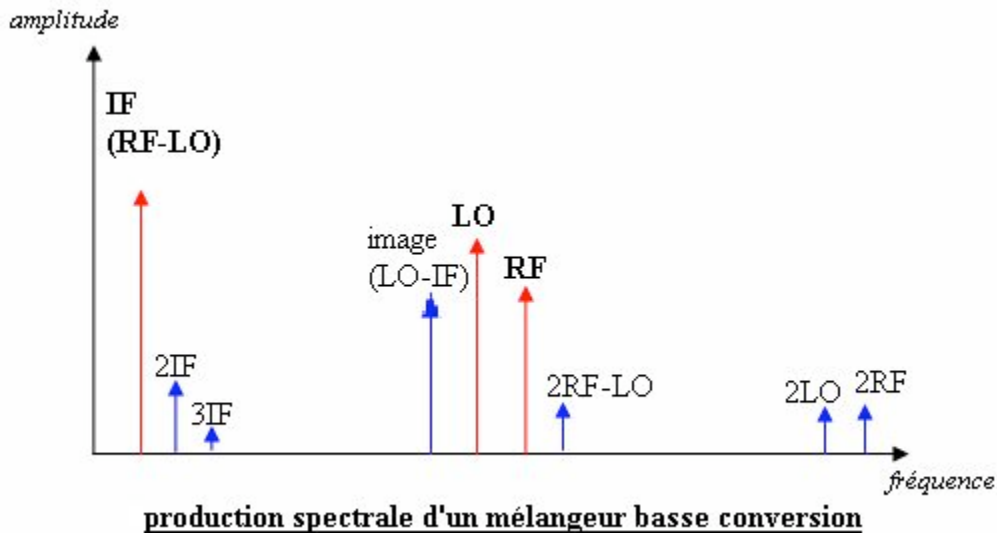


RF est le signal venant du récepteur

LO est le signal venant de l'oscillateur, légèrement plus bas ou plus élevé que RF

IF est le signal obtenu par le mélangeur

La conception du mélange dans le mélangeur induit qu'il y ait introduction de signaux qui doivent être mélangés puis extraction du produit du mélange désiré, optimisant ainsi son efficacité de conversion. Le problème significatif avec les mélangeurs, c'est qu'en plus du produit voulu, il y a aussi de nombreux parasites. Dans le mélangeur du schéma, le signal de l'oscillateur local (LO) est mélangé avec le signal RF produisant une copie du signal RF à la fréquence de différence IF.



De plus, le mélangeur, utilisant une diode simple comme élément principal, n'a aucun isolement inhérent entre les ports du mélangeur. Pour le fabriquer, il faut choisir une diode Schottky appropriée par rapport aux différentes fréquences utilisées et au style de boîtier, et la relier au filtre passe-bande et passe-bas avant de l'intégrer au reste du circuit.

On utilise une diode Schottky car sa vitesse de commutation est plus haute que celle des diodes de jonction et car le plastique conditionnant les diodes est approprié pour concevoir des mélangeurs jusqu'à autour de 13GHz.

(Correspondance: si on considère une diode de mélangeur comme un dispositif "square-law", l'impédance que la diode présente est un temps variant, dépendant du niveau de LO et de sa fréquence. C'est la valeur moyenne de temps d'impédance de la diode qui doit être utilisée si la correspondance est essayée.)

b)détection hétérodyne

Principe :

La détection hétérodyne consiste à transposer l'énergie d'une partie du spectre à plus basse fréquence (dite « intermédiaire ») avant de la détecter.

Fonctionnement :

Le signal que l'on souhaite capter est mélangé sur un élément non-linéaire rapide (par exemple une photodiode) avec le rayonnement monochromatique d'un oscillateur local dont la fréquence est proche de celle du signal de sorte que leur différence soit dans la bande de fréquences intermédiaires (en général dans le domaine radiofréquences).

$$|F_S - F_O| = F_I$$

- F_S : fréquence du signal capté
- F_O : Fréquence de l'oscillateur local
- F_I : fréquence intermédiaire

La détection hétérodyne permet d'analyser un signal haute fréquence à une fréquence plus basse afin de permettre l'utilisation de matériels (exemple : l'interface Logger-Pro), et d'éviter le problème du rayonnement des fils dans les hautes fréquences.

Usage :

- Le principe de la détection hétérodyne en radio, établi par le canadien Reginald Fessenden, est couramment utilisée dans les récepteurs de radio AM ou FM. *Ils utilisent souvent une architecture de double hétérodynage, où le signal est transposé 2 fois successivement pour des questions de filtrage et de sélectivité.*

La diode doit fonctionner à fréquence élevée

La diode à jonction PN est essentiellement utilisée dans les systèmes à faible fréquence (redressement mono ou triphasé de 50 à quelques centaines de Hz) . Pour faire passer la diode d'un état bloqué à un état passant il faut faire passer les porteurs d'une zone P ou N à l'autre.

Ces transitions, appelées temps de commutation, restent longs dans le cas d'une diode classique aussi préfère t on utiliser une diode Schottky

1/ Utilisation d'une diode Schottky :

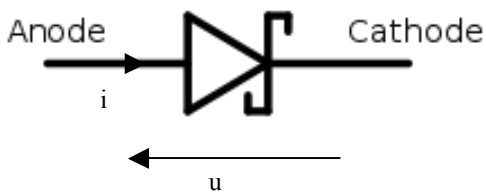


Figure 4

Une diode Schottky utilise une jonction métal-semi conducteur (au lieu d'une jonction p-n comme les diodes conventionnelles). Alors que les diodes standard en silicium ont une tension de seuil d'environ 0.6V, les diodes Schottky ont une tension de seuil (pour une polarisation directe d'environ 1 mA) dans la gamme de 0.15V à 0.45 V, ce qui les rend utiles en limitation de tension.

Une diode Schottky (nommée d'après le physicien allemand Walter H. Schottky) est une diode qui a un seuil de tension directe très bas et un temps de commutation très court. Ceci permet la détection des signaux HF faibles et hyperfréquences, la rendant utile par exemple en radioastronomie. Cette diode est donc particulièrement bien adaptée aux besoins du montage.

2/ Fonctionnement de la diode Schottky dans la zone de détection de seuil : détection quadratique

Dans cette zone de transition la relation entre le courant i dans la diode et u (voir schéma figure 5) est quadratique et a pour expression

$$i(t) = a \times u(t)^2$$

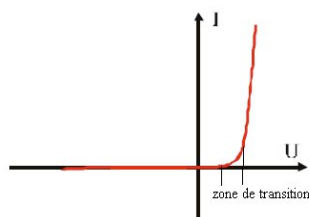


Figure 5

La tension $u(t)$ est donc la somme de deux composantes sinusoïdales de fréquence f_{RF} (issue de l'antenne au travers de l'amplificateur) et de fréquence f_{LO} (issue de l'oscillateur local).

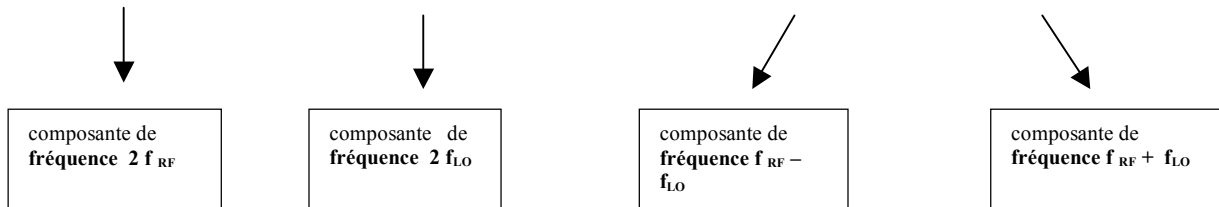
On peut donc écrire $u(t) = u_{RF}(t) + u_{LO}(t) = V_{RF} \sin \omega_{RF} t + V_{LO} \sin \omega_{LO} t$

Au final, on obtient :

$$i(t) = a \times V_{RF}^2 \times \sin^2 \omega_{RF} t + V_{LO}^2 \times \sin^2 \omega_{LO} t + 2 \times V_{RF} \sin \omega_{RF} t \times V_{LO} \sin \omega_{LO} t$$

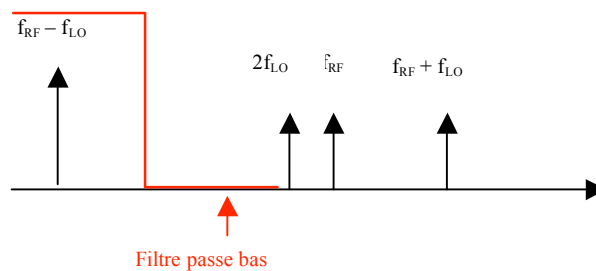
En utilisant des formules de trigonométrie on obtient :

$$i(t) = a \times V_{RF}^2 \times \sin^2 \omega_{RF} t + V_{LO}^2 \times \sin^2 \omega_{LO} t + V_{RF} \times V_{LO} [\cos (\omega_{RF} - \omega_{LO}) t - \cos (\omega_{RF} + \omega_{LO}) t]$$



Remarque : pour que la diode fonctionne en détection quadratique, il faut que la tension u reste faible (0.15V à 0.45V). Cela est assuré par l'accord des filtres passe bande

Si l'on présente les résultats précédents sous la forme d'un spectre de fréquences, on obtient la présentation suivante



I. Rôle du circuit R C :

Le circuit permet de réaliser un filtre passe-bas. Suivant les valeurs de R et de C , on choisit la plage de fréquences désirées. Ici on sélectionnera $f_{RF} - f_{LO}$ et on atténue les fréquences $2f_{LO}$, $2f_{RF}$ et $f_{RF} + f_{LO}$.

Le signal IF sera donc une grandeur sinusoïdale de fréquence $f_{RF} - f_{LO}$, observable à l'oscilloscope (de l'ordre du MHz)

Le rôle du mélangeur est de convertir RF en IF pour permettre un meilleur filtrage, plus sélectif. Le comportement d'un mélangeur est représenté par une fonction non linéaire d'équation :

$$2\cos(\omega_1)\cos(\omega_2) = \cos((\omega_1 - \omega_2)t) + \cos((\omega_1 + \omega_2)t)$$

4) L'oscillateur (ou VCO)



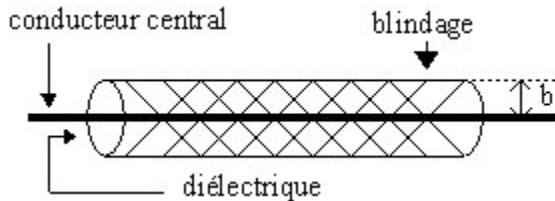
Nous pouvons faire varier la tension d'entrée pour contrôler la fréquence de sortie de l'oscillateur. Ceci nous permet donc de nous placer à différentes fréquences afin de capter plusieurs longueurs d'ondes, par exemple les ondes de portable.

Il a une tension d'entrée qui peut varier entre 0 et 24V, en délivrant une fréquence comprise entre 630 et 1730 MHz.

5) Les câbles coaxiaux:

Un câble coaxial (ou ligne coaxiale) est un câble de transmission utilisée en hautes fréquences. Il est composé de "couches" successives de conducteurs et d'isolants. L'âme centrale, conductrice, est entourée d'un matériau isolant (ou diélectrique), entouré d'une gaine conductrice tressée, appelée blindage, puis d'une nouvelle enveloppe de matière plastique.

Ligne ou câble coaxial



Nous utilisons des câbles coaxiaux pour relier les différentes parties du montage.

Malgré l'utilisation de ces câbles, il y a tout de même une diminution de l'amplitude qui va en augmentant lorsque la longueur du câble augmente, car nous travaillons avec des fréquences élevées.

Remarque : nous utilisons ces câbles car avec des signaux de hautes fréquences, le principal problème est le rayonnement des fils or, par constitution, ces câbles ne rayonnent pas.

Pour notre circuit, nous utilisons des câbles adaptés à 50Ω car il faut que les câbles soient adaptés à la puissance qui va circuler à l'intérieur.

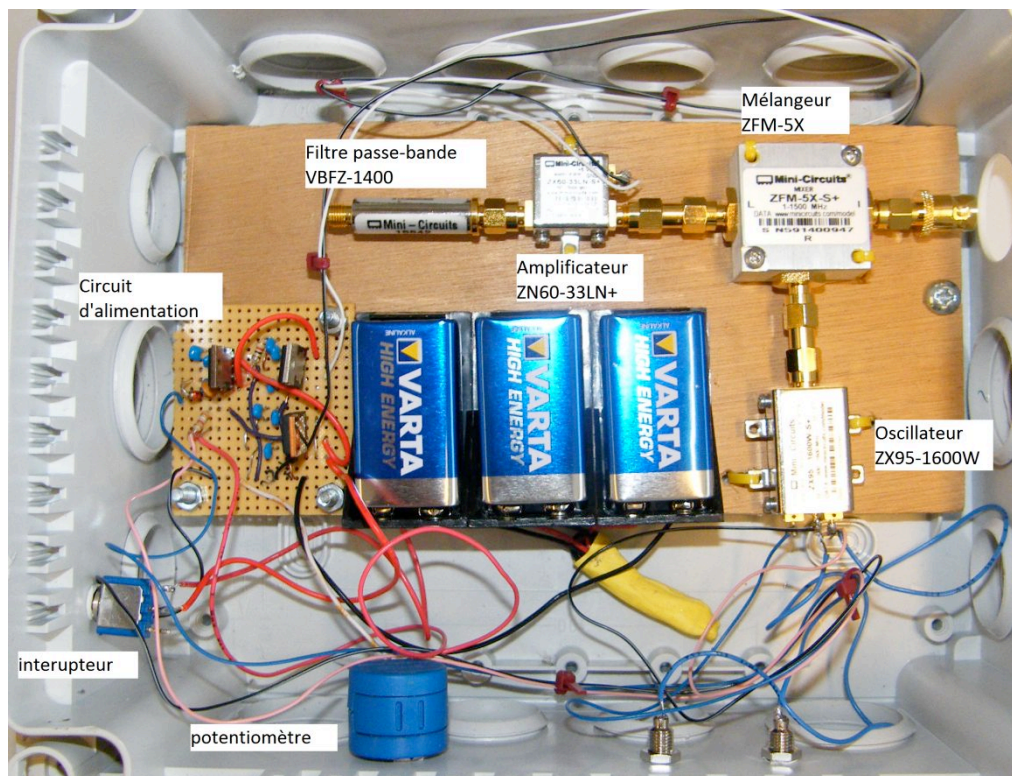
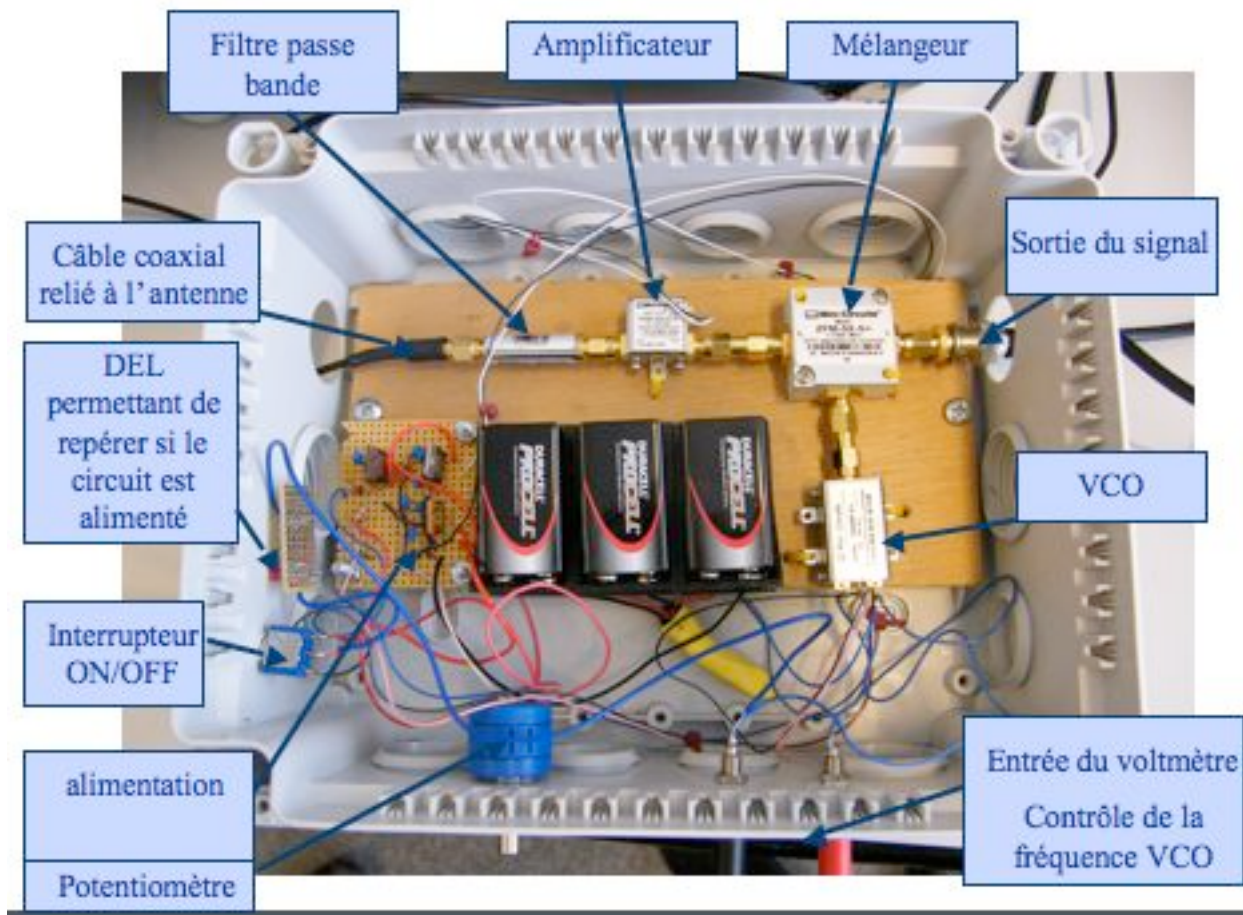
6) L'alimentation des composants

Chaque composant du circuit demande une alimentation différente: l'amplificateur doit être alimenté en 5V, et l'oscillateur en 12V. De plus, l'oscillateur a besoin en entrée d'une tension réglable, allant, pour notre fréquence, jusqu'à 18V. Nous avons donc décidé de prendre comme alimentation trois piles de 9V et de construire avec trois régulateurs de tension pour nos trois alimentations différentes. Pour l'alimentation réglable, nous avons utilisé un montage potentiométrique (voir schéma annexe 2).

Notre montage:



Notre montage:



Conclusion

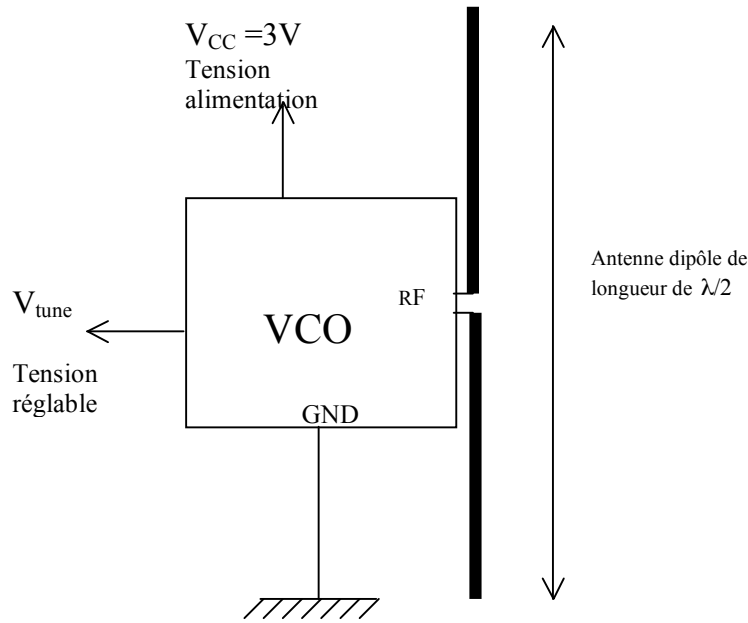
En conclusion, notre montage présente un avantage non négligeable du fait qu'il est modulable, c'est-à-dire que nous pouvons l'adapter à n'importe quelle fréquence. En effet, il nous suffit seulement de changer le filtre et le mélangeur. Le seul élément spécifique à cette fréquence de 1.4 GHz est le guide d'onde.

2) Test en laboratoire de la réception à 1,4GHz

Les sources générant un signal à la fréquence de 1,4 GHz ne sont pas courantes puisque les générateurs que l'on trouve dans notre lycée délivrent au maximum une fréquence de 2MHz. Il a donc fallu construire un émetteur afin de pouvoir tester notre montage.

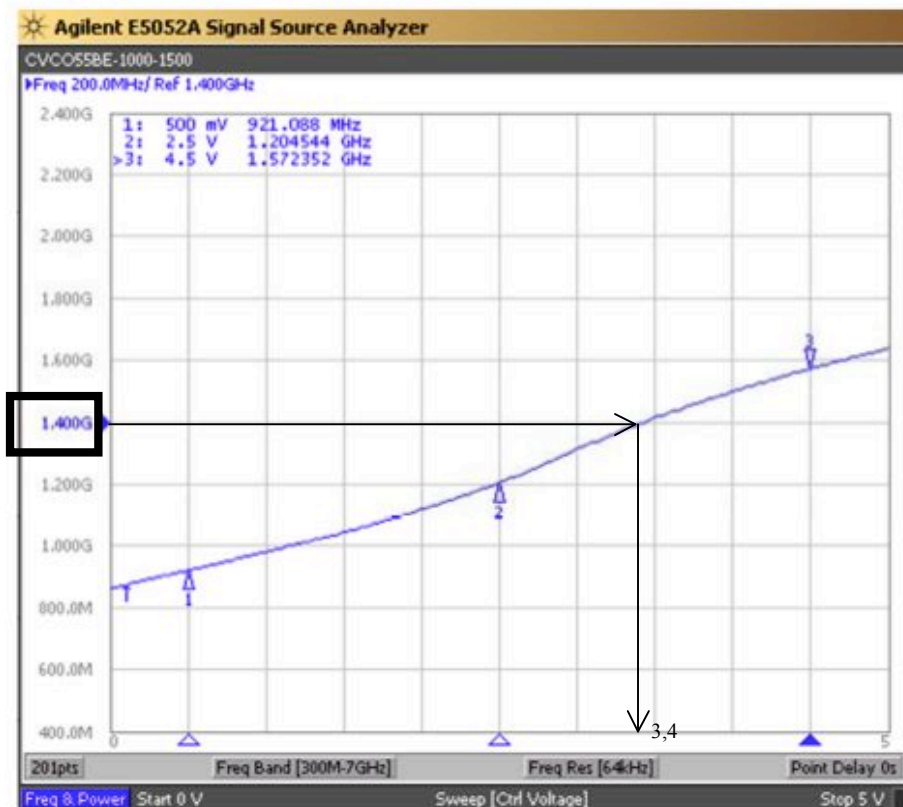
Fabrication de l'émetteur à partir d'un VCO 1GHZ -1,5GHz.

Notre choix s'est porté sur un petit VCO pour une question de coût environ (22€) et de simplicité. On a fabriqué une antenne dipolaire $\lambda/2$ puis connecté à deux alimentations 3V pour le fonctionnement et entre 0,5V et 4,5V pour la commande de la fréquence. Le schéma de fonctionnement et la photo du montage sont donnés ci-dessous.



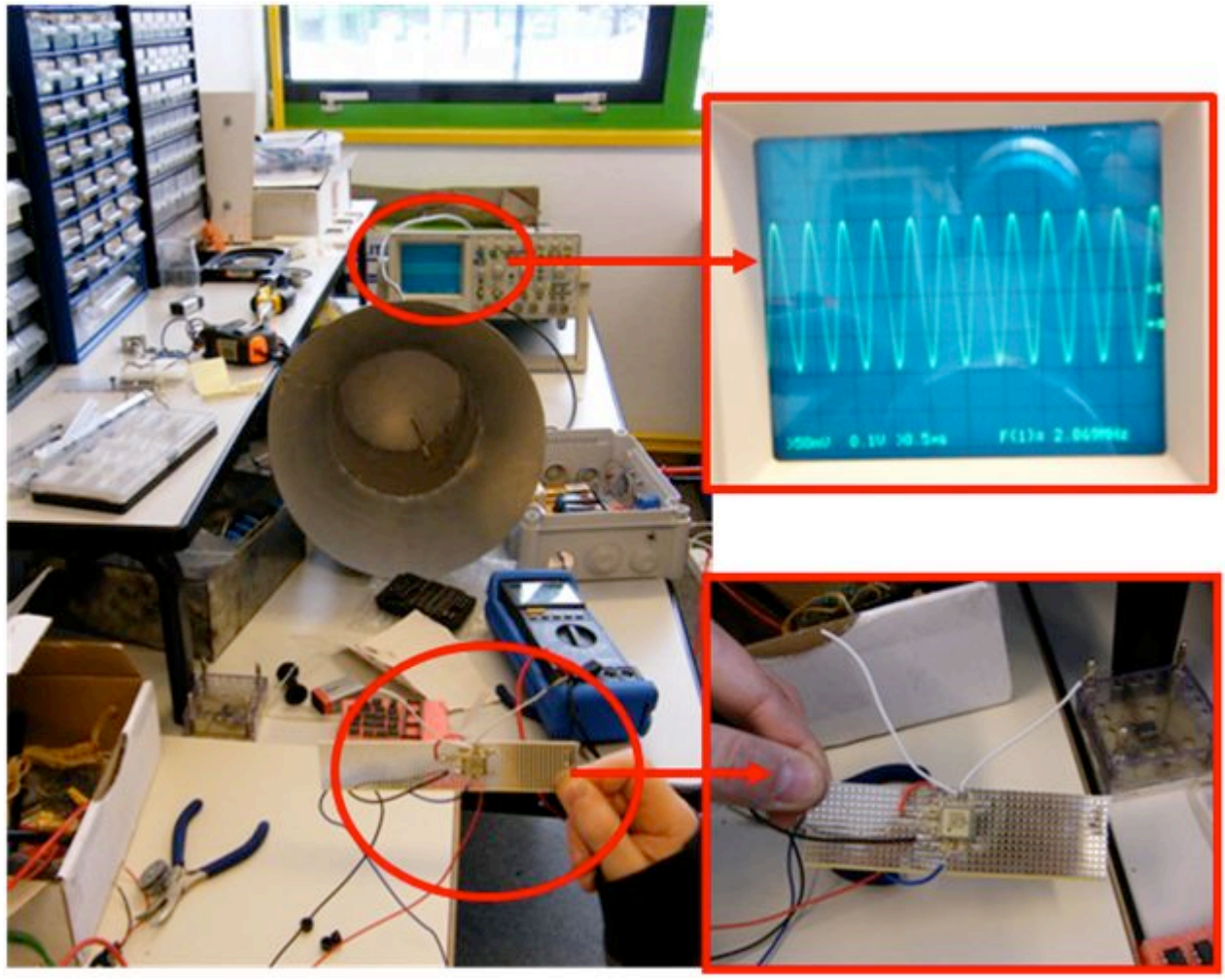
On se place en dessous de 1,40GHz, ce qui est très proche de la raie 21cm de l'hydrogène (1,420GHz), mais pour des raisons d'interdiction d'émission à cette fréquence nous ne l'utilisons pas.

Tuning Curve (Typical)



En utilisant la courbe constructeur du VCO, $\text{Fréquence} = f(\text{tension})$, on voit que l'on fixe la tension inférieure 3,4V.

Les résultats obtenus sont très concluants, et ont permis de mettre en évidence la qualité de notre électronique. En effet, malgré la faiblesse du signal émis par le VCO celui-ci a bien été reçu par notre antenne et de manière très visible.



B) Mesures en condition réelles

Notre montage est aujourd'hui fin prêt et les premières mesures en condition réelles ont déjà eu lieu. Cependant, la raie 21cm de l'hydrogène a une faible intensité, d'où les problèmes rencontrés pour la capter. Nous savons néanmoins grâce aux tests réalisés que l'électronique de notre montage fonctionne, nous espérons donc obtenir des résultats concluants d'ici quelques temps.



IV) Conclusion

Nous nous sommes rendus compte en travaillant sur ce sujet que celui-ci était ardu : comprendre le phénomène physique lié à l'émission de cette raie, élaborer une électronique à des fréquences élevées, fabriquer un guide d'onde et une antenne géodésique.

Le choix du sujet, bien que complexe, nous a fait découvrir un monde à part, qui nous suscite encore aujourd'hui beaucoup d'intérêt. En effet, malgré que le sujet a abouti, nous souhaiterions améliorer l'acquisition et les possibilités de la réception qui s'ouvre à nous, le montage étant modulable. Ces recherches ont été très enrichissantes, et nous ont permis de faire des rencontres, d'acquérir des connaissances par nos expériences.

V) Remerciements & Bibliographie

Bibliographie

Nos recherches documentaires découlent de plusieurs supports :

➤ Des sites internet

<http://www.astrosurf.com>
<http://www.astronomes.com>
<http://www.radio-astronomie.com/francais.htm>
<http://www.saunalahti.fi/elepal/antenna2.html>
<http://ephemeriden.com>
<http://www.techno-science.net>
<http://www.e-scio.net>
<http://www.futura-sciences.com>
<http://www.commentcamarche.net>
<http://setiathome.free.fr>
<http://www.dil.univ-mrs.fr>

➤ Des PDF trouvés sur internet :

http://www.cesr.fr/~pvb/instrumentation_files/7_M2_radio.pdf
http://pagesperso-orange.fr/flahn/pages_radioastro/Images_Docs/RADIOASTRONOMIE.pdf
http://www.rfcafe.com/references/articles/wj-tech-notes/Mixers_in_systems_part2.pdf

➤ Des magazines

Science&Vie (septembre 2008)

➤ Des encyclopédies

Encarta 2002 (encyclopédie informatique)
Universalis 9 (encyclopédie informatique)

➤ Des livres

Livre de physique-chimie terminale S (spécialité)

Composants

➤ Provenance :

www.minicircuit.com

➤ Référence : Filtre Passe-bande : VBFZ-1400+

Mélangeur : ZFM-5X+
Amplificateur : ZX60-33LN+
Oscillateur (VCO): ZX95-1600W-S+

Remerciements

Nous aimerions remercier les personnes qui nous ont soutenu et ont apporté leur aide à l'élaboration de notre projet.

Tout d'abord M. Bottos, notre professeur, qui nous a guidé dans nos choix et pour son aide précieuse ainsi que ses encouragements durant cette année et demi.

Les deux préparateurs de notre lycée, M. Wielenta et M. Trime pour leur disponibilité et pour nous avoir fourni le matériel nécessaire.

M.BORCART qui a réalisé le support de notre parabole et nous a donné de multiples conseils sur la réalisation de la parabole.

M. Chassin de Kergommeaux pour nous avoir fabriqué deux guides d'ondes sur mesure.

Le lycée Charles Baudelaire de Cran Gevrier, qui nous a laissé toute liberté et créé ainsi des conditions de travail essentielles au bon déroulement de notre projet.

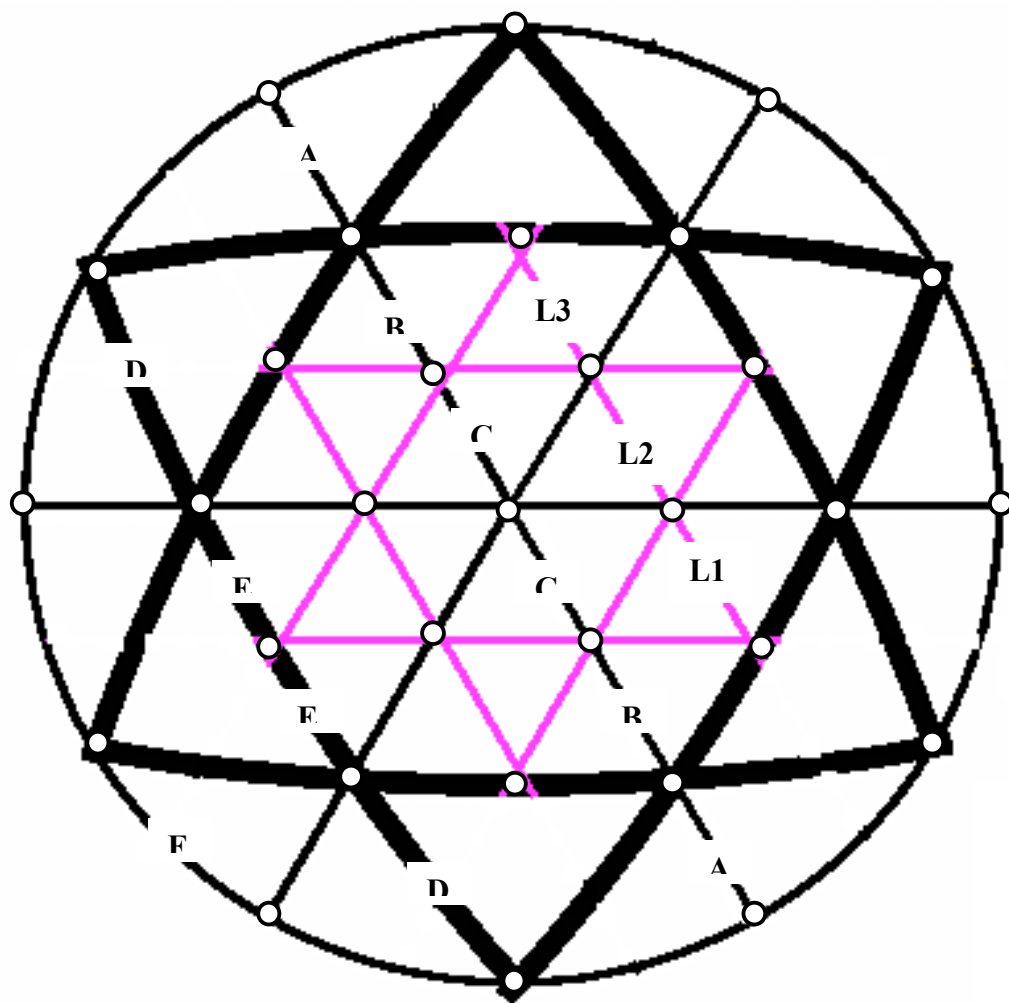
Le lycée technique Louis Lachenal d'Argonay et à M.Demeure professeur en BTS électronique qui a mis à notre disposition un analyseur de spectre pour réaliser nos premières mesures.

Ainsi que les organisateurs et les sponsors du concours des Olympiades pour nous avoir permis de participer à cette expérience enrichissante.

Annexes :

annexe 1: la fabrication de notre parabole:

parabole de 1,8m de diamètre et f/d de 0.35 :



Longueurs entre
trous de perçages
lattes à plat :

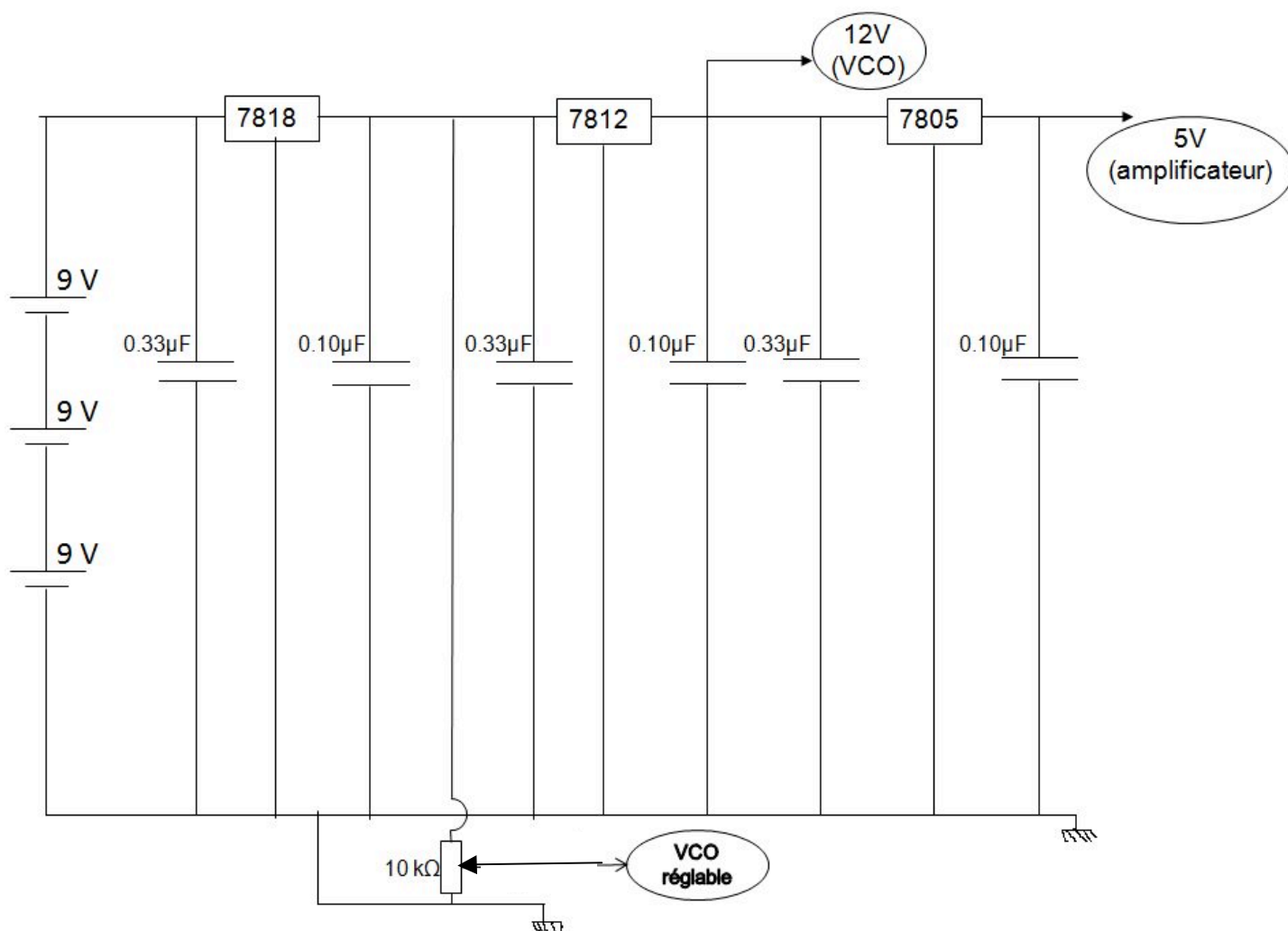
A (mm)	342
B (mm)	294
C (mm)	328
D (mm)	515
E (mm)	305
F (mm)	467

Sous-maillage
(violet) :

L1 = 312 mm
L2 = 329 mm
L3 = 312 mm



Annexe 2:schéma du montage potentiométrique:



- Le filtre passe-bande

Coaxial

Bandpass Filter

50Ω 1350 to 1450 MHz

Maximum Ratings

Operating Temperature -55°C to 100°C

Storage Temperature -55°C to 100°C

RF Power Input* 7W at 25°C

*Passband rating, derate linearly to 3W at 100°C ambient.

Features

- Good Rejection, 30dB up to 6600GHz
- Low insertion loss
- Excellent power handling, 7W
- Temperature stable LTCC internal structure
- Rugged stainless steel unibody
- Protected by US Patent 6,943,646

Applications

- Harmonic rejection
- Transmitters/receivers
- Lab use
- Test instrumentation

VBZF-1400+



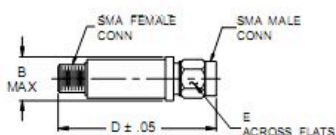
CASE STYLE: FF1145

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	VBZF-1400-S+	\$39.95 ea.	(1-9)

+ RoHS compliant in accordance with EU Directive (2002/95/EC)

The + Suffix has been added in order to identify RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

Outline Drawing



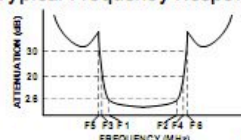
Outline Dimensions (inch mm)

B	D	E	wt.
.410	1.91	.312	grams
10.41	48.51	7.92	11.8

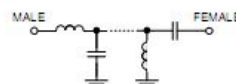
Bandpass Filter Electrical Specifications (T_{AMB} = 25°C)

CENTER FREQ. (MHz)	PASSBAND (MHz) (Loss < 2.6dB)	STOPBANDS (MHz)				VSWR (:1)		
		(Loss > 20dB)		(Loss 30dB Typ)		Passband		Stopband
Fc	F1 - F2	F3	F4	F5	F6	Typ.	Max.	Typ.
1400	1350 - 1450	890	1965	870	1965 - 6600	1.6	2.3	20

Typical Frequency Response

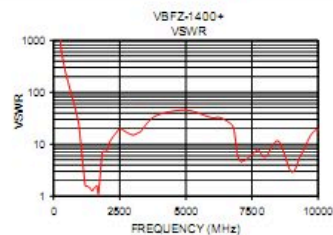
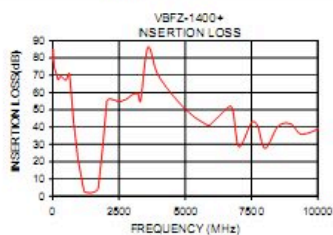


Functional Schematic



Typical Performance Data at 25°C

Frequency (MHz)	Insertion Loss (dB)	VSWR (:1)
10	86.42	12105.11
250	68.43	729.08
870	31.80	39.48
890	29.20	35.32
990	17.27	17.76
1065	9.43	7.43
1132	4.55	2.89
1350	2.05	1.54
1400	1.97	1.38
1450	1.97	1.27
1690	3.82	1.11
1755	8.63	3.09
1812	16.96	6.22
1900	30.79	7.30
1940	37.12	7.18
1965	41.68	7.18
3000	58.86	15.09
5000	50.16	45.80
6600	53.10	26.65
10000	38.71	18.90



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4861 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site



The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS At: www.minicircuits.com

IF/RF MICROWAVE COMPONENTS

minicircuits.com

REV. A
M117530
EDR-8447U
VBZF-1400-
USURAV
080610
Page 1 of 1

- L'amplificateur

Coaxial

Low Noise Amplifier

ZX60-33LN+

50Ω

50 to 3000 MHz

Features

- wide bandwidth, 50 to 3000 MHz
- low noise figure 1.1 dB typ.
- output power, up to 17.5 dBm typ.
- protected by US patent 6,790,049

Applications

- front-end amplifier
- cellular
- GPS
- bluetooth
- lab
- instrumentation
- test equipment



Case Style: GC957

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZX60-33LN-S+	\$79.95 ea.	(1-9)

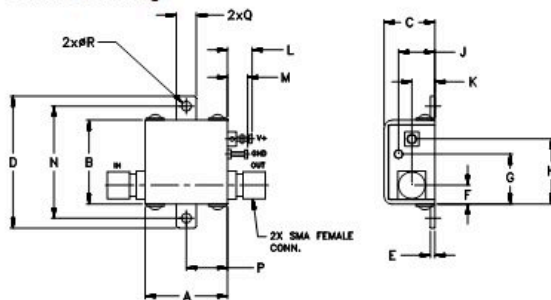
+ RoHS compliant in accordance with EU Directive (2002/95/EC)

The "+" suffix has been added in order to identify RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

Electrical Specifications at 25°C

Parameter	Condition	Min	Typ.	Max.	Units
Frequency		50		3000	MHz
Noise Figure			1.1	1.9	dB
Gain	100 MHz 1000 MHz 2000 MHz 3000 MHz	13	21.9 18.8 14.5 11.9		dB
Gain Flatness			—		dB
Output Power at 1dB compression		14.5	16.5		dBm
Output third order intercept point			+32		dBm
Input VSWR			2.0		:1
Output VSWR			1.6		:1
Active Directivity			—		dB
DC Supply Voltage			5	5.5	V
Supply Current			70	80	mA

Outline Drawing



Maximum Ratings

Parameter	Ratings
Operating Temperature	-40°C to 85°C Case
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Input RF Power (no damage)	+13 dBm
Power Dissipation	0.44W

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Outline Dimensions (inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	W
.74	.75	.46	1.18	.04	.17	.45	.59	.33	.21	.22	.18	1.00	.37	.18	1.06	grams
18.80	19.05	11.68	29.97	1.02	4.32	11.43	14.90	8.38	5.33	5.59	4.57	25.40	9.40	4.57	2.60	23.0

Mini-Circuits®
ISO 9001:2001 ISO 14001:2001 AS 9100 CERTIFIED

P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 934-4551 The Design Engineers Search Engine

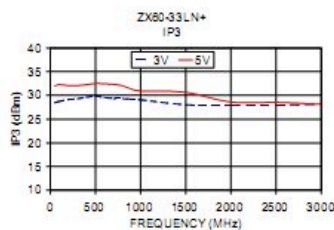
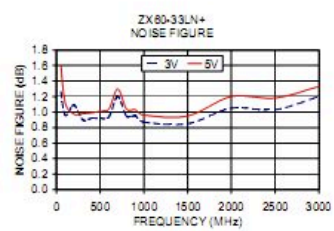
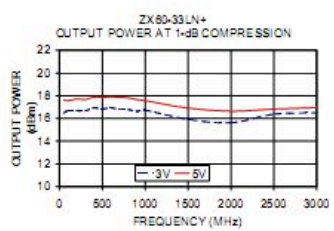
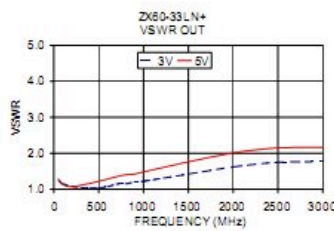
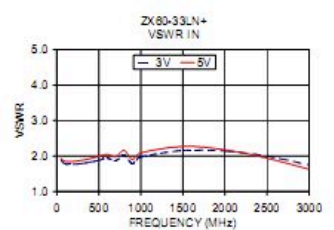
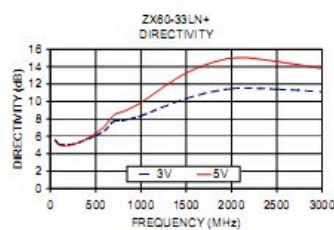
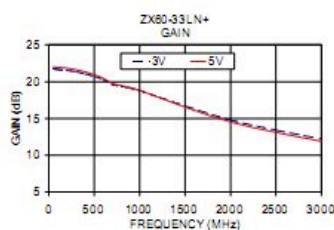
For detailed performance specs & ordering online see web site www.minicircuits.com

RF/MICROWAVE COMPONENTS

Notes: 1. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification sheet are intended to be excluded and do not form a part of this specification sheet. 2. Electronic specifications and performance data contained herein are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions. 3. The parts covered by this specification sheet are subject to Mini-Circuits standard limited warranty and terms and conditions (see website, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms, visit the website www.minicircuits.com under the heading "Standard Terms".

REV. A
M116667
ZX60-33LN+
E2-12875/2
MM/CPIAM
000819
Page 1 of 2

FREQUENCY (MHz)	GAIN (dB)		DIRECTIVITY (dB)		VSWR IN (:1)		VSWR OUT (:1)		NOISE FIGURE (dB)		POUT at 1dB COMPR. (dBm)		IP3 (dBm)	
	3V	5V	3V	5V	3V	5V	3V	5V	3V	5V	3V	5V	3V	5V
50.00	21.75	21.99	5.80	5.48	1.89	1.93	1.28	1.27	1.28	1.80	16.47	17.83	28.47	31.95
100.00	21.65	21.94	5.12	4.98	1.78	1.85	1.15	1.12	0.98	1.11	16.67	17.55	28.75	32.29
200.00	21.54	21.84	5.05	4.95	1.77	1.85	1.08	1.07	1.09	0.97	16.68	17.71	29.11	32.08
300.00	21.34	21.63	5.24	5.24	1.79	1.88	1.05	1.11	0.90	0.98	16.66	17.66	29.31	32.09
400.00	21.08	21.32	5.64	5.74	1.83	1.93	1.03	1.16	0.92	0.99	16.93	17.86	29.63	32.27
500.00	20.71	20.94	6.09	6.37	1.88	1.99	1.04	1.22	0.92	1.01	16.83	17.87	29.86	32.51
600.00	20.38	20.47	6.67	7.17	1.94	2.05	1.07	1.28	0.94	1.04	16.94	17.89	29.59	32.48
700.00	19.81	19.78	7.73	8.45	1.87	1.98	1.14	1.35	1.20	1.30	16.80	17.87	29.35	32.33
800.00	19.37	19.46	7.82	8.83	2.03	2.18	1.15	1.40	0.95	1.04	16.79	17.80	29.32	32.03
900.00	19.11	19.19	8.08	9.32	1.78	1.90	1.20	1.42	0.95	1.03	16.81	17.86	29.23	31.29
1000.00	18.80	18.82	8.35	9.88	1.97	2.09	1.22	1.48	0.87	0.96	16.72	17.58	29.10	30.95
1500.00	18.71	18.54	10.35	13.28	2.16	2.27	1.42	1.78	0.85	0.95	15.92	16.91	28.04	30.66
2000.00	14.79	14.51	11.49	14.99	2.14	2.18	1.82	2.01	1.05	1.20	15.62	16.63	27.99	28.58
2500.00	13.42	13.11	11.42	14.80	2.00	1.94	1.75	2.15	1.03	1.18	16.37	16.83	27.92	28.55
3000.00	12.22	11.90	11.12	13.78	1.75	1.63	1.76	2.17	1.20	1.33	16.50	16.95	28.16	28.14



Mini-Circuits®

ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0066 Tel: (718) 338-4400 Fax: (718) 338-4461 The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly at minicircuits.com

IRF MICROWAVE COMPONENTS

Notes: 1. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification sheet are intended to be excluded and do not form part of this specification sheet. 2. Electrical specifications and performance data contained herein are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions. 3. The parts covered by this specification sheet are subject to Mini-Circuits' standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms, see the Standard Terms and Conditions located at minicircuits.com or contact Sales at (718) 338-4400.

For detailed performance specs & ordering online see web site

- Le mélangeur

Coaxial Frequency Mixer

Level 7 (LO Power +7 dBm) 1 to 1500 MHz

Maximum Ratings

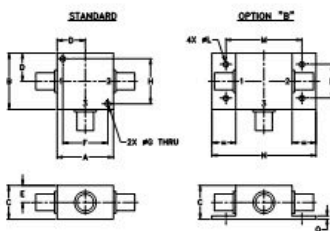
Operating Temperature	-55°C to 100°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
RF Power	50mW
IF Current	40mA

Remanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Coaxial Connections

LO	1
RF	3
IF	2

Outline Drawing



Outline Dimensions (inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H
1.25	1.25	.75	.63	.38	1.00	1.25	1.000
31.75	31.75	19.05	16.00	9.65	25.40	31.75	25.40

J	K	L	M	N	P	Q	Wt
..	..	1.25	1.588	2.18	.75	.07	grams
..	..	3.18	42.88	55.37	19.05	1.78	70.0

Features

- low conversion loss, 5.9 dB typ.
- high L-R isolation, 40 dB typ, L-I, 45 dB typ.
- wideband, 1 to 1500 MHz
- rugged shielded case

Applications

- VHF/UHF
- cellular
- satellite distribution
- instrumentation

ZFM-5X+ ZFM-5X



SMA version shown
CASE STYLE: K18

Connectors	Model	Price	Qty.
BNC	ZFM-5X(+)	\$59.95 ea.	(1-9)
SMA	ZFM-5X-S(+)	\$64.95 ea.	(1-9)
BRACKET (OPTION "B")		\$2.50	(1+)

+ RoHS compliant in accordance
with EU Directive (2002/95/EC)

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for
RoHS Compliance methodologies and qualifications.

Electrical Specifications

FREQUENCY (MHz)		CONVERSION LOSS (dB)				LO-RF ISOLATION (dB)				LO-IF ISOLATION (dB)							
LO/RF	IF	Mid-Band		Total		L		M		L		M		U			
f _L , f _U	f _m	Typ	Min	Max	Range	Typ	Min	Typ	Min	Typ	Min	Typ	Min	Typ	Min		
1-1500	1-1000	5.9	0.10	7.0	9.0	6.0	4.0	4.0	2.0	28	17	6.0	4.5	4.5	2.5	38	2.0

1 dB COMP: +1 dBm typ.

L = low range [f_L to 10 [f_m]]
M = mid range [10 [f_m] to f_U/2]
U = upper range [f_U/2 to f_U]

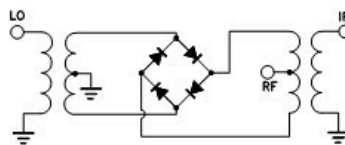
1 dB COMP. +1 dBm typ.

L = low range [f_L to 10 f_L]
m = mid band [2 f_m to f_U/2]
M = midrange [10 f_L to f_U/2]
U = upper range [f_U/2 to f_U]

Typical Performance Data

Frequency (MHz)		Conversion Loss (dB)	Isolation L-R (dB)	Isolation L-I (dB)	VSWR RF Port (:1)	VSWR LO Port (:1)
RF	LO	LO +7dBm	LO +7dBm	LO +7dBm	LO +7dBm	LO +7dBm
1.01	31.01	5.81	76.49	72.03	1.25	2.94
2.13	32.13	5.83	74.70	73.03	1.25	2.78
10.96	40.96	5.80	63.50	69.26	1.26	2.54
58.80	88.50	5.80	50.82	51.44	1.28	2.46
160.38	130.38	5.88	43.16	54.90	1.37	2.37
216.07	186.07	5.81	40.68	53.11	1.43	2.38
250.80	220.80	5.85	39.60	53.11	1.48	2.36
337.90	307.90	5.93	36.86	51.90	1.58	2.37
455.25	425.25	6.15	33.77	50.56	1.70	2.44
528.42	498.42	6.01	31.68	49.21	1.75	2.45
613.35	583.35	6.23	30.05	50.49	1.78	2.49
750.00	720.00	6.34	27.83	48.82	1.78	2.64
826.36	796.36	6.30	26.21	49.29	1.75	2.69
900.00	870.00	6.20	25.22	49.14	1.69	2.79
1000.00	970.00	6.43	24.31	49.77	1.59	2.85
1200.00	1170.00	6.37	24.48	44.45	1.40	2.84
1292.29	1262.29	6.29	24.10	42.55	1.34	3.11
1400.00	1370.00	6.43	24.34	41.19	1.31	3.52
1450.00	1420.00	6.56	24.29	40.04	1.32	3.68
1500.00	1470.00	6.77	25.14	40.04	1.38	3.90

Electrical Schematic



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4881 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site
The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS At: www.minicircuits.com

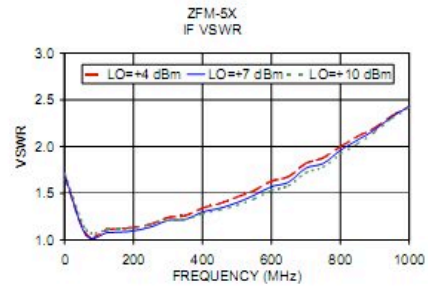
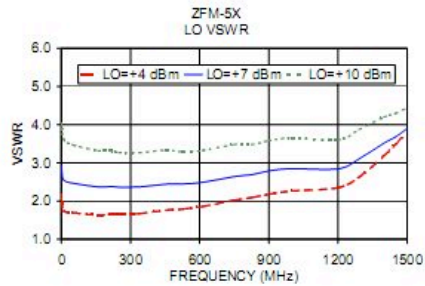
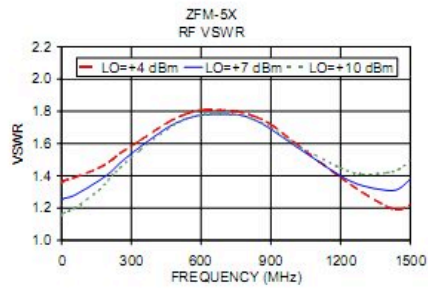
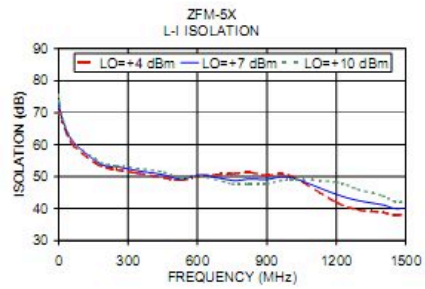
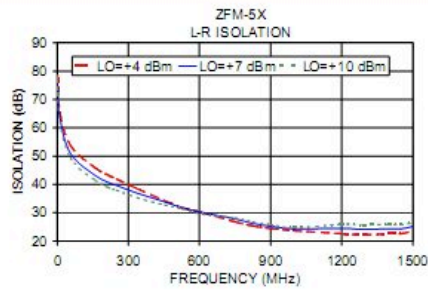
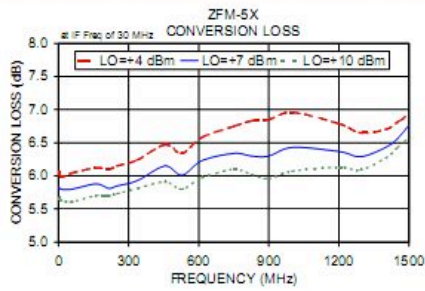
IF/RF MICROWAVE COMPONENTS

minicircuits.com

REV. A
M08808
ZFM-5X
01/10/08
080210
Page 1 of 2

Performance Charts

ZFM-5X+ ZFM-5X



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

P.O. Box 350188, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4861 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site
The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS At: www.minicircuits.com

IF/RF MICROWAVE COMPONENTS

minicircuits.com

Page 2 of 2

- L'oscillateur

Coaxial

Voltage Controlled Oscillator

Linear Tuning 800 to 1600 MHz

ZX95-1600W+
ZX95-1600W



Features

- Wide bandwidth
- High power output, +9dBm typ.
- Low phase noise
- Low pushing
- Protected by US Patent 6,790,049

Applications

- R&D
- Lab
- Instrumentation
- Test equipment

CASE STYLE: GB956

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZX95-1600W-S+	\$44.95 ea.	(1-9)
SMA	ZX95-1600W-S	\$44.95 ea.	(1-9)

+ RoHS compliant in accordance with EU Directive (2002/95/EC)

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

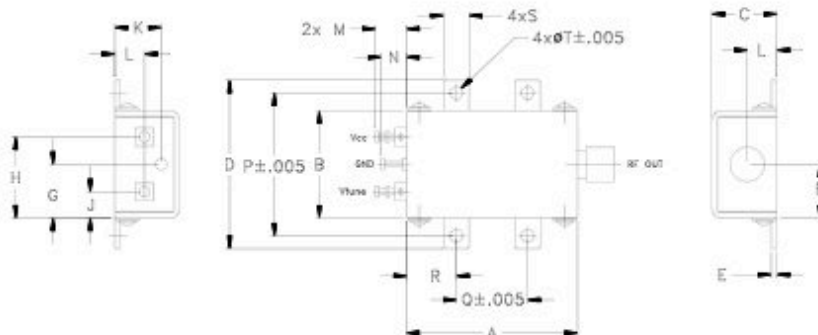
Electrical Specifications

MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE dBc/Hz SSB at offset frequencies,kHz Typ.				TUNING					NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)	HARMONICS (dBc)		PULLING pk-pk @ 12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER Vcc (volts) Current (mA)		
								VOLTAGE RANGE (V)	SENSI- TIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)	3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)									
Min.	Max.	Typ.	1	10	100	1000	Min.	Max.	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Max.	Typ.	Typ.					
ZX95-1600W(+)	800	1600	+9	-72	-99	-122	-143	0.5	24	35	58	210	90	-90	-22	-15	10	0.3	11.5	35

Maximum Ratings

Operating Temperature -55°C to 85°C
Storage Temperature -55°C to 100°C
Absolute Max. Supply Voltage (Vcc) 12V
Absolute Max. Tuning Voltage (Vtune) 24V
All specifications 50 ohm system
Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Outline Drawing



Outline Dimensions (inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	WT.
1.20	.75	.46	1.18	.04	.38	.45	.57	.15	.33	.21	.22	.18	1.00	.50	.35	.18	.105	GRAM
30.48	19.05	11.68	29.97	1.02	9.65	11.43	14.48	4.57	8.38	5.33	5.59	4.57	25.40	12.70	8.89	4.57	2.69	35.0

Mini-Circuits®

ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 352-4851 The Design Engineers Search Engine

Provides ACTUAL Data Instantly at minicircuits.com

RF/MICROWAVE COMPONENTS

Notes: 1. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification sheet are intended to be excluded and do not form a part of this specification sheet. 2. Electrical specifications and performance data contained herein are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions. 3. The parts covered by this specification sheet are subject to Mini-Circuits' standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/WC_StandardTerms.jsp.

For detailed performance specs & shipping online see web site

REV. A
M0888
ED:R 730710
ZX95-1600W
R000000
000000
page 1 of 2