

Département  
STPI 2

## Projet de P6-3 **Réalisation d'un récepteur radio**

BAUDUIN Cynthia, DAVID Louise, LE GUEN Jérémie, PARENT Pierre, QUESNEL  
Valentin, VANDENBERGHE Aurélie



**Date de remise du rapport :** 22/06/2009

**Intitulé du projet :** Réalisation d'un récepteur radio.

**Référence du projet :** STPI/P6-3/2009/034

**Type de projet :** Expérimental

**Objectif du projet :**

Le sujet original était émetteur/récepteur radio, nous avons décidé de le modifier pour le rendre plus concret. Ainsi, notre objectif principal était de faire bouger à distance un mobile en réalisant une «télécommande » qui active un moteur par ondes radio. Nous avons donc du réaliser un montage émetteur, qui correspond à la télécommande, et un montage récepteur, sur le mobile.

**Remerciements :**

Nous tenons tout d'abord à remercier M. MONTIER, pour son aide et son soutien tout au long de notre projet.

Merci aussi à M. CLEVERS pour son aide à trouver le matériel dont nous avons besoin.

Nous voulons aussi remercier le technicien de l'INSA pour nous avoir fait nos circuits imprimés, ainsi que pour le prêt de sa perceuse.

Enfin, nous tenons à remercier les différentes personnes qui nous ont aidé dans la réalisation de notre projet, qu'elles soient "virtuelles" (forum), ou réelles (connaissances, différents professeurs).

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
1.1	Contexte du travail . . . . .	3
1.2	Présentation générale du projet . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Méthodologie, organisation du travail</b>	<b>4</b>
2.1	Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Conception des différents montages et problèmes rencontrés</b>	<b>5</b>
3.1	Le montage émetteur . . . . .	5
3.2	Le montage récepteur . . . . .	6
3.3	Le mobile . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Analyse et fonctionnement des outils utilisés</b>	<b>11</b>
4.1	Les ondes/Les antennes . . . . .	11
4.1.1	Les ondes électromagnétiques . . . . .	11
4.1.2	Application à un radio émetteur : les ondes radio électriques . . . . .	11
4.2	Transistors . . . . .	14
4.3	Emetteur . . . . .	16
4.4	Récepteur . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Bilan</b>	<b>20</b>
5.1	Difficultés rencontrées . . . . .	20
5.2	Réussites . . . . .	20
5.3	Extension possible au sujet . . . . .	20

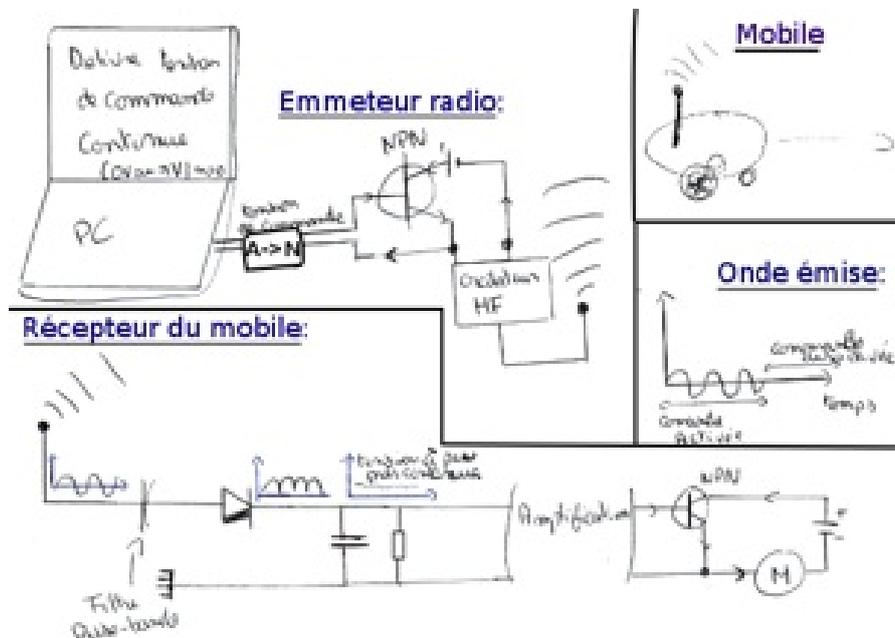
# 1 Introduction

## 1.1 Contexte du travail

Dans le cadre de notre formation d'ingénieur INSA, il nous est demandé en 2ème année de 1er cycle de réaliser un projet de physique par petits groupes d'étudiants variant de cinq à six personnes. Ces projets sont soit choisis parmi une liste proposée par les professeurs de l'INSA, soit imaginés par les groupes d'étudiants, et validés par les professeurs. Nous avons choisi de partir d'un sujet proposé et de le modifier un peu. Ainsi, nous étions déjà un groupe de cinq étudiants, se connaissant déjà plus ou moins bien, désirant travailler ensemble. Nous avons donc soumis notre idée de projet à M.YON qui l'a acceptée. Comme nous n'étions que cinq, et qu'il nous semblait mieux d'être six, nous avons cherché, et trouvé une sixième personne qui s'est donc ajoutée à notre groupe. C'est donc ainsi que nous nous sommes retrouvés à travailler sur ce sujet de mobile télécommandé par ondes radio.

## 1.2 Présentation générale du projet

Avant de nous lancer dans ce projet nous avons réfléchi et fait quelques recherches afin de voir ce qui pouvait être réalisable. Nous avons alors eu l'idée de radio-commander un mobile. Nous avons dès lors fait un premier jet de schémas qui devait nous servir de ligne directrice.



Nous nous y sommes plus ou moins tenu. Cependant quelques changements de programme ont été effectués de fait des aléas du projet. Nous avons par exemple abandonné l'idée du contrôle par un ordinateur qui n'avait au final que peu d'intérêt.

Le projet consiste selon notre schéma en la réalisation d'un émetteur et d'un récepteur radio qui amèneront à la radio-commande.

Le principe général de fonctionnement est le suivant. Nous commandons un moteur en tout ou rien : Si nous émettons une commande grâce à l'émetteur le moteur tourne, si nous ne l'émettons pas il reste immobile. L'émetteur doit être constitué d'un oscillateur Hf et émettre une onde sinusoïdale Hf. Le récepteur doit être capable d'analyser le signal qu'il reçoit de l'antenne et, s'il reçoit le signal de commande (à la bonne fréquence), laisser tourner le moteur.

C'est sur ces bases que, plein de rêves, de fougue et de naïveté, nous nous lançons dans l'aventure de la radio-commande.

## 2 Méthodologie, organisation du travail

### 2.1 Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail

Nous sommes un groupe de six étudiants, ce qui est un nombre relativement important. Ainsi, pour être les plus efficaces possible, nous nous sommes répartis les tâches. Nous avons beaucoup travaillé en binôme, que ce soit pour les circuits, les recherches ou même le dossier. Cependant, ces binômes ne sont pas restés fixes tout au long du projet, afin de tous travailler les uns avec les autres, ce qui nous a permis d'apprendre à nous connaître, et à travailler avec des personnes différentes. De plus, nous voulions satisfaire tout le monde, et donc changer les groupes en fonction du travail à effectuer.

La plupart du temps, nous avons un objectif de séance, qui avait été établi pendant la séance précédente, ou dans la semaine avant le créneau, afin de savoir exactement ce que nous devons faire.

Il nous est parfois arrivé de ne pas réussir à atteindre notre objectif de séance, dans ce cas, nous essayions de revenir pendant un autre créneau libre, dans la semaine. Cependant, à cause de nos emplois du temps différents, il ne fut pas toujours évident de se retrouver tous ensemble en dehors de notre horaire habituel. C'est pourquoi il est parfois arrivé que seuls deux ou trois membres du groupe avancent le projet sur un créneau différent.

Nous avons rencontré quelques problèmes d'organisation à cause des grèves, des problèmes de commandes de composants, que nous avons dû aller acheter nous-mêmes dans un magasin spécialisé à Rouen, ainsi que des problèmes pour faire les circuits imprimés, ce qui nous a parfois retardé dans notre planning, et dans notre avancement. Pour ce qui est des connaissances sur le sujet, nous avons parfois dû faire appel à des aides extérieures, sur des forums par exemple (adresses forums...) ou même à des professeurs.

### 3 Conception des différents montages et problèmes rencontrés

#### 3.1 Le montage émetteur

Liste des composants :

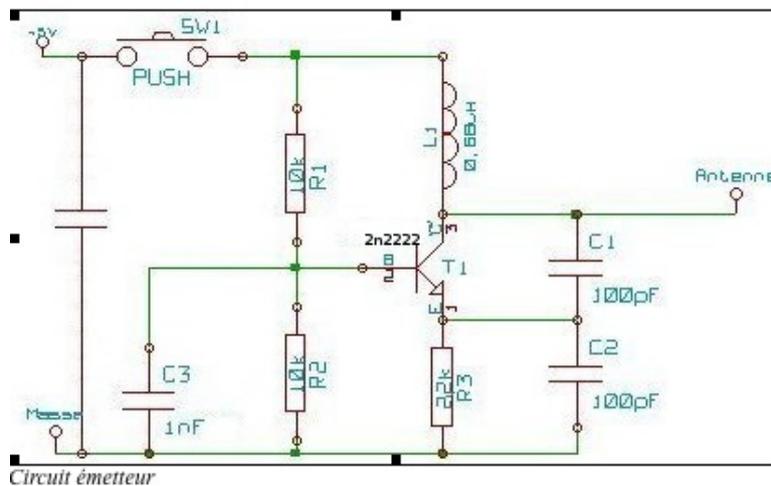
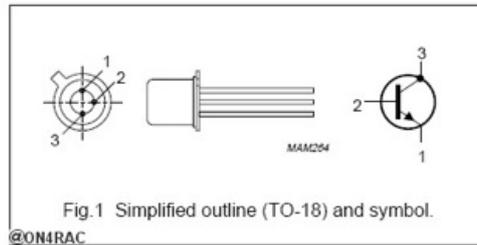
- 2 résistances de 10 k $\Omega$  R1 et R2
- 1 résistance de 150  $\Omega$  R3
- 2 condensateurs de 1 nF C3 et C4
- 2 condensateurs de 100 pF C1 C2
- 1 transistor 2n2222
- 1 bobine de 0,68  $\mu$ H
- 1 antenne
- 1 bouton poussoir normalement ouvert
- 1 plaque de circuit imprimé

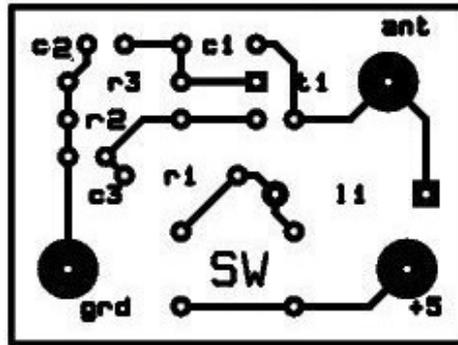
Souder les composants sur le circuit imprimé comme indiqué ci-dessous. Porter toujours un masque de protection pour éviter d'inhaler les vapeurs lors de la fonte de l'étain.

Veiller à bien installer les pattes du transistor.

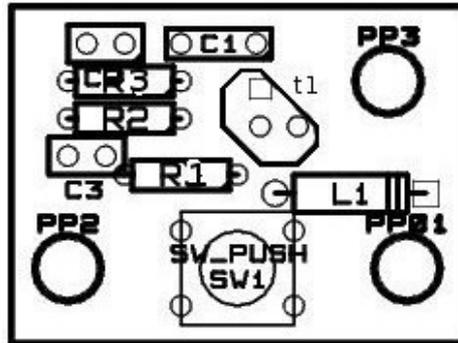
#### Fiche technique Transistor 2n2222

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case

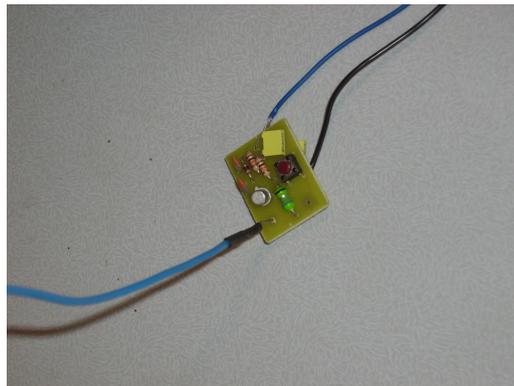




(x2)



*Typons circuit émetteur*



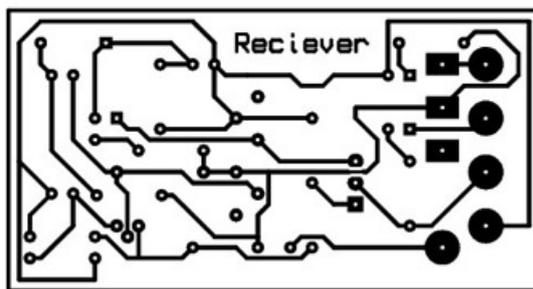
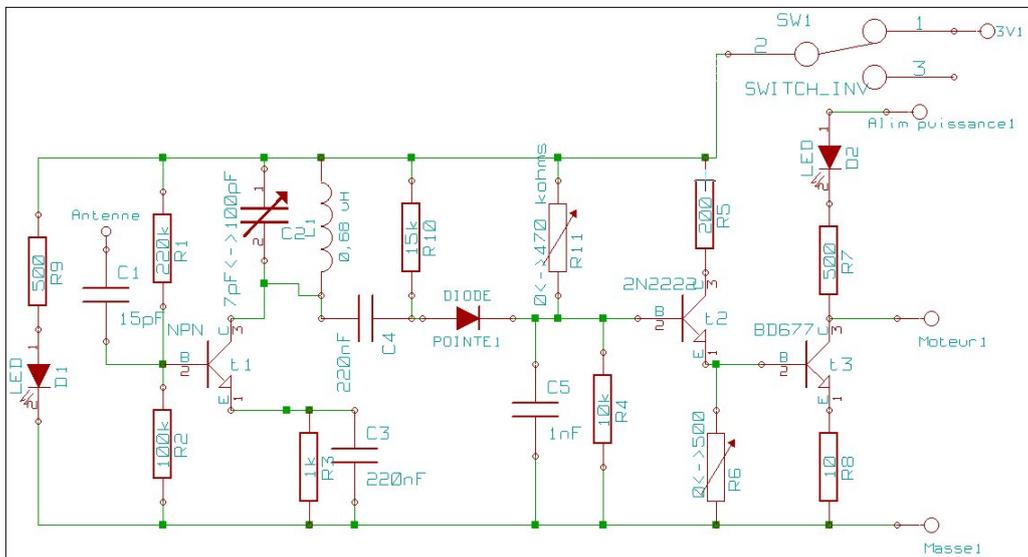
### 3.2 Le montage récepteur

Liste des composants :

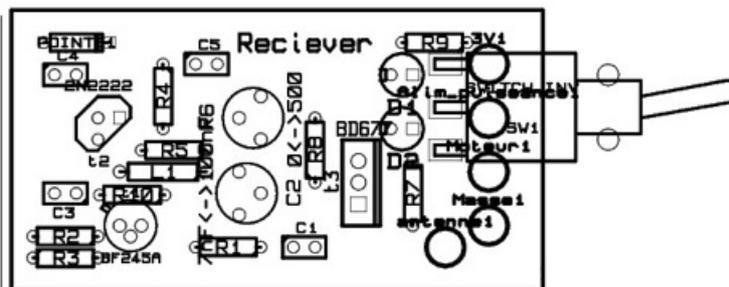
- un interrupteur
- 2 LED : LED 1 rouge et LED 2 vert
- 1 diode
- 2 résistances 500 $\Omega$  : R7 et R9
- 2 résistances de 100k $\Omega$  : R2 et R10
- 1 résistance de 220k $\Omega$  : R1
- 1 résistance de 1k $\Omega$  : R3
- 2 résistances de 10 $\Omega$  : R4 et R8
- 1 résistance de 200 $\Omega$  : R5
- 2 résistances réglables : R6 (de 0 à 500 $\Omega$ ) et R11 (de 0 à 470 k $\Omega$ )
- 1 condensateur réglable (7pF => 100pF) : C2
- 1 condensateur de 15pF : C1
- 2 condensateurs de 220nF : C3 et C4
- 1 condensateur de 1nF : C5
- 2 transistors 2n2222
- 1 transistor BD677
- 1 self (bobine) de 0,68  $\mu$ H

**Fiche technique Transistor BD677**

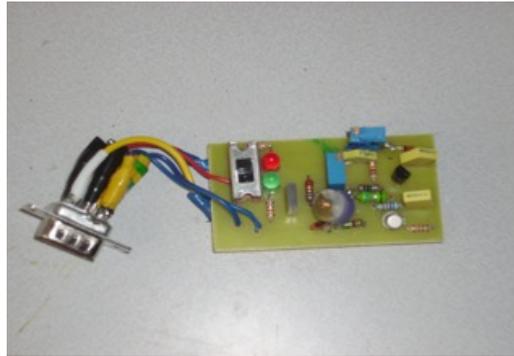
La patte numéro 1 est l'Emmitter, la numéro 2 est le collector, et la patte numéro 3 est la base.



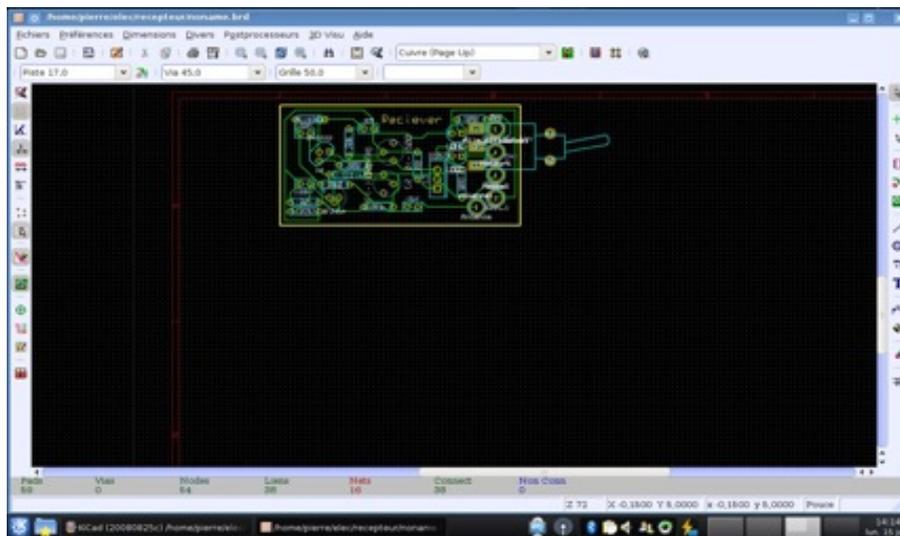
(x2)



Typons circuit récepteur



La réalisation des schémas des circuits imprimés a été faite grâce au logiciel Kicad dont voici un screenshot :

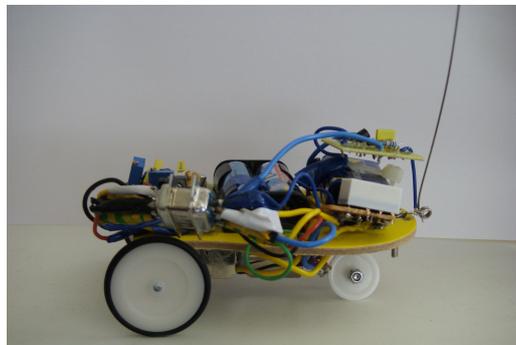
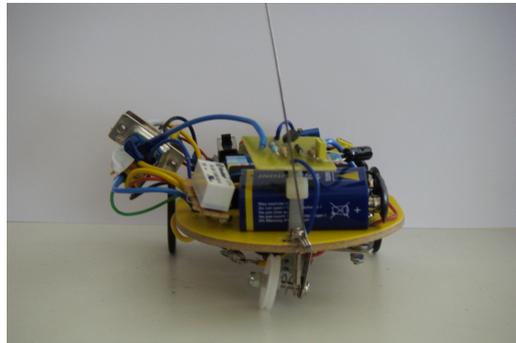
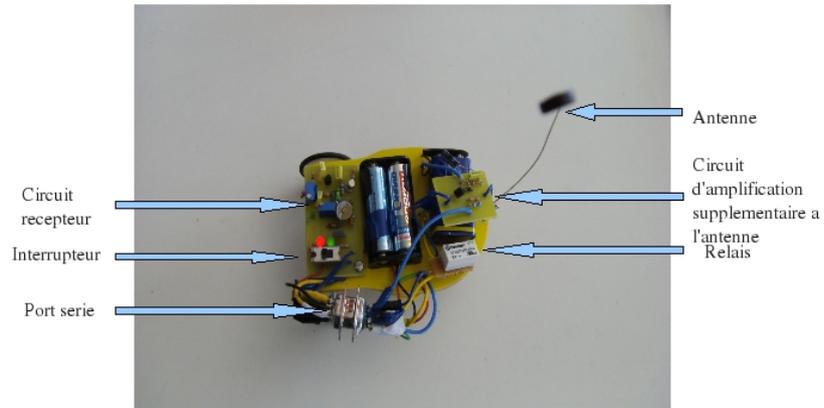


A l'aide de ce logiciel nous avons réalisé des typons que nous avons imprimés sur des feuilles transparentes et amenés au technicien de l'Insa pour qu'il nous fabrique les circuits imprimés.

### 3.3 Le mobile

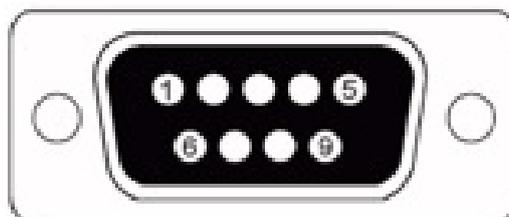
Nous avons commandé un mobile sur le catalogue CONRAD. Nous avons installé les différentes parties du récepteur branchées au moteur sur ce mobile. Puis, nous avons utilisé une pile de 9V et deux piles de 1,5V.

Voici différentes vues du mobile :



**Réglages :**

Afin de faciliter les branchements entre les différentes parties du mobile (récepteur + moteur + piles), nous utilisons un port série. Il faut bien faire attention à ce que chaque fil soit branché avec l'autre lui correspondant (il suffit de les mettre face à face sur chacune des deux parties du port série).



- Tourner la résistance réglable (R11) jusqu'à ce que la LED s'allume et la laisser a la position juste avant qu'elle s'allume.
- Régler le condensateur variable jusqu'à obtenir une meilleur réception.

On a ajouté un relais entre l'alimentation de puissance (la pile 9V) et la pile moteur servant à faire l'interface entre l'électronique et le moteur.

#### Résultats et Amplification supplémentaire à l'antenne :

Nous obtenons le résultat suivant : le mobile avance à la réception du signal envoyé par l'émetteur. Cependant, la portée n'est pas suffisante. Cette dernière est d'environ 15 cm. Pour améliorer ce problème, nous avons ajouté alors une amplification supplémentaire à l'antenne afin d'améliorer la réception. Le détail de cette amplification est expliqué dans la partie théorique.

Malheureusement, l'amplification supplémentaire à l'antenne n'a pas marché comme on le souhaitait. Cependant, nous avons essayé d'augmenter les portées de l'émetteur et du récepteur en augmentant la longueur de l'antenne. Nous avons donc obtenu une portée de 1 à 2 mètres. Nous avons obtenu ce que nous souhaitions, c'est à dire que le mobile réagissait à une bien meilleure distance.

Nous n'avons donc cependant pas eu le temps de régler ce problème.

NB : En ajoutant également une masse, nous obtenons le même résultat qu'en augmentant la longueur de l'antenne.

## 4 Analyse et fonctionnement des outils utilisés

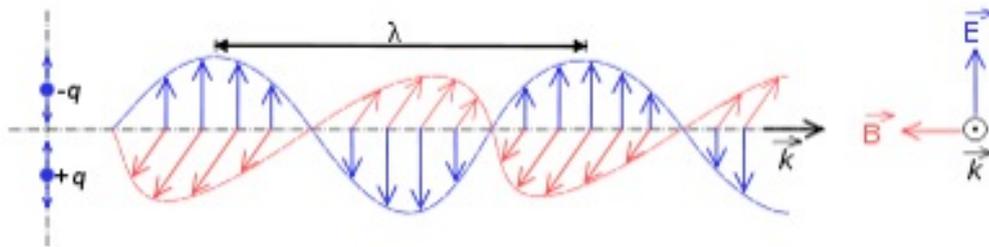
### 4.1 Les ondes/Les antennes

#### 4.1.1 Les ondes électromagnétiques

Sans pour autant refaire le cours de Mr Guillotin sur les ondes électromagnétiques, voici un petit rappel des pré-requis qui nous ont été nécessaires tout au long de notre projet.

- Les ondes électromagnétiques correspondent à la propagation d'un champ électrique et d'un champ magnétique ondulatoires perpendiculaires l'un à l'autre et dont les ondulations sont perpendiculaires à la direction de propagation.

Le schéma suivant représente une onde électromagnétique, avec en bleu B la composante magnétique et en rouge E le champ électrique.



- Une onde électromagnétique est polarisable, c'est à dire que l'on peut imposer une trajectoire au champ électrique. Nous verrons par la suite que la polarisation verticale ou horizontale en émission peut influencer sur la réception.

- A noter enfin que certains phénomènes comme la diffraction, la réfraction, la réflexions ou encore les phénomènes d'interférences peuvent s'opposer à la bonne propagation d'une onde. En outre, les ondes radio se propagent dans les airs, notamment à travers des couches de gaz différents dans l'atmosphère, ces phénomènes sont très importants. Par exemple, c'est grâce à une combinaison de ces effets que les ondes peuvent être transmises d'un point à un autre du globe malgré la courbure de la Terre.

#### 4.1.2 Application à un radio émetteur : les ondes radio électriques

L'onde que nous avons émise à partir du montage émetteur est une onde dite radio électrique. Les ondes radio font partie des ondes électromagnétiques mais leur fréquence ne dépasse pas les 3000 GHz (dans notre cas, l'onde émise, avec une fréquence d'environ 24 MHz est donc bien une onde radio).

D'autre part, on distingue, au sein des ondes radio, différentes catégories dont voici une description rapide et non exhaustive :

Désignation francophone	Fréquence	Longueur d'onde	Exemples d'utilisation
BF (basse fréquence)	30 à 300 kHz	10 à 1 km	Radionavigation, Radiodiffusion, Radio-identification
MF (moyenne fréquence)	300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m	Radio AM
HF (haute fréquence)	3 à 30 MHz	100 à 10 m	Communication pour les vols long courrier
THF (très haute fréquence)	30 à 300 MHz	10 à 1m	Radio FM, Télévision
SHF (super haute fréquence)	3 à 30 GHz	10 à 1 cm	Micro-onde

Dans notre cas, l'utilisation d'un oscillateur Colpitts nous permettait de choisir une fréquence d'émission en fonction des valeurs de capacité des condensateurs et d'inductance des bobines (selfs).

Ainsi nous devons obtenir une fréquence de 27 MHz. Ce qui correspond à une émission d'ondes Hautes fréquences. Notons que le calcul théorique a été réalisé dans une autre partie.

Afin de vérifier les fréquences d'émission, nous avons mis en fonctionnement le circuit émetteur et visualisé le signal émis sur un oscilloscope. Nous avons alors remarqué que l'amplitude du signal reçu était particulièrement faible (de l'ordre de 3 ou 4 volts). Ainsi, nous aurions rapidement rencontré un souci dans la portée de

la diffusion. Cependant, en visualisant le signal émis directement à l'antenne émettrice, nous avons constaté que le signal produit par le Colpitts, n'était pas rigoureusement sinusoïdal. De ce fait, le signal étant « déformé » à l'émission, il n'était donc pas bien véhiculé au récepteur. Cette observation nous a permis de mettre en avant la faculté des ondes sinusoïdales à se propager dans un milieu.

Après la fréquence et la longueur d'onde du signal, nous avons dû prendre en compte un autre paramètre pour la diffusion : la longueur des antennes émettrices et réceptrices. En effet, il est clair que leurs dimensions ne doivent pas être prises au hasard car la résonance du signal en dépend.

A ce sujet, il nous aura fallu réaliser de nombreuses recherches car il existe de nombreux types d'antennes donc voici les principaux (à noter que cette liste n'est absolument pas exhaustive) :

- L'antenne filaire, il suffit de prendre un fil électrique de longueur appropriée et de le tendre.
- L'antenne UHF (Ultra haute fréquence), dite antenne TV ou antenne Yagi dont voici une image.

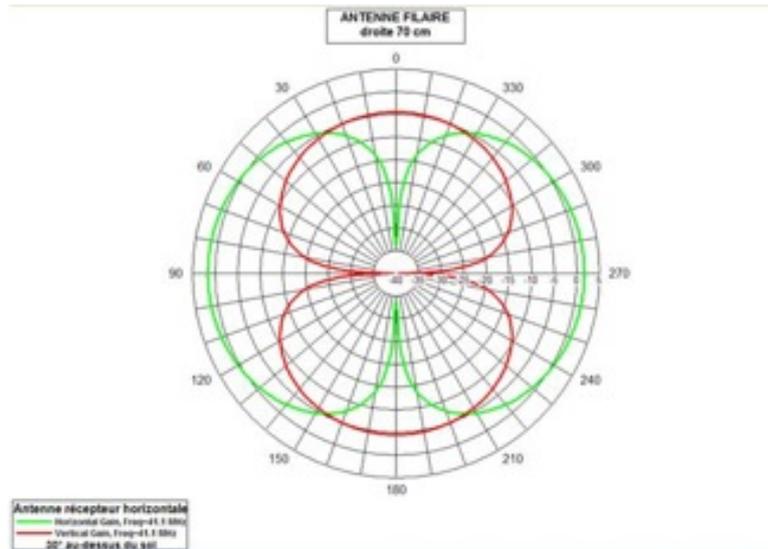


- L'antenne filaire sous forme de bobine. Elle est utilisée sur certains postes à radio et utilise l'inductance de l'antenne.

Dans notre cas, c'est, bien sûr, l'antenne filaire qui était la plus appropriée. En effet, il faut savoir que cette antenne offre une bande passante réduite (ce qui nous importe peu, car nous ne souhaitons capter qu'une fréquence).

D'autre part, le fait que l'antenne soit tenue verticalement impose une polarisation verticale de l'onde. Ainsi, il faudra veiller à ce que l'antenne du récepteur soit également à la verticale (cette propriété met en avant une caractéristique des antennes TV dont les "ramifications" sont orientées horizontalement et verticalement afin de détecter un maximum de polarisations).

De plus, cette antenne se caractérise par sa mono directivité. Comme on peut le voir sur le diagramme suivant, le signal est principalement émis dans une direction principale. Ainsi, il faudra correctement placer l'émetteur par rapport au récepteur afin de contrôler le mobile. A noter que le diagramme concerne ici une antenne horizontale mais que le comportement d'une antenne verticale est tout à fait semblable (hormis que seule la composante verticale persiste).



Une fois le type d'antenne sélectionné, il nous a fallu déterminer sa longueur. Cette dernière doit correspondre à une fraction de la longueur d'onde, soit, en général  $\frac{1}{4}$  ou  $\frac{1}{2}$  longueur d'onde. Avec  $L$  la longueur d'onde :

$$L = \frac{c}{F} = \frac{3,00 \times 10^8}{27 \times 10^6} = 11 \text{ mètres.}$$

Nous devons donc utiliser une antenne de 5,5 mètres ou 2,75 mètres. Cependant, il était hors de question d'utiliser une telle dimension. C'est pourquoi nous avons réalisé une antenne dite "réduite" mesurant entre 10 et 15 centimètres.

Enfin, une dernière donnée est à mentionner concernant l'antenne : son gain. En effet, toute antenne présente une amplification passive du signal transmis. Le tableau suivant présente le gain obtenu pour une antenne filaire en fonction de la dimension de l'antenne.

Longueur	Gain
$\frac{1}{2}$ Longueur d'onde	0 dB
2 longueurs d'onde	2 dB
4 longueurs d'onde	3,3 dB

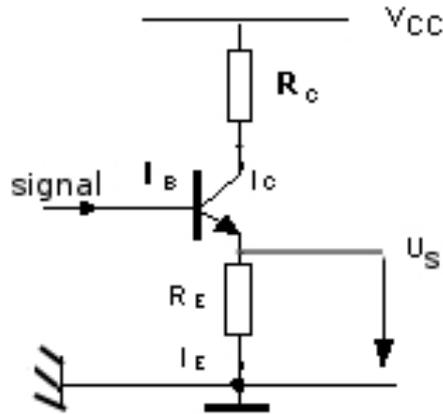
On constate donc que, plus la longueur de l'antenne est réduite, plus le signal reçu sera faible. Cependant, dans notre cas, la portée étant assez limitée (quelques centimètres), nous pourrions réduire la taille de l'antenne.



l'appareil s'allume. Si le signal de commande est de 0V, le transistor est bloqué, l'appareil est éteint. On peut donc parler d'interrupteur commandé par une tension.

**Amplification de signaux continus :**

Pour amplifier des signaux continus, on peut se contenter de montages semblables à celui-ci :

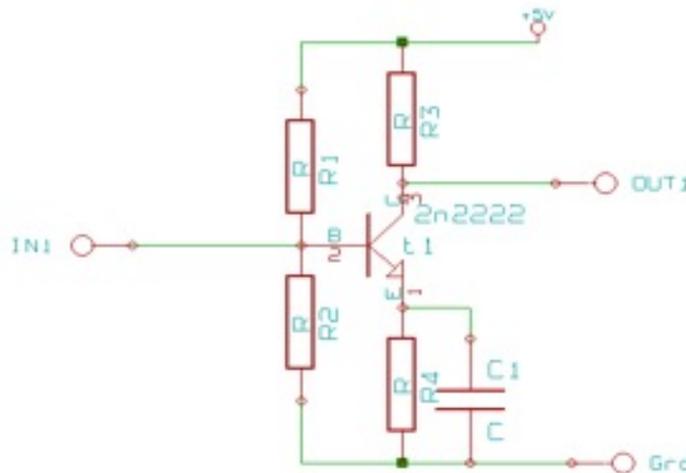


$U_s$  est proportionnelle à l'intensité du signal.

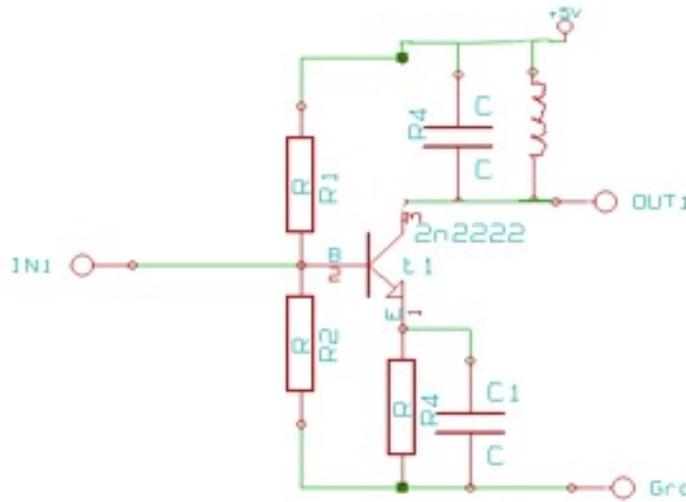
**Amplification Hf :**

Le montage suivant permet d'amplifier des signaux périodiques.  $R_1$  et  $R_2$  permettent de polariser le transistor, c'est à dire qu'on a, de base, une tension supérieure à la tension de seuil du transistor. Ainsi le signal passera sans problèmes entre B et E.  $C_1$  sert de court-circuit pour le signal Hf.

La tension de sortie  $V_s = V_{cc} - R_e \times i$ . L'intensité  $i$  étant proportionnelle au courant  $I_b$ , elle est égale au signal amplifié additionné d'une constante. Le signal de sortie  $V_s$  est donc bien égal au signal d'entrée amplifié, additionné d'une autre constante. (cette constante est alors souvent supprimée grâce à un condensateur.)



De ce montage, on peut faire une variante qui est l'amplificateur sélectif à transistor.  
La résistance  $R_e$  est remplacée par un filtre passe bande. Celui-ci ne résonne que pour la fréquence voulue :

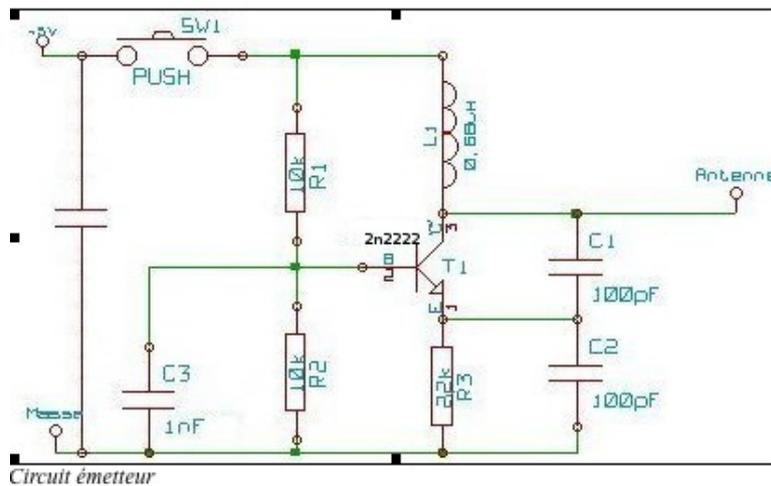


### 4.3 Emetteur

L'émetteur est un banal oscillateur de Colpitts associé à un bouton poussoir. Ainsi l'oscillateur n'est alimenté (et donc oscille) uniquement lorsqu'on appuie sur le bouton. La sortie de cet oscillateur est alors directement reliée à l'antenne qui émet l'onde.

Nous avons choisi 27 Mhz pour la fréquence d'oscillation. En effet, cette fréquence est très couramment utilisée pour la radio-commande.

Voici notre schéma théorique de l'émetteur :



L'oscillateur de Colpitts permet donc de produire un signal sinusoïdal à 27 Mhz : sa fréquence théorique suit la formule :

$$f = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{\frac{L_1 \times C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}}}$$

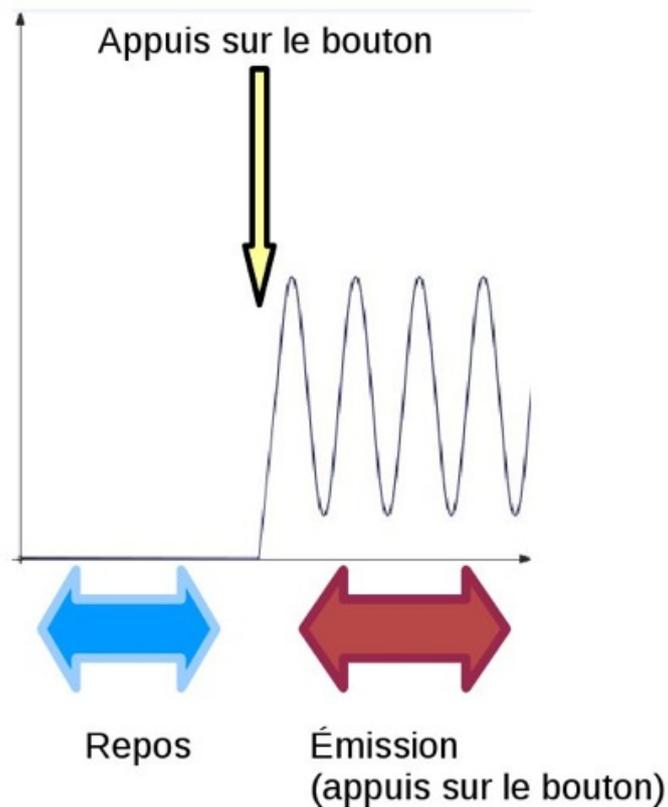
Dans ce circuit, le montage à transistors se comporte comme une « résistance négative ». Cette résistance négative a pour effet d'entretenir les oscillations du circuit LC formées par  $L_1$ ,  $C_1$  et  $C_2$ . ( $C_1$  et  $C_2$  étant en série,

ils équivalent à un condensateur de valeur  $\frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$  d'où la fréquence d'oscillation).

Un moyen de déterminer les conditions d'oscillation est de déterminer l'impédance d'entrée d'un port d'entrée en négligeant tous les composants réactifs. Si l'impédance rapporte la limite de la résistance négative, l'oscillation est possible.

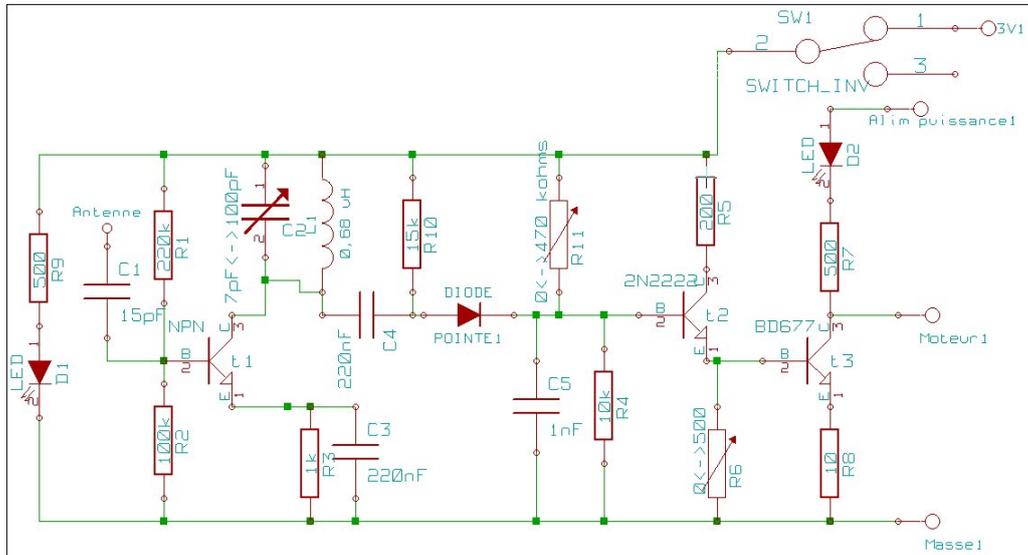
En général, si un condensateur est relié à l'entrée, le circuit oscillera si l'importance de la résistance négative est plus grande que l'impédance du condensateur et de n'importe quels éléments parasites. Dans ce cas les oscillations ne sont pas amorties.

En théorie (et nous avons pu le vérifier en pratique), le signal de sortie est de cette forme :



## 4.4 Récepteur

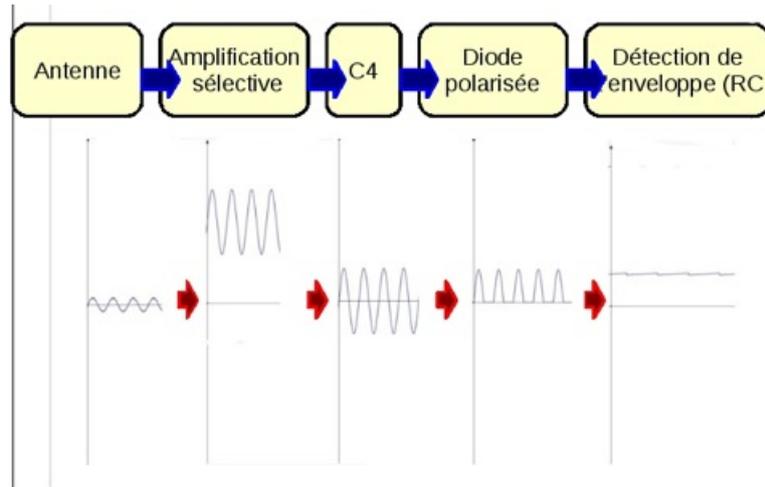
Le circuit récepteur ci-dessus est constitué de plusieurs étage électronique que je vais décrire ici.



- Le signal de l'onde (déjà pré-amplifié dans notre cas) est reçu au niveau de la jonction antenne.
- Le condensateur  $C_1$  supprime l'hypothétique composante continue.
- La sortie de  $C_1$  est relié à un amplificateur sélectif à transistors. Il a pour but d'amplifier le signal mais surtout de filtrer les fréquences. Le condensateur à capacité variable  $C_2$  permet de parfaire l'accord.
- $C_4$  supprime la composante continue générée par l'amplificateur sélectif.
- Le signal se dirige alors vers la diode où il est redressé. A noter que la résistance  $R_{10}$  permet de polariser la diode, c'est à dire élimine la tension de seuil de la diode. La tension théorique à l'entrée de la diode au repos est très légèrement supérieure à 0,7 V.
- Le circuit RC, composé par le couple  $C_5$ - $R_4$  permet de détecter l'enveloppe. Associé à la diode, il permet la démodulation AM.
- Une fois démodulé, le signal est donc continu dans notre cas, car nous ne faisons que émettre ou ne pas émettre. On amplifie alors ce signal par un amplificateur de signaux continus.
- Le signal commande alors la saturation ou non de t3.
- $R_{11}$  permet de régler le repos juste avant la saturation de t3. En effet,  $R_{11}$  permet de régler l'intensité qui passe au repos. Si cette intensité est presque à faire saturer t3, il suffira d'une petite intensité amenée en plus par l'onde pour le faire basculer en saturation.
- Deux LED témoins d1 et d2 ont été ajoutées au montage.
- Dans notre cas, nous avons branché un relais à la sortie, donc la tension de commande se situe entre l'alimentation de puissance et la sortie moteur, afin de permettre une bonne interface entre l'électronique et le moteur.

Le schéma suivant permet de visualiser l'évolution théorique du signal lorsque l'on émet, après son passage, dans les différents étages électroniques :

Le signal que nous récupérons quand nous émettons, après différents étages électroniques est donc continu, nous l'amplifions donc et nous l'utilisons pour commander le moteur grâce à un interrupteur commandé. Cet interrupteur commandé est donc presque à saturer au repos grâce à  $R_{11}$  et il lui suffit d'une petite intensité supplémentaire pour s'enclencher.



Il est possible d'ajouter une pré-amplification Hf à l'antenne afin d'obtenir une meilleure réception. Il faut tout de même prendre en compte qu'une telle amplification amplifiera aussi le bruit.

## 5 Bilan

### 5.1 Difficultés rencontrées

Comme dans tout travail, nous avons parfois été confrontés, pendant notre projet, à quelques problèmes, que ce soit d'ordre technique, matériel ou théorique.

Tout d'abord, nous avons, au début, eu du mal à obtenir tous les composants. En effet, nous avons dû aller en acheter certains (comme les selfs, les condensateurs réglables ainsi que les transistors) nous-mêmes dans un magasin spécialisé dans Rouen, car ce sont des composants qui coûtent trop peu cher, et il ne nous en fallait pas suffisamment pour faire une commande.

Nous avons aussi rencontré des problèmes au niveau de la réalisation des circuits imprimés, en raison de certains retards dus à leur fabrication.

De plus, les grèves des mois de mars/avril, ne nous ont pas non plus aidé pour avancer rapidement dans notre projet, puisqu'un cours a été annulé (nous tenons d'ailleurs quand même à remercier encore une fois M. MONTIER, qui est venu la semaine suivant cette séance annulée, alors que la grève était encore d'actualité.). Cependant, nous avons pu nous libérer en dehors de nos créneaux prédéfinis, afin de combler le léger retard pris à cause de ces différents petits problèmes.

Bien évidemment, nous avons aussi eu des problèmes de connaissances au niveau de la théorie, et dans l'utilisation de certains composants. Effectivement, nous n'avions que très peu de connaissances dans ce domaine au commencement du projet, puisque nous avons pour seul bagage les cours de P3 en électricité de 1ère année, ainsi que les faibles notions que nous avons pu apprendre en physique en terminale. Nous avons donc dû faire appel à des aides extérieures, par exemple sur les forums, ou à des professeurs.

D'ailleurs, au début, nos schémas étaient complètement irréalistes car nous pensions utiliser des amplificateurs opérationnels pour amplifier nos signaux. Cependant, en recherchant sur des forums, nous avons pu apprendre que ce type de composant était complètement inadapté à notre travail, et surtout très peu pratique. C'est pourquoi nous avons finalement appris à utiliser des transistors.

Nous avons aussi eu des problèmes pour le circuit oscillateur, car nous n'avions pas choisi les bonnes valeurs de résistances.

Pour ce qui est du circuit émetteur, nous sommes allés sur les forums, afin de l'améliorer pour que son fonctionnement soit optimum.

Nous avons aussi eu quelques problèmes lors des finitions du projet. En effet, l'onde n'est pas encore assez amplifiée, il en résulte que notre réception est mauvaise. Cependant, le mobile fonctionne tout de même.

### 5.2 Réussites

Notre grande fierté est que notre « mobile » fonctionne à merveille (ou presque). Nous sommes donc arrivés à terme de notre principal objectif, et tout ça sans avoir rencontré de conflits au sein du groupe. Nous sommes d'autant plus contents que notre projet est une idée, certes basée sur le sujet initial, mais qui a été modifiée pour le rendre plus concret.

Nous avons pu encore une fois améliorer notre organisation au sein des travaux de groupe, et approfondir nos connaissances au niveau électronique et radio.

### 5.3 Extension possible au sujet

Il y a plusieurs extensions possibles, on pourrait tout d'abord faire en sorte que le mobile obéisse à des ordres simples (droite, gauche, avancer, reculer) et même éviter des obstacles, grâce à un programme informatique, et un détecteur situé sur le mobile. La direction pourrait aussi être contrôlée à l'aide d'un servomoteur et le mobile pourrait être numériser en utilisant des microcontrôleurs. Une autre extension possible serait de créer un deuxième mobile, et faire en sorte qu'ils puissent communiquer.