Vibralert : un prototype détectant les obstacles au service des malvoyants

Concours C.Génial 2017

FORCIER Gabin
ROUXEVILLE Maxence
LEDUC Simon

la Joliverie

Table des matières

Table des matières 1
Introduction 2

1 Présentation du prototype 3

2 Etude du capteur à ultrasons 4
2.1 Caractéristiques physiques des ondes acoustiques 4
2.1.1 Propagation des ondes acoustiques 4
2.1.2 Vitesse du son dans l'air 4
2.1.3 Réflexion, réfraction et diffraction 5
2.2 Présentation et fonctionnement du capteur 6
2.3 Mesures expérimentales 6
2.3.1 Distance maximale mesurée avec différents matériaux 6
2.3.2 Sensibilité du capteur et cône de détection 7

3 Etude de la Communication sans fil 9
3.1 Présentation du dispositif de communication 9
3.2 Mesure expérimentale de la bande de fréquence du dispositif de communication 9
3.3 Portée du signal radio 11
3.4 Améliorations possibles 11

4 Etude de la résistance des matériaux par simulation 12
4.1 Principes de la résistance des matériaux 12
4.2 Simulation de chute 13
4.2.1 Le boîtier capteur 13
4.2.2 Le bracelet vibratoire 14
4.3 Simulation d'arrachage 15
4.3.1 L'attache à la ceinture 15
4.3.2 Le capteur à ultrasons 16
4.4 Améliorations possibles 16

5 Etude de la consommation énergétique du prototype 17
5.1 Schéma électronique du boîtier capteur et du bracelet vibratoire 17
5.2 Mesure de la consommation énergétique du boîtier capteur et de son autonomie 17

Conclusion 19
Annexes 20
Remerciements 20

Introduction

Aujourd'hui, l'accès facile à la technologie industrielle par le biais d'Internet, de logiciels de modélisation assistée ou encore de l'impression 3D rend la création de projets innovants à la portée de tous. En effet, une simple idée peut désormais faire émerger un prototype capable de révolutionner notre quotidien et ce sans avoir besoin de recourir à de nombreuses entreprises assurant la fabrication des différentes pièces.

La conception, la modélisation et la fabrication d'un projet est maintenant accessible à moindre coût pour peu que vous possédiez un ordinateur, quelques cartes électroniques reprogrammables, une imprimante 3D et de bonnes idées. Cette démocratisation de la technologie et de sa complexité offre de formidables perspectives à un projet innovant. La clef de voûte de toute réalisation tient évidemment des attentes que nous avons envers elle : son utilité ? Quel besoin est-elle censée combler ? Sur quoi doit-elle agir ? Néanmoins, un prototype possède aussi des contraintes budgétaires et de temps.

Concernant notre projet, nous avons voulu allier le service à la personne et l'utilisation de nouvelles technologies mettant en avant le « fait-maison » comme celles citées ci-dessus. Le choix d'une réalisation utile au quotidien et innovante fut primordiale à nos yeux. Le souci de créer une véritable production répondant à un besoin existant tout en prenant en compte des aspects de notre société de consommation a permis aussi d'orienter la conception de notre prototype.

Finalement, c'est vers les personnes malvoyantes que notre projet s'est dirigé. Effectivement, ces problèmes touchent actuellement près de 50 millions (cécité) et 135 millions (malvoyance) de personnes dans le monde. En France, les chiffres de 2008 sont approximativement de 65 000 aveugles et 1 200 000 malvoyants (profonds et moyens).

Les solutions les plus abordables pour ces personnes sont très limitées et reposent sur l'utilisation de cannes encombrantes et visibles, ce qui peut engendrer une sensation de rejet et d'exclusion de la part de personnes n'acceptant pas leur handicap. De plus, une autre solution, plus efficace, mais nettement moins abordable, est l'adoption d'un chien pour aveugle. Cependant, le prix de revient d'un tel chien, bien qu'il soit remis gratuitement à son propriétaire, est d'environ 15 000€ à 19 000€, un service qui ne peut donc pas être à la portée de tous.

La réalisation de ce prototype s'est effectuée en 30h « théoriques » de travail car c'est le projet que nous avons développé lors de notre épreuve de TPE en 1ère S-SI. En réalité il nous a demandé de nombreuses heures supplémentaires réparties sur notre temps libre pour en arriver à une version aboutie.

Suite à cela, nos professeurs de physique de cette année et de l'an dernier nous ont sollicités en début d'année de terminale (vers mi-Septembre) pour participer au concours C.Génial 2017 ainsi qu'aux Olympiades de Physique France de 2016-2017. Néanmoins, nous n'avions pas fait d'études approfondies concernant différents aspects physiques liés au prototype de notre TPE. Motivés par ce concours nous nous sommes donc organisés durant près de 2 mois (de mi-Septembre à mi-Novembre) pour réaliser toutes les études correspondant au fonctionnement et à la construction même de notre prototype en rapport avec des aspects physiques.

C'est grâce à une organisation rigoureuse de notre emploi du temps et une répartition du travail à faire tout au long de ces 2 mois sur nos pauses du midi et notre temps libre que nous avons réalisé les différentes études présentées ci-après. Ces études ne présentent donc pas une version finale de notre dispositif, repensée et retravaillée mais complètent le travail qui doit normalement s'effectuer en amont d'un tel projet et qui vise à connaître, comprendre, vérifier et exploiter les différentes caractéristiques du prototype, tant au niveau théorique qu'expérimental.

Ainsi ce projet a pour vocation de répondre à deux problématiques, une concernant la visée même de notre prototype et de son utilité, et l'autre se rattachant à la démarche scientifique que nous avons tenté de réaliser :

- Dans quelle mesure peut-on réaliser un prototype innovant destiné à aider les personnes malvoyantes dans leurs déplacements au quotidien ?
- En quoi une série d'études scientifiques autour du fonctionnement de notre prototype permet-elle de mieux comprendre certains phénomènes, valider certaines hypothèses et confirmer le caractère innovant de notre projet ?

1 Présentation du prototype

Doc.1 Le prototype fabriqué

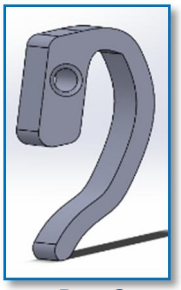
Au vue du peu de moyens et de technologies proposées aux personnes malvoyantes nous avons établi un cahier des charges des différents besoins et contraintes qui rentraient en ligne de compte dans l'élaboration d'un prototype mis au service de ces personnes souffrant d'un handicap.

Nous voulions alors concevoir un dispositif discret, abordable financièrement et surtout qui permette de garder les mains libres ; une fonction rares dans le marché des dispositifs d'aide aux personnes malvoyantes. Le fonctionnement du dispositif est assez simple. Si un obstacle se situe à moins de 0,75m de l'utilisateur, un bracelet vibratoire émet alors des vibrations dans le poignet pour avertir l'utilisateur.

Le prototype est donc divisé en deux parties distinctes : un **bracelet vibratoire** chargé d'avertir l'utilisateur (Doc 2) et un **boîtier capteur** chargé de la détection de l'obstacle. Elle s'effectue à l'aide d'un capteur de distance à ultrasons (Doc 3). Une fois un obstacle détecté, un message d'alerte est envoyé au bracelet vibratoire. Celui-ci vibre ainsi sur le poignet de l'utilisateur pour l'avertir de la présence d'un obstacle devant lui. De plus, aucun fil ne relie les deux parties du dispositif. En effet, les données sont transmises par ondes radio (2.4 GHz) ce qui permet à l'utilisateur de rester libre dans ses mouvements sans être gêné par d'éventuels fils.

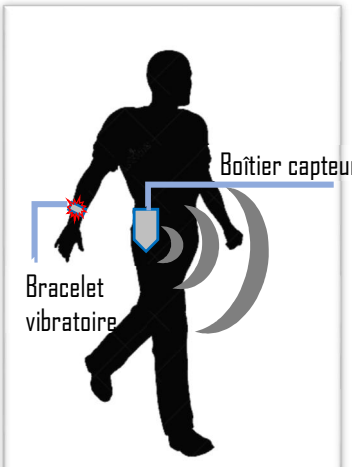
L'élaboration de cette innovation a nécessité la comparaison de différents types de capteurs pour savoir en quoi les ultrasons étaient les plus adaptés à cette situation. Le capteur choisi étant destiné à mesurer la distance séparant l'utilisateur d'un éventuel obstacle. Ajoutons que le choix de cartes Arduino s'est révélé adéquat de par leur programmation simple et à la portée de tous.

De plus nous avons comparé 4 modules de communication sans fil exploitant des technologies différentes afin de choisir celui qui correspondait le mieux, selon nous, avec les connaissances que nous possédions. Nous avions alors comparé le HC-06, l'ESP44, les modules émetteurs/récepteurs 433MHz et enfin le nrf24L01 avant de choisir d'utiliser ce dernier pour communiquer entre les différentes parties de notre dispositif.



Doc.2

Le choix d'une architecture fonctionnelle en deux parties distinctes : **un** bracelet vibratoire (Doc.4) pour avertir l'utilisateur et un boîtier capteur pour effectuer la mesure, s'est révélé la plus performante. Effectivement, l'utilisateur peut porter au niveau de sa ceinture le boîtier capteur sans être gêné. Grâce à une attache (Doc.2) inspirée des différents systèmes d'attache sur pantalon, la personne malvoyante pour positionner le prototype à n'importe quel endroit sur l'avant de son bassin. Ensuite l'orientation du capteur est réglable pour assurer une prise de mesure alignée avec la trajectoire de l'utilisateur et une prise en main simple. (Doc.5)



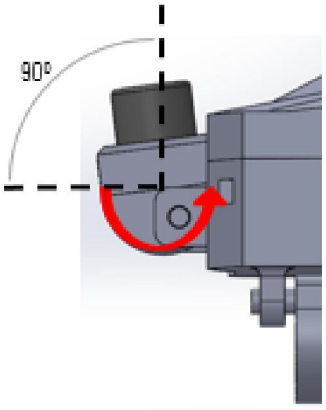
Doc.3 Schéma de fonctionnement

Au niveau du bracelet vibratoire, l'attache est simple et efficace et s'effectue à l'aide d'une fixation velcro permettant d'ajuster le bracelet à la taille du poignet.

C'est ainsi que lorsque le dispositif est correctement positionné, il est à même de détecter un obstacle à une distance préprogrammée dans la zone de détection définie par les caractéristiques techniques du capteur. Si tel est le cas, un « message d'alerte » est envoyé au bracelet qui, s'il confirme l'avoir bien reçu, se met à émettre une vibration dans le poignet de l'utilisateur qui se retrouve par conséquent prévenu. (Doc.3)

Doc.4 Bracelet vibratoire

Depuis quelques années, la technologie de l'impression 3D prend de plus en plus de place au sein de la création industrielle. Ce nouveau moyen de production permet de créer des supports et des pièces aux formes complexes avec une très bonne précision et de manière très simple voire presque autonome. Il suffit d'abord de modéliser la ou les pièces à imprimer sur un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). Ce moyen d'obtenir des pièces facilement pose cependant des limites au niveau de la durée de fabrication qui exclut obligatoirement toute ambition de production à une échelle industrielle. Néanmoins, cette méthode est idéale pour proposer un premier prototype et c'est pour cela que nous l'avons exploitée dans la fabrication de nos pièces.



Doc.5 Rotation possible du capteur

2 Etude du capteur à ultrasons

2.1 Caractéristiques physiques des ondes acoustiques

2.1.1 Propagation des ondes acoustiques

Pour mesurer la distance entre l'utilisateur et un éventuel obstacle, nous avons choisi d'utiliser un capteur à ultrasons. Ce type de capteur est aujourd'hui très répandu, peu onéreux et facile d'utilisation. De plus, il s'avérait être l'appareil de mesure idéal répondant à nos besoins. Ce capteur utilisant le domaine des ondes ultrasonores, il nous paraissait évident de nous renseigner plus en détail sur les ondes acoustiques et plus particulièrement sur leurs caractéristiques et leur comportement dans l'air.

Tout d'abord, une onde acoustique correspond au déplacement d'un son dans un milieu. Les ondes sonores sont des ondes mécaniques car elles se propagent sous forme de perturbations dans un milieu sans y engendrer de déplacement de matière mais des variations de pression. Dans l'air, le milieu de propagation que nous utilisons, les ondes ultrasonores sont longitudinales à trois dimensions. Elles sont dites longitudinales car le sens de propagation des ondes est de même direction que celui de la déformation. Les ondes ultrasonores sont aussi tridimensionnelles car elles se déplacent dans les trois dimensions de l'espace.

De plus, il existe plusieurs facteurs permettant de caractériser une onde acoustique :

- La **période (T)**, exprimée généralement en seconde, correspond à un intervalle de temps constant durant lequel un processus se reproduit, identique à lui-même. Dans le cas d'une onde sonore, c'est le temps que l'onde met à revenir à l'identique à une position précédente.
- La **fréquence (f)**, exprimée en Hertz (Hz) correspond au nombre d'oscillations d'un phénomène périodique en une seconde. La fréquence est directement liée à la période par la relation : $f = \frac{1}{T}$.
- La **longueur d'onde (λ)**, exprimée en mètre, qui correspond à la distance parcourue par l'onde durant le temps d'une période T.
- La **vitesse de propagation** ou **célérité** de l'onde, exprimée en mètre par seconde. Elle varie en fonction di milieu de propagation et fera l'objet de la prochaine sous-partie.

Ces caractéristiques sont liées par cette seule et même relation littérale : $\lambda = \frac{c}{f}$

Dans le cas des ondes ultrasonores se propageant dans l'air, la plage de fréquence est généralement admise entre 20 kHz à 1 GHz. Elles sont donc inaudibles par l'Homme qui peut seulement entendre des sons compris entre 20Hz et 20kHz.

2.1.2 Vitesse du son dans l'air

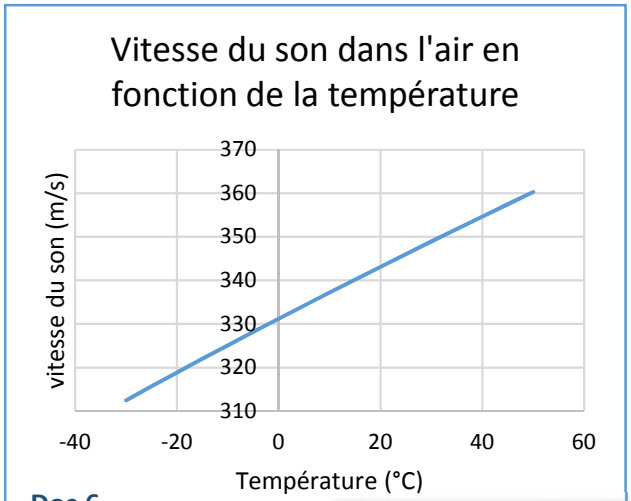
Comme précisé précédemment, la vitesse de propagation des ondes sonores varie en fonction des milieux qu'elle est amenée à parcourir. Pour l'utilisation de notre prototype, le capteur effectue ses mesures seulement dans l'air. Ainsi, nous nous sommes uniquement informés sur la vitesse du son dans les gaz, et plus particulièrement dans l'air. (Doc.6)

La vitesse de propagation des ondes sonores dans les gaz dépend de nombreux facteurs. En effet, elle varie en fonction de la pression du gaz, de sa masse volumique, mais surtout en fonction de sa température.

La formule dont nous nous sommes servis pour calculer la célérité des ondes sonores dans l'air utilise le coefficient adiabatique de l'air (γ : rapport des capacités thermiques de l'air à pression et volume constant), la constante spécifique de l'air (Rs : on l'obtient en divisant la constante universelle des gaz parfaits par la masse molaire du gaz étudié) et bien évidemment la température en degré Kelvin (0°C = 273K).

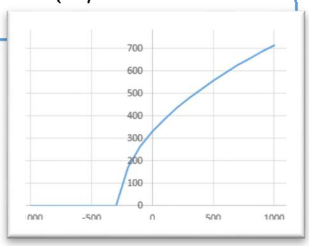
Pour l'application numérique de la formule nous avons pris pour valeurs Rs = 287,058 J.kg^{-1}.K^{-1} et γ= 1,4 en considérant l'air comme un gaz parfait.

Nous avons donc utilisé la formule suivante : $V = \sqrt{\gamma \times Rs \times T}$:



Doc.6

Le graphique ci-contre montre que la courbe de vitesse/température n'est pas une droite.



2.1.3 Réflexion, réfraction et diffraction

Rappelons que les ondes acoustiques sont des ondes tridimensionnelles et donc pour le cas de notre dispositif, elles se propagent dans l'air. Lorsqu'elles se propagent, les ondes ne subissent pas de changement de direction si elles sont considérées en tant que vecteurs. En revanche, quand elles rencontrent un obstacle, quel qu'il soit, les ondes sonores sont soumises à différents phénomènes, qui varient en fonction de l'obstacle rencontré.

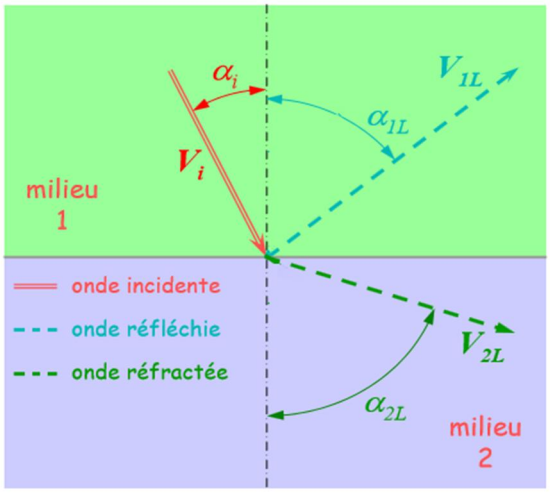
Tout d'abord, lorsqu'une onde acoustique rencontre un obstacle, deux phénomènes majeurs se produisent : l'onde est réfléchie et réfractée (Doc.7). L'onde réfléchie est l'onde renvoyée par l'obstacle tandis que l'onde réfractée correspond à l'absorption d'une partie de l'onde initiale. Dans le schéma ci-contre, les valeurs sont liées par la relation de Snell-Descartes :

$$\frac{\sin\alpha_i}{V_i} = \frac{\sin\alpha_{1L}}{V_{1L}} = \frac{\sin\alpha_{2L}}{V_{2L}}$$

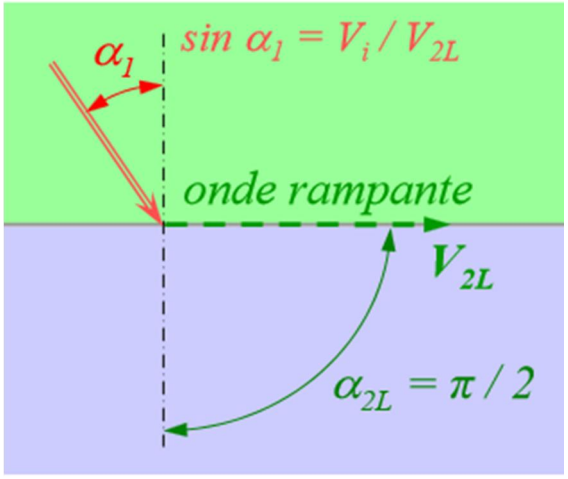
Si le milieu 1 correspond à l'air alors $\alpha_i < \alpha_{2L}$ car l'indice de réfraction de n'importe quel milieu est supérieur à celui de l'air considéré comme l'indice de réfraction de référence égale à 1,0 pour une vitesse du son à 340m/s. Si le rayon incident correspondait à une onde électromagnétique, alors $\alpha_i > \alpha_{2L}$.

Dans le cas d'une réflexion, $\alpha_i = \alpha_{1L}$.

Il existe cependant un angle limite pour lequel l'onde réfractée n'est plus réfractée mais longe la paroi de l'obstacle (milieu 2 sur le schéma Doc.8), cette onde est alors appelée onde rampante.



Doc.7 Réflexion et réfraction d'une onde sonore



Doc.8 Création d'une onde rampante

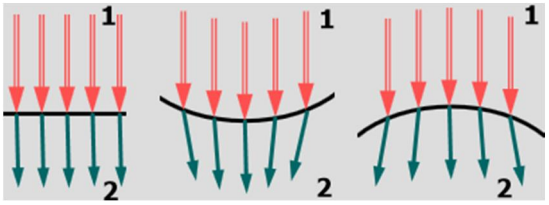
Les phénomènes de réflexion et de réfraction ont aussi une influence sur l'énergie de l'onde initiale. En effet, celle-ci est divisée car l'onde se sépare. Pour pouvoir calculer le pourcentage d'énergie réfléchie et réfractée, on se sert de la notion d'impédance acoustique.

Cette valeur notée Z correspond à la résistance d'un milieu au passage d'une onde. On calcule l'impédance acoustique à l'aide de la formule suivante :

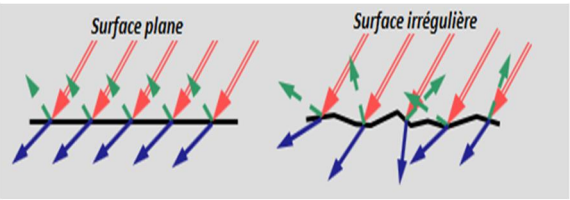
$Z = \rho V$ Avec ρ : la densité du milieu traversé et V : la vitesse de l'onde.

Cas spécifiques : Il arrive souvent que l'obstacle rencontré ne soit pas plan. Dans ce cas-là, plusieurs cas de figures s'offrent à nous:

- Soit la surface de l'obstacle est rugueuse ou irrégulière, alors les rayons réfléchis et réfractés sont dispersés. (Doc.10)
- Soit la surface de l'obstacle est concave vers le haut et les rayons réfractés convergent, soit la surface de l'obstacle est concave vers le bas et les rayons réfractés divergent. (Doc.9)

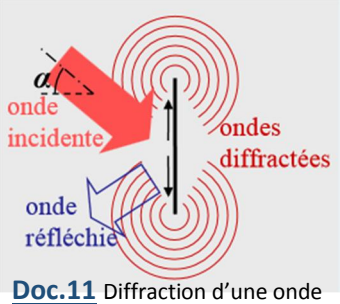


Doc.9 Surfaces concaves



Doc.10 Surface plane et rugueuse

- Enfin, il existe un dernier cas particulier appelé phénomène de diffraction. Pour que celui-ci se produise, il faut que plusieurs conditions soient réunies. Il faut d'abord que l'obstacle soit plan et ait de fines extrémités. Quant à l'onde sonore, il faut que son angle d'incidence soit oblique et qu'il permette la création d'ondes rampantes. Ces ondes rampantes seront ainsi transformées en ondes diffractées aux extrémités de l'obstacle. Il est quand même à noter que l'énergie demandée pour créer une diffraction de cette manière est trop importante par rapport à l'énergie transmise pour nos ondes ultrasonores. (Doc.11) De plus, soulignons que la génération d'un cône ultrasonore par le capteur est dû à un phénomène de diffraction.



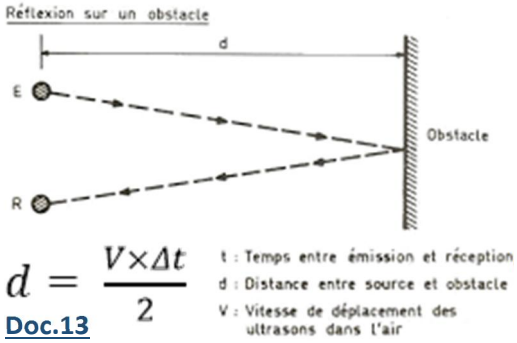
Doc.11 Diffraction d'une onde

2.2 Présentation et fonctionnement du capteur

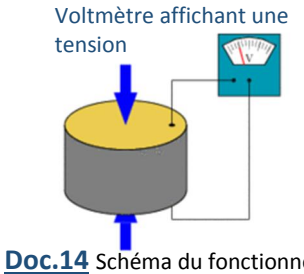
Doc.12 SRF05

Comme indiqué précédemment, nous nous sommes servis d'un capteur à ultrasons qui sert à mesurer la distance entre un éventuel obstacle et l'utilisateur de notre dispositif. Ce capteur à ultrasons est le SRF05 (Doc.12) fabriqué par ETC (Electronic Theatre Controls).
Ce composant électronique facilement utilisable et exploitable peut mesurer une distance entre un obstacle et lui jusqu'à près de 4 mètres avec une précision de plus ou moins 1 cm. De plus, ce capteur est capable de détecter un obstacle au sein d'un cône que nous présentons dans une partie ultérieure. Ces caractéristiques répondaient parfaitement à nos attentes en termes de détection, précision et distance de mesure. Ce type de capteur est aussi relativement facile à trouver, peu onéreux et présente un bon rapport qualité/prix.

Globalement, le fonctionnement du SRF05 est assez simple. Le capteur est composé d'un émetteur et d'un récepteur. L'émetteur envoie des salves d'ondes ultrasonores qui, si elles rencontrent un obstacle sur une distance d'environ 4 mètres sont réfléchies et perçues par le récepteur. Puis, l'électronique fait le reste. La carte Arduino calcule le temps entre l'émission de l'onde et sa réception, le divise par 2 pour obtenir le temps que l'onde met avant de rencontrer l'obstacle. Enfin, la carte calcule la distance à laquelle se trouve l'obstacle en s'aidant de la vitesse du son dans l'air et du temps calculé précédemment. (Doc.13)



Doc.13



Doc.14 Schéma du fonctionnement d'une pastille piézoélectrique

Dans le fonctionnement plus technique du capteur : une pastille piézoélectrique transforme une décharge électrique en vibration mécanique provoquant des ondes ultrasonores, dans le cas de l'émetteur. Tandis qu'une transformation inverse de l'énergie s'opère pour le récepteur. (Doc.14)

2.3 Mesures expérimentales

2.3.1 Distance maximale mesurée avec différents matériaux

En raison de cette expérience, nous avons cherché à connaître la distance maximale que notre capteur à ultrasons était à même de mesurer pour des obstacles de différents matériaux et de différentes formes, et avec quelles incertitudes ces mesures étaient-elles enregistrées.

Pour réaliser cette expérience nous avons au préalable mesuré la température de la pièce pour calculer le plus précisement possible la vitesse du son l'air. La température T étant de 18°C nous avons calculé la vitesse du son V :

$$V = \sqrt{\gamma \times Rs \times T} = \sqrt{1{,}4 \times 287{,}058 \times (18 + 273)} = 342\text{m/s}$$

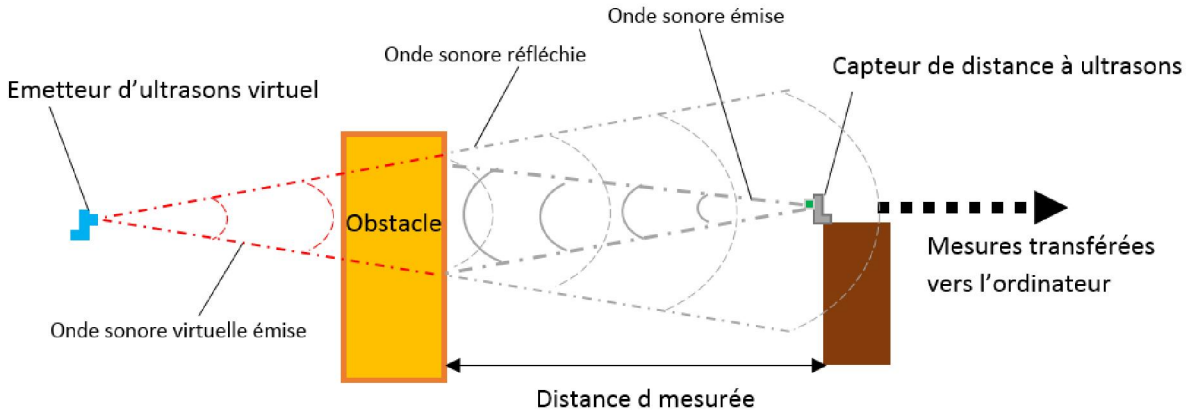
Nous avons donc modifié cette valeur dans le programme de l'Arduino puis avons procédés aux tests.

Nous avions sélectionné 8 obstacles nature variées :

- Une plaque de métal de 0,4m par 1m
- Une plaque de plastique PVC de 0,4m par 1m
- Un cylindre de plastique PVC de 0,5m et diamètre 0,4m
- Une plaque de mousse de 0,3m par 0,3m par 0,1m
- Une plaque de bois de 0,5m par 0,8m
- Un gilet en laine
- Un tuyau de plastique PVC de 1,5m et de diamètre 0,085m
- Un barre de bois de 2m par 0,025m par 0,025m

Nous avons donc mesuré successivement la distance au sol séparant le capteur de l'obstacle et l'avons comparé avec la distance mesurée par le capteur affichée sur un ordinateur. Nous avons fait plusieurs prises de mesures pour chaque obstacle afin d'écarter toute erreur et avoir une incertitude la plus faible. Celle-ci même que nous avons déterminée avec des mesures successives.

	Plaque métal	Plaque plastique	Cylindre plastique	mousse	Plaque bois	Gilet laine	Tuyau plastique	Barre bois
Distance au sol (en m)	4.30	4.30	4.02	0	4.32	1.28	2.80	2.1
Moyenne des distances mesurées (en m)	4.30	4.30	4.02	0	4.31	1.22	2.78	1.98
Incertitude (en m)	0.01	0.01	0.02	0	0.01	0.2	0.05	0.08



Doc.15 Schéma de la réflexion d'une onde ultrasonore sur obstacle

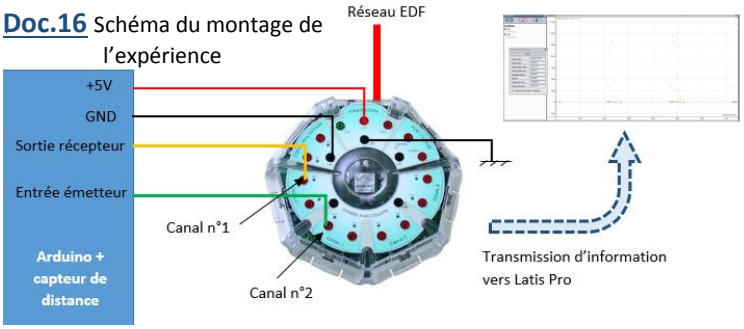
Ces tests nous ont permis de déterminer et prouver que les matériaux ne réfléchissent pas tous les ondes ultrasonores de la même manière, certains seront détectés avec une meilleure précision (comme le métal ou le plastique) . De plus, la forme de l'obstacle à un fort impact en fonction de s'il est circulaire ou plat face aux ondes émises (par exemple, plaque de bois et barre de bois).

Enfin, cette expérience nous a permis d'émettre l'hypothèse que les ondes réfléchies par l'obstacle se comportent comme s'il existait un émetteur virtuel situé à égale distance du capteur par rapport à la face de l'obstacle réfléchissant les ondes ultrasonores, qui serait à l'origine du cône de détection réfléchi par l'obstacle. (Doc.15)

2.3.2 Sensibilité du capteur et cône de détection

L'intérêt d'utiliser un capteur de distance à ultrasons est avant tout qu'il peut détecter et mesurer la distance d'un obstacle dans une zone de détection semblable à un cône ayant l'émetteur comme origine. Le principal avantage de cette zone de mesure est qu'un obstacle peut être détecté même s'il ne se trouve pas exactement dans l'axe du capteur. En effet, des objets, parois ou meubles situés à l'intérieur de ce cône pourront être détectés et l'utilisateur avertit s'il se rapproche trop près de l'un d'eux.

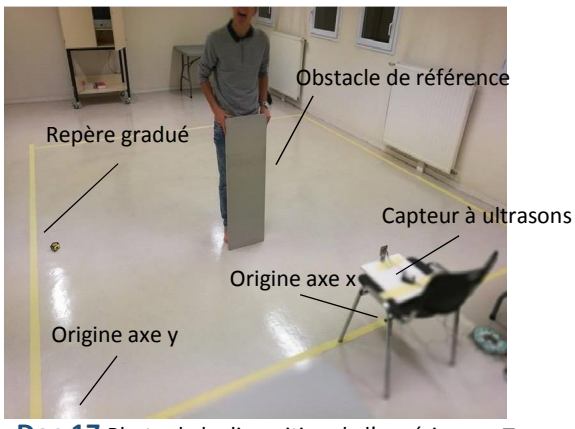
Doc.16 Schéma du montage de l'expérience



Nous avons donc bien évidement cherché à connaître les dimensions de ce cône et la sensibilité du capteur en fonction des différentes zones de ce cône. La sensibilité nous indique ainsi dans quelle zone du cône un obstacle à le plus de chance d'être détecté.

Pour réaliser ces mesures nous avons tracé un grand repère au sol de 4x4m que nous avons gradué tous les 10cm. Nous avons ensuite placé le capteur de manière surélevé par rapport au sol, environ 40cm, pour ne pas risquer de mesurer sa distance avec le sol et ainsi fausser les mesures. (Doc.17)

Ensuite nous avons relié l'émetteur et le récepteur à un système d'acquisition SYSAM-SP5 afin d'utiliser le logiciel Latis Pro en tant qu'oscilloscope sur un ordinateur. (Doc.16)



Doc.17 Photo de la disposition de l'expérience

Notre expérience consistait donc à calculer la distance mesurée par le capteur grâce à l'intervalle de temps séparant le signal de l'émetteur de celui du récepteur et de relever la tension donnée par le récepteur lorsqu'il recevait une onde ultrasonore. La tension mesurée correspond alors à la sensibilité du capteur. D'après le fonctionnement de notre capteur de distance à ultrasons, plus la tension en sortie du récepteur est élevée et plus la sensibilité est moindre. C'est-à-dire que plus la tension sera élevée et moins l'obstacle a de chance d'être détecté.

Une fois le repère mis en place et le capteur placé à son origine, nous avons mesuré la température environnante, qui était de 16,6°C, pour déterminer la vitesse du son V :

$$V = \sqrt{\gamma \times Rs \times T} = \sqrt{1{,}4 \times 287{,}058 \times (16{,}6 + 273} = 341\text{m/s}$$

Ensuite, après avoir modifié la vitesse du son dans le programme du capteur, nous avons choisi un obstacle de référence qui s'est avéré être une plaque métallique de 0.40m par 1.12m. Une fois toutes ces conditions réunies nous avons pu débuter l'expérience par des mesures de distance d'obstacles grâce à l'intervalle de temps émetteur/récepteur. La formule permettant de calculer cette distance est :

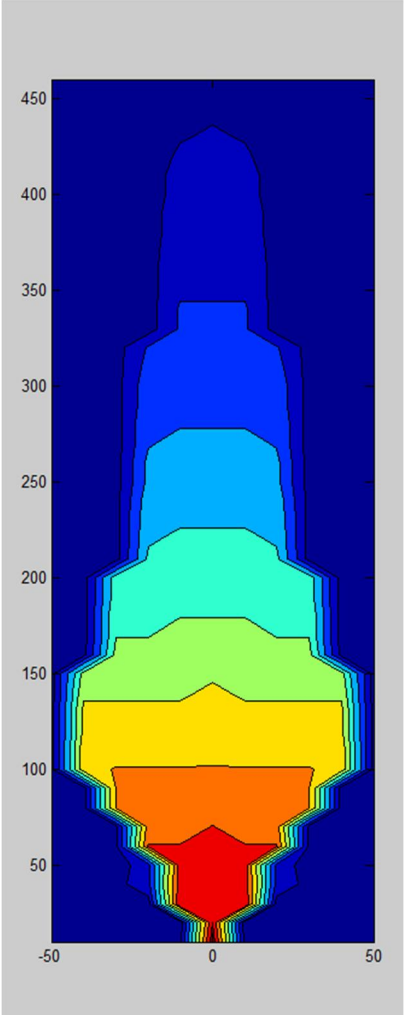
- d : la distance (en m)
- V : la vitesse du son (en m/s)
- Δt : l'intervalle de temps séparant l'émission de la réception (en s)

$$d = \frac{V \times \Delta t}{2}$$

En effet puisque l'onde ultrasonore parcourt un aller-retour lorsque qu'elle rencontre un obstacle alors la distance le séparant du capteur correspond à la moitié de la distance parcourue par l'onde.

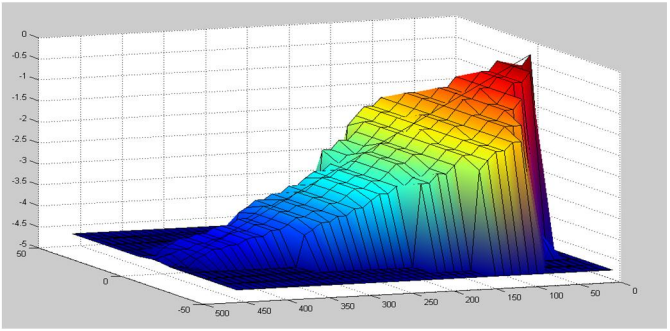
Pour trouver la différence de temps séparant l'émission de la réception nous calculons la différence de temps entre deux pics du relevé.

- $d = \frac{V \times \Delta t}{2} = \frac{341 \times (12{,}27 \times 10^{-3} - 11{,}43 \times 10^{-3})}{2} = 14{,}3\text{cm}$
- $d = \frac{V \times \Delta t}{2} = \frac{341 \times (8{,}53 \times 10^{-3} - 7{,}33 \times 10^{-3})}{2} = 20{,}5\text{cm}$
- $d = \frac{V \times \Delta t}{2} = \frac{341 \times (3{,}58 \times 10^{-3} - 1{,}59 \times 10^{-3})}{2} = 33{,}9\text{cm}$

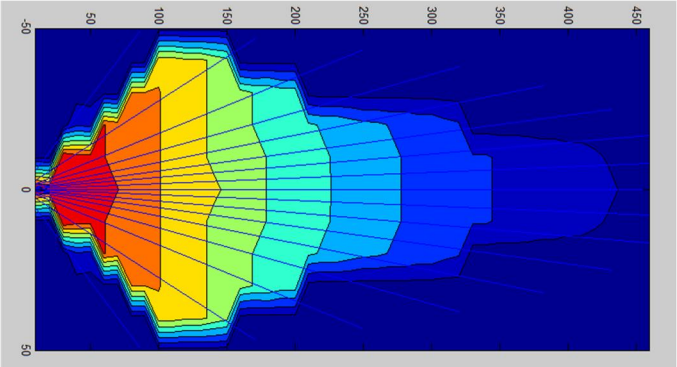


Doc.18 Cône de détection et amplitude de la tension mesurée

Après cela, nous avons commencé le relevé des tensions en sortie du récepteur. Pour se faire, nous avons effectué un relevé à chaque graduation de notre repère, soit un relevé tous les 10cm. Chaque tension était assimilée à des coordonnées permettant de la situer dans le repère. Au total, nous avons relevé 276 tensions manuellement avec chacune leurs propres coordonnées que nous avons rentrées dans un tableur.



Doc.19 Cône de détection et amplitude de la tension mesurée



Doc.20 Cône de détection et mesure de l'angle d'ouverture

Nous avons pu observer que lorsque notre obstacle de référence n'était pas détecté, la tension en sortie du récepteur était de 4,7V. Cela signifie que plus nos valeurs se rapprochaient de la limite de 4,7V et plus la sensibilité était faible.

Une fois ces relevés effectués, nous avons utilisé le logiciel Matlab afin de reproduire le cône de mesure propre au capteur et ses différentes amplitudes de tension du récepteur correspondant à la sensibilité du capteur.

Le logiciel Matlab, que nous n'avions jamais utilisé auparavant, est couramment utilisé dans les entreprises tant son champ d'action est vaste et que cet outil est puissant. Il nous a servi à modéliser ces

graphiques mettant en évidence les différentes amplitudes de tension dans un plan à deux dimensions correspondant au repère que nous avions tracé au sol. (Doc.18 Doc.19 et Doc.20)

Ce graphique ci-dessous nous indique l'angle d'ouverture du cône, ainsi jusqu'à 1m le cône est ouvert d'environ 150°, il rétrécie ensuite jusqu'aux environs de 120° vers 2m puis 80° autour de 3m et enfin 60° voir moins après 4m. (Doc.20)

Les différents relevés que nous avons effectués permettent de tracer le cône de détection du capteur en fonction de sa sensibilité. Comme démontré dans l'expérience précédente, tous les matériaux ne seront pas détectés de la même manière. Nous pouvons observer ainsi que la portée maximum de notre capteur sans risque d'erreur est d'environ 4.30m. Rappelons néanmoins que la précision de ces relevés est de +-10cm.

D'après l'échelle de teinte utilisée, plus la couleur tant vers le rouge et plus la sensibilité est élevée, donc l'amplitude de la tension est faible.

3 Etude de la Communication sans fil

3.1 Présentation du dispositif de communication

Une communication de données sans fil est nécessaire au sein de notre dispositif de détection et d'avertissement d'obstacle afin de lier le boîtier capteur au bracelet vibratoire. Ainsi, notre prototype se débarrasse d'un long câble encombrant devant relier le boîtier de mesure situé au niveau du bassin au bracelet d'avertissement attaché au poignet de l'utilisateur en mettant à profit l'utilisation de modules de communication bien plus discrets et pratiques. Cette communication permet d'envoyer le message « alerte obstacle » du boîtier capteur vers le bracelet afin que ce dernier allume un moteur vibratoire.

Le module de communication sans fil que nous avons choisi est un nrf24L01 (Doc.20). C'est un dispositif s'utilisant en tant qu'émetteur ou récepteur que nous exploitons en duo avec un protocole maître/esclave. Il transmet des données par modulation de fréquence via des ondes radios avec une bande de fréquence de 2.4GHz. Il fonctionne sur une bande ISM (Industrielle Scientifique et Médicale) à usage libre, c'est-à-dire que n'importe qui a le droit d'exploiter cette bande de fréquence sans devoir payer une autorisation d'utilisation. L'exploitation de bandes à usage libre dans notre cadre présente cependant d'éventuelles possibilités de brouillage par d'autres systèmes utilisant une même bande de fréquence. Pour pallier à ce problème, ce module de communication dispose de 128 canaux différents.

Nrf24l01
Doc.20

Concernant les caractéristiques électroniques de ce module, sa puissance de sortie peut varier entre -18dBm et 0dBm avec une puissance équivalente à 1mW et 12,3mA pour 0dB. De plus, le nrf24L01 possède deux sensibilités différentes pouvant être définie par sa programmation :

- Pour un débit de 2 Mbit/s, la puissance du signal reçu devra être comprise entre -82dBm et 0dBm soit une puissance équivalente à $10^{-8.2}$mW.
- Pour un débit de 1 Mbit/s, la puissance du signal reçu devra être comprise entre -85dBm et 0dBm soit une puissance équivalente à $10^{-8.5}$mW.

On obtient ces conversions de puissances grâce à la formule : $P_{dBm} = 10\log_{10} P_{mW}$

Cela signifie que doubler le débit engendre une sensibilité deux fois moindre alors que la puissance utilisée et par conséquent la consommation énergétique est plus élevée. Il est donc préférable d'utiliser ce module de communication avec un débit de 1 Mbit/s.

3.2 Mesure expérimentale de la bande de fréquence du dispositif de communication

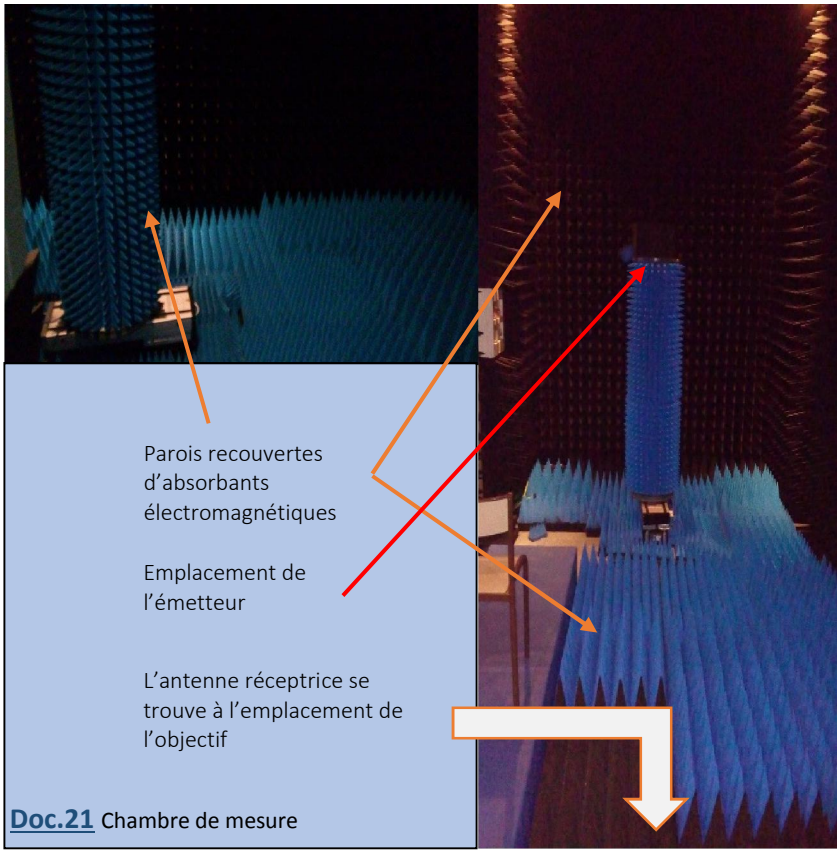
Grâce à un partenariat mis en place avec l'école d'ingénieur Polytech Nantes, nous avons pu bénéficier d'appareils et d'infrastructures spécialisés dans l'étude de systèmes de communication. Ainsi, le 21 octobre 2016, nous nous sommes rendus sur le site de Polytech Nantes afin de réaliser des expériences permettant de vérifier les caractéristiques techniques fournies par le fabricant au sujet de notre module de communication.

Nous y avons rencontré monsieur Jean-François DIOURIS, professeur en système de communication et traitement du signal ainsi que monsieur BRUNET, ingénieur à l'IETR (institut d'électronique et de télécommunications de Rennes) avec qui nous avons pu échanger au sujet de notre dispositif de communication sans fil et réaliser différentes expériences de mesure des signaux. Au terme de cette matinée très enrichissante avec ces spécialistes des systèmes de communication, nous avons finalement compris et cerné les différentes caractéristiques de fonctionnement de notre émetteur/récepteur.

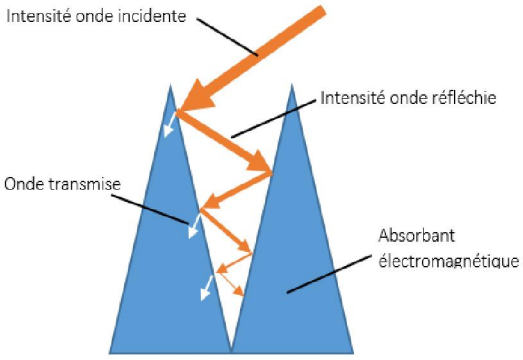
Dans le cadre de la mesure expérimentale de la bande de fréquence de notre dispositif, nous avons cherché à vérifier la bande de 2.4GHz spécifiée par le fabricant et quelle plage de fréquence correspondait au signal reçu.

Pour se faire nous avons bénéficié d'une chambre d'expérimentation recréant un espace libre pour la propagation des ondes électromagnétique (Doc.21). Un espace libre est un endroit où les ondes émises depuis un système de communication ne subissent aucune réflexion par des obstacles ou parois comme c'est généralement le cas dans l'environnement où le système en question est utilisé. L'extérieur de cette chambre est entièrement métallique et forme une cage de Faraday isolant l'intérieur de toutes les ondes électromagnétiques présentes à l'extérieur. L'intérieur est lui tapissé de parois absorbantes (Doc.22) qui empêchent les ondes émises de se réfléchir afin que l'intérieur puisse être considéré comme un espace libre.

Afin d'obtenir des résultats reflétant la réalité des signaux radios émis et non un cas isolé, nous avons modifié la programmation de notre émetteur afin qu'il envoie des messages aléatoires. Grâce à cela, les relevés de puissances et de fréquences mesurées ne caractérisaient pas un seul signal correspondant au message « alerte obstacle » mais bien l'ensemble des signaux transmis par l'émetteur pour en connaître son fonctionnement global.



Doc.21 Chambre de mesure

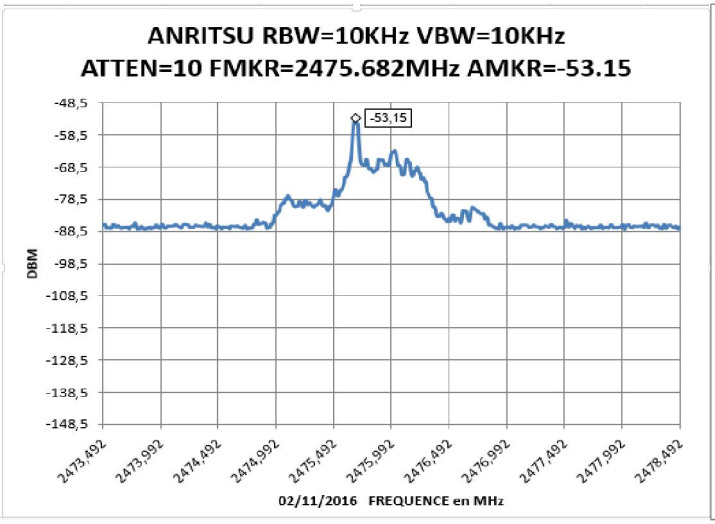


Doc.22 Schéma explicatif du fonctionnement d'un absorbant

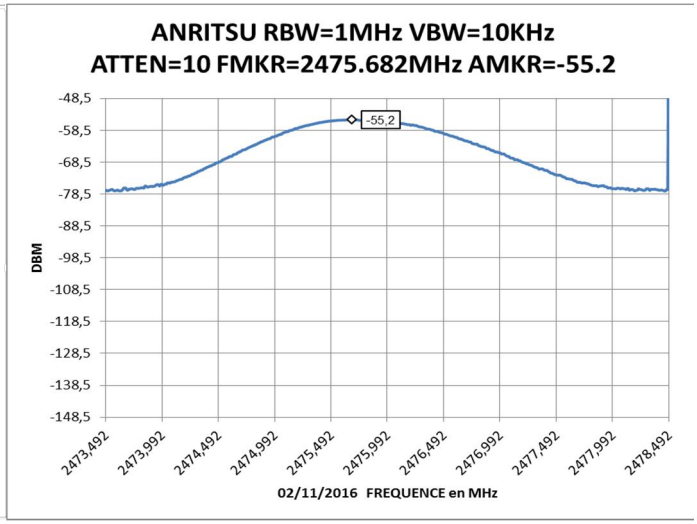
Ces graphiques de Puissance – Fréquence (Doc.23 et Doc.24) mettent en évidence les signaux reçus par l'antenne de réception. On voit que la bande de fréquence mesurée correspond à 2,475682 GHz et que le signal est contenu dans une plage de fréquence de 1MHz.

On observe aussi que la puissance du signal reçue par l'antenne est de -53,15dBm qui est bien supérieur à la limite de fonctionnement de -85dBm. Or, l'antenne de réception est située à 5m de l'émetteur donc notre module de communication peut facilement transmettre des données à l'échelle de quelques dizaines de centimètres dans le cas d'une utilisation concrète car P_R = -53,15dBm >> -83dbm pour une distance R = 5m.

Ces mesures de fréquences nous permettent donc de valider la bande de fréquence de 2,4GHz fournie par le fabricant.



Doc.23 Relevé du signal d'émission radio

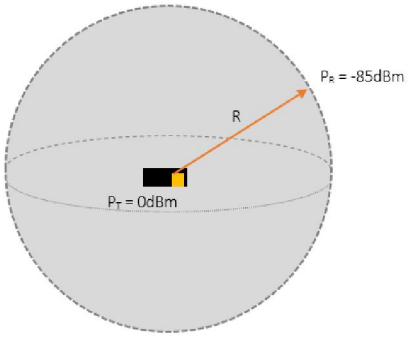


Doc.24 Signal d'émission radio ajusté

3.3 Portée du signal radio

Nous savons dorénavant que la bande de fréquence du signal est de 2,4GHz mais nous ne savons pas quelle est la portée théorique maximale de notre dispositif au sein d'un espace libre. Rappelons le, cette distance maximale est absolument fausse en réalité mais elle permet de mettre en évidence les limites de notre nrf24l01 dans la meilleure configuration qui soit.

Notre module de communication est omnidirectionnel, c'est-à-dire qu'il émet le signal envoyé dans toutes les directions, ce qui peut être représenté par une sphère (Doc.24). Or, nous cherchons la distance maximale à laquelle peut être situé un émetteur de son récepteur avant que la puissance du signal ne soit trop faible pour qu'il soit perçu correctement et sans risque d'erreur.



Doc.24 Sphère représentative de l'émission omnidirectionnelle du signal

L'équation des télécommunications de Friis est uniquement valable dans le cas d'un espace libre et permet de trouver cette distance R.

$$P_R = P_T \times G_R \times G_T \times \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

- P_R : puissance de l'antenne de réception (en W), or P_R = -85dBm soit $10^{-8,5}$mW
- P_T : puissance de l'antenne d'émission (en W), or P_T = 0dBm soit 1mW
- G_R : gain linéaire de l'antenne de réception
- G_T : gain linéaire de l'antenne d'émission
- R : la distance en (en m)
- λ : longueur d'onde (en m)

Dans ce cas, on considère que les gains des antennes de réceptions et d'émissions, qui sont identiques, sont égaux et correspondent à environ 0dB soit un gain de 1.

Pour calculer λ, il suffit d'appliquer cette formule :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

- c : vitesse de la lumière (en m/s), or c = $3x10^8$ m/s
- f : fréquence (en HZ), or f = 2,47 GHz

Soit, $\lambda = \frac{3\times10^8}{2,47\times10^9} = 0,121$ m

$$R = \sqrt{\frac{P_T \times G_R \times G_T \times \lambda^2}{4\pi \times P_R}} = \sqrt{\frac{1.10^{-3} \times 1 \times 1 \times 0,121^2}{10^{-8,5} \times 10^{-3} \times 4\pi}} = \frac{0,121}{\sqrt{10^{-8,5} \times 4\pi}} = 609m$$

Soit $R = 609$ m au sein d'un espace libre, dans un environnement d'utilisation R ≈ 15m.

3.4 Améliorations possibles

Suite à notre entretien avec monsieur DIOURIS et BRUNET, nous avons déterminé des améliorations possibles à apporter à notre prototype en ce qui concerne la communication sans fil. Tout d'abord, il faut veiller à ne pas choisir un matériau conducteur pour notre boîtier qui pourrait perturber le rayonnement électromagnétique, le corps humain provoque déjà une atténuation à cause de la grande quantité d'eau dont il est constitué sans que nous perturbions d'avantage le signal.

De plus, l'utilisation de bandes de fréquences libres nécessiterait de pouvoir changer de canal s'il se retrouvait brouillé et d'incorporer un contrôle d'erreur grâce à un bit de parité supplémentaire ou un protocole de redondance comme le CRC (Contrôle de redondance cyclique).

Enfin, une optimisation de la consommation énergétique serait judicieuse : optimisation du temps d'allumage, du débit etc…

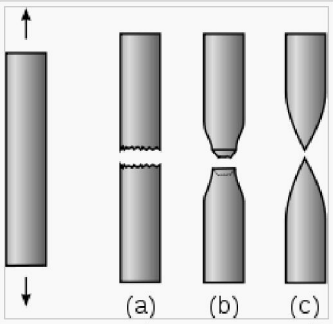
Nous avons d'ailleurs mis en évidence que l'utilisation du Bluetooth Low Energy s'intégrerai mieux dans une version finale du prototype grâce à son interopérabilité, sa standardisation et sa plus grande facilité à passer les tests des normes CEM (Compatibilité Electromagnétique).

4 Etude de la résistance des matériaux par simulation

4.1 Principes de la résistance des matériaux

La résistance des matériaux (RDM) permet le calcul des contraintes et déformations s'exerçant au sein d'un matériau soumis à certains efforts. Elle ramène l'étude du comportement global d'une structure à celle du comportement local du matériau. Ainsi l'évolution de la déformation d'un matériau peut être visualisée en fonction des différentes contraintes qui lui sont appliquées. On utilise la RDM afin de valider l'utilisation de matériaux au sein d'une structure subissant ou pouvant être amenée à subir différents efforts.

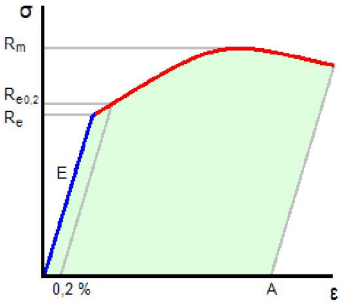
Lorsqu'une structure est soumise à des contraintes, il faut vérifier que les déformations restent dans le domaine élastique qui assure à la géométrie et la mécanique de la pièce de revenir à leurs états initiaux après que la déformation ait eu lieu. Si la limite d'élasticité Re est franchie, le matériau va subir des déformations irréversibles et entrer dans le domaine plastique qui cause une déformation permanente en l'absence de contrainte.



Comportements à la rupture en essai de traction: (a) fragile, (b) ductile et (c) complètement ductile. **Doc.25**

Cette limite est propre à chaque matériau et symbolise le seuil à partir duquel une substance fragile est amenée à se rompre par une fracture contrairement à un matériau ductile (Doc.25) qui continue de se déformer dans le domaine plastique. Il va jusqu'à atteindre une limite ultime de résistance à la rupture Rm, au-delà de laquelle le matériau est amené à se rompre au niveau d'une déformation maximale, située après la limite de résistance à la traction. Cette limite est généralement caractérisée par un allongement maximal noté A en % qui correspond à une variation de longueur Δl de la pièce.

D'après la loi de Hooke, lors de déformations de faibles amplitudes, ne dépassant pas la limite d'élasticité, l'effort F de traction est proportionnel à l'allongement Δl. On obtient donc une courbe linéaire dont la pente est définie par le module d'Young noté E. C'est en effet une constante qui relie la contrainte σ à la déformation ε grâce à la formule : $\sigma = E\varepsilon$



Doc.26 Diagramme de contrainte - déformation

On connaissant ces différentes caractéristiques pour un matériau donné, nous sommes en mesure d'établir un diagramme de contrainte-déformation (exemple avec Doc.26). Il met en évidence les différentes phases de déformations que possède un matériau afin de vérifier si le matériau en question correspond aux attentes fixées par le cahier des charges et s'il est donc en mesure de résister aux différentes sollicitations extérieures qui peuvent se manifester. Si la limite d'élasticité est inconnue ou reste flou dans certains cas, comme l'aluminium, on applique une légère déformation permanente égale à 0,2%.

Une pièce en service pourrait subir une déformation plastique inopinée à cause d'un événement imprévu qui rendrait par conséquent la pièce inutilisable, c'est pour cela qu'un coefficient de sécurité est généralement appliqué à la limite d'élasticité pour parer toute éventualité.

Dans le cadre d'une traction ou compression, la contrainte σ, assimilée comme contrainte normale, peut être calculée : $\sigma = \frac{F}{S}$ avec σ en unité de pression (Pa ou MPa) et F la force en Newton et enfin S la surface normale à cette force. La déformation ε est un allongement relatif qui ne possède donc pas d'unité, il s'obtient grâce à : $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$ qui correspond aux variations de longueurs de la pièce avec l_0 avant et l'après déformation.

Par simulation, l'étude de contraintes appliquées à une pièce ou un ensemble de pièces mettra en évidence des relevés de contraintes de Von Mises se rapprochant plus près de la réalité. En effet, ce type de contrainte est une moyenne des contraintes normales et transversales mises en œuvre dans une simulation donnée. Il fait appel au critère de Von Mises qui permet de mieux cibler la réalité des contraintes mises en jeux.

4.2 Simulation de chute

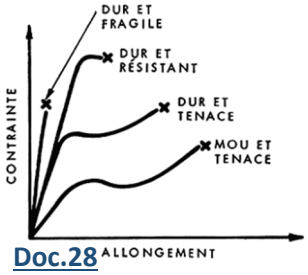
4.2.1 Le boîtier capteur

Dans le cadre des études que nous avons réalisées sur notre prototype celle du choix d'un matériau approprié semblait incontournable. Il nous a donc fallut définir différents matériaux à comparer et différentes situations où notre dispositif serait amené à subir des efforts intenses. Cependant, la géométrie complexe de l'assemblage de nos pièces nous empêchait de réaliser ces situations théoriquement par de simples calculs. Ajoutons que le budget allié au temps limité dont nous disposions excluaient toute possibilité de réaliser des tests réels avec différents exemplaires de notre prototype fabriqué en matériaux différents et subissant divers expériences. Nous nous sommes donc résolument tournés vers la simulation informatique.

Le logiciel SolidWorks (Doc.27) de conception assisté par ordinateur sur lequel nous avions auparavant conçu nos différentes pièces permet de simuler différentes situations comme des tests de chute ou encore des analyses statiques d'efforts. Ce sont donc ces deux types de simulations que nous avons décidé d'étudier dans le cadre de tests de chute à une hauteur donnée de 1m (correspondant à une hauteur moyenne où se situe la ceinture) et de tests d'arrachage de différentes parties du boîtier capteur.

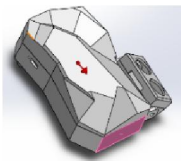
Doc.27 Logo SolidWorks

Cependant, du fait que nos pièces ont été imprimées en 3D le matériau n'est pas isotrope, c'est-à-dire que ses propriétés ne sont pas identiques dans toutes les directions de l'espace. Néanmoins, les simulations que nous avons effectuées avec différents matériaux les considèrent comme tel. En effet, ces tests ont pour but de trouver le matériau idéal qui devrait être utilisé dans une version aboutie et commerciale de notre prototype, or la technologie de l'impression 3D ne permet pas une fabrication à grande échelle de nos pièces qui seront bien plus facilement créées par moulage ce qui engendrerait un matériau isotrope.



Doc.28

Nous avons choisi de comparer 3 matériaux polymères qui sont : l'ABS (Acrylonitrile butadiène styrène), le PP (Polypropylène) et le PA (Polyamides) qui sont des plastiques couramment utilisés dans la fabrication d'objets destinés au quotidien. Leurs caractéristiques sont données dans le tableau de l'annexe 1. Les propriétés attribuées à ces matériaux varient en fonction de différents facteurs comme leurs compositions ou la température, les données exploitées correspondent donc aux pires possibilités que les matériaux peuvent adopter en tant que propriétés mécaniques et géométriques.



Test de chute n°1 :

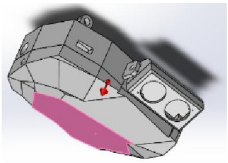
Dans le cadre de la première simulation, nous effectuons une chute du boîtier capteur d'une hauteur de 1m avec une accélération gravitationnelle de 9.8 m.s^{-2}. Le sens et la direction de la chute ainsi que la face d'impact sont mis en évidences ci-contre. (cf annexe 2)

	ABS	PA	PP
Contrainte maximale (MPa)	2.428e+001	3.844e+001	1.842e+001
Contrainte minimale (MPa)	2.023	3.203	1.619
Domaine de déformation maximale	plastique	élastique	élastique
Zone où se situent les plus fortes contraintes	Sur les contours de la face d'impact, le plus au niveau des angles	Sur les contours de la face d'impact, le plus au niveau des angles	Sur les contours de la face d'impact, le plus au niveau des angles
Déformation maximale	1.584e-002	1.035e-002	1.579e-002
Déformation minimale	1.320e-003	8.628e-004	1.315e-003
Déplacement maximum (mm)	7.329e-001	5.568e-001	7.487e-001
Déplacement minimum (mm)	6.718e-002	5.329e-002	6.838e-002

Zone où se situent les déplacements les plus importants	Au niveau des fixations du capteur de distance	Au niveau des fixations du capteur de distance	Au niveau des fixations du capteur de distance
Rupture d'une pièce	Non mais presque 24<28	Non 38 << 90	Non 18 <<28

Test de chute n°2 :

Dans le cadre de la seconde simulation nous effectuons une chute du boîtier capteur avec les mêmes paramètres mais un sens, une direction et une face d'impact différente présentés ci-contre. (cf annexe 2)

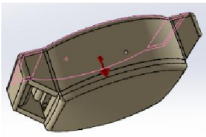


	ABS	PA	PP
Contrainte maximale (MPa)	2.540e+001	3.091e+001	2.091e+001
Contrainte minimale (MPa)	2.116	2.576	1.743
Domaine de déformation maximale	plastique	élastique	plastique
Zone où se situent les plus fortes contraintes	Couvercle du boîtier, sommets de la face d'impact	Couvercle du boîtier, sommets de la face d'impact	Couvercle du boîtier, sommets de la face d'impact
Déformation maximale	1.706e-002	8.143e-003	1.702e-002
Déformation minimale	1.422e-003	6.785e-004	1.418e-003
Déplacement maximum (mm)	6.709e-001	7.116e-001	6.700e-001
Déplacement minimum (mm)	5.977e-002	6.166e-002	5.903e-002
Zone où se situent les déplacements les plus importants	Bordures du couvercle, sommets les plus éloignés de la face d'impact	Bordures du couvercle, sommets les plus éloignés de la face d'impact	Bordures du couvercle, sommets les plus éloignés de la face d'impact
Rupture d'une pièce	Non mais presque 25<28	Non 31 << 90	Non 21 << 27.6

4.2.2 Le bracelet vibratoire

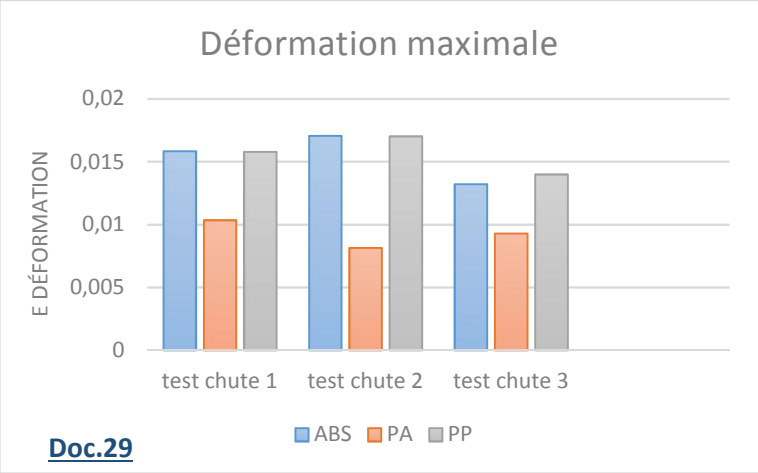
Test de chute n°3 :

Dans le cadre de la troisième simulation, c'est le bracelet vibratoire qui effectue une chute de 2m avec une accélération gravitationnelle égale à 9.8 m/s^2. Le sens et la direction de la chute ainsi que la face d'impact sont mis en évidences ci-contre. (cf annexe 2)

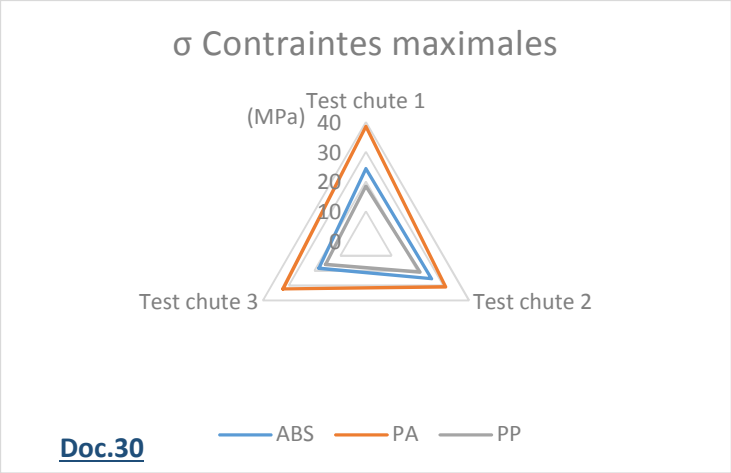


	ABS	PA	PP
Contrainte maximale (MPa)	1.825e+001	3.225e+001	1.568e+001
Contrainte minimale (MPa)	1.521	2.687	1.306
Domaine de déformation maximale	élastique **Remarque :** la forme bombée du couvercle absorbe mieux les chocs	élastique	élastique
Zone où se situent les plus fortes contraintes	Fixation intérieure du couvercle, extrémité du dôme du couvercle	Fixation intérieure du couvercle, extrémité du dôme du couvercle	Fixation intérieure du couvercle, extrémité du dôme du couvercle
Déformation maximale	1.322e-002	9.294e-003	1.399e-002
Déformation minimale	1.102e-003	7.745e-004	1.166e-003
Déplacement maximum (mm)	3.264e-001	3.427e-001	3.241e-001
Déplacement minimum (mm)	3.025e-002	3.220e-002	3.041e-002
Zone où se situent les déplacements les plus importants	Contour du couvercle	Contour du couvercle	Contour du couvercle
Rupture d'une pièce	Non 18 << 28	Non 32 << 90	Non 15 << 28

Grâce à ces 3 tests de chute différents nous avons pu mettre en évidence que selon les risques de chocs auxquels s'expose notre prototype, le meilleur de ces 3 matériaux avec leurs compositions les plus fragiles, se retrouverait être un polyamide car les deux autres polymères étudiés n'ont pas réussi à passer tous les tests de chute avec succès. Cependant, notons que des compositions différentes de l'ABS et du polypropylène en adéquation avec les risques auxquels s'exposent nos pièces pourraient tout-à-fait satisfaire notre cahier des charges.



Doc.29



Doc.30

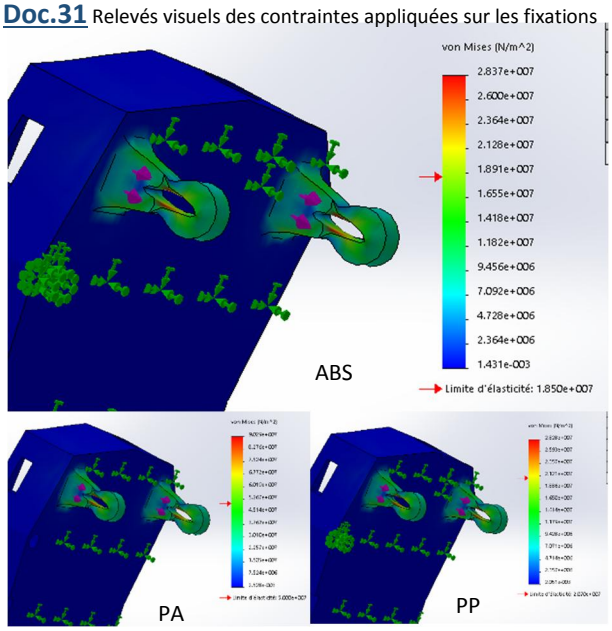
Nous pouvons donc observer que les déformations occasionnées (Doc.29) par une chute d'un mètre (Test 1 et 2) ou deux mètres (Test 3) dans le cadre de la simulation sont très faibles. Attention cependant, les simulations que nous réalisées ne constituent pas des essais de traction. Nous exploitons certaines propriétés de la RDM pour expliquer des phénomènes de déformation dues aux chocs. Le Doc.30 résume les différentes contraintes survenues lors de tests.

4.3 Simulation d'arrachage

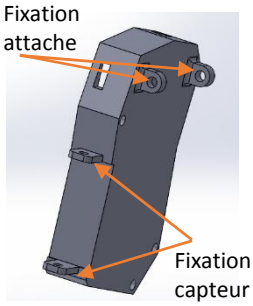
4.3.1 L'attache à la ceinture

Un autre risque pouvant potentiellement arriver à un appareil s'utilisant au quotidien dans tout type d'environnement et pour lequel des simulations d'efforts sont nécessaire serait le vol à l'arraché de notre appareil porté par une personne vulnérable.

Doc.31 Relevés visuels des contraintes appliquées sur les fixations



En effet, dans le cas de l'attache à la ceinture nous avons cherché à savoir quelle force en Newton serait nécessaire pour atteindre la contrainte de résistance limite au-delà de laquelle le matériau est susceptible de se rompre au niveau de la fixation de l'attache située sur notre boîtier (Doc.31 et Doc.32). Pour se faire, nous avons contraint notre boîtier à adopter une géométrie fixe et avons reporté l'effort nécessaire à une rupture du matériau au niveau de la fixation de l'attache à la ceinture sur le boîtier. Pour se faire, nous avons créé des simulations statiques successives afin de trouver à partir de quel effort attendririons-nous la résistance limite donnée dans l'annexe 1.



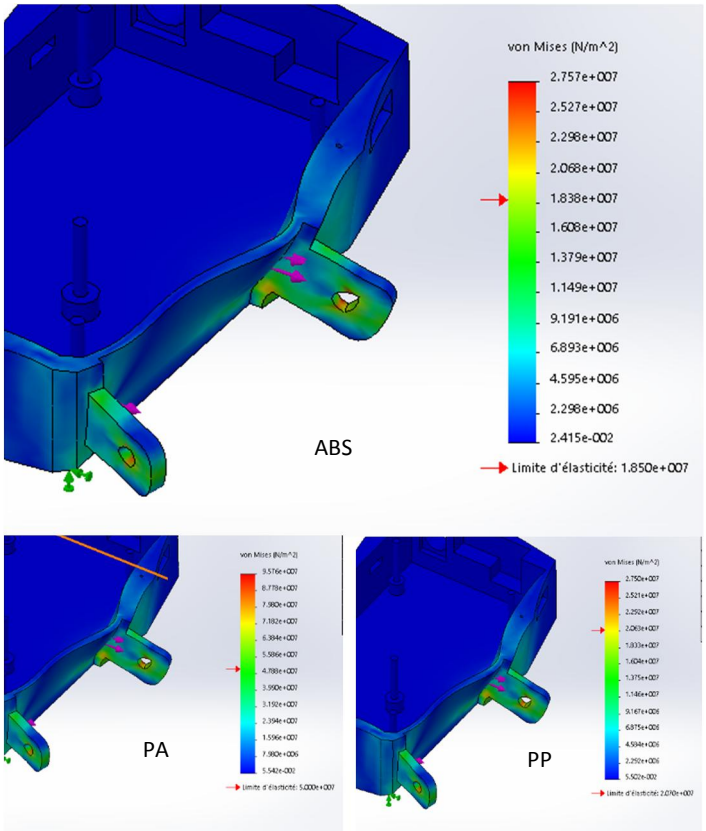
Doc.32 Emplacement des fixations

L'effort nécessaire pour atteindre la limite de résistance fournie par le bras de l'agresseur lors d'un arrachement de l'appareil peut être reproduit par l'effort qu'exerce la vis métallique, reliant le boîtier à l'attache et servant de pivot, sur les deux fixations de l'attache.

	ABS	PA	PP
effort nécessaire pour atteindre la limite de résistance à la traction (en N)	800	2200	800
Couleur d'après le relevé de la limite d'élasticité	Jaune-vert	vert	jaune

Finalement, le matériau le plus propice à résister à un intense effort statique est un polyamide. Néanmoins, l'effort demandé pour atteindre la limite de résistance de l'ABS et du polypropylène est colossal et inatteignable par un bras humain.

4.3.2 Le capteur à ultrasons



Doc.33 Relevés visuels des contraintes appliquées sur les fixations

Le second test d'arrachage concerne l'emplacement du capteur à ultrasons monté autour d'une vis permettant de régler son orientation. Nous avons cherché à savoir quel effort serait nécessaire pour atteindre la limite de résistance du matériau au niveau des fixations du capteur (Doc.33). Les deux fixations du boîtier permettant d'accrocher l'attache à la ceinture ainsi que le capteur de distance sont les deux parties les plus vulnérables du boîtier à cause de leurs faibles épaisseurs et de leurs positionnements sur des faces extérieures.

L'intérêt de cette seconde simulation statique est donc de savoir quel est le seuil d'effort au-delà duquel la pièce risque une rupture. Nous avons pour cela procédé de la même manière que pour le test d'arrachage de l'attache à la ceinture mais cette fois-ci concernant l'emplacement du capteur à ultrasons.

Grâce à ces deux simulations statiques de tests d'arrachage nous pouvons observer que les efforts nécessaires pour atteindre la limite de résistance sont largement supérieurs pour un polyamide :

$F_{PA} \approx 3 \times F_{ABS}$

$F_{PA} \approx 3 \times F_{PP}$

	ABS	PA	PP
effort nécessaire pour atteindre la limite de résistance à la traction (en N)	500	1700	500
Couleur d'après le relevé de la limite d'élasticité	Jaune-vert	vert	jaune

4.4 Améliorations possibles

D'après les différentes simulations que nous avons effectuées grâce à SolidWorks, nous avons pu faire ressortir les potentielles sollicitations mécaniques auxquelles notre prototype doit être à même de faire face et de résister. Suivant les 3 matériaux que nous avions sélectionnés et d'après leurs propriétés les moins performantes que nous avions trouvées, nous sommes en mesure d'affirmer qu'un polymère polyamide correspondrait au mieux à notre cahier des charges malgré son coût relativement élevé par rapport aux autres matériaux : entre 3,61 et 3,97 €/kg.

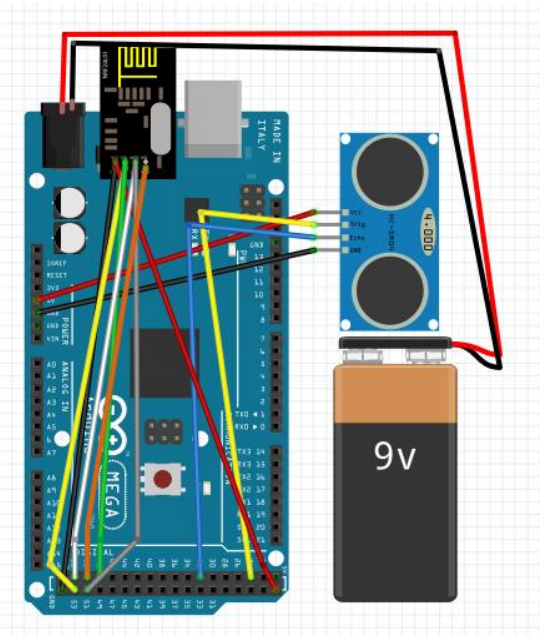
Cependant, l'ABS ou le polypropylène peuvent adopter une composition différente en fonction des besoins pour lesquels ils sont sollicités. En effet, la limite d'élasticité de l'ABS peut varier entre 18,5 et 51 MPa et celle du polypropylène entre 20,7 et 37,2 MPa. Ainsi, une meilleure composition de l'ABS permettrait de l'utiliser en tant que matériau pour nos pièces. D'autant plus que son coût est moins élevé : entre 2,26 et 2,49 €/kg.

Nous pourrions aussi réduire les contraintes exercées dans nos pièces lors des différentes simulations en adoptant des formes lisses et bombées absorbant mieux les chocs et en renforçant les fixations pour une meilleure résistance à l'effort.

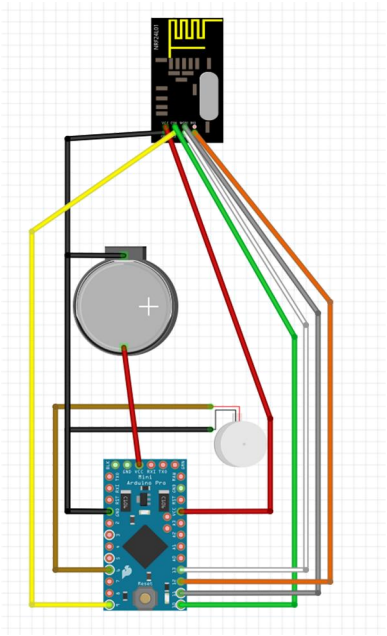
Enfin, la masse des matériaux joue aussi un rôle important pour un prototype portatif. Comme indiqué dans l'annexe n°1, le polypropylène est le plus léger des 3 matériaux.

5 Etude de la consommation énergétique du prototype

5.1 Schéma électronique du boîtier capteur et du bracelet vibratoire



Doc.34 Schéma électronique Boîtier capteur



Doc.35 Schéma électronique Bracelet vibratoire

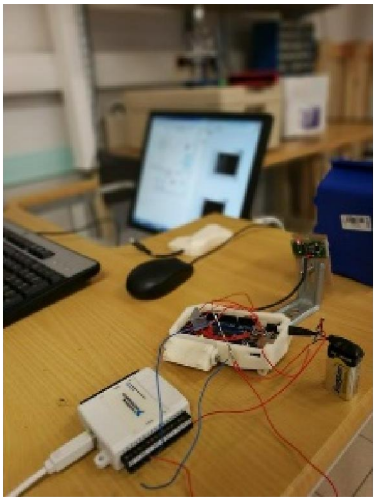
Le boîtier capteur est somme toute composé de peu de composants électroniques (Doc.34) : un microcontrôleur reprogrammable (Arduino Mega 2560), un capteur de distance à ultrasons (le SRF05), un module de communication sans fil émetteur (le nrf24L01) et enfin une alimentation externe de 9V. Et le bracelet vibratoire en possède autant (Doc.35) : un microcontrôleur reprogrammable (Arduino Pro mini v3.3), un moteur vibratoire, un module de communication sans fil récepteur (le nrf24L01) et une alimentation externe de 3,3V.

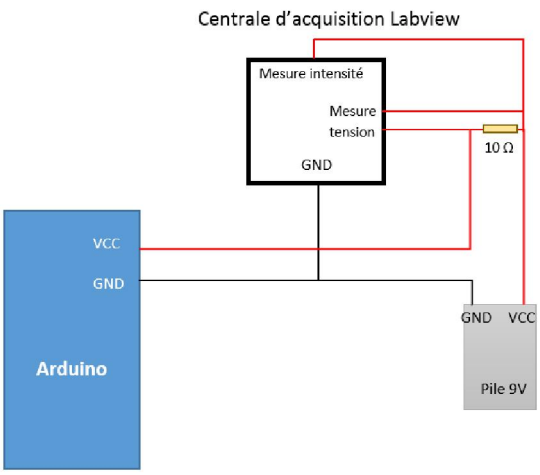
La complexité de ces deux systèmes électroniques ne réside pas dans le nombre de composants impliqués dans le fonctionnement de ces systèmes mais dans la nécessité de réduire l'espace occupé par ceux-ci au maximum pour rendre l'appareil ergonomique et transportable à la ceinture ou au poignet. Nous avons donc dû étudier plusieurs architectures fonctionnelles afin d'en déterminer la plus optimisée.

Les solutions d'alimentation trouvées pour le boîtier capteur et le bracelet vibratoire peuvent bénéficier d'améliorations. En effet, le choix de piles était la solution la plus simple et la plus sûr que nous pouvions prendre pour créer notre prototype. Cependant, des batteries au Lithium seraient plus adéquates pour l'utilisation quotidienne que nous voulons faire de notre prototype. Leur capacité de pouvoir se recharger se révélerait bien plus pratique à utiliser que des changements réguliers de piles.

5.2 Mesure de la consommation énergétique du boîtier capteur et de son autonomie

Aujourd'hui, chaque objet technologique étant muni d'une alimentation portable vise à avoir la meilleure autonomie possible tout en ayant une consommation moindre. Dans notre cas, la partie boitier capteur du dispositif est alimentée par une pile 9V. Ce type d'alimentation fut principalement choisi pour son faible coût et sa facilité d'utilisation pour alimenter une carte Arduino Mega. En revanche, une fois usée, la pile n'est pas réutilisable et il faut la remplacer par une pile neuve. Ce type d'alimentation ne s'avère donc pas très écologique ni économique. Il faudrait envisager de remplacer cette pile par une batterie rechargeable.

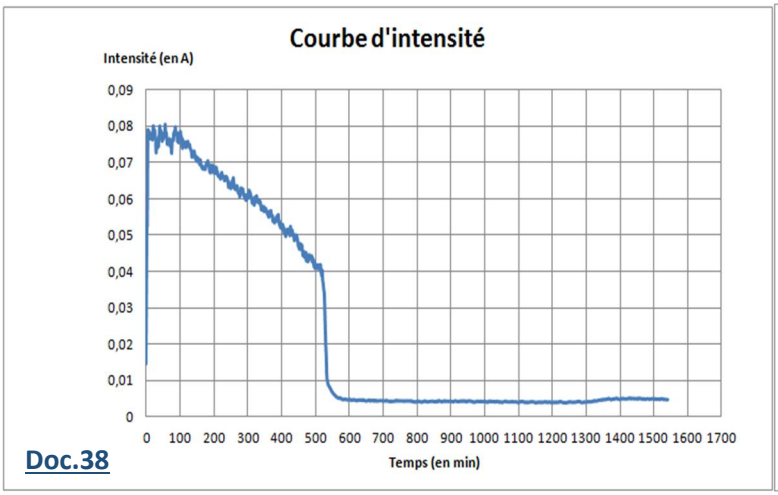




Doc.36 Photo du montage de l'expérience

Doc.37 Schéma du montage de l'expérience

Pour envisager un éventuel changement d'alimentation, nous devions mesurer la consommation énergétique du dispositif lors de son fonctionnement au complet : détection d'un obstacle et transmission du message d'alerte (Doc.36 et Doc.37). Ces mesures pourront donc être d'une grande aide pour déterminer les caractéristiques techniques d'une prochaine source d'alimentation. Pour réaliser ces mesures, nous avons utilisé le logiciel LabVIEW en mode acquisition. Notre protocole consistait à prendre une mesure de courant et de tension toutes les minutes. Pendant toute la durée des mesures, notre dispositif était en fonctionnement. Ainsi, nous avons pu établir des relevés de la consommation d'énergie en fonction du temps sur une durée de près de 26 heures. Voici ces relevés traduits sous forme de courbes.



Doc.38

Doc.39

D'après ces relevés, nous voyons que notre boîtier capteur possède une autonomie relativement faible de l'ordre de 150min soit 2h30. En effet, l'Arduino est en mesure de faire fonctionner le module de communication et le capteur à ultrasons tant que la tension d'alimentation (Doc.39), donc de la pile, ne descend pas en dessous de 7,5V. Lorsque la tension atteint environ 8V, la pile a du mal fournir l'intensité nécessaire et diminue déjà sa tension en fonction des sollicitations du capteur : détection d'obstacle ou non pour compenser l'intensité demandée.

Lorsque la tension de la pile arrive aux environs de 5V, l'Arduino commence à avoir du mal à être alimenté, la plage de tension qu'il supporte va en effet de 5 à 12V. En deçà de 5V, l'Arduino s'éteint et la pile cesse de diminuer sa tension car il n'y a plus de composants électroniques qui continuent de consommer de l'énergie.

Lors de la phase d'utilisation « normale » du boîtier capteur, durant 2h30, il consomme environ 0.075A/h avant de diminuer petit à petit sa consommation du fait des différents composants qui ne peuvent plus être alimenter correctement. Lorsque l'Arduino s'éteint, la consommation passe à environ 0.005A/h qui correspond en réalité au bruit électronique environnant la zone d'expérimentation. (Doc38)

Conclusion

En somme, les secteurs du handicap et de l'accessibilité à la personne sont des domaines en pleine expansion où de nombreuses innovations sont possibles. Ainsi, notre dispositif anti-collision pour personnes malvoyantes propose un nouveau moyen à celles-ci de se déplacer. Ce projet possède donc tout naturellement des contraintes et des besoins liés à l'handicap qui demandent des solutions techniques bien particulières, adaptées à une personne souffrant de cécité.

De ce fait, il nous est alors venu l'idée d'exploiter un capteur de distance afin d'avertir un utilisateur si celui-ci s'approche trop près d'un obstacle. Après quelques tests sur différentes technologies de capteurs, nous avons finalement confirmé que l'utilisation d'un capteur à ultrasons tel que le SRF05 correspondait au mieux à nos attentes vis-à-vis de ce projet, soit la portée, la précision et le cône de mesure que nous avons vérifié expérimentalement afin de cerner les caractéristiques techniques propres à notre capteur. Néanmoins, ce capteur rend le dispositif inoppérant dans la foule et ne peut pas localiser l'obstacle avec précision.

Evidemment, un capteur seul ne peut en rien avertir une personne, il doit pour cela être couplé à des élements électroniques telle qu'une carte Arduino et s'implanter dans une réalisation portative et ergonomique. Cependant, qui dis électronique dis aussi consommation d'énergie, c'est pour cela que nous avons testé l'autonomie et la consommation énergétique de notre prototype dans le cadre de son utilisation complète afin d'en faire ressortir ses besoins énergétiques propres .

De plus, nos choix se sont orientés vers un dispositif divisé en deux parties. L'une s'occupant d'acquérir et de traiter les données du capteur puis d'envoyer un message d'avertissement à la seconde partie qui, une fois le message reçu, se charge d'avertir l'utilisateur par le biais de vibrations dans le poignet. Cet ensemble a ainsi pour rôle d'orienter l'utilisateur sans que celui-ci ne soit encombré au niveau des mains ou ne doit porter des dispositifs contraignants sur son corps. Pour limiter l'encombrant de ce prototype, les deux parties : le boîtier capteur et le bracelet vibratoire sont reliés par radiocommunication et non par liaisons filaires. Nous avons donc vérifié expérimentalement les caractéristiques techniques de notre module de communication ce qui nous a permis de faire ressortir des améliorations que nous devrions apporter à la communication sans fil s'opérant dans notre prototype.

Enfin, notre prototype se destine à être porté par une personne ce qui signifie que les pièces le constituant doivent nécessairement pouvoir résister à de fortes sollicitations ponctuelles de chocs ou d'efforts intenses afin de garantir l'intégrité de l'appareil tout en étant léger pour un dispositif qui se veut portatif. Pour cela, nous avons comparé 3 matériaux selon leurs propriétés mécaniques et géométriques face à différents tests de chute et d'arrachage. Grâce à la simulation informatique, nous avons pu mener à bien ces tests afin de choisir quel matériau corresponderait au mieux à nos attentes pour constituer nos pièces du prototype. Il s'est avéré que les polymères polyamides correspondaient au mieux à nos besoins même si une composition différente de l'ABS pourrait en faire un sérieux candidat.

Expériences personnelles :

Simon LEDUC : Ce projet a été un réel enrichissement vis-à-vis du vaste champ de connaissance qu'il nous a amené à étudier pour le réaliser. Ca a été un vrai de plaisir de participer à son aboutissement depuis le stade d'une simple idée puis de sa réalisation et fabrication et enfin les différentes études que nous avons réalisé pour les Olympiades. Il nous a demandé beaucoup de temps pris en majorité sur notre temps libre mais constitue un formidable projet destiné à une utilisation concrète au quotidien.

Maxence ROUXEVILLE : Pour moi, le simple fait que notre prototype ait pu voir le jour est une réussite. De plus, lors de nos recherches et expériences nous avons travaillé sur de nombreux domaines. J'ai donc pu acquérir de nombreuses notions scientifiques et techniques. Au-delà des connaissances, la dimension sociale du projet et le travail de groupe furent très enrichissants. Je suis donc très satisfait du travail accompli et du résultat de notre projet.

Gabin FORCIER : Ce projet m'a permis non seulement d'apprendre à travailler en groupe mais surtout l'importance de bien se répartir les tâches et de bien communiquer entre nous. Ce concours, demandant beaucoup de temps et d'implication, nous apprend à s'organiser de façon minutieuse. Au-delà de l'apport des connaissances techniques et scientifiques très intéressantes et utiles, ce projet m'a fait prendre conscience qu'une simple idée pourrait aider des personnes souffrant d'un handicap dans leur vie quotidienne.

Annexes

Annexe 1

	ABS	PA	PP
Masse volumique (kg/m³)	1010	1120	890
Module d'Young (MPa)	1.1	2.62	0.896
Limite d'élasticité (MPa)	18.5	50	20.7
Résistance à la traction (MPa)	27.6	90	27.6
Prix (€/kg)	2.26 - 2.49	3.61 – 3.97	1.53 – 1.76
Masse du boîtier capteur (en kg)	0.180	0.200	0.159

Données tirées de la base de données CES Edupack Universités de *Granta Design*

Annexe 2

A cause du trop grand nombre de relevés que nous avons effectués pour les 3 différents tests de chute, nous ne pouvons pas afficher les différents résultats dans notre dossier à cause de son nombre de pages qui est limité. Nous vous invitons donc à consulter le site web que nous avons créé pour notre projet. Les informations importantes de ces relevés de simulations ont été notifiées dans chaque tableau des tests de chutes. Les relevés que nous exposons sur notre site sont donc facultatifs mais permettent de bien mieux se rendre compte de la répartition des contraintes lors des chutes. Notre site est aussi disponible à l'adresse : https://goo.gl/tDyIgr

Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement :

- Notre professeur de Sciences-Physiques Mme. LONGUET chargée d'encadrer notre projet ainsi que l'équipe enseignante de Physique-Chimie : Mme. BLANCHO, M. ROUILLE, M. BLAIN. Ils se sont rendus disponible pour nous épauler dans ce projet.

- Notre professeur de Sciences-de-l'ingénieur M. MESSAGER qui nous a aussi soutenu.

- M. Jean-François DIOURIS, professeur en système de communication et traitement du signal mais aussi directeur adjoint de l'IETR ainsi que M. BRUNET, ingénieur à l'IETR qui nous ont aidés dans la compréhension et la mise en évidence expérimentale de caractéristiques techniques liées à la communication sans fil de notre prototype au sein de l'école d'ingénieur **Polytech** Nantes.

- M. Vincent HAUTCOEUR, professeur au sein de l'école d'ingénieur de l'**ICAM** pour son soutien dans notre projet et la mise en place d'un partenariat avec l'ICAM

- Notre lycée de la Joliverie pour son soutien dans notre projet et sa mise à notre disposition de matériels et technologies telle qu'une imprimante 3D.

Un grand merci aussi à ceux qui rendent possible cette aventure scientifique qu'est le concours C.Génial.