

Projet de Physique P6
STPI/P6/2015 – 42

**EXPERIENCE DE MESURE
INTERFEROMETRIQUE**



Etudiants :

Yann CHAMBRELAN

Amaury LACAVE

Thomas MOLINERO

Tom SALOU

Qianhan ZHOU

Enseignant-responsable du projet :

Jérôme YON

Date de remise du rapport : 15/06/2015

Référence du projet : STPI/P6/2015 – 42

Intitulé du projet : **Expérience de mesure interférométrique**

Type de projet : **Expérimental**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Le but de ce projet est de pouvoir déterminer grâce à des mesures interférométriques la distance séparant deux points d'un espace fermé, et plus concrètement dans le cas présent, deux rainures d'un tuyau. Pour cela nous allons réaliser une expérience qui se compose d'un tube comprenant des picots en guise de rainure, dans lequel on introduira un émetteur/récepteur d'onde électromagnétique, afin de mesurer les interférences possibles. Ainsi nous pourrons estimer la différence de distance entre deux rainures, et donc dans le cas réel savoir si le tuyau s'est détérioré.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : - **interférence**

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : _____

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	6
2. Méthodologie / Organisation du travail	8
2.1. Méthodologie	8
2.2. Répartition du travail	9
3. Travail réalisé et résultats	10
3.1. Partie théorique.....	10
3.1.1. L'approche théorique	10
3.1.2. Modélisation sur Scilab.....	14
3.2. Partie expérimentale	18
4. Conclusions et perspectives	21
5. Bibliographie	22
6. Annexes	23
6.1. Programme réalisé sur Scilab.....	23
6.2. Représentation de notre maquette sur SolidWorks	24

NOTATIONS, ACRONYMES

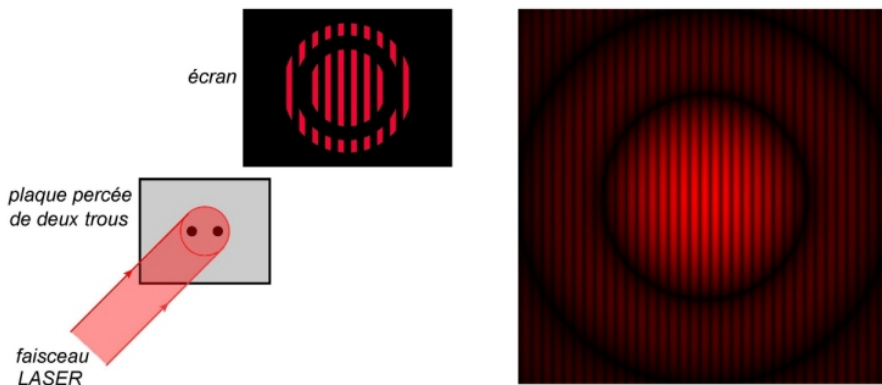
- « pas », p : distance entre deux rainures/picots
A, B, C ... : amplitudes
E : champ électromagnétique
I : intensité



1. INTRODUCTION

Notre objet d'étude dans ce projet va porter sur les interférences et plus particulièrement sur l'étude et l'exploitation des mesures de ce phénomène. Avant toute chose, retraçons brièvement l'histoire de l'interférence.

L'histoire des découvertes sur les interférences a commencé avec **Francesco Grimaldi**. Ce père Jésuite italien a observé un changement de trajectoire de la lumière du soleil lors de son passage à proximité d'objets opaques. Il a appelé ce nouveau phénomène : la diffraction. Grimaldi, lors de ses expériences a probablement observé des interférences avec deux sources proches, mais ses descriptions n'étaient pas suffisamment précises pour conclure. C'est à Thomas Young, médecin anglais du début du 19^{ème} siècle, que revient le mérite de la découverte des interférences. Son expérience est bien connue car porte toujours son nom aujourd'hui. Il s'agit de faire passer la lumière à travers des trous ou fentes de faible ouverture et d'observer alors les phénomènes d'interférences sur un écran placé derrière (cf. image ci-dessous de l'expérience, aujourd'hui réalisée avec des lasers).



Expérience des trous de Young

Augustin Fresnel, ingénieur français, prend la relève vers 1814. Il va quant à lui utiliser une méthode différente pour réaliser son expérience ; au lieu de faire pénétrer la lumière solaire dans sa chambre noire par un petit trou, il utilise une petite goutte de miel insérée dans un trou percé dans une plaque métallique. La goutte fait fonction de lentille et donne une minuscule image du soleil qui constitue sa source ponctuelle. Comme ses prédécesseurs il interpose des écrans percés de trous ou de fentes devant cette source de lumière. Par contre, l'écran sur lequel il observe les



figures d'interférences et de diffraction est un verre dépoli. De fait, en plaçant une loupe montée sur un micromètre derrière celui-ci, il peut effectuer des mesures précises. Par la suite, A. Fresnel imagina d'autres dispositifs pour observer des interférences : les miroirs et le biprisme de Fresnel.

En 1881, **Albert A. Michelson** invente l'interféromètre. C'est un interféromètre à division d'amplitude composé de 2 miroirs, d'une lame semi-transparente (ou lame séparatrice) et d'une lame transparente (ou compensatrice). On éclaire ce dispositif avec une source de lumière et un détecteur permet l'étude de la figure d'interférence qui en résulte. Michelson a contribué de plus, à la mise au point de la technique de la synthèse d'ouverture, imaginée par **Hippolyte Fizeau** vers 1850, pour déterminer le diamètre apparent des étoiles par des méthodes interférométriques.

A présent, l'origine du phénomène d'interférence étant plus claire, nous pouvons s'intéresser de plus près à notre projet. L'objet de notre étude portera donc sur l'étude de mesures interférométriques. Certaines définitions sont donc indispensables pour la compréhension de la suite. Tout d'abord, il faut savoir ce qu'est une **onde** ; c'est la propagation d'une perturbation produisant sur son passage une variation réversible des propriétés physiques locales du milieu. Elle se déplace avec une vitesse déterminée qui dépend des caractéristiques du milieu de propagation. L'étude de la propagation d'une onde ne va pas sans aborder des phénomènes majeurs tels que la diffraction et l'interférence. La **diffraction** se manifeste par un étalement des directions de propagation de l'onde lorsque celle-ci rencontre une ouverture ou un obstacle. Le **phénomène d'interférence**, qui va nous intéresser majoritairement dans notre étude, correspond à la variation dans l'espace de l'amplitude résultante de la superposition de deux ondes monochromatiques de même fréquence et de même nature. Ce phénomène est mesurable, et c'est bien là l'intérêt de notre projet, on appelle cela l'**interférométrie**.

Nous allons donc lors de ce projet tenter d'utiliser ce phénomène d'interférence dans le but de déterminer une distance. Notre objet d'étude est une enceinte fermée présentant des défauts à intervalle régulier, intervalle que l'on nommera « pas ». Le but va être d'envoyer une onde à l'intérieur de cette enceinte afin de déterminer ce pas grâce à l'analyse des interférences que vont engendrer ces ondes. En effet, les ondes vont se réfracter sur les différents défauts de l'enceinte et ainsi des interférences vont se formées à la réception du signal retour. Pour cela, il nous faudra modéliser tout d'abord théoriquement puis expérimentalement ce dispositif de mesures interférométriques.

On se demandera si nous pouvons faire varier les paramètres mis en cause dans ce modèle afin de pouvoir appliquer cette méthode de mesure à la réalité industrielle ?

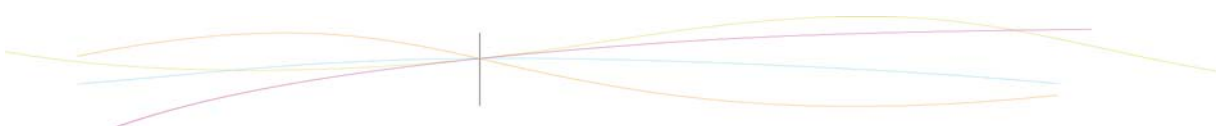


2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1. Méthodologie

Tout d'abord, afin d'aborder notre projet le mieux possible il fallait comprendre certaines définitions majeures sur le bout des doigts. Nous avons donc commencé les séances de projet par la recherche de certains mots-clés qu'on a vite établis (cf. définitions en introduction). De plus, durant ces premières séances, Mr Yon nous a exposé ce qu'il attendait de nous dans ce projet. En parallèle, nous faisons donc quelques recherches sur le projet en lui-même. Il était évident, et Mr Yon nous l'avait bien précisé, qu'il fallait commencer par une approche théorique et ce serait bien là le but principal de notre projet : Comment déterminer une distance grâce à des mesures interférométriques ? Nous avons rapidement saisi l'idée générale de notre projet, dès le début le but du projet nous paraissait assez clair. Nous devions, à l'aide d'observations de phénomènes d'interférence, être capables de déterminer une distance entre deux points situés dans un espace fermé. Mr Yon nous a d'emblée orienté vers une application de notre problématique à intérêt industriel. Cette application consiste en un tuyau (de canalisation, par exemple) qui présenterait des défauts (trous, par exemple) dont l'on souhaiterait connaître la position exacte. L'idée serait alors de faire entrer dans ce tuyau un appareil qui émettrait et réceptionnerait des ondes. Ces ondes se réfléchissant sur les défauts présents dans le tuyau vont engendrer des phénomènes d'interférences au niveau de l'émetteur/récepteur. L'analyse de ces phénomènes d'interférences nous donnerait alors la distance recherchée entre les différents défauts du tuyau. Pour aller plus loin, la finalité de ce projet serait de pouvoir prévoir pour quelle longueur d'onde des ondes utilisées (sonores ou lumineuses) cette analyse fonctionnerait en fonction de la taille du tuyau et de l'ordre de grandeur de la distance entre les trous. Autrement dit, en pratique, si je possède un tuyau de diamètre connu, quel ordre de grandeur je peux m'attendre à mesurer avec précision en utilisant telle ou telle longueur d'onde.

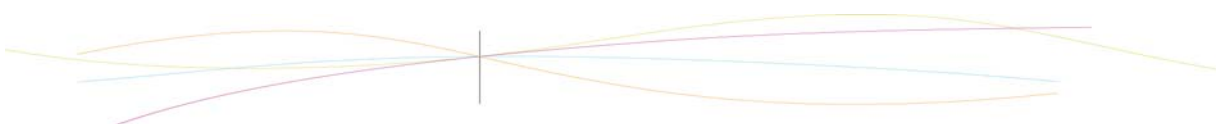
Avant d'aboutir à cela, il nous fallait donc élaborer un résultat théorique. Ce résultat doit exprimer l'intensité du signal reçu en un point (qui serait le récepteur de l'appareil) en fonction de la longueur d'onde de l'onde utilisée, la distance entre deux défauts (correspondant à un pas) et le diamètre du tuyau. L'établissement de cette formule théorique s'est inscrit dans les séances de projet qui suivirent et a donc constitué le point de départ de notre analyse théorique. Ensuite, durant les séances suivantes et avec l'aide de notre professeur, nous avons créé, à partir de cette formule, un programme sous Scilab nous permettant d'entrer des valeurs théoriques précises et d'en extraire des représentations graphiques de l'amplitude du signal en fonction de la distance avec un défaut. C'est grâce à ce programme qu'on pourrait en fixant deux de nos trois paramètres (pas, diamètre du tuyau et longueur d'onde) obtenir le troisième et ainsi établir des liens.



A la suite de cette approche théorique, il serait intéressant de modéliser cela en pratique. Nous disposons d'émetteur/récepteur d'ultrasons (longueur d'onde = 348 m/s) et d'un tube en carton d'un diamètre d'environ 15cm. Nous avons, en effet, pu constater théoriquement par la suite, que des résultats exploitables pouvaient être obtenus avec ces grandeurs ci. Nous avons donc décidé de tenter l'expérience.

2.2. Répartition du travail

Bien que nous ayons su assez rapidement nous répartir le travail de recherche de début de projet, nous avons eu plus de mal à instaurer notre démarche de projet. En effet, notre progression s'est vu stagner pendant plusieurs semaines par manque d'organisation et par découragement face à la complexité évidente du problème profond que soulevait notre projet. L'aide précieuse de notre professeur ne suffisait malheureusement pas à nous faire avancer, il nous fallait une vraie démarche de projet. Heureusement, nous avons su le réaliser à temps. En effet, nous avons amorcé notre démarche en nous répartissant le travail convenablement et en nous donnant des échéances, des objectifs pour les semaines d'après. Après un travail de groupe plus ou moins efficace sur l'aspect théorique et sur la conception du programme Scilab, le travail s'est alors réparti de la façon suivante : Qianhan s'est intéressée plus profondément aux recherches sur l'interférence et toutes les notions dont nous avons besoin dans l'optique de rédiger l'introduction et nous aiguiller en cas de doute sur une définition, Amaury et Thomas se sont plus concentrés sur le programme Scilab et son exploitation ainsi que sur la critique de celui-ci, et enfin, Tom et Yann se sont focalisés sur la mise en place de l'expérience et de ces observations. Pour les quelques séances restantes, se fut pour nous l'occasion de mettre en commun nos recherches, de s'entraider dans les difficultés rencontrées et de poser des questions sur notre travail à Mr Yon. La répartition du travail pour le rapport écrit s'est fait naturellement de la même façon, chacun étant expert de sa partie. Qianhan pour l'introduction, Thomas pour la première partie et la conclusion, Amaury pour la théorie de la deuxième partie et Tom et Yann pour la fin de cette deuxième partie.



3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Partie théorique

3.1.1. L'approche théorique

Avant de pouvoir mettre en place toute expérience, il nous fallait bien une approche théorique importante sur le sujet.

Nous avons donc tout d'abord représenté un tuyau de diamètre D , dans lequel on introduit une source d'ondes électromagnétiques S qui comporte également un capteur d'ondes.

Les points $R1$ et $R2$ correspondent à deux rainures du tuyau, dont on veut mesurer l'écart p , que nous appellerons le pas. Nous supposons que seules les réflexions dues à ces rainures seront prises en compte, celles des parois du tuyau et de son extrémité seront négligées.

Enfin, x représente ici la distance entre la source S et la première rainure $R1$.

Afin de simplifier notre première approche sur le sujet, seules ces deux rainures $R1$ et $R2$ seront prises en considération. Un théorème célèbre fut alors notre premier abord sur la question : le théorème de Pythagore. Schématisons la situation :

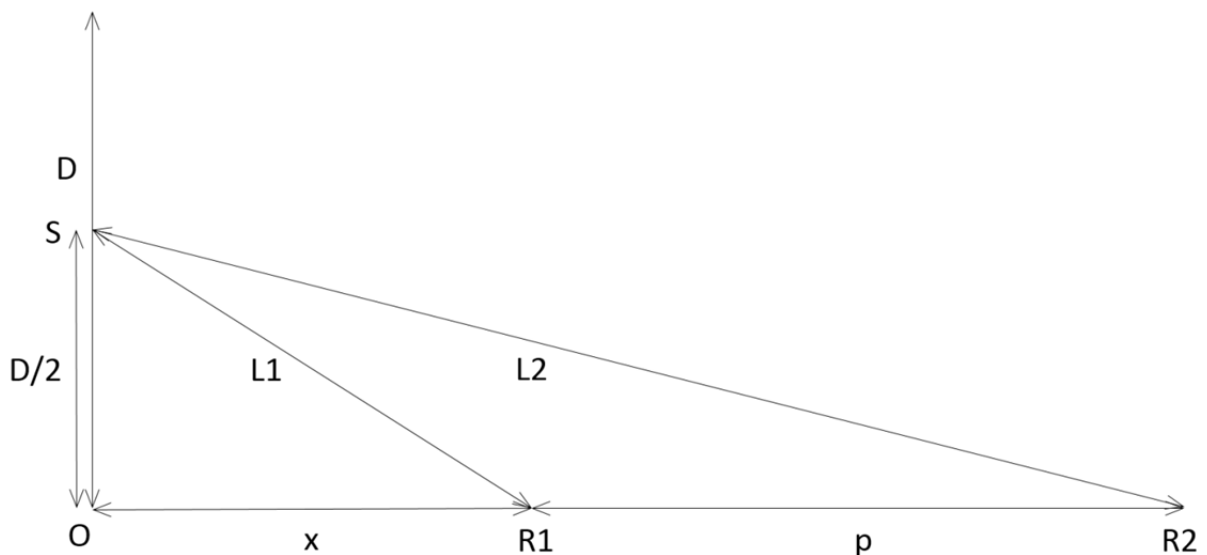


Schéma théorique de l'expérience

Ce qui nous intéresse ici, sont les deux distances $L1$ et $L2$, c'est-à-dire les distances que l'onde électromagnétique parcourt respectivement jusqu'à $R1$ et jusqu'à $R2$, afin de connaître la différence temporelle de réception de ces deux ondes. Il nous suffit donc tout d'abord d'appliquer le théorème de Pythagore aux triangles $OSR1$ et $OSR2$: on obtient :

$$L1 = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + x^2}$$

$$L2 = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + (x + p)^2}$$



Maintenant, il nous faut connaître l'intensité lumineuse captée au point S. Pour cela, on peut déjà calculer le champ électromagnétique E résultant au point S, en considérant uniquement les rainures $R1$ et $R2$:

$$E = A \exp(i(\omega t - \frac{2L1 \times 2\pi}{\lambda})) + B \exp(i(\omega t - \frac{2L2 \times 2\pi}{\lambda}))$$

Avec A et B les amplitudes respectives des signaux allant vers $R1$ et vers $R2$. On a bien un facteur 2 devant $L1$ et $L2$ du fait que l'onde effectue un aller-retour entre S et respectivement $R1$ et $R2$.

Et donc, d'après la formule : $I = EE^*$

On obtient :

$$\begin{aligned} I &= [A \exp(i(\omega t - \frac{2L1 \times 2\pi}{\lambda})) + B \exp(i(\omega t - \frac{2L2 \times 2\pi}{\lambda}))] \times [A \exp(-i(\omega t - \frac{2L1 \times 2\pi}{\lambda})) + B \exp(-i(\omega t - \frac{2L2 \times 2\pi}{\lambda}))] \\ &= A^2 + B^2 + AB[\exp(\frac{4\pi i}{\lambda}(-L1 + L2)) + \exp(-\frac{4\pi i}{\lambda}(-L1 + L2))] \end{aligned}$$

Soit :
$$I = A^2 + B^2 + 2AB \cos(\frac{4\pi}{\lambda}(-L1 + L2))$$

Nous pouvons donc maintenant calculer la valeur de l'intensité lumineuse reçue au point S après interférence entre les deux ondes électromagnétiques qui arrivent à ce point.

Cependant, cette simple approche ne prend en considération que deux rainures. Nous allons donc déjà ajouter une troisième rainure à notre tuyau, puis nous étendrons cette étude à une infinité de rainures, afin de pouvoir traiter tous les cas possibles.

Ainsi nous considérons toujours ce même tuyau, mais avec une troisième rainure $R3$, dont la distance la séparant de la source S est $L3$, et du point O, $x + 2p$. On a donc :

$$L3 = \sqrt{(\frac{D}{2})^2 + (x + 2p)^2}$$

Et cette fois, pour le champ électromagnétique, on a :

$$E = A \exp(i(\omega t - \frac{2L1 \times 2\pi}{\lambda})) + B \exp(i(\omega t - \frac{2L2 \times 2\pi}{\lambda})) + C \exp(i(\omega t - \frac{2L3 \times 2\pi}{\lambda}))$$

Avec A , B et C les amplitudes respectives des signaux allant vers $R1$, $R2$ et vers $R3$.

Et on obtient alors pour l'intensité :

$$I = A^2 + B^2 + C^2 + 2AB \cos(\frac{4\pi}{\lambda}(-L1 + L2)) + 2BC \cos(\frac{4\pi}{\lambda}(-L2 + L3)) + 2AC \cos(\frac{4\pi}{\lambda}(-L3 + L1))$$



Nous pouvons des calculs précédents établir les conjectures suivantes :

Pour tout entier $i > 0$,

$$Li = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + (x + (i - 1)p)^2}$$

En effet, à chaque rainure suivante, on rajoute un pas p à la distance entre le point O et le point rainure Ri . Et on commence à $R1$, mais sans pas p , d'où le $(i - 1)$ dans la formule.

Et pour la deuxième conjecture :

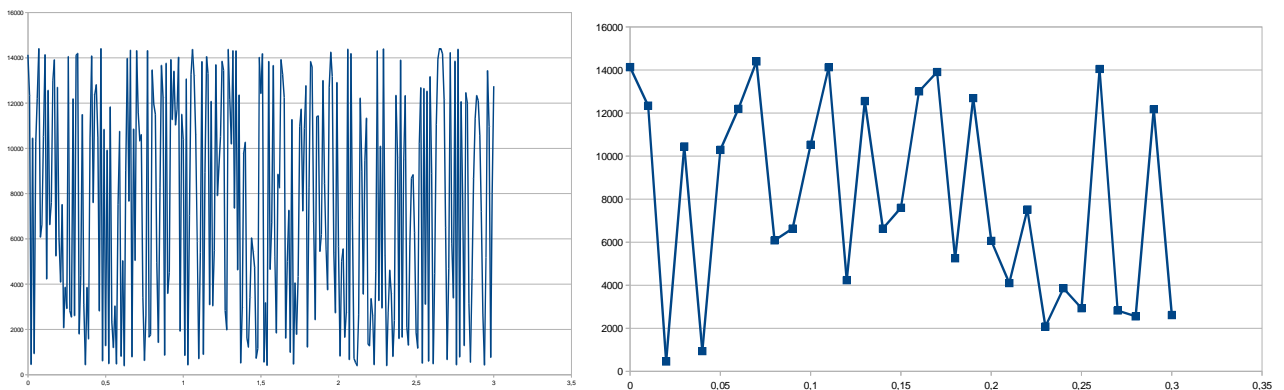
$$I = \sum_{i=1}^n A_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_i A_j \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}(Li - Lj)\right)$$

Nous avons effectivement tout d'abord la somme des Ai^2 , puis la somme de chaque produit $Ai \times Aj \times \cos(\dots)$. Mais vous constaterez que l'on inclus dans cette somme les produits $Ai^2 \times \cos(\dots)$, lorsque $i = j$, qui ne sont pas présents dans le résultat final. Par exemple avec nos trois rainures, nous avons :

$$I = A^2 + B^2 + C^2 + 2AB \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}(-L1 + L2)\right) + 2BC \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}(-L2 + L3)\right) + 2AC \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}(-L3 + L1)\right)$$

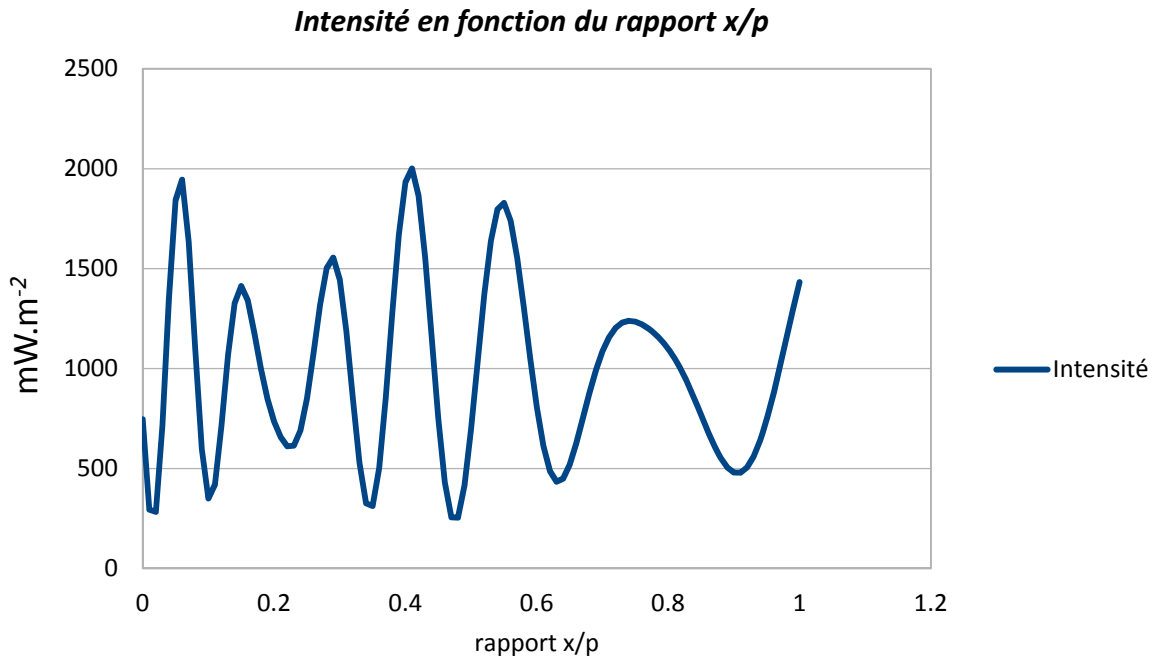
Et donc il n'y a aucun $A^2 \times \cos(\dots)$ par exemple, mais cela s'explique par le fait que dans ce cas, on aurait $L1 - L1 = 0$ dans le *cosinus*, et donc 0 . Ainsi, ils n'apparaissent pas dans cette somme. Et la différence $Li - Lj$ s'explique par le fait qu'à chaque produit $Ai \times Aj$, on met en relation les deux distances concernées, soit Li et Lj . Et l'ordre n'a aucune importance, la fonction *cosinus* étant paire, on a bien $\cos(-x) = \cos(x)$.

Maintenant, nous devons vérifier ces conjectures, et pour cela nous utiliserons le logiciel LibreOffice Calc. Ainsi nous entrons nos formules et les testons pour plusieurs rainures, en prenant des valeurs d'amplitude arbitraire. Nous décidons de tracer l'intensité en fonction du rapport x/p , c'est-à-dire que nous partons de la rainure $R2$ avec notre capteur, puis nous nous en éloignons dans notre direction jusqu'au pas $R1$. Ainsi nous commençons à $x = 0$, puis calculons 100 points jusqu'à $x = p$, et donc le rapport final sera 1 . Nous obtenons d'abord ces résultats guères satisfaisants :



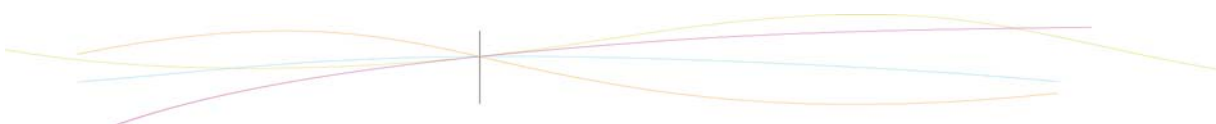
Nous essayons alors de remanier notre formule, reproduire les calculs afin de chercher une éventuelle erreur, mais rien n'y fait. C'est grâce à l'intervention de notre professeur que nous avons pu constater que le problème était tout simplement la valeur de la longueur d'onde λ , qui était bien trop faible pour les valeurs de rayon R et de longueurs p , $L1$, $L2$ et $L3$ que nous avons choisies.

Ainsi, après avoir rectifier ce détail important, nous parvenons à la courbe suivante :



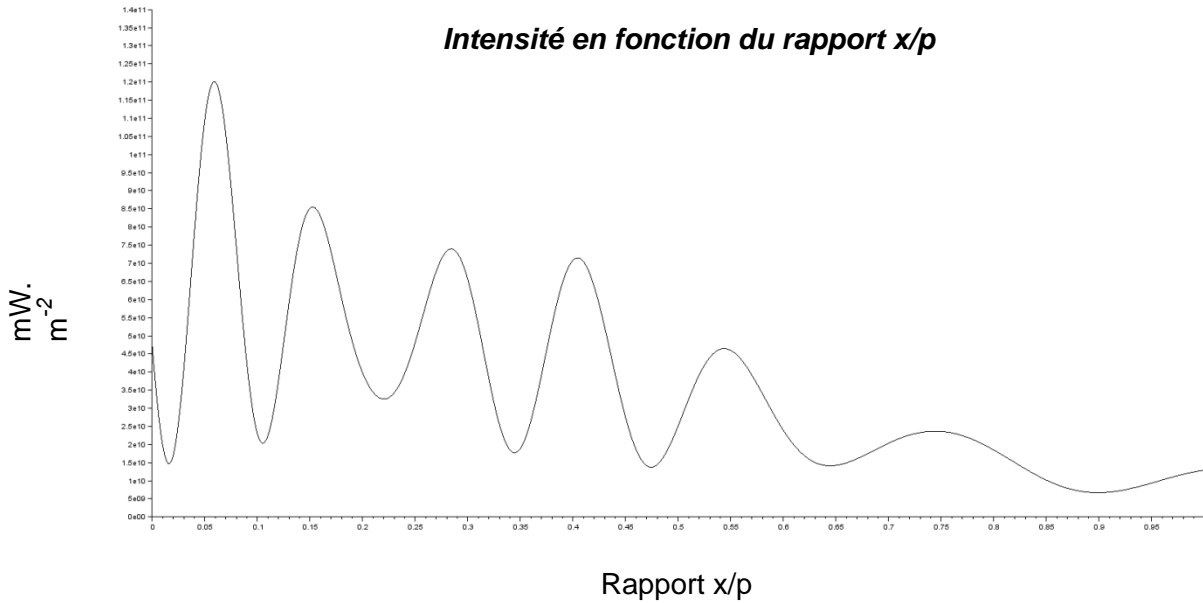
Cette courbe a été obtenue en ne prenant en compte que trois rainures, mais le résultat obtenu est assez satisfaisant : on reconnaît bien que c'est une courbe d'interférence, et sa valeur semble diminuer au cours du temps, ce qui est cohérent avec la situation : plus on va éloigner la source, moins l'intensité du signal reçu sera forte. En effet sous excel, nous avons entré les valeurs $A = 30\text{ mV}$, $B = 10\text{ mV}$ et $C = 5\text{ mV}$ de manière totalement arbitraire.

Ainsi pour notre approche théorique, nous avons bien obtenu la formule souhaitée pour résoudre notre problème. La prochaine étape consiste alors à modéliser cela sur le logiciel Scilab.



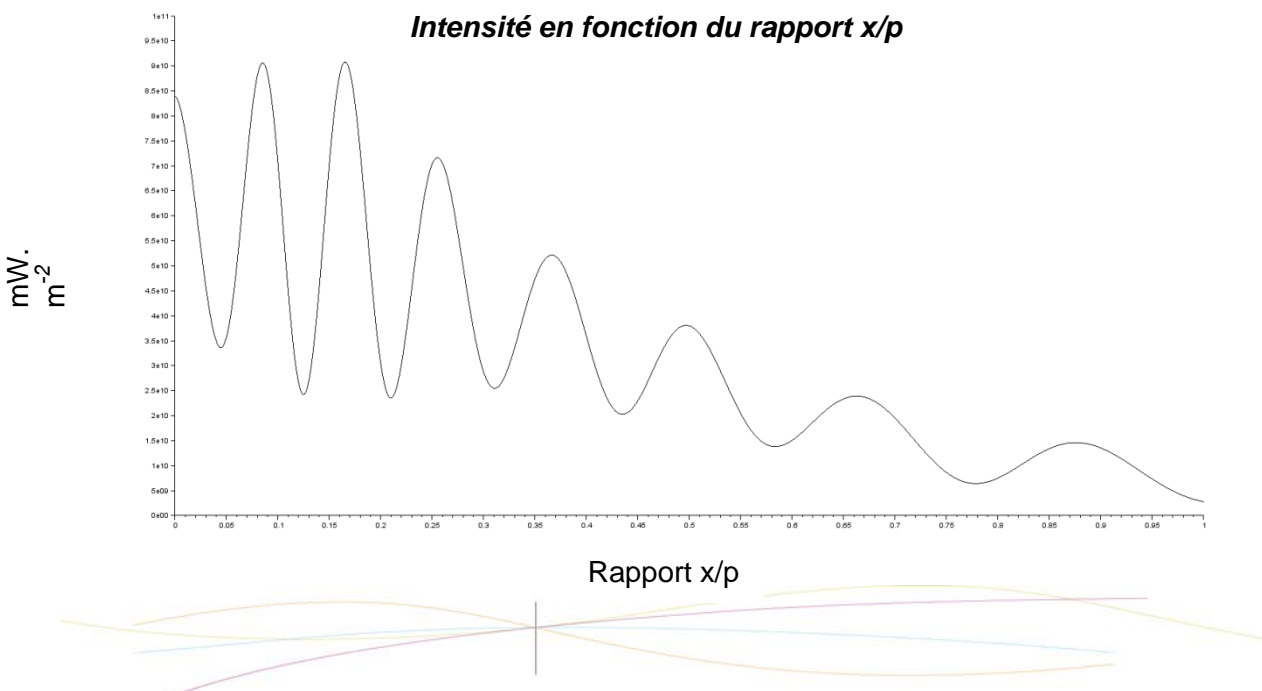
3.1.2. Modélisation sur Scilab

Tout d'abord, nous souhaitons remercier notre professeur, qui nous a aidé à mieux prendre en main ce logiciel et à y intégrer notre formule. Le code Scilab que nous avons entré, avec ses explications, se trouve en annexe 1. Après son exécution, on obtient la courbe suivante :



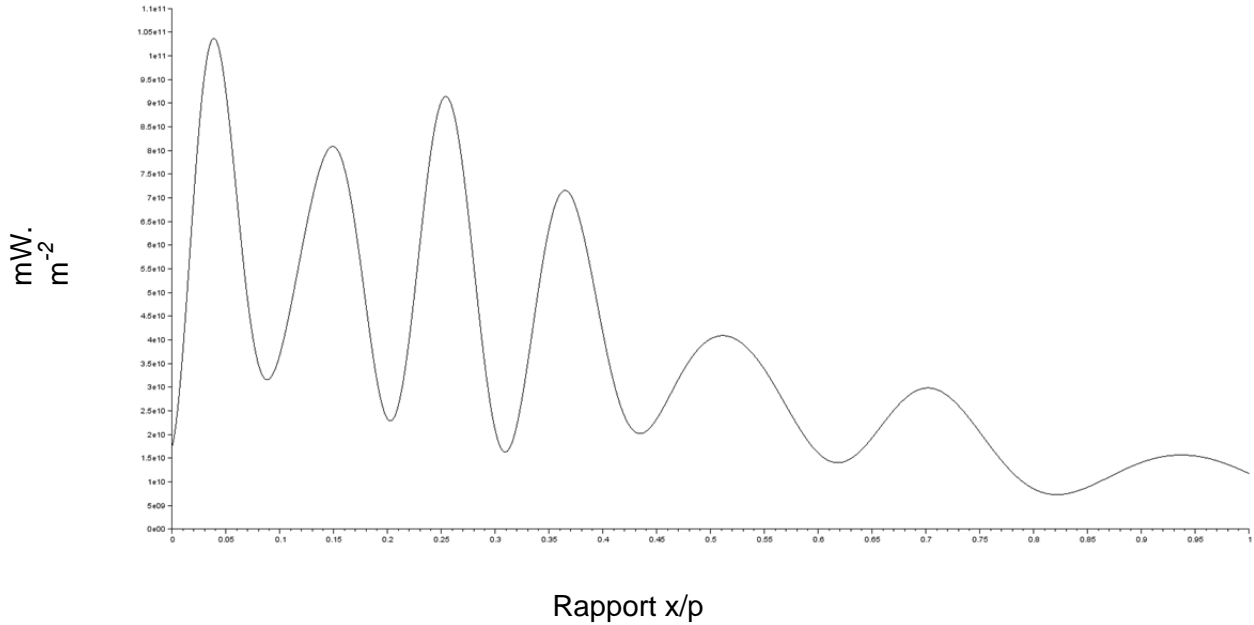
Les valeurs saisies pour $D = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $p = 7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $\lambda = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ et $Vitesse = 348 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ correspondent aux valeurs dont nous disposons pour notre expérience. L'hypothèse sur la diminution de l'amplitude, $A = 100/l^3 \text{ mV}$, est basée sur le fait que plus la rainure sera éloignée, plus la distance à parcourir longue, et donc moins l'intensité sera importante. Nous constatons sur la courbe obtenue que la valeur de l'intensité diminue plus on éloigne le capteur de la première rainure, ce qui est cohérent avec la situation.

Maintenant vérifions que cette courbe change d'allure lorsqu'on modifie la valeur du pas. Prenons par exemple $p = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, on obtient la courbe :



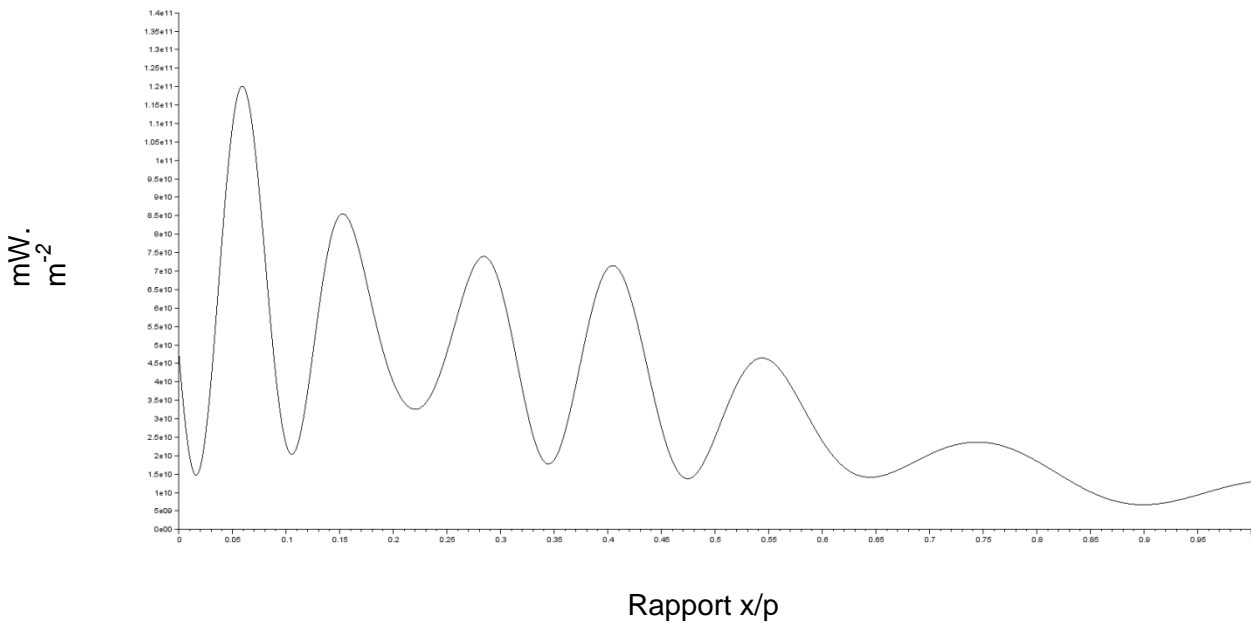
On constate alors bien distinctement la différence entre la courbe précédente et celle-ci. Mais nous avons choisis ici 1 centimètre de différence pour le pas, testons alors les limites de cette formule en testant des valeurs plus petites. Par exemple, pour $p = 7,1 \cdot 10^{-2} m$, soit une différence de 1 millimètre :

Intensité en fonction du rapport x/p



On constate, là aussi, une différence apparente. Et enfin, avec $p = 7,01 \cdot 10^{-2} m$, soit une différence de 0,1 millimètre :

Intensité en fonction du rapport x/p



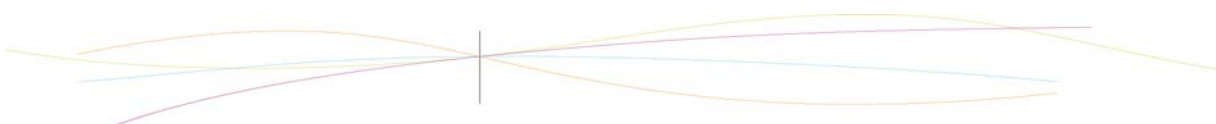
Cette fois, il est plus difficile de distinguer clairement une différence à l'œil nu, toutefois si on effectue un zoom sur cette courbe, on peut constater des différences, mais minimales. Ainsi, dans le cadre de notre expérience, nous considérons que la précision de nos résultats est de l'ordre de $10^{-3} m$, et que nous ne pouvons pas détecter de différence de pas d'un ordre de grandeur inférieur. D'un autre côté, une différence de l'ordre de $10^{-4} m$ sur un pas d'ordre $10^{-1} m$ peut être considérée comme négligeable, étant donné que $10^{-4} \ll 10^{-1}$.

Maintenant que nous avons fixé les limites de notre formule, approfondissons notre étude : et si à partir d'un certain pas, l'influence de ce dernier et des suivants sur la courbe obtenue serait nulle ?

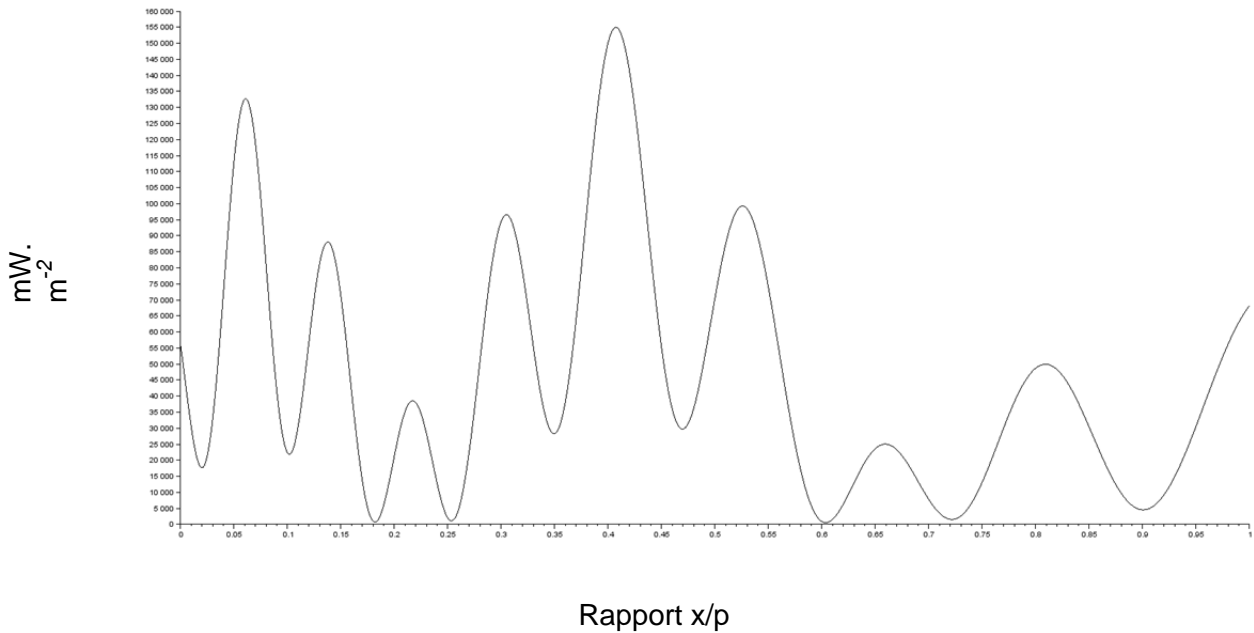
Nous avons donc testé plusieurs valeurs pour N , et avons constaté que dès que $N = 6$, la courbe obtenue est la même pour tout $N > 6$, et ainsi il n'est pas nécessaire de donner une valeur supérieure à N . Cependant ceci est le cas pour notre expérience, mais avec d'autres valeurs pour le pas, le diamètre, la vitesse, λ , et l'amplitude, le N limite serait sûrement différent.

Cependant avec ces données on pourrait déduire le pas sans même avoir recours aux interférences. En effet, la présence d'un « pic » lorsque le capteur est assez proche de la rainure permet de savoir à quel endroit précis se situe cette rainure, et ainsi il nous suffirait de mesurer la période correspondante entre deux pics afin de connaître le pas. Mais alors, quel est le but de s'intéresser aux interférences, si on peut déduire le pas sans les utiliser ?

Il faut savoir tout d'abord que nous considérons dans le cas présent que l'amplitude diminue, plus on s'éloigne de la source, avec un facteur $1/l^3$. Mais ce facteur arbitraire n'est pas présent dans toutes les situations. Prenons par exemple le cas d'une amplitude qui ne diminue pas, qui se maintient malgré la distance, notamment lorsque le pas est très petit : la différence de distance de parcours est tellement faible entre deux rainures que la diminution de l'amplitude est à peine ressentie. Ainsi, nous décidons de modifier notre programme Scilab, en remplaçant la valeur actuelle de A par $A = 100 mV$, ainsi l'amplitude restera constante pour chaque pas. Notons tout de même que nous allons prendre en compte 4 pas, soit $N = 4$, afin de rester cohérent avec notre hypothèse, sinon un nombre plus important impliquera une distance non négligeable. De plus, nous avons déjà envisagé notre expérience avec 4 picots dans notre tube. Nous obtenons ainsi la courbe suivante, ayant conservé les autres paramètres précédents :



Intensité en fonction du rapport x/p



Nous pouvons ainsi constater qu'il est plus difficile de déterminer précisément la période du signal, en effet plusieurs « pics » peuvent nous induire en erreur. Les interférences deviennent donc à ce point indispensables pour connaître la réelle valeur du pas.

Nous avons donc notre modèle théorique modélisé sur Scilab, et sommes donc prêts à mettre en place notre expérience.



3.2. Partie expérimentale

Avant toute chose, nous avons déterminé la longueur d'onde de l'émetteur. Pour cela nous avons alimenté l'émetteur et branché le récepteur à l'oscilloscope et avons déterminé la période des oscillations avec une réflexion directe. Puis avec la période nous en avons déduit la fréquence qui nous a enfin permis de calculer la longueur d'onde.

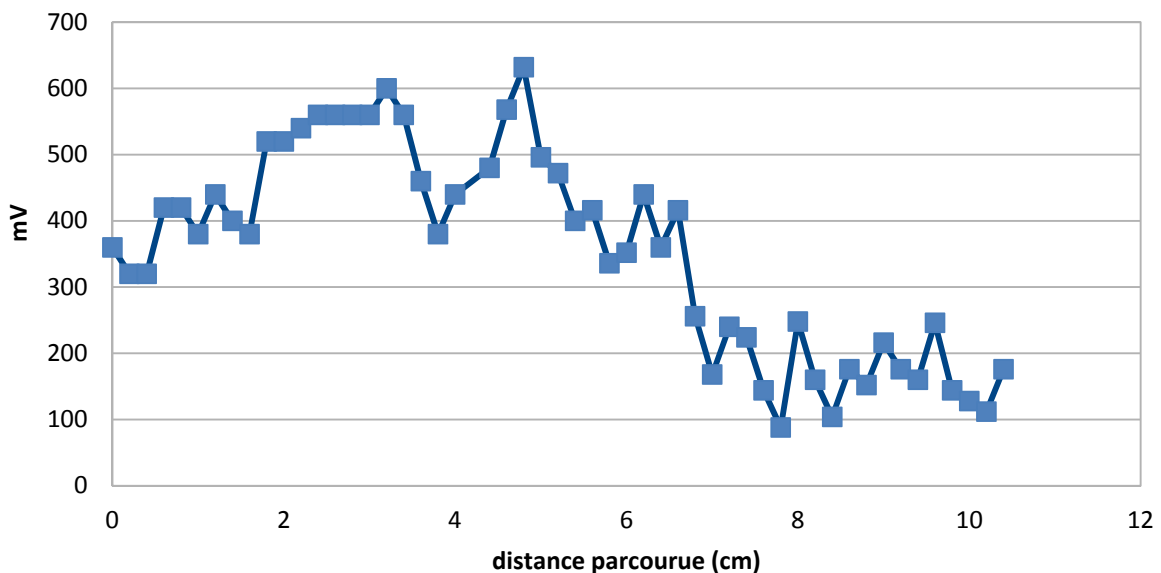
Nous avons ainsi créé une maquette dont la représentation sur le logiciel SolidWorks est donnée en annexe.

Pour être sûr que nos obstacles soient efficaces, nous avons comparé le signal reçu dans le tube sans les obstacles et le signal reçu en ajoutant les obstacles. Nous avons fait cette vérification car les parois renvoient une partie du signal. Le signal reçu sans les obstacles a donc été notre référence pour cette manipulation, peu importe à quelle distance nous étions des obstacles il y aurait toujours ce résidu.

Nous avons fait plusieurs mesures en changeant le pas entre les obstacles. Nous avons récupéré les valeurs des amplitudes mesurées à intervalles réguliers sur le logiciel LibreOfficeCalc, afin d'en dresser une courbe en fonction de la distance séparant le récepteur du picot le plus éloigné.

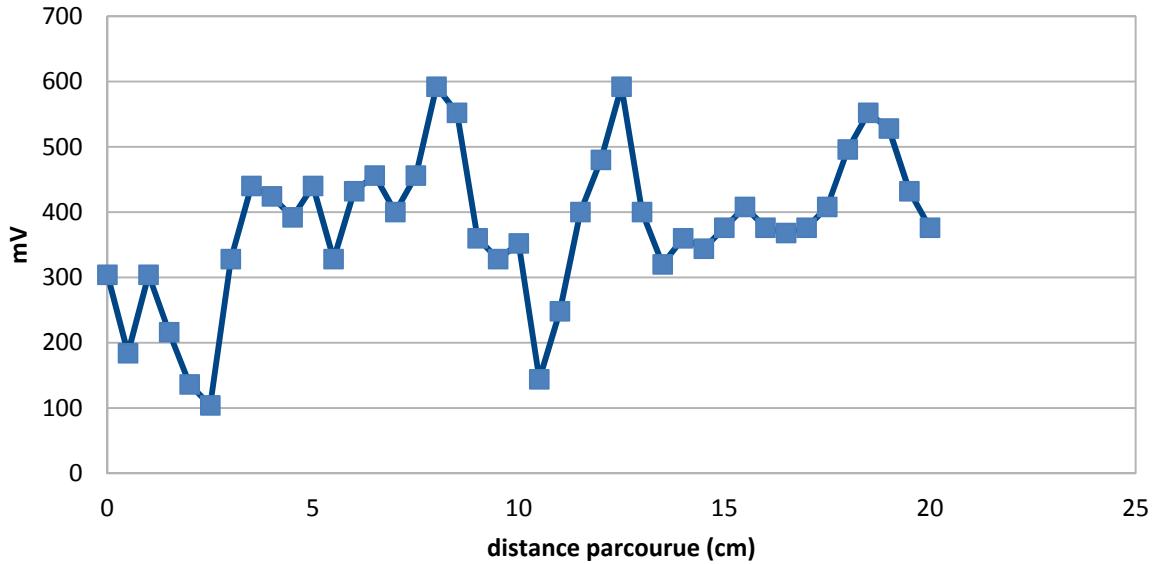
Pour $p1 = 3,5 \text{ cm}$, avec un intervalle de mesure de 2 millimètres sur un total de 104 millimètres :

Amplitude du signal reçu par le récepteur



Pour $p_2 = 14 \text{ cm}$, avec un intervalle de mesure de 5 millimètres sur un total de 200 millimètres :

Amplitude du signal reçu par le récepteur

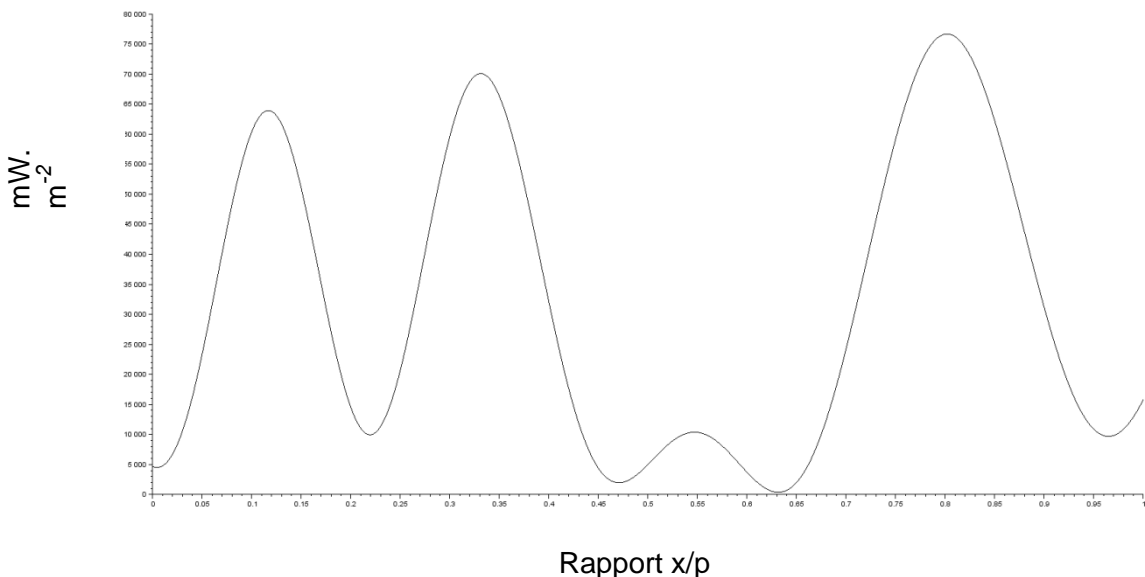


Ces deux courbes ne sont certes pas très avenantes, mais on peut tout de même remarquer une chose intéressante : sur la première courbe, la distance séparant les deux pics notables est $d_1 = 4,8 - 3,2 = 1,6 \text{ cm}$, et sur la deuxième courbe, $d_2 = 12,5 - 8 = 4,5 \text{ cm}$. Et les rapports respectifs par rapport au pas sont les suivants :

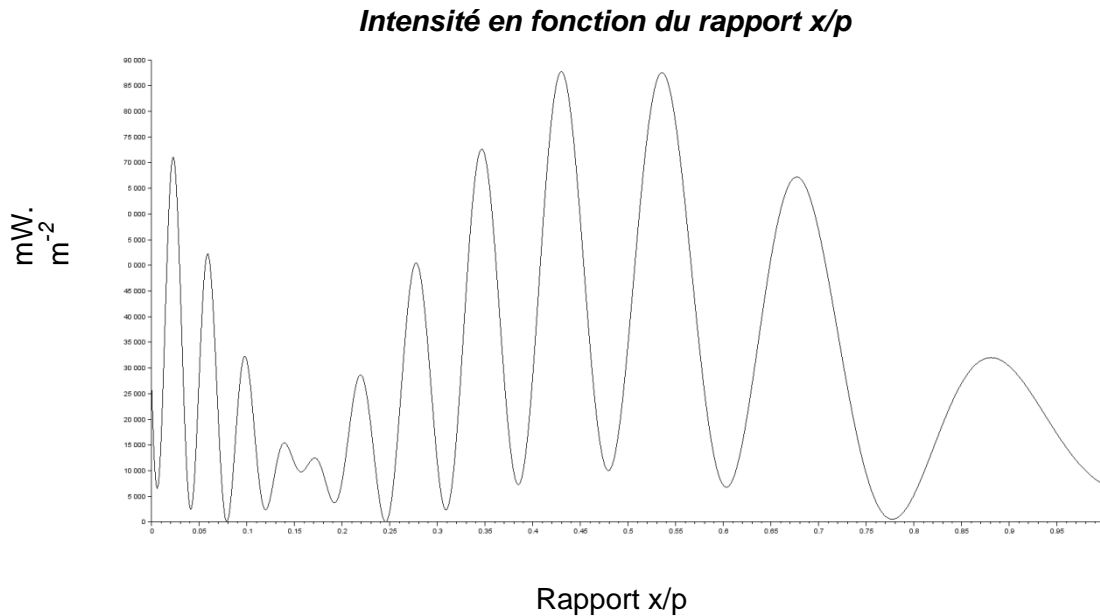
$$r_1 = d_1/p_1 = 1,6/3,5 \approx 0,46 \text{ et } r_2 = d_2/p_2 = 4,5/14 \approx 0,32.$$

Or, on retrouve approximativement les mêmes rapports avec notre simulation sur Scilab :

Intensité en fonction du rapport x/p



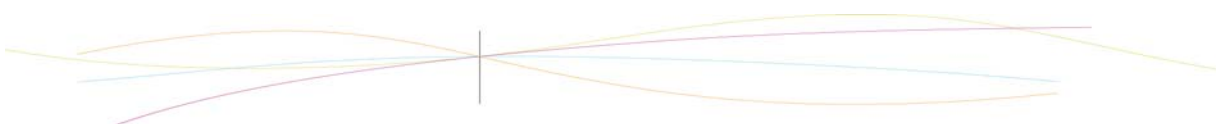
Ici pour un pas de 3,5 cm, on a mesuré l'écart entre les deux pics les plus élevés, et on a obtenu $e1 = 0,45$, soit un résultat très proche de 0,46. Et pour un pas de 14 cm, on obtient $e2 = 0,39$ ce qui reste proche de 0,32.



Ce rapport permettrait éventuellement de pouvoir estimer la valeur du pas, et donc résoudre notre problème grâce aux interférences. Ainsi, nous pouvons établir un lien entre nos mesures expérimentales et notre démarche théorique.

Mais une dernière chose n'est pas non plus négligeable : nous pouvons remarquer la présence d'une deuxième ondulation au sein de notre courbe, qui admet une période bien plus importante que l'ondulation étudiée jusqu'à maintenant, ce qui justifie sa discrétion. Et cette ondulation semble influencer sur l'ensemble de l'ondulation visible directement. Cependant, par manque de temps et parce que nous avons pris conscience de ce nouvel aspect assez tard, nous n'avons pu l'étudier convenablement.

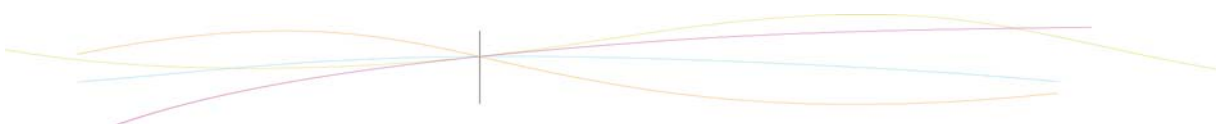
Enfin, nous avons aussi constaté qu'il y a proportionnalité entre la valeur de la longueur d'onde, le pas et le diamètre du tube, et donc qu'il est possible d'étendre notre système à des dimensions à la fois microscopique et macroscopique. Ainsi, nous pouvons remplacer notre émetteur actuel par une source lumineuse par exemple, à condition d'adapter le domaine de l'expérience à cette nouvelle longueur d'onde.



4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce projet a été très bénéfique pour l'ensemble de notre groupe. En effet, il nous a permis de réaliser à quel point l'organisation du travail au sein d'un projet est indispensable. Nous avons fait les frais d'une mauvaise organisation et mauvaise répartition du travail en début de semestre, ce qui nous a fait perdre beaucoup de temps. La mise en place d'une démarche claire d'emblée est primordiale. Nous avons donc appris qu'il faut se fixer des objectifs précis pour les séances à venir afin de respecter un certain emploi du temps des échéances. En respectant cette démarche le projet avance au bon rythme et à chaque séance nous pouvons savoir précisément ce que nous avons fait et ce qu'il nous reste à faire. De plus, une bonne communication dans le groupe permettant l'entraide et la mise en commun des informations permet d'avancer d'autant plus rapidement et efficacement. C'est donc une très bonne première approche de notre futur quotidien en tant que futur ingénieur. Nous en retenons nos erreurs à ne pas commettre de nouveau et nous ressortons grandi de cette expérience. Le projet P6 nous est donc indispensable dans notre formation.

Pour aller plus loin dans notre projet, une comparaison plus approfondie entre la théorie et la pratique pourrait aboutir à répondre à notre véritable problématique. En effet, en faisant des expériences plus poussées et en faisant varier plusieurs paramètres particuliers dans notre programme théorique, on pourrait envisager obtenir une relation claire entre le pas, la longueur d'onde et le diamètre de l'enceinte. Cela impliquerait donc un programme qui permettrait d'entrer nos paramètres connus et qui donnerait en sortie les paramètres recherchés. Un exemple concret serait : nous avons un tuyau de diamètre mesurable présentant des défauts à un pas d'ordre de grandeur connu. Quelle longueur d'onde doit être utilisée pour détecter et mesurer la distance entre ces défauts ? De même, si nous possédons qu'une longueur d'onde donnée, en faisant l'expérience les résultats observés nous permettent-ils de conclure sur la grandeur du pas ? Autant de questions qui permettraient la poursuite de notre projet et pouvant être intéressantes dans le milieu industriel. De plus, il est possible d'étendre notre projet à n'importe quelle longueur d'onde pour un pas et un diamètre donnés, et réciproquement. Ainsi, en étant plus aboutit, il pourrait éventuellement être utile à une entreprise.



5. BIBLIOGRAPHIE

Sources numériques :

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Interf%C3%A9rence>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Thomas_Young

http://fr.wikipedia.org/wiki/Augustin_Fresnel

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Onde>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Interf%C3%A9rom%C3%A9trie>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Hippolyte_Fizeau

http://www.udppc.asso.fr/national/attachments/article/Arpenteur_du_Web_Interference_s_diffraction.pdf



6. ANNEXES

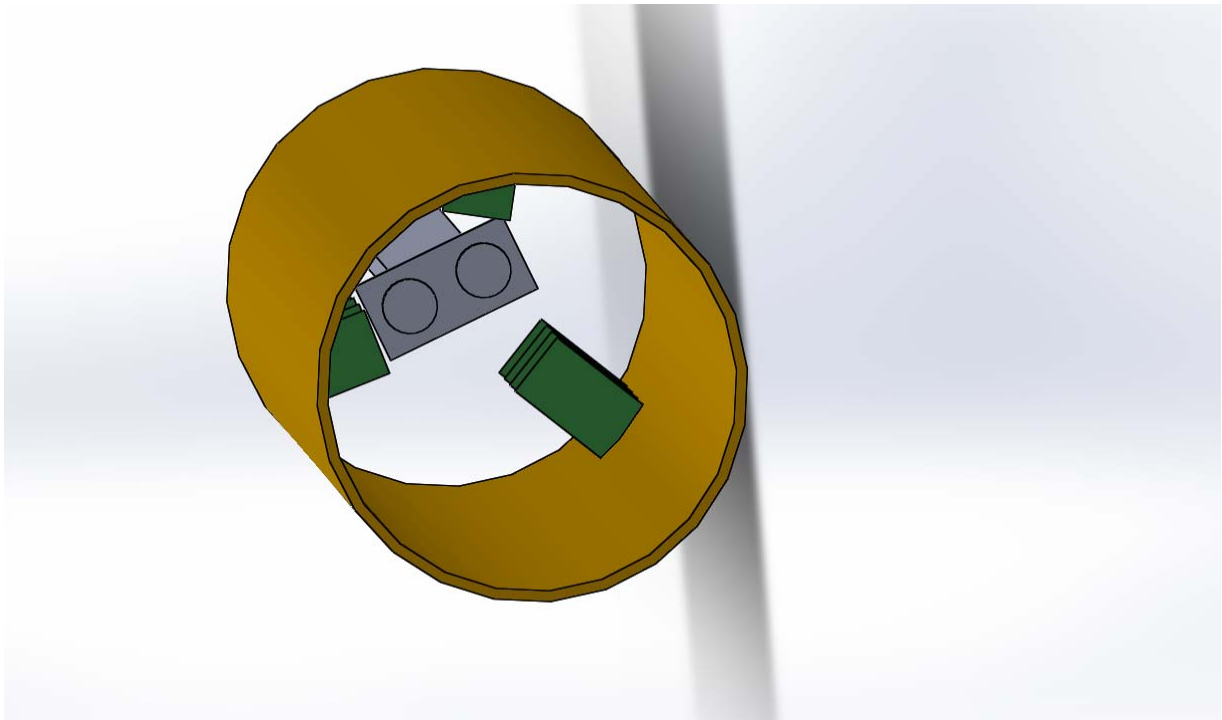
6.1. Programme réalisé sur Scilab

```
clear
lambda=8.7E-3;           //longueur d'onde en m
Vitesse=348;             //vitesse propagation d'onde en m/s
D=15E-2;                 //diamètre en m
p=7E-2;                  //pas en m
N=10;                    //nombre de pas
Nbp=1000;                //nombre de points

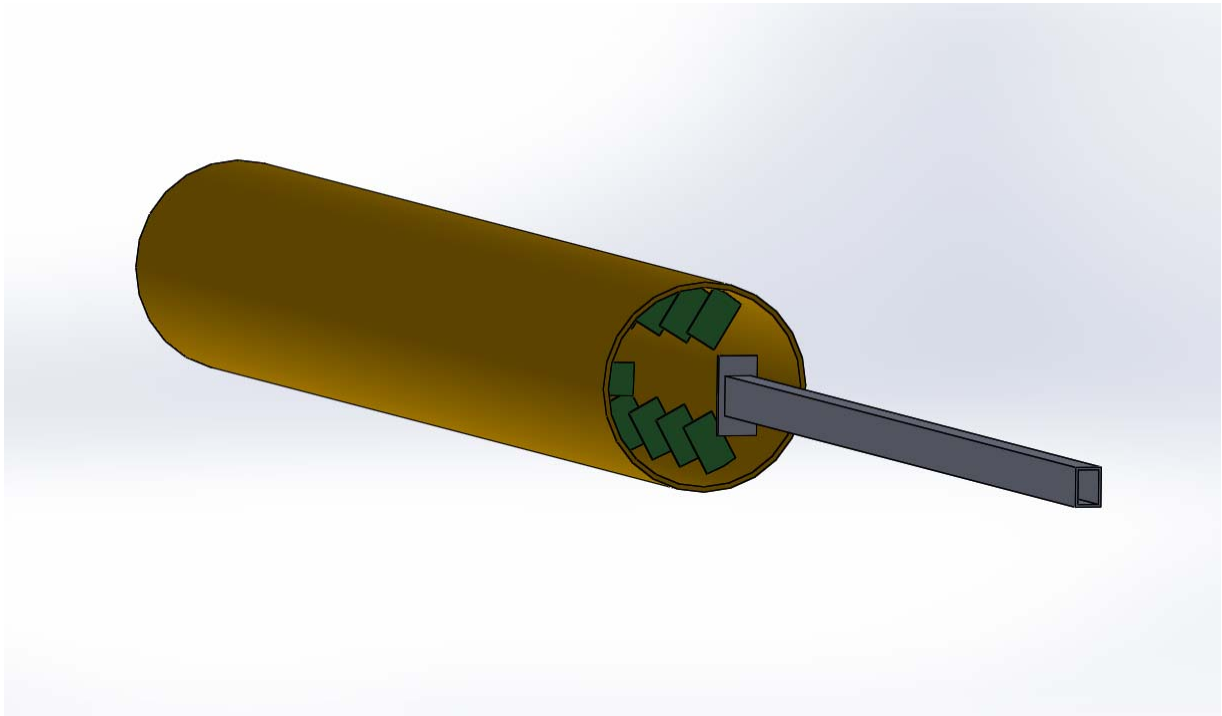
T=lambda/Vitesse;       //période
omega=2*%pi/T;          //vitesse de propagation de l'onde
Temps=linspace(0,2*T,50)
Tabx=linspace(0,p,Nbp) //tableau de Nbp points entre 0 et p
for j=1:Nbp              //on souhaite tracer Nbp points
    x=Tabx(j)
    E=zeros(Temps)      //on initialise E
    for i=1:N            //on somme les E pour les N pas
        l=sqrt((D/2)^2+(x+(i-1)*p)^2) //longueur Li
        A=100/l^3        //l'amplitude diminue selon cette hypothèse
        E=E+A*exp(%i*(omega*Temps-4*%pi*l/lambda)) //on somme E
    end
    I(j)=mean(E.*conj(E)) //enfin, I prend la valeur EE*
end

clf
plot2d(Tabx/p,I)         //et on trace la courbe désirée en fonction du rapport x/p
```

6.2. Représentation de notre maquette sur SolidWorks



Vue en coupe (le tube est normalement fermé à l'extrémité)



Vue d'ensemble

