

LA FOUDRE SON ET LUMIERE

INTRODUCTION

I. L'ELECTRISATION DU NUAGE ORAGEUX..... p 3

- *Electrisation par frottement p 3*

II. LES MECANISMES DE LA FOUDRE..... p 4

- *Comment l'air devient-il conducteur : le phénomène d'avalanche..... p 4*
- *L'effet de pointe p 6*
- *La progression du traceur par bondp 6*
- *L'arc en retourp 7*

III. HISTORIQUE DU PARATONNERREp 8

IV. LE SON ET LA LUMIERE DU COUP DE FOUDRE.....p 10

- *"LE SON"DU COUP DE FOUDRE.....p 10*
- *MISE EN EVIDENCE DES ELEMENTS PRESENTS DANS L'AIR
GRACE AU SPECTRE DE L'ECLAIRp 17*

CONCLUSION

INTRODUCTION :

Bienvenue dans notre dossier sur un phénomène impressionnant :

« La foudre »

Nous, Raphaëlle Coudin et Christelle Adam, sommes en Terminale S au lycée Hoche de Versailles et nous intéressons de près au phénomène physique de la foudre...

Suite à une étude théorique de ce phénomène dans le cadre de notre TPE de première et à la réalisation de quelques expériences permettant d'expliquer le coup de foudre, nous avons décidé d'aller un peu plus loin dans notre recherche en nous intéressant aux propriétés du son et de la lumière du coup de foudre afin de participer aux Olympiades de Physique.

Nous expliquons d'abord avec quelques expériences les précurseurs et les mécanismes de la foudre mais nous parlons aussi du meilleur dispositif pour s'en protéger : le paratonnerre.

Enfin nous réalisons des expériences sur le son et la lumière de ce phénomène pour tenter de savoir ce que l'on entend et ce que l'on voit réellement lors d'un coup de foudre !

Bonne lecture

LA FOUDRE : **SON ET LUMIERE**

I. L'ELECTRISATION DU NUAGE ORAGEUX

La foudre est un transfert de charges électriques positives ou négatives d'une région d'un nuage à une autre, ou entre le nuage et la Terre.

Pour que ce transfert de charges ait lieu, il faut que le nuage soit électrisé, c'est-à-dire que les charges positives et négatives soient séparées.

Comment, au sein du nuage orageux, les charges se séparent-elles ?

Les nuages d'orage, au cours de leur formation, sont le siège de précipitations et de violents courants convectifs, ces phénomènes sont à l'origine de l'électrification du nuage : les particules de grésil et les gouttes d'eau qui forment le nuage orageux, étant soumises à la précipitation et à ces violents courants convectifs, s'arrachent des électrons en s'entrechoquant.

Les nuages orageux s'électrifient par frottement

Cf partie annexe TPE.

• Electrification par frottement

MATERIEL : électroscope, bâton d'ébonite, bâton d'altuglas, chiffon

L'électroscope est un appareil qui permet de détecter la présence de charges positives ou négatives : il est constitué d'un plateau métallique, d'une tige mobile et d'une partie fixe toutes les deux conductrices, la partie mobile s'écarte de la partie fixe lorsque l'électroscope détecte la présence de charges c'est-à-dire lorsqu'il se charge. On charge le plateau métallique de l'électroscope par contact : les charges se répartissent sur la partie fixe et mobile de l'électroscope. Comme elles sont de même nature, elles se repoussent : la tige mobile s'incline d'un angle α par rapport à la tige fixe.

Expérience 1 :

On électrise par frottements avec le chiffon, le bâton d'ébonite et on le met en contact avec le plateau de l'électroscope.

La partie mobile s'écarte de la partie fixe : il y a donc présence de charges.

On fait de même avec le bâton d'altuglas et on détecte aussi la présence de charges. Il y a eu électrisation par frottement dans les deux cas.

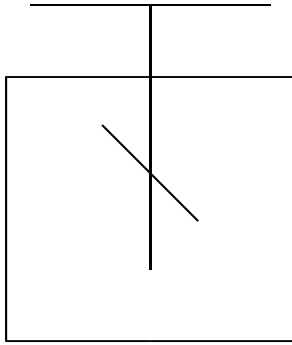


schéma et photo d'un électroscope : électrisation par contact

Expérience 2 :

On charge par contact l'électroscope avec le bâton d'ébonite, la partie mobile s'écarte de la partie fixe.

On retire le bâton d'ébonite le mobile reste écarté par rapport à la partie fixe.

On charge ensuite par contact l'électroscope avec le bâton d'altuglas.

On observe que la partie mobile se rapproche de la partie fixe jusqu'à ce qu'elle la touche puis s'en écarte.

Interprétation :

Dans un premier temps, le bâton d'ébonite a chargé l'électroscope avec un certain type de charges. Le bâton d'altuglas entraîne la décharge de l'électroscope puis sa recharge : il a donc chargé l'électroscope avec des charges opposées à celles du bâton d'ébonite.

Dans le cas de l'ébonite c'est le bâton qui arrache des électrons au chiffon au cours du frottement : le bâton se charge donc négativement.

Et dans le cas de l'Altuglas, c'est l'inverse : le chiffon arrache des électrons au bâton qui se charge positivement.

L'électrisation par frottement se fait donc par arrachage d'électrons.

II. DECLENCHEMENT ET CARACTERISTIQUES DE LA FOUDRE : Mécanismes de la foudre

• Comment l'air devient-il conducteur : le phénomène d'avalanche

Entre le nuage et le sol se trouve l'air. L'air n'est pas un isolant parfait : en effet les rayons cosmiques dotés d'une grande énergie et la radioactivité terrestre provoquent une ionisation des molécules de l'air. La molécule qui a perdu un électron devient un ion positif. Cet électron ainsi libéré est capté par une molécule, donnant un ion négatif.

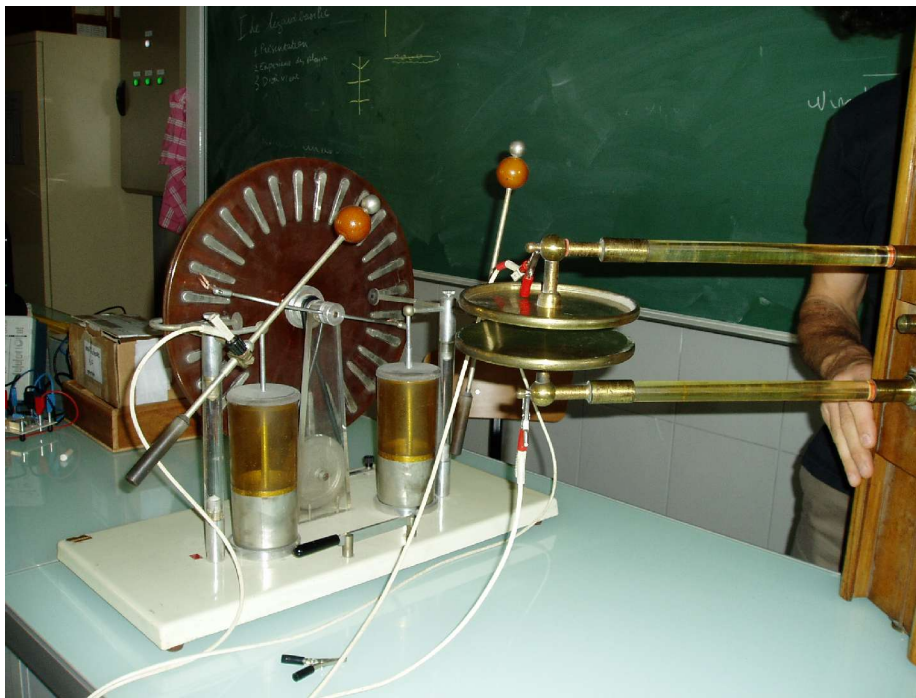
Cependant le nombre d'ions à la pression atmosphérique est trop faible (entre 100 et 1000 par cm^3) pour rendre l'air suffisamment conducteur et donc pour créer des éclairs.

C'est le phénomène d'avalanche qui va rendre l'air conducteur.

Lors d'un orage, un champ électrique résulte des charges opposées entre le nuage et la terre : en effet le nuage orageux forme avec la terre un énorme condensateur. L'électron créé par l'ionisation de l'air est accéléré par le champ électrique. Lorsque l'énergie de l'électron est suffisante, il peut, en entrant en collision avec un atome, lui arracher un autre électron. Ces deux électrons continuent ce processus : c'est le phénomène d'avalanche ! On a une multiplication des électrons dans le gaz grâce à ce phénomène.

Cependant pour que l'électron ait assez d'énergie pour ioniser un atome, il faut un champ électrique supérieur à 2 600 000 volts par mètre. Or entre le nuage et la terre, le champ électrique n'est que de 15000 V/m. Pour créer une avalanche une augmentation du champ est donc nécessaire.

Expériences :



On a relié chacune des deux plaques d'un condensateur à chacune des branches de la machine de Wimshurst. On actionne ensuite la machine de Wimshurst en tournant la manivelle, il se crée alors des charges négatives (électrons) par frottement : ces charges vont s'accumuler sur l'une des plaques du condensateur, l'autre plaque présentera alors un déficit d'électrons.

On obtient, tout comme lors d'un orage entre le ciel et le sol, une différence de potentiel entre les deux plaques.

On observe qu'il faut actionner la machine de Whimshurt un certain temps pour que la décharge est lieu : ce temps augmente avec la distance entre les deux plaques.

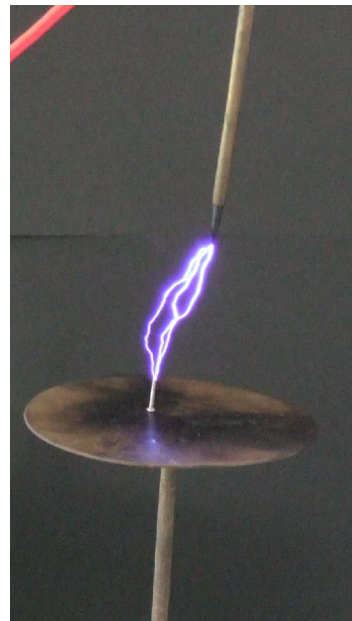
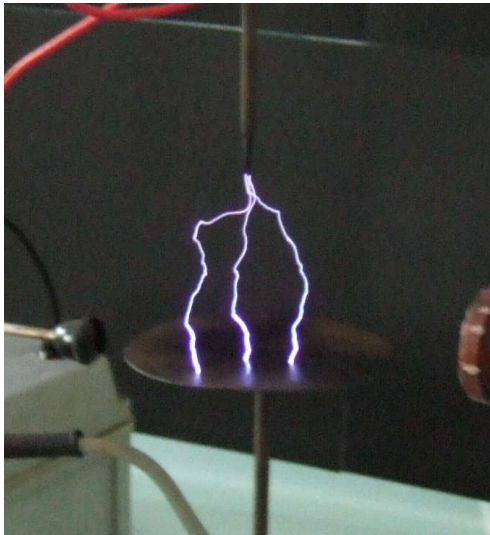
- 6 -

Par conséquent plus la distance à parcourir par la décharge est grande plus la ddp nécessaire pour que la décharge est lieu est grande. Tout comme pour un coup de foudre, le champ électrique doit avoir atteint une valeur d'environ 2500 kV/m soit **25 000 V/cm**.

- *L'effet de pointe*

La présence d'objets pointus au sol renforce localement ce champ électrique : c'est l'effet de pointe. Le champ électrique peut alors atteindre localement des valeurs de quelques milliers de kV/m suffisantes pour initier l'avalanche.

Expérience :



On utilise une bobine de Rumkorff reliée d'un côté à la pointe et de l'autre côté à la plaque du condensateur ci-dessus.

Des décharges se produisent sur toute la plaque (photo de gauche).

Lorsqu'on place un petit clou sur la plaque (photo de droite), on observe que les décharges ont lieu uniquement entre les deux pointes : le champ électrique au niveau des pointes est donc plus élevé : c'est l'effet de pointe.

- *La progression du traceur par bond*

Expérience :



- 7 -

On observe que la décharge n'est pas rectiligne mais qu'elle change de direction très souvent : ce phénomène est expliqué par la présence d'un traceur par bond.

Traceur par bond descendant et effluve ascendante :



On a vu que les charges électriques naturellement présentes dans l'air sont accélérées par le champ électrique.

Au voisinage d'une pointe le champ électrique peut être augmenté localement suffisamment pour déclencher un phénomène d'avalanche.

Le chemin suivi par ces électrons crée un canal ionisé faiblement lumineux, appelé le traceur : c'est la pré-décharge.

A mesure que l'on s'éloigne de la pointe, le champ électrique descend . Quand il devient inférieur à 25 kV/cm, l'énergie de l'électron devient insuffisante pour continuer le phénomène d'avalanche : celle-ci s'arrête et le traceur s'immobilise pendant une durée de 40 à 100 μ s.

Les charges du traceur vont migrer sous l'effet du champ électrique et le canal ionisé devient une pointe . Une nouvelle avalanche de quelques dizaines de mètres peut alors se développer à l'extrémité de la première. Le traceur continue son chemin mais pas forcément

dans la même direction jusqu'au moment où le champ redescendra de nouveau en dessous de 25 kV/cm.

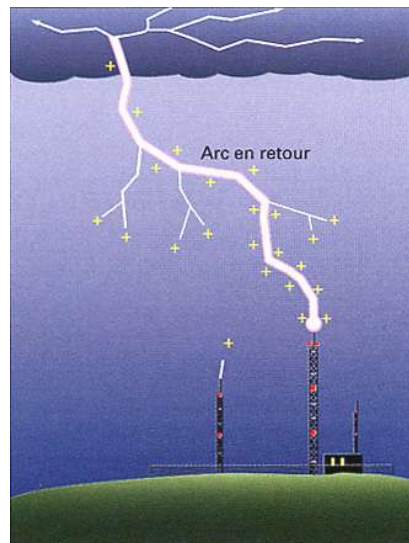
Le même phénomène se déroule jusqu'au déclenchement de la foudre. C'est pourquoi on dit que le traceur se propage par bond. Cette pré-décharge a son origine soit dans le nuage et progresse vers le sol, soit au niveau du sol et progresse alors vers le nuage selon que le coup est descendant ou ascendant comme on l'expliquera plus tard. Dans les deux cas tout se passe comme si le canal ainsi formé, quoique faiblement ionisé, formait entre le sol et le nuage un pont suffisamment conducteur pour préparer la voie à un courant intense, qui sera le coup de foudre.

• L'arc en retour

Lorsque deux traceurs se rejoignent, un chemin conducteur entre le sol et le nuage s'établit. Un courant positif si c'est un coup négatif ou un courant négatif si c'est un coup positif d'une intensité considérable se propage du sol vers le nuage à une vitesse de près de 40000 km/s et neutralise les charges de ce dernier : c'est l'arc en retour, souvent le plus lumineux. Une succession de décharges (en moyenne 4) de moins en moins intenses suivra appelées coups subséquents (pour les coups négatifs).

- 8 -

Progression des traceurs suivi de l'arc en retour :



20/11/2006

Un coup de foudre complet est constitué de quatre arcs en retour et dure de 0,2 à 2 secondes.

Dans l'intervalle entre les décharges (impulsions de courants de forte intensité) il continue de s'écouler un faible courant (quelques centaines d'ampères) par le canal ionisé : ce courant persistant écoule une partie non négligeable de la charge totale d'un coup de foudre.

III. HISTORIQUE DU PARATONNERRE

Autrefois, l'homme associait la foudre à la colère des dieux et à la notion de châtiment pour les fautes et les péchés.

C'est seulement au 18^{ème} siècle qu'une approche scientifique de la foudre débuta par les travaux de Benjamin **Franklin**, père du paratonnerre.

Benjamin FRANKLIN (1706 : Boston/ 1790 : Philadelphie) est un philosophe, physicien et diplomate américain (ambassadeur des Etats-Unis). Il est devenu très connu dans le monde scientifique en Europe grâce à ses travaux sur l'électricité. Il proposa, en 1752, une série d'expériences qui prouvèrent que la foudre est une décharge électrique. Supposant que les éclairs sont des arcs électriques à grande échelle, il observe que les étincelles relient plus facilement des tiges conductrices et pointues : Franklin utilise l'effet de pointe. Il pense alors que s'il oppose une pointe à un ciel orageux, la foudre s'y précipitera.

A l'époque, l'effet de pointe se manifestait de deux manières différentes :

1. *Lorsqu'on munit un corps conducteur d'une pointe et qu'on tente de le charger, on constate que ce corps ne parvient pas à se charger : comme s'il y avait perte du fluide électrique par la pointe.*
2. *Lorsqu'on présente face à un corps chargé au préalable une pointe mise à terre par un fil conducteur on constate que le corps se décharge en quelques secondes, même si la pointe en est éloignée d'une dizaine de cm : comme si la pointe attirait le fluide.*

- 9 -

En septembre 1752, lors d'un orage, Benjamin Franklin se rendit seul accompagné de son fils (car il craignait le ridicule d'un échec) dans une prairie aux environs de Philadelphie, persuadé de la nature électrique de la foudre et voulant la démontrer. Il relia alors à un cerf-volant un fil conducteur au bout duquel était attaché une clef. Quand il lança le cerf-volant, un éclair frappa celui-ci, l'énergie se propagea le long du fil et électrifia la clef. Franklin eut de la chance de ne pas être tué, car il touchait la clef.

Plusieurs années auparavant, il avait imaginé qu'une longue et fine tige métallique, fixée en haut d'un toit et raccordée à un fil plongeant dans le sol hors du bâtiment conduirait le courant électrique de la foudre en toute sécurité dans le sol. Cette invention présentée au public en 1753 est le paratonnerre, devenu un équipement standard aujourd'hui, permettant de limiter les désastres causés par la foudre.

Les premiers paratonnerres :



FIGURE 2.11 —Expérience du cerf-volant, effectuée par B. Franklin probablement en septembre 1752.

Tous ces travaux sur l'électricité et la foudre donnèrent naissance à un véritable enthousiasme pour les paratonnerres. Le premier paratonnerre à être placé en France sur un édifice public fut installé sur l'église St Philibert de Dijon en 1776. Puis les installations de paratonnerres se propagèrent partout dans les grandes villes.

Le paratonnerre est une tige conductrice reliée au sol qui permet de protéger les habitations de la foudre. Le fonctionnement du paratonnerre est basé sur l'effet de pointe qui est la capacité d'un corps comportant des pointes à se charger ou à se décharger par celles-ci. (voir expérience sur l'effet de pointe).

La mode s'en empara également, proposant des « parapluies-

paratonnerres » dont la pointe servait de paratonnerre et des « chapeaux-paratonnerres » dont la pointe était cachée par une plume.



de Barbeu-Dubourg

Le parapluie-
paratonnerre



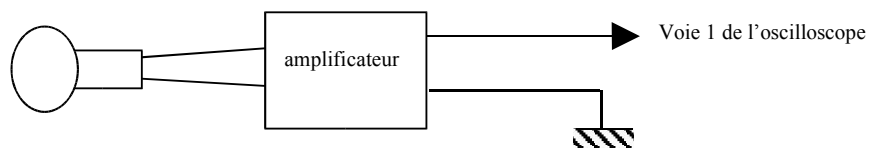
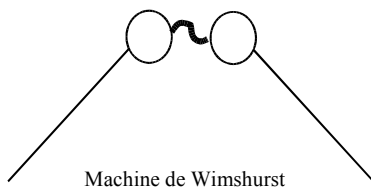
FIGURE 2.13 — Le chapeau-paratonnerre des dames de Paris.

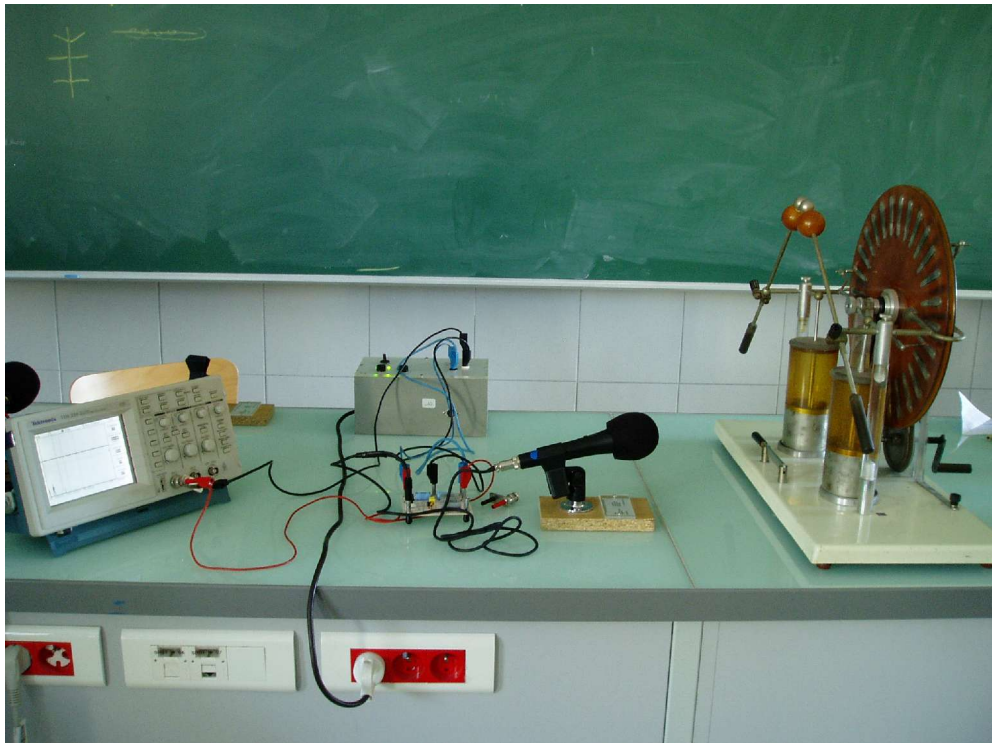
IV. LE SON ET LA LUMIERE DU COUP DE FOUDRE

Quand l'intense courant d'arc en retour s'écoule le long du canal ionisé que constitue le traceur, ce canal est brusquement très fortement chauffé (entre 20000 et 30000 K) et se transforme en un véritable arc électrique : une violente lumière est alors émise : c'est l'énergie acquise par les atomes lorsque les électrons sont arrachés qui est émise sous forme de particules lumineuses. Ce phénomène est accompagné d'un échauffement brutal et extrêmement élevé de l'air, qui subit une intense surpression. Cette dernière est suivie d'une violente dilatation : on peut dire que le canal explose alors en provoquant une onde de choc, proportionnelle à l'intensité du courant, qui se transforme en onde sonore après quelques dizaines de mètres. Distance, longueur et orientation des éclairs sont très variables, ce qui explique la perception, soit de longs roulements sourds, soit au contraire de claquements secs.

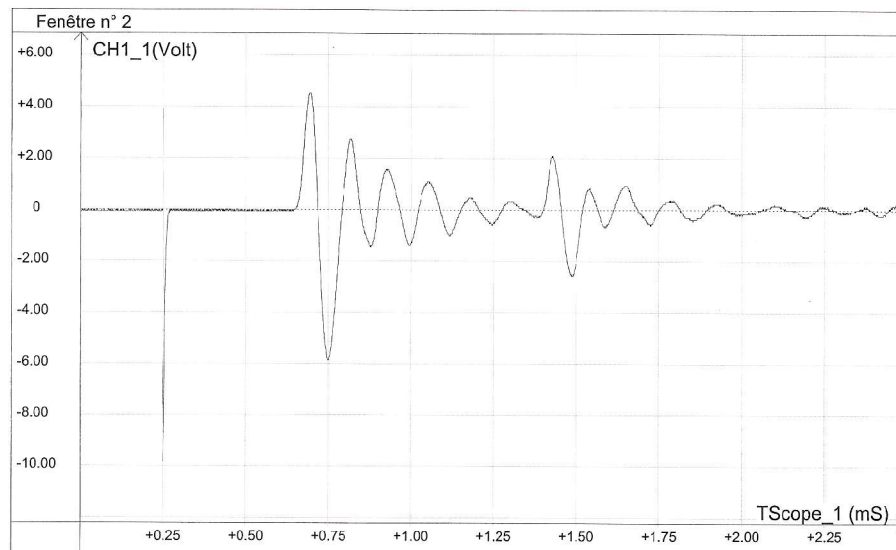
"LE SON" DE L'ECLAIR

Afin de s'intéresser au son que produit l'éclair nous avons mis en place le montage suivant:





Nous utilisons la machine de Wimshurst pour générer des décharges électriques et un microphone relié à un oscilloscope à mémoire pour enregistrer le signal détecté par le micro.
Après quelques essais infructueux et quelques réglages (utilisation dans amplificateur et rejet des hautes fréquences), nous obtenons l'oscillogramme suivant :



- Observations et interprétations :

le pic déclenchant l'enregistrement : onde électromagnétique dûe à la lumière de l'éclair ?

On observe un premier signal très bref qui déclenche l'enregistrement, puis une tension variable avec un motif qui semble se répéter.

Nous avons interprété le premier pic comme l'onde électromagnétique de la lumière, la vitesse de la lumière étant de 300 000 km/s, cette onde est perçue de façon quasi-instantanée par l'oscilloscope.

Afin de vérifier cette interprétation nous avons débranché tous les micros de l'oscilloscope. Lors d'une décharge, l'oscilloscope déclenche l'enregistrement et la courbe obtenue ne présente alors un seul pic.

l'onde sonore détectée ? :

La tension variable observée quelques instants plus tard représenterait donc l'allure de l'onde sonore.

Pour le vérifier nous avons mesuré la durée Δt au bout de laquelle apparaît ce signal et la distance d séparant le micro de l'éclair.

Nous calculons la vitesse correspondante : $v = d / \Delta t = \underline{3,5.10^2 \text{ m/s}}$ et obtenons bien la valeur de la célérité du son dans l'air aux incertitudes de mesures près...

Cela nous conforte dans notre interprétation qu'il nous reste à affiner.

Interprétation des « motifs »

Nous mesurons la durée $\Delta t_2 = 0,75 \text{ ms}$ entre les « 2 premiers motifs » successifs et en utilisant la valeur de la célérité du son dans l'air (340 m.s^{-1}), nous déterminons une distance $D = 340 \times 0,75 \times 10^{-3} = 0,26 \text{ m} = 26 \text{ cm}$.

Cette distance est tout à fait en accord avec une réflexion de l'onde sonore sur la machine de Wimshurst avant de parvenir au micro.

Expériences :

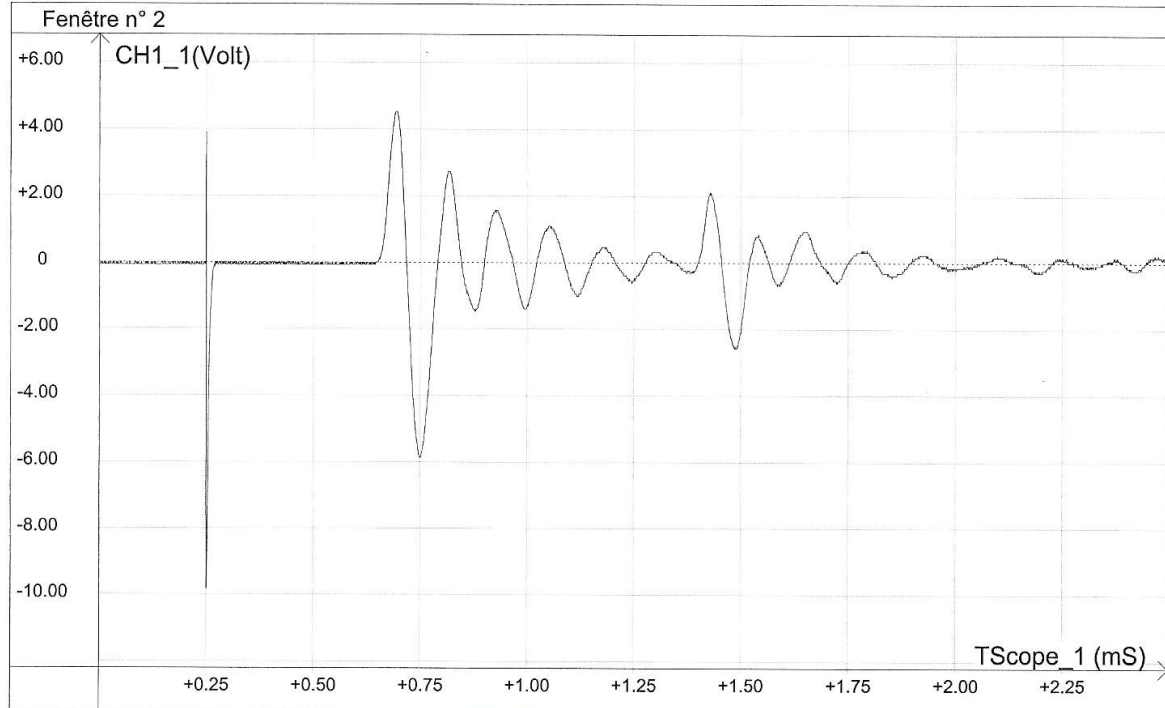
Nous effectuons alors une série de mesures en faisant varier la distance du micro à la décharge électrique mais aussi la distance entre les deux tiges de la machine de Whimshurt c'est à dire l'intensité de la décharge.

Quelque soit les variations, nous obtenons une courbe présentant toujours la même allure : seules varient l'amplitude des pics et/ou la durée séparant le pic de déclenchement du premier pic du signal sonore.

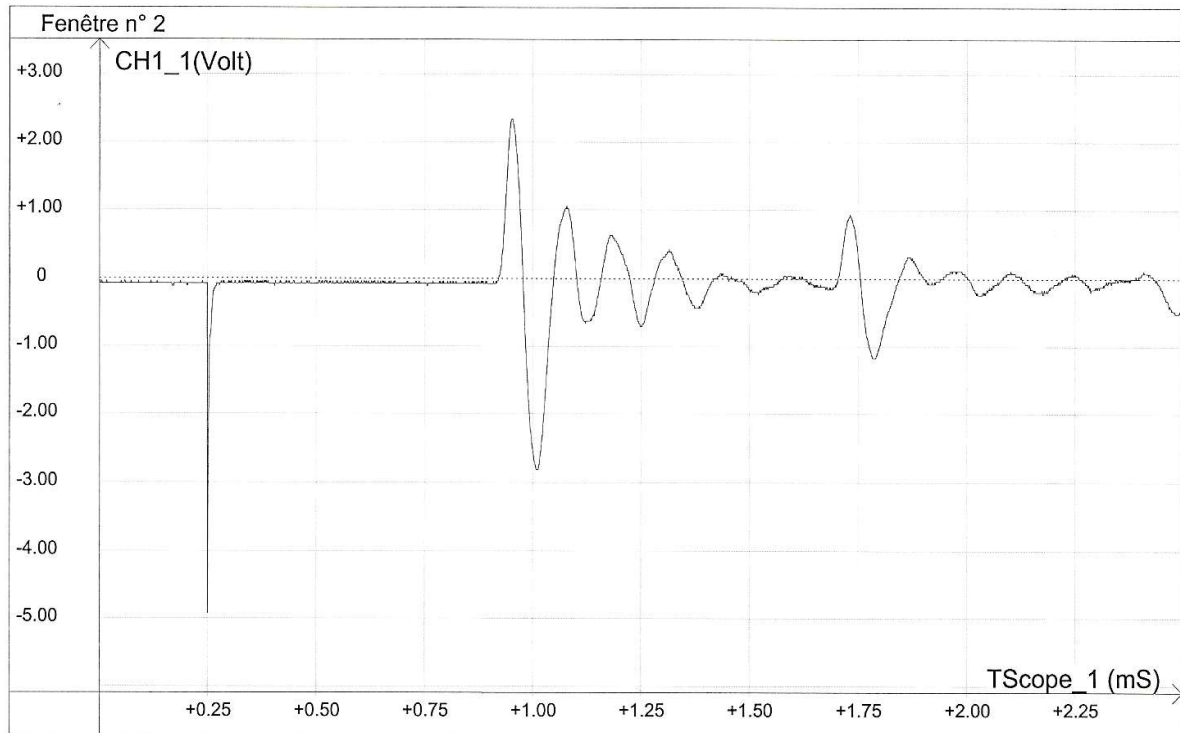
Expérience 1 : influence de la distance micro-décharge pour un éclair de taille donnée

On fixe la distance entre les deux branches de la machine de Wimshurst et on enregistre les courbes obtenues pour différentes distances d micro-décharge :

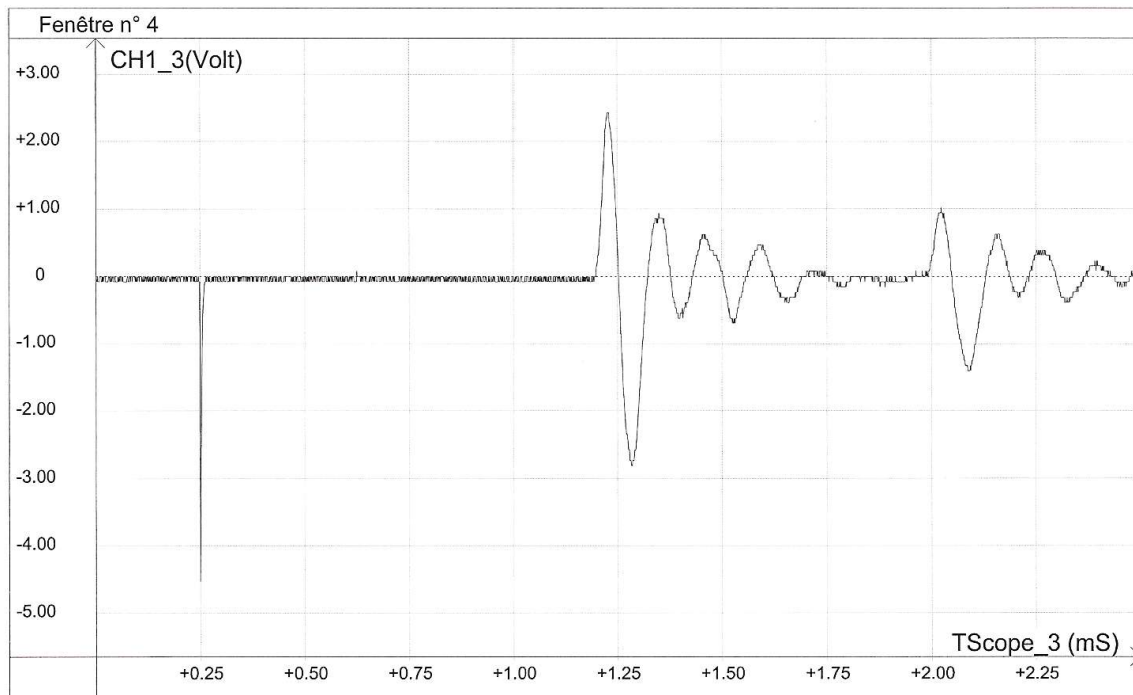
- si $d = 10 \text{ cm}$: (courbe n°1)



-si $d = 20 \text{ cm}$: (courbe n°2)



- si $d = 30 \text{ cm}$: (courbe n°3)



• Observations et interprétations :

On observe sur les trois courbes qu'il y a un toujours un premier signal qui déclenche l'enregistrement puis une tension variable présentant « des pics » d'amplitudes variables mais présentant sensiblement le même motif.

En comparant les différentes courbes on observe une variation de la durée Δt entre le premier pic (dû à l'onde lumineuse) et le second (dû à l'onde sonore):

- pour le courbe n°1 : $\Delta t = 0,40 \text{ ms}$
- pour la courbe n°2 : $\Delta t = 0,65 \text{ ms}$
- pour la courbe n°3 : $\Delta t = 0,90 \text{ ms}$

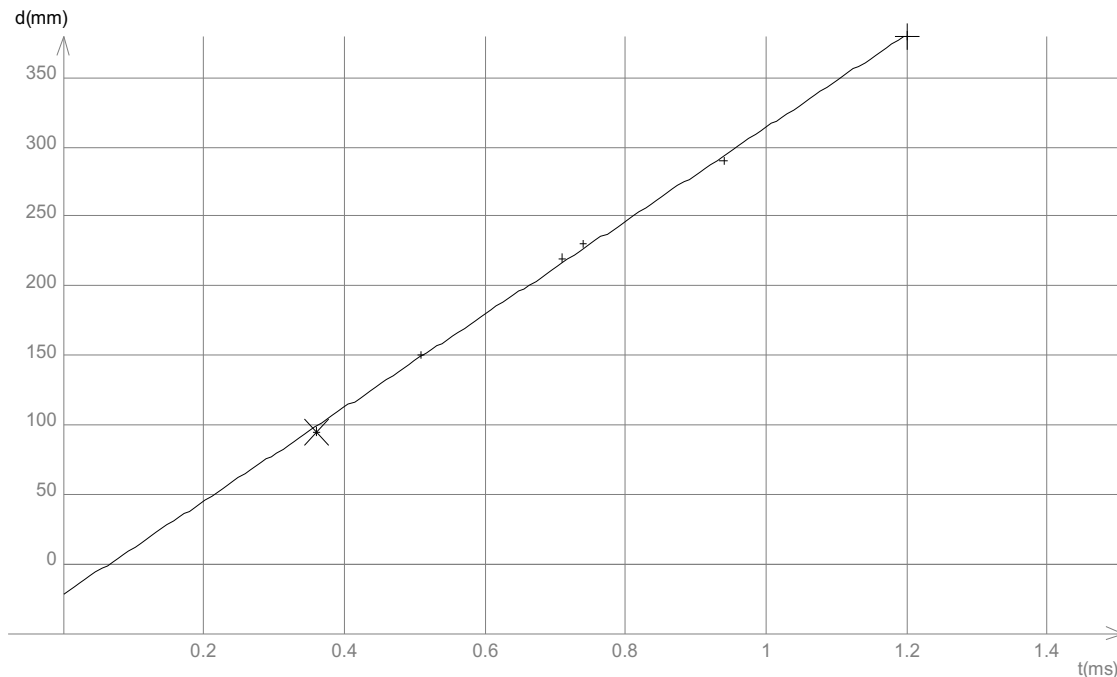
$\Delta t \text{ (ms)}$	$d \text{ (cm)}$
0,74	23,0
0,36	9,5
0,51	15,0
0,71	22,0
0,94	29,0
1,20	38,0

Pour plus de précision nous avons pris d'autres mesures :

d : distance décharge-micro

Δt : temps de parcours du signal de la décharge au micro

On trace la courbe de d en fonction de Δt pour obtenir la vitesse v du son et vérifier ainsi notre interprétation.



L'équation de la droite obtenue est, dans les unités du système international :

$$d = 336 \Delta t - 2,2 \cdot 10^{-2}$$

La courbe est bien une droite mais elle présente une ordonnée à l'origine...

Comment l'expliquer ?

La distance d est mesurée entre le centre des boules et le capuchon en mousse du micro. Or, en réalité, le capteur électromécanique présent dans le micro n'est pas sur la mousse mais à une certaine distance e . Donc la vitesse du son est donnée par la relation $v = (d + e) / \Delta t$ donc $d = v \cdot \Delta t - e$.

En identifiant avec l'équation de la droite trouvée expérimentalement :

$$v = 3,4 \cdot 10^2 \text{ m/s (coefficient directeur de la droite) et } e = 2,2 \text{ cm}$$

Ces résultats sont tout à fait satisfaisants : on retrouve bien la valeur tabulée de la célérité du son dans l'air et la distance $e = 2,2 \text{ cm}$ semble cohérente avec le micro utilisé.

Conclusions de l'expérience 1 :

Etant donné que les ondes sonores se propagent dans toutes les directions à partir de la source sonore, on peut interpréter les « motifs successifs » comme des ondes sonores perçues par l'oscilloscope mais après une ou plusieurs réflexions (sur la table, sur la machine de Whimshurt...).

Selon notre distance à l'éclair il se passe donc plus ou moins de temps entre le moment où l'on observe l'éclair et le moment où l'on entend le tonnerre : plus on sera proche du coup de foudre, plus on entendra rapidement le tonnerre après avoir vu l'éclair.

D'autre part si on est éloigné du coup de foudre, le tonnerre est perçu comme un grondement. En effet il y a un phénomène d'écho dû aux différentes réflexions de l'onde sonore (par exemple dans les montagnes)

- 17 -

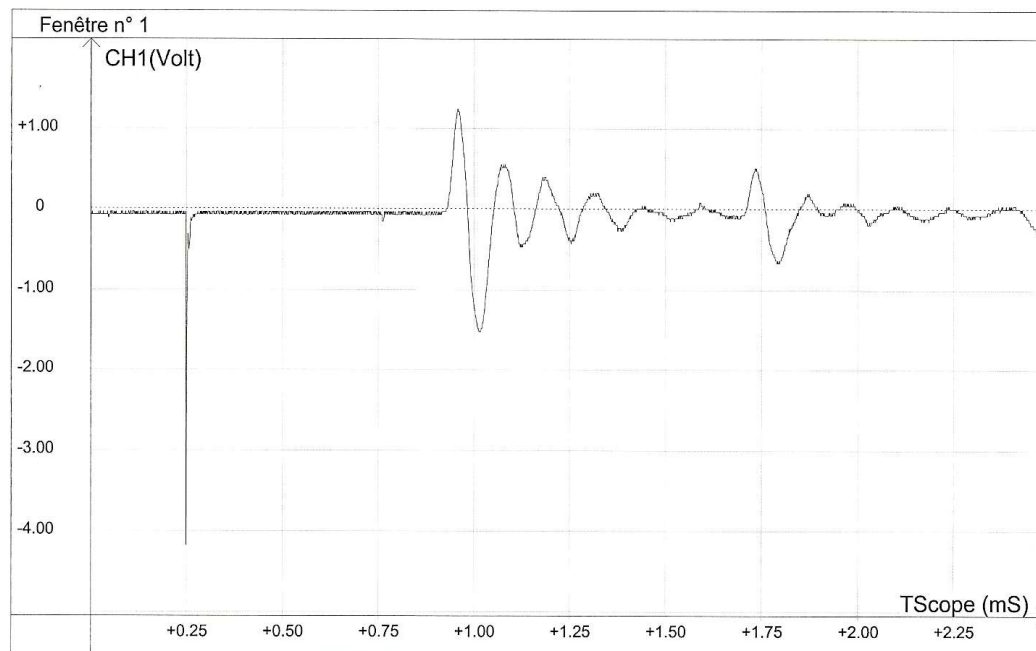
Au contraire si on est proche du tonnerre, l'onde sonore sera perçue comme un claquement sec car il y aura pas ou peu de réflexions.

Expérience 2 : influence de la distance entre les branches de la machine de Wimshurst pour une distance micro-décharge fixée

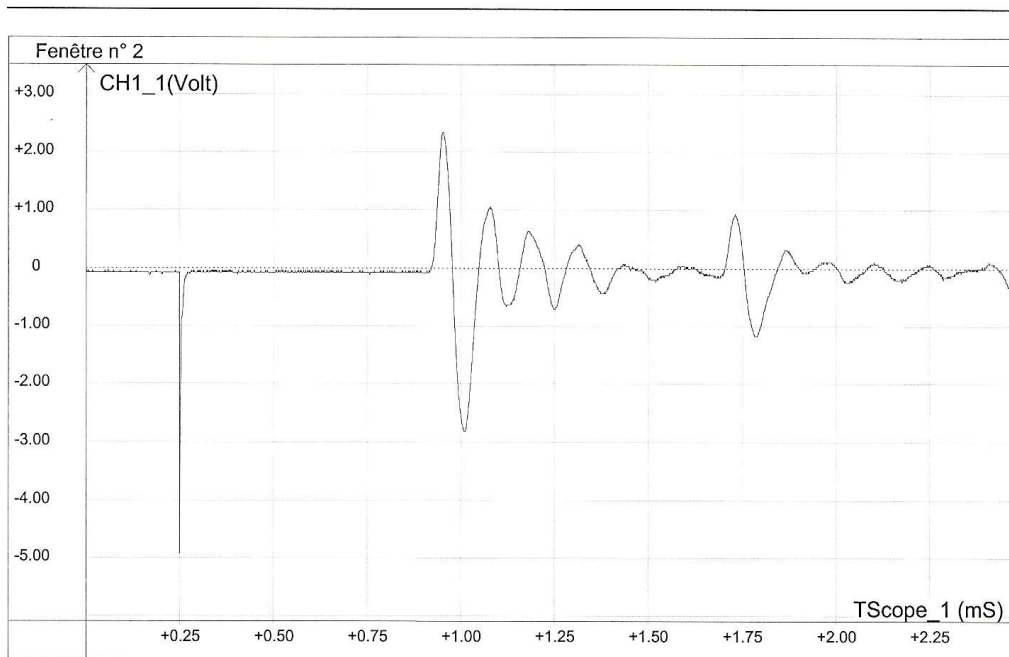
On s'intéresse maintenant au son lorsque la « taille de la décharge » varie, la distance du micro à l'éclair étant égale à 20 cm.

On note d , la distance entre les deux branches de la machine de Wimshurst.

Si $d = 0.5 \text{ cm}$: (courbe n°1)

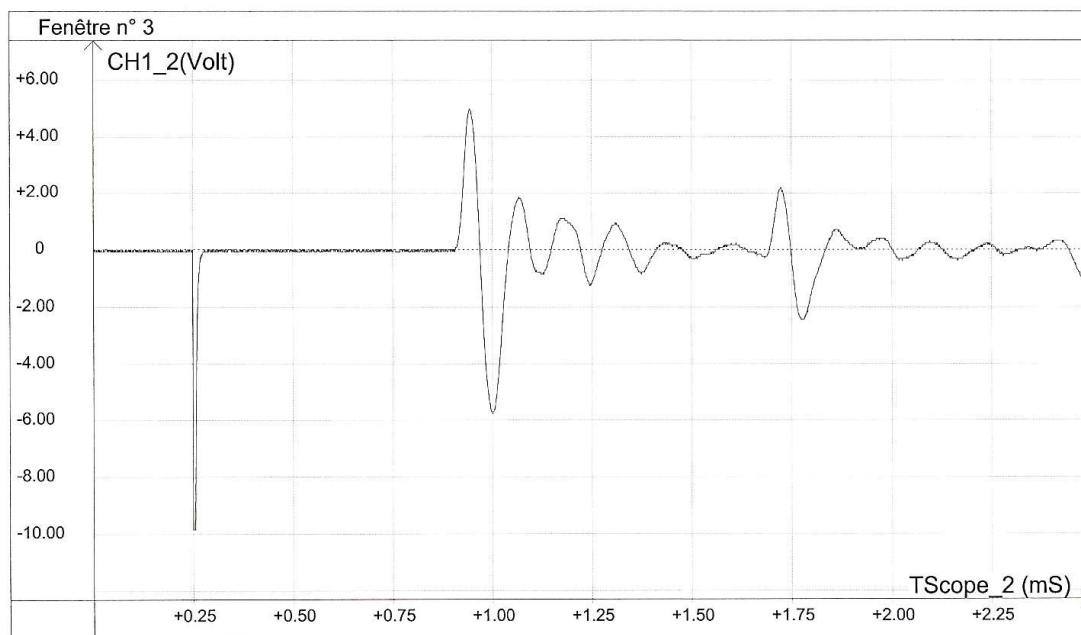


Si $d = 1 \text{ cm}$: (courbe n°2)



- 18 -

Si $d = 1,5 \text{ cm}$: (courbe n°3)



• Observations et interprétations :

On observe que les trois courbes ont toujours la même allure, cependant les pics observées ont des amplitudes différentes :

- pour la courbe n°1, le premier pic a une amplitude d'environ 1,2 volts
- pour le courbe n°2, le premier pic a une amplitude d'environ 2,3 volts
- pour la courbe n°3, le premier pic a une amplitude d'environ 5,0 volts

- 18 -

Plus les deux branches de la machine de Whimshurst sont écartées, plus l'amplitude du signal détecté est grande.

Lorsque les deux branches sont plus éloignées il faut accumuler plus de charges par frottement sur l'une des deux boules de la machine de Whimshurst pour que la différence de

potentiel soit suffisante pour ioniser l'air et observer la décharge. Plus on éloigne les deux boules, plus il y a d'air à ioniser donc plus il faut accumuler de charges pour atteindre la ddp nécessaire au claquage.

Il nous reste à refaire les mêmes expériences mais avec des micros différents afin d'essayer de comprendre si l'allure de la courbe (un peu trop sinusoïdale...) caractérise bien le son de l'éclair ou si une partie du signal perçu est dû à une réponse du micro.

- **MISE EN EVIDENCE DES ELEMENTS PRESENTS DANS L'AIR GRACE AU SPECTRE DE L'ECLAIR**

Un arc électrique en se formant, ionise l'air. Le spectre de la lumière émise par l'éclair doit donc dépendre des éléments présents dans l'air au moment de la formation de l'arc électrique.

- 19 -

EXPRIENCE 1 : Etude du spectre d'un éclair à l'aide d'un goniomètre

MATERIEL machine de Wimshurst, goniomètre, lampe à vapeur de cadmium, lampe à vapeur de mercure.

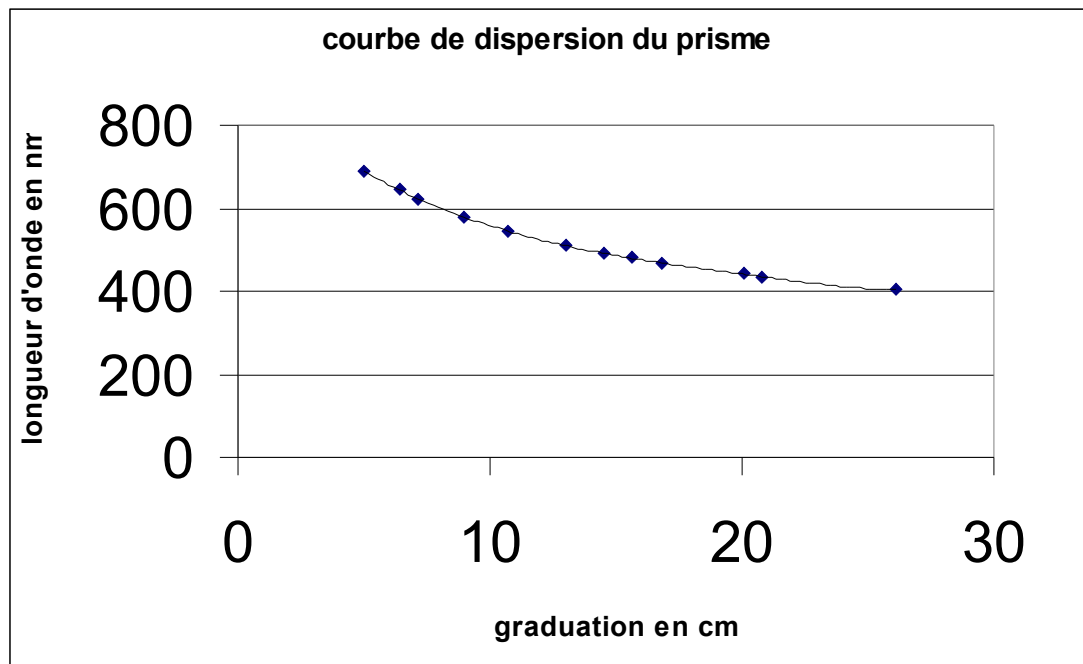
Le spectroscope est composé d'une lunette autocollimatrice, qui permet d'effectuer les différentes observations à la sortie du prisme et de deux collimateurs : l'un a pour objet une fente (dont la largeur est réglable), qui sera éclairée par la lumière à analyser, et l'autre une graduation.

On éclaire la fente avec la lampe à vapeur de mercure, le prisme permet de décomposer la lumière : on observe un spectre. On relève pour chaque raie lumineuse sa couleur et la graduation qui lui est associée. On fait de même avec une lampe à vapeur de cadmium.

On se réfère ensuite à des valeurs tabulées qui, pour le cadmium et le mercure, associent à une couleur une longueur d'onde donnée.

Mercure									
Longueur d'onde λ (nm)	404.6	407.7	434.7	491.6	546.1	577.0	579.0	623.4	690.7
couleur	violet	violet	indigo	bleu-vert	vert	jaune	jaune	rouge	rouge
Cadmium									
Longueur d'onde λ (nm)		441.5	467.8	479.9	508.5			643.8	
couleur		bleu	bleu	bleu-vert	vert			rouge	

Or on vient d'associer à chaque couleur une graduation. On peut donc tracer une courbe d'étalonnage représentant la longueur d'onde en fonction de la graduation.



- 20 -

On éclaire ensuite la fente avec des éclairs répétitifs produits grâce à la machine de Wimshurst. On obtient aussi un **spectre de raies**.

On relève la couleur et la graduation de chaque raie lumineuse.

La durée d'éclair étant très brève il est difficile de relever toutes les raies lumineuses du spectre de l'éclair et de leur associer avec précision une graduation.

On reporte ensuite les graduations trouvées sur la courbe d'étalonnage tracée auparavant. On associe ainsi à chaque raie lumineuse du spectre de l'éclair une longueur d'onde.



Prisme qui sépare les différentes longueurs d'onde de la lumière émise par la source

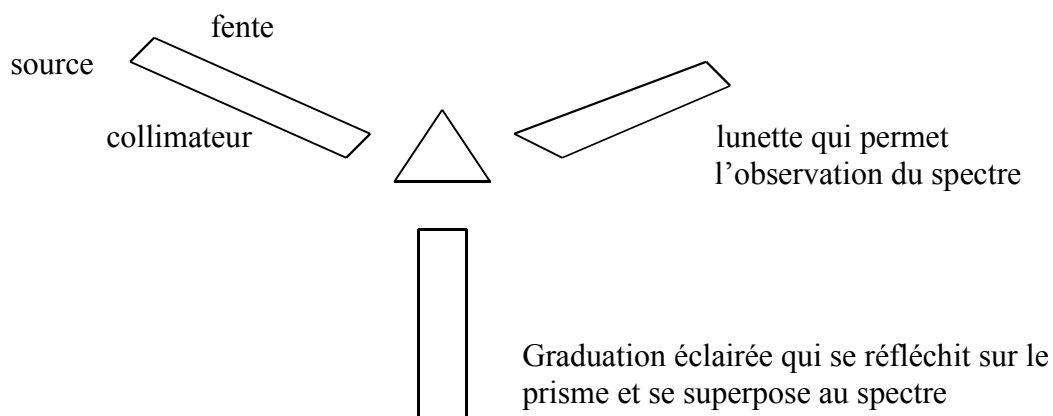


schéma d'un goniomètre

- 21 -

Arc électrique	
<i>Graduation en cm</i>	<i>longueur d'onde en nm</i>
6	657
7,2	622
8,2	598
9,5	573
12,6	542
13,8	540

On a recours à d'autres valeurs tabulées qui à un élément chimique donné associent plusieurs longueurs d'onde d'une intensité supérieure à 500.

On a cherché les longueurs d'onde associées à l'oxygène et à l'azote (éléments qui constituent 99% de l'air).

Oxygène		Azote	
<i>Longueur d'onde (nm)</i>	<i>Intensité(unité arbitraire)</i>	<i>Longueur d'onde (nm)</i>	<i>Intensité(unité arbitraire)</i>
507	800	420	500
508	1000	453	650
525	1000	685	500
553	700	685.5	570
554	850	685.8	650
555	700	686	500
597	700		
599	1000		
609	640		
629	1000		

On s'aperçoit qu'il y a quelques longueurs d'onde pour l'oxygène (en rouge) qui correspondent aux longueurs d'onde trouvées pour le spectre de l'éclair.

Par contre on ne retrouve aucune longueur d'onde pour l'azote dans les valeurs obtenues pour le spectre de l'éclair.

On remarque qu'il existe une différence entre les valeurs tabulées et les valeurs relevées au goniomètre.

Les différences observées peuvent être causées par une lecture trop imprécise des graduations correspondant aux raies du spectre de l'éclair, due à la brièveté de la durée de chaque arc lumineux. Cela peut aussi être dû à la structure de l'œil lui-même qui est moins sensible à certaines couleurs et qui les perçoit donc moins bien ; il se peut donc que l'œil n'ait pas relevé toutes les raies du spectre de l'éclair.

- 22 -

Concernant les incertitudes des mesures faites il est à noter que

- Les mesures ont été faites à 3mm près à cause de l'apparition fugace des raies.
 - La fente d'entrée du goniomètre a dû être ouverte au maximum afin d'avoir assez de lumière pour bien visualiser le spectre, ce qui a pour conséquence d'élargir les raies.
- Cela rajoute donc une nouvelle incertitude de 3mm.

Avec cette incertitude de 6mm pour les graduations on obtient une incertitude de 10 nm pour les longueurs d'ondes du spectre de l'éclair. On a donc 5 longueurs d'onde de l'arc électrique sur 6 qui correspondent aux valeurs tabulées pour l'oxygène avec un écart relatif maximal de 4%.

On peut aussi remarquer que les longueurs d'onde émises par l'azote ont une intensité beaucoup plus faibles que celles émises par l'oxygène et sont donc moins facilement repérables par l'œil. Cela expliquerait le fait qu'une seule longueur d'onde de l'arc électrique corresponde aux valeurs tabulées pour l'azote.

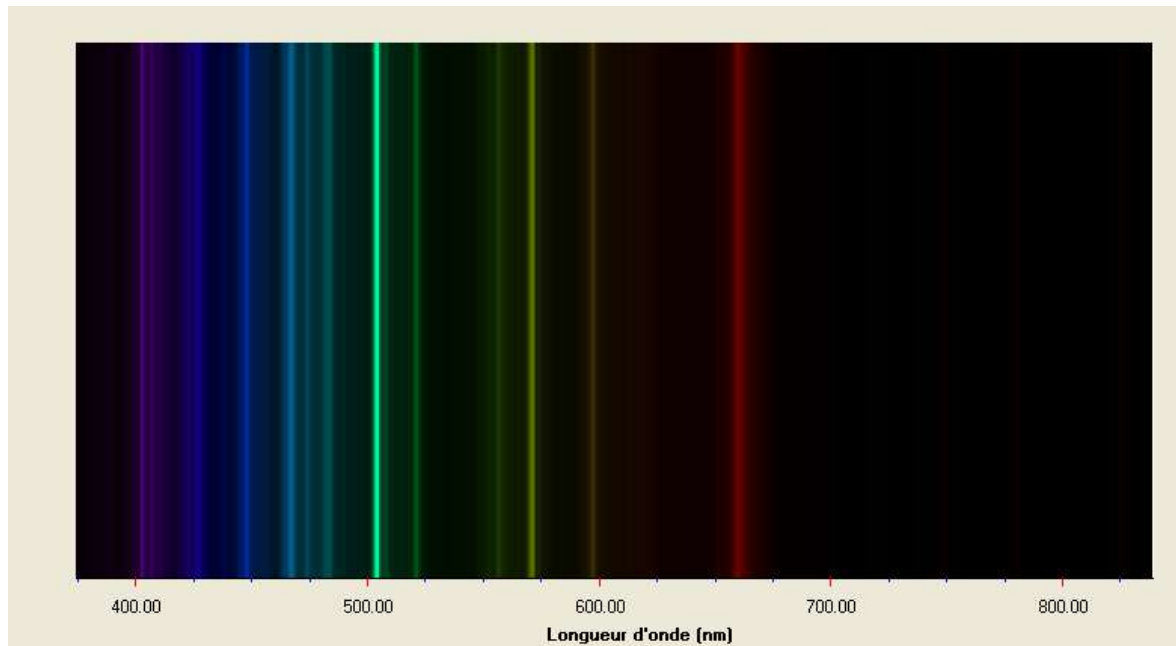
De plus, d'après les valeurs tabulées l'azote émet des longueurs d'onde de forte intensité mais celles-ci ne se situent pas dans le domaine du visible qui est compris entre 400 et 800 nm ; l'œil ne peut donc pas les détecter. Cela expliquerait pourquoi le spectre de l'arc électrique ne met pas explicitement en évidence la présence d'azote dans l'air.

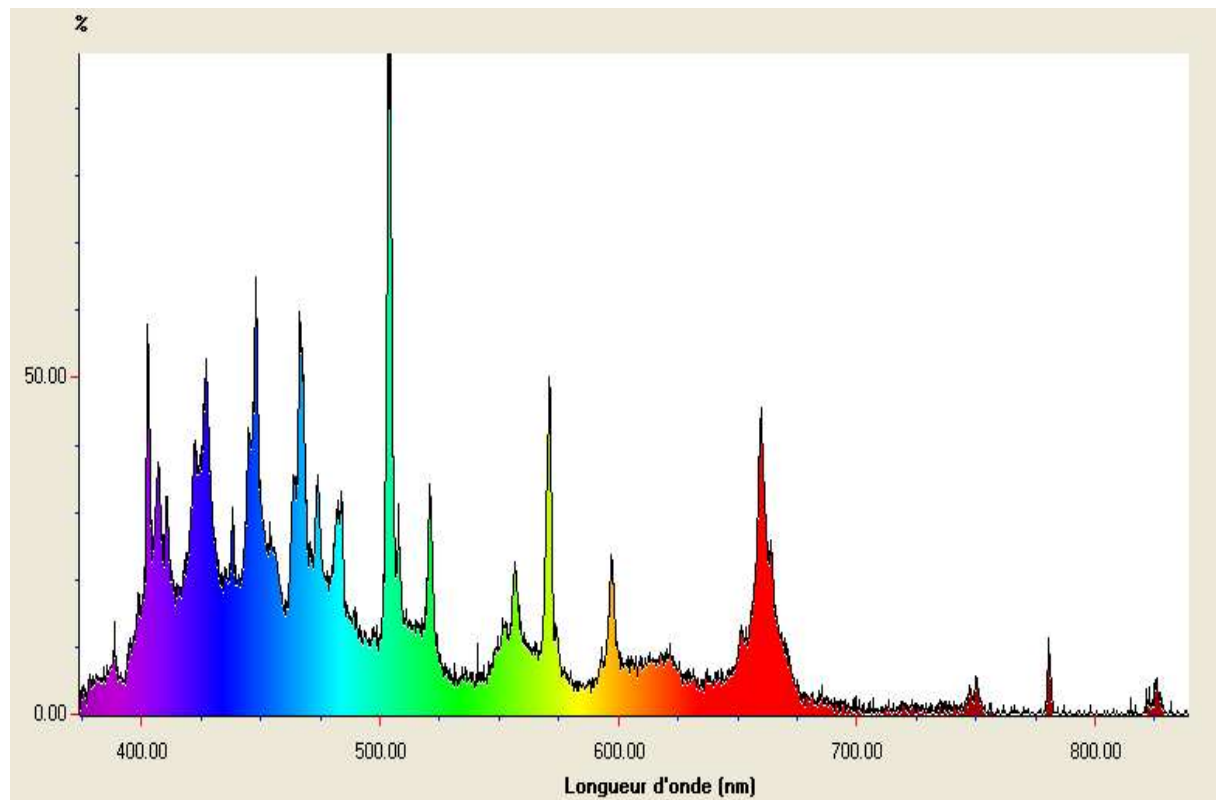
EXPERIENCE 2 : Etude du spectre d'un éclair grâce à un spectroscopie à fibre optique

MATERIEL : machine de Wimshurst , spectroscopie prêté par **Distrimesure**

Le spectroscopie est un appareil qui permet comme le goniomètre d'obtenir des spectres mais de manière beaucoup plus précise grâce à une fibre optique.

On a fait le noir dans le laboratoire pour que le spectre ne présente pas les raies caractéristiques des lampes au néon. On a placé la fibre optique près de la machine de Wimshurst et on a fait une acquisition du spectre de l'éclair :





On relève les longueurs d'onde des raies du spectre de l'éclair obtenu. Et on les compare avec celles obtenues au goniomètre ainsi qu'avec les valeurs tabulées.

Oxygène		Azote		Arc électrique	
Longueur d'onde (en nm)	Intensité (unité arbitraire)	Longueur d'onde (en nm)	Intensité (unité arbitraire)	Graduation (en cm)	Longueur d'onde (en nm)
				goniomètre	
507	800	420	500	13.8	540
508	1000	453	650	12.6	542
525	1000	685	500	9.5	573
553	700	685.5	570	8.2	598
554	850	685.8	650	7.2	622
555	700	686	500	6	657
597	700			spectroscope	
599	1000				
609	640				
629	1000				
395	450	420	500		406
508	1000	451	250		414
507	900	452	300		417
525	1000	453	650		427
554	850	463	650		431
555	700	685			442
599	1000				452
					458
					471
					478
					485
					493
					508
					524
					560
					574
					600
					664

Le constructeur du spectroscope à fibre optique donne une incertitude de 3nm pour cet appareil : il est donc beaucoup plus précis que le goniomètre.

On a coloré les longueurs d'onde obtenues au goniomètre et au spectromètre en rouge pour celles qui correspondent à celles de l'oxygène et en bleu pour celles qui correspondent à celles de l'azote. L'écart relatif entre les valeurs obtenues expérimentalement et les valeurs tabulées ne dépasse pas les 4%.

On observe que le spectre obtenu au spectroscope est assez différent de celui observé au goniomètre. En effet au goniomètre toutes les longueurs d'onde obtenues sont supérieures à 540 nm tandis que la grande majorité des longueurs d'onde au spectroscope sont inférieures à 540 nm : seulement 4 sont supérieures à cette valeur. De plus une seule valeur obtenue est identique : l'onde de 594nm au goniomètre et 600nm au spectroscope.

On note cette fois-ci que l'azote est autant représenté dans le spectre de l'arc électrique que l'oxygène contrairement à l'expérience avec le goniomètre.

On a cherché s'il existait des valeurs tabulées pour les spectres d'émission du dioxygène et du diazote mais on a trouvé seulement celles concernant l'élément oxygène et l'élément azote.

CONCLUSION

Notre travail sur ce dossier a été très instructif car il nous a permis de faire pour la première fois des expériences dans le but d'expliquer des phénomènes visibles dans la nature et cela nous a donné une vision très nouvelle de la physique expérimentale. En effet, nos Travaux Pratiques sont souvent déconnectés de la réalité.

Nous avons aussi eu la chance de manipuler de nombreux appareils que nous ne connaissions pas avant et dont nous connaissons maintenant l'utilité et le fonctionnement.

Un grand merci à Sophie Larasse et Pascal Brasselet qui nous ont accompagnées tout au long de cette préparation aux olympiades et sans l'aide de qui nous ne serions pas allées aussi loin. Merci d'avoir créé l'APELH (Atelier de Physique Expérimentale du Lycée Hoche) qui permet aux élèves de Hoche d'associer créativité et intuition à la physique et qui nous a montré à plusieurs reprises que la physique ne se réduit pas à des formules !

