

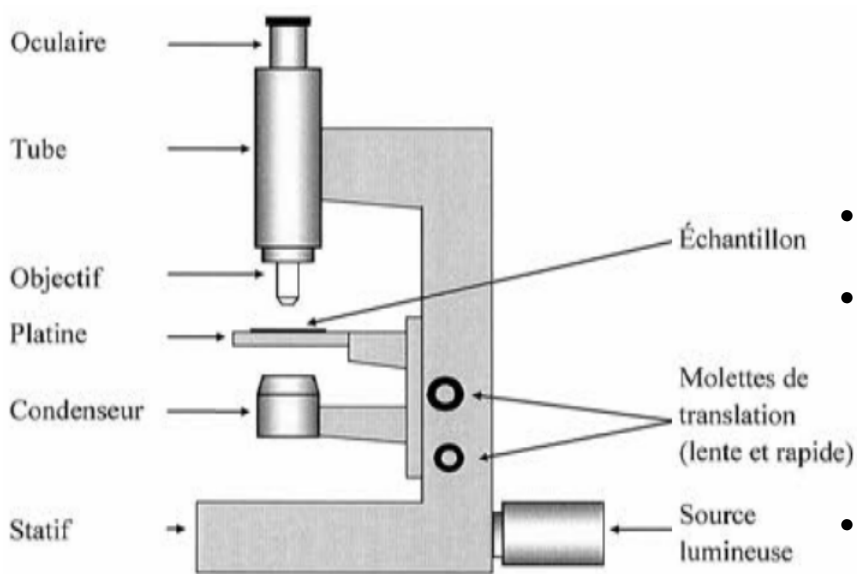
OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE ET ÉLECTRICITÉ

Soignez la présentation et la rédaction, qui doit être complète et concise. Tout résultat doit être justifié, et mis en valeur. Les résultats doivent d'abord être écrits sous forme littérale et doivent être homogènes. Les résultats numériques doivent avoir un nombre de chiffres significatifs vraisemblable. Les schémas doivent être clairs, suffisamment grands et lisibles. Si vous n'arrivez pas à montrer un résultat, admettez-le clairement et poursuivez.

CALCULATRICES AUTORISÉES

I. Étude du microscope optique dans le cadre de l'optique géométrique

Un microscope optique élémentaire à champ large (figure 1) se compose essentiellement de quatre parties :



- Le tube optique, aux extrémités duquel se trouvent deux systèmes optiques centrés convergents de même axe optique : l'objectif du côté de l'objet et l'oculaire du côté de l'œil ou du capteur.
- La platine sur laquelle est placé l'objet (ou préparation) à étudier.
- Le dispositif de translation du tube, parallèlement à son axe, par rapport à la platine (à mouvements micrométrique « lent » et macro-métrique « rapide »), nécessaire à la mise au point.
- Le système d'éclairage de l'objet constitué d'une source, d'un condenseur et d'un diaphragme.

Les liaisons entre ces éléments sont assurées par le statif qui permet de maintenir leur alignement.

Dans tout le problème, on supposera les conditions de Gauss réalisées.

I.1. Grossissement

On assimile dans un premier temps l'objectif et l'oculaire du microscope à deux lentilles minces convergentes notées respectivement L_1 et L_2 , de même axe optique et de centres respectifs O_1 et O_2 . L'objectif donne, d'un objet proche \overrightarrow{AB} transverse avec A situé sur l'axe optique, une image réelle intermédiaire $\overrightarrow{A_1B_1}$ très agrandie. L'oculaire joue le rôle de loupe et donne de $\overrightarrow{A_1B_1}$ une image finale virtuelle $\overrightarrow{A'B'}$ agrandie.

Les objectifs usuels ont des distances focales f'_1 très petites, de l'ordre de quelques millimètres, et les oculaires des distances focales f'_2 de l'ordre de quelques centimètres. On appelle *longueur optique* du microscope la distance $\Delta = F'_1F_2$ entre le foyer image de L_1 et le foyer objet de L_2 .

On rappelle que l'œil emmétrope (à vision normale) voit nettement des objets situés entre la distance minimale de vision distincte $d_m = 25$ cm (le Punctum Proximum, ou P.P.) et l'infini (Punctum Remotum, ou P.R.). Sauf indication contraire, dans tout le problème le microscope est réglé pour donner une image $\overrightarrow{A'B'}$ à l'infini.

1. Réaliser soigneusement la construction géométrique de $\overrightarrow{A_1B_1}$ et $\overrightarrow{A'B'}$ sur le document-réponse placé en figure (1) en annexe (à détacher et rendre avec la copie). On justifiera succinctement la construction, et on fera apparaître l'angle α' sous lequel l'image finale est vue par l'œil.

Les diaphragmes circulaires D_O et D_C dessinés sur le schéma seront étudiés plus loin.

Un microscope est constitué d'un objectif portant l'indication $\times 20$ et d'un oculaire portant l'indication $\times 10$. La longueur optique vaut $\Delta = +160$ mm.

Pour un instrument d'optique, on définit le *Grossissement Commercial* par le rapport

$$G_c = \left| \frac{\alpha'}{\alpha} \right|$$

où α' est l'angle sous lequel est vue l'image finale à l'infini par l'œil à travers l'instrument, et α l'angle sous lequel l'objet est vu par l'œil nu lorsqu'il est situé au P.P.

2. L'indication $\times 10$ de l'oculaire est son grossissement commercial $G_{c,oc}$. Après avoir retrouvé l'expression de $G_{c,oc}$ en s'appuyant sur un schéma, déterminer la distance focale image f'_2 de l'oculaire et donner sa valeur numérique.
3. L'indication $\times 20$ de l'objectif est la valeur absolue de son grandissement transverse γ_{ob} pour une image intermédiaire $\overline{A_1B_1}$ formée à la distance Δ de F'_1 . Déterminer la distance focale f'_1 de l'objectif et donner sa valeur numérique.
4. Exprimer le grossissement commercial G_c du microscope entier en fonction de $G_{c,oc}$ et de γ_{ob} puis déterminer numériquement G_c .

I.2. Autres caractéristiques visuelles

Latitude de mise-au-point

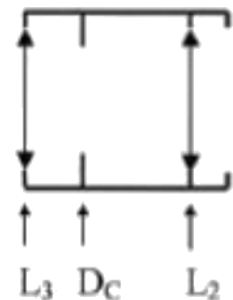
Du fait de la capacité d'accommodation de l'œil, le microscope peut être utilisé avec un réglage tel que l'image finale ne soit pas à l'infini. On note A_∞ la position de l'objet A lorsque l'image finale est à l'infini, et A_m sa position lorsque l'image finale est au P.P. de l'œil emmétrope placé en F'_2 . On définit ainsi la *latitude de mise-au-point* comme la distance $\mathcal{L}_{am} = \overline{A_\infty A_m}$.

5. Établir l'expression puis la valeur numérique de $\overline{F_1 A_\infty}$. Commenter cette valeur.
6. Déterminer de même l'expression de $\overline{F_1 A_m}$, et en déduire \mathcal{L}_{am} en fonction de f'_1 , f'_2 , Δ et d_m . Commenter sa valeur numérique.
Pour une longueur optique Δ fixée et un oculaire donné, indiquer l'évolution de cette latitude avec le grandissement de l'objectif $|\gamma_{ob}|$.

Les diaphragmes du microscope

On souhaite étudier le rôle du diaphragme d'ouverture D_o et du diaphragme de champ D_c du microscope, dont les rayons sont notés respectivement R_{DO} et R_{DC} , avec $R_{DC} = 8,0$ mm. Le diaphragme d'ouverture se situe dans le plan focal image de l'objectif, tandis que le diaphragme de champ se situe au niveau du plan focal objet de l'oculaire.

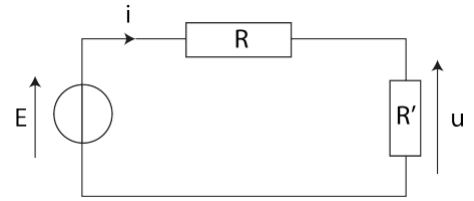
7. Montrer, à l'aide d'une construction géométrique sur le document-réponse en annexe, que le diaphragme d'ouverture D_o contrôle le flux d'énergie lumineuse entrant dans le microscope.
8. Le *cercle oculaire*, de centre C , est l'image du diaphragme d'ouverture à travers l'oculaire¹. Déterminer la position du point C par rapport à F'_2 en fonction de f'_2 et Δ . Donner la valeur numérique de $F'_2 C$.
Justifier que l'observateur a intérêt à placer son œil au niveau de ce cercle.
9. Montrer que le diaphragme de champ D_C limite la dimension transverse du champ objet observable. Donner la valeur numérique de cette dimension pour le microscope étudié précédemment.
10. Un oculaire possède souvent, en plus de la lentille L_2 et du diaphragme de champ D_C , une seconde lentille L_3 . Par exemple, un oculaire de Huygens (figure ci-contre) est constitué d'un doublet de lentilles minces convergentes non accolées, respectivement appelées *verre de champ* du côté de l'objectif (lentille L_3) et verre d'œil du côté de l'œil (lentille L_2). L'image intermédiaire se forme toujours dans le plan de D_C , à savoir le plan focal objet de L_2 . Montrer que l'ajout d'un verre de champ L_3 à la lentille L_2 permet notamment d'augmenter la largeur transversale du champ de vision.



1. Il s'agit plus généralement de la *pupille de sortie* du microscope.

II. Circuit à plusieurs lampes

On considère le montage ci-contre où le générateur idéal de tension continue, de force électromotrice E , alimente un circuit constitué de deux résistors de résistances R et R' .



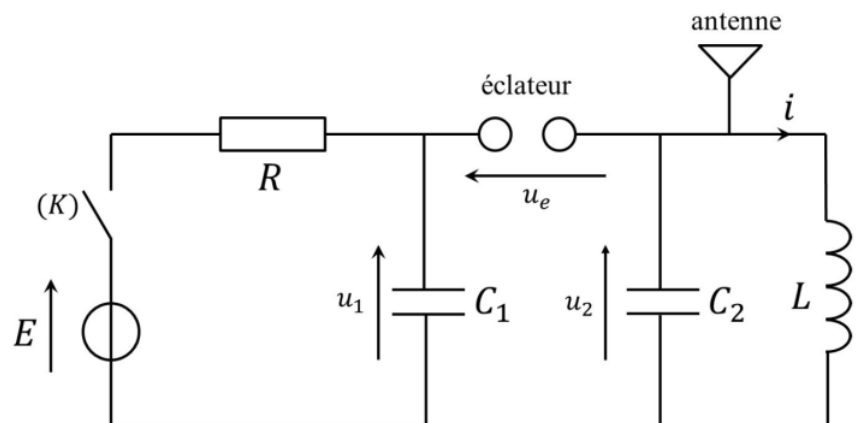
1.
 - a) Exprimer la puissance \mathcal{P}_J dissipée par effet Joule dans la résistance R' .
 - b) En déduire la valeur optimale de R' permettant de maximiser \mathcal{P}_J .
2. On ajoute maintenant une lampe à incandescence au circuit précédent, assimilable à un simple résistor de résistance $R_L = 120\ \Omega$, et placée en parallèle avec le résistor R' .
 - a) Déterminer, en fonction de E , R , R' et R_L , l'expression de l'intensité i_L du courant traversant la lampe.
 - b) On donne $E = 50\text{ V}$, $R = 100\ \Omega$ et $R' = 1,0\text{ k}\Omega$. La lampe n'est pleinement allumée que si elle est parcourue par un courant d'intensité supérieure à 250 mA en valeur absolue. Qu'en est-il dans ce montage ?
3. On ajoute, au circuit avec lampe, une résistance $R_0 = 50\ \Omega$ en parallèle avec R .
 - a) Cela modifie-t-il l'état allumé ou éteint de la lampe ? Justifier.
 - b) Quelle énergie W_L la lampe reçoit-elle si elle est alimentée ainsi pendant la durée $\Delta t = 30\text{ min}$?

III. Télégraphe sans fil

La télégraphie sans fil (TSF) est apparue au début du XX^{ème} siècle. Elle repose toujours sur le codage de l'alphabet Morse, mais la transmission se fait par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques. Le principe consiste à émettre une série d'impulsions électromagnétiques de durées variables pour représenter les traits et les points. Les dispositifs d'émission et de réception ont beaucoup évolué au cours du XX^{ème} siècle. Dans cette partie, on se contentera d'en décrire quelques aspects.

Un émetteur courant de la TSF est l'émetteur à ondes amorties par excitation indirecte, représenté ci-dessous. Lorsque le télégraphiste veut émettre un signal, il appuie sur l'interrupteur (K).

Tant que la tension u_e aux bornes de l'éclateur reste inférieure à une tension de claquage U_E , l'éclateur peut être assimilé à un interrupteur ouvert. Lorsque la tension u_e dépasse la tension U_E , une étincelle apparaît entre les deux bornes de l'éclateur et celui-ci devient conducteur : on considérera que l'éclateur se comporte alors comme un fil.



La tension imposée par le générateur de tension continue est égale à $E > U_E$. La bobine d'inductance L est supposée idéale.

À un instant $t = 0$, le télégraphiste ferme l'interrupteur (K). Les condensateurs de capacités C_1 et C_2 sont déchargés pour $t < 0$.

Données : $C_1 = 1,0\ \mu\text{F}$; $U_E = 5,0\text{ kV}$; $E = 5,5\text{ kV}$.

1. Que vaut la tension u_e aux bornes de l'éclateur juste après la fermeture de l'interrupteur ? Montrer qu'au départ, l'éclateur se comporte comme un interrupteur ouvert.
2. Déterminer l'expression de la tension $u_1(t)$ pour $t > 0$, tant que l'éclateur se comporte comme un interrupteur ouvert.

3. Déterminer l'expression du temps t_1 à partir duquel l'éclateur se comporte comme un fil.
4. Toujours en admettant que (K) reste fermé, tracer l'allure de $u_1(t)$ pour $0 \leq t \leq t_1$ sur le graphe de la figure (2) proposé en annexe (qu'on n'oubliera pas de détacher et rendre avec la copie). Placer notamment U_E et E sur le graphe.
5. Sachant que $t_1 = 2,50$ ms, calculer la valeur de la résistance R .

Lorsque l'étincelle apparaît au niveau de l'éclateur, ce dernier se comporte comme un fil. Un transfert de charges quasi-instantané s'opère alors du condensateur de capacité C_1 vers le condensateur de capacité C_2 , conduisant à l'apparition d'une tension $u_2 = U_0$ aux bornes du condensateur de capacité C_2 .

Du fait de la brièveté de cette phase, la bobine d'inductance L pourra être assimilée à un interrupteur ouvert. On pourra aussi utiliser les notations t_1^- et t_1^+ respectivement pour les instants juste avant et juste après cette phase, et ainsi faire comme si les tensions u_1 et u_2 évoluaient à ce moment de façon discontinue.

6. La charge totale se conservant, déterminer l'expression de U_0 en fonction de U_E , C_1 et C_2 .
7. Sachant que $C_2 \gg C_1$, montrer qu'on peut considérer que le condensateur de capacité C_1 est quasi-intégralement déchargé à l'issue de cette phase.

À l'issue de ce transfert de charges, l'étincelle disparaît et l'éclateur se comporte à nouveau comme un interrupteur ouvert. On prend une nouvelle origine des temps $t' = 0$, de telle sorte que $u_2(t' = 0) = U_0$ et $i(t' = 0) = 0$.

8. Déterminer l'expression de la tension $u_2(t)$ pour $t' > 0$ (et avant tout nouveau court-circuit de l'éclateur, soit $t' < t_1$), en négligeant la présence de l'antenne (assimilée à un simple fil). Préciser l'expression de la période T_0 des oscillations électriques.

Les oscillations électriques sont converties en une onde électromagnétique par l'antenne. Du fait de la conversion d'énergie électrique en énergie électromagnétique, l'amplitude des oscillations électriques diminue, jusqu'à être nulle. On admettra que cette décroissance se fait sur une durée inférieure à t_1 , et on approximera la pseudo-période des oscillations à T_0 .

La répétition de ce cycle conduit alors à l'émission par l'antenne d'une série d'ondes amorties, comme représenté sur la figure (3) en annexe.

9. En supposant que les pertes par effet Joule sont négligeables, déterminer l'énergie W_a transmise à l'antenne à chaque cycle en fonction de C_2 et U_0 .
10. En annexe :
 - indiquer les durées t_1 et T_0 sur le graphe de la figure (3) ;
 - représenter l'allure de la tension u_1 au cours du temps sur plusieurs cycles en complétant le graphe de la figure (2). On tiendra compte de la relation d'ordre entre les tensions U_0 et U_E .
11. Pour cette question uniquement, on modélise l'amortissement des oscillations représentées en figure (3) en assimilant l'antenne à une petite résistance r dans le circuit de l'émetteur. Quelle relation devraient satisfaire les paramètres L et r de sorte que les oscillations perdurent au moins jusqu'à la date $\frac{t_1}{2}$? Justifier.

À la réception, le signal électromagnétique est capté par une antenne qui convertit le signal électromagnétique en un signal électrique proportionnel. À la suite de traitements plus ou moins complexes selon le type de récepteur, on obtient de nouveau le signal électrique de la figure (3) en annexe, qu'on convertit en signal acoustique de même fréquence. Lorsqu'un signal est reçu, le télégraphiste entend un son dont la durée lui permet de distinguer les traits et les points de l'alphabet Morse, afin de reconstituer le message.

12. Rappeler la gamme de fréquences audibles par l'oreille humaine. Sachant que $t_1 = 2,50$ ms, montrer que le télégraphiste entend bien un son lors de la réception du signal.
13. À chaque émetteur TSF, on alloue une fréquence d'émission. Quels paramètres du circuit peut-on régler pour émettre à la fréquence allouée ?

* * * FIN DE L'ÉPREUVE * * * (pensez à rendre votre annexe avec votre NOM et Prénom)

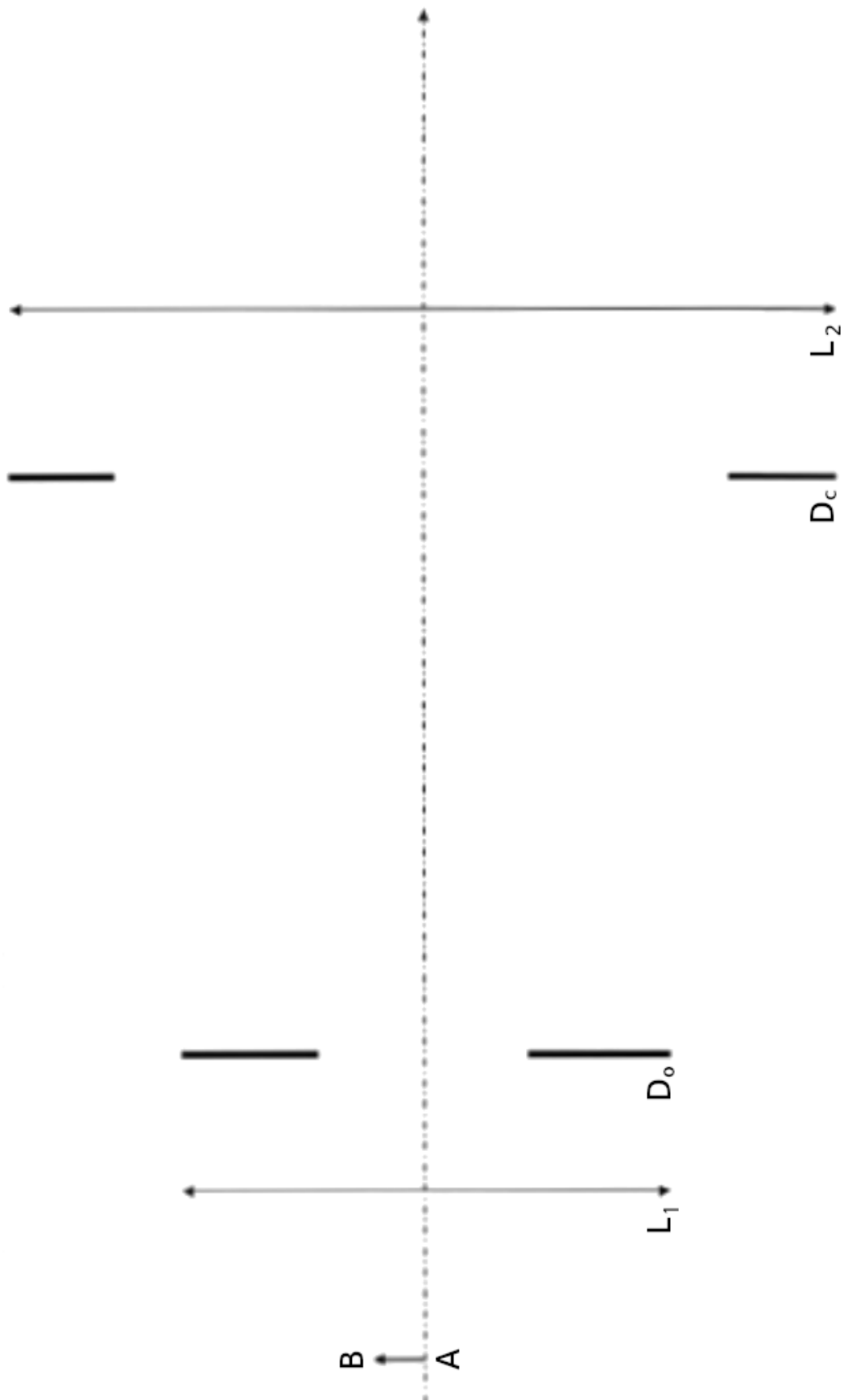
IV. ANNEXE - Documents réponse**NOM :**

FIGURE 1 – Document-réponse Microscope.

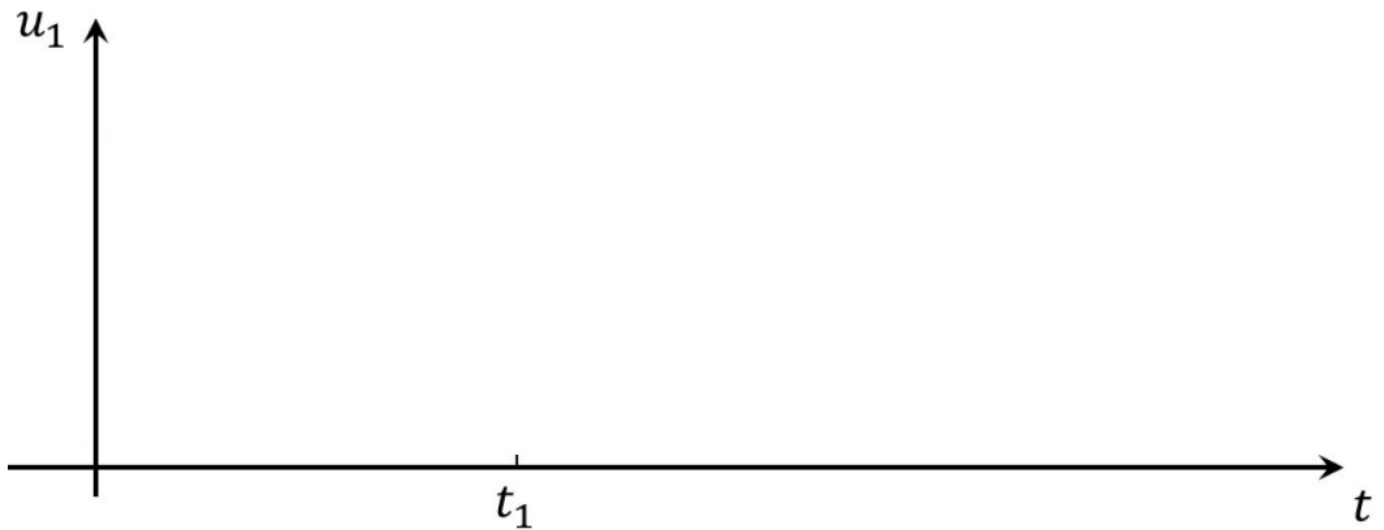
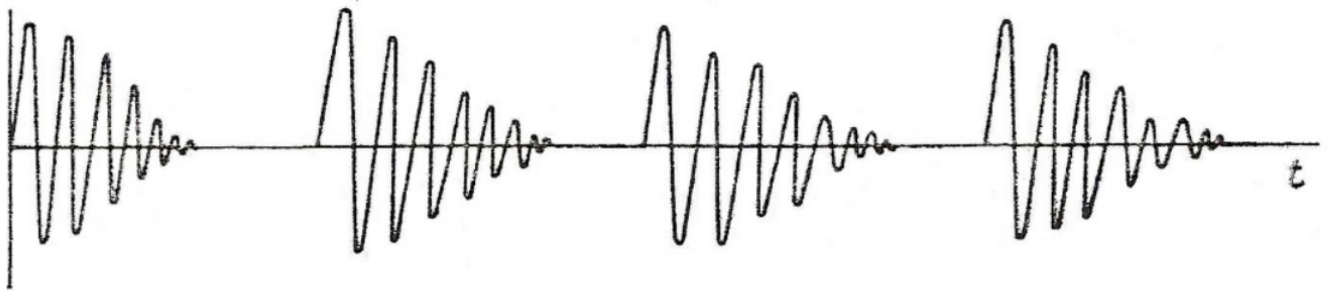
FIGURE 2 – Évolution de la tension u_1 .

FIGURE 3 – Émission par l'antenne de trains d'ondes amorties (courbe extraite de l'article « Émetteur à étincelles » de Wikipédia).