

I. La lunette de Képler (Nouvelle Calédonie 2005)

L'importance des observations réalisées par Galilée à l'aide de la lunette conduit Kepler à rédiger, en 1610, le premier traité moderne d'optique, le *Diopticae*. Le point central du *Diopticae* est l'étude des phénomènes liés aux lentilles. À l'aide de l'optique géométrique, Kepler explique comment on agrandit ou réduit une image grâce à un choix judicieux de lentilles. Il décrit la lunette galiléenne mais propose un nouveau montage utilisant deux lentilles convergentes.

Une lunette de Kepler, appelée aussi lunette astronomique est constituée de deux lentilles minces convergentes, d'axe optique commun (Δ). Une modélisation de cette lunette est constituée de la manière suivante :

- l'objectif (L_1) est une lentille convergente de distance focale $f_1' = 250$ mm, de diamètre $D = 25$ mm, de centre optique O_1 ;
- l'oculaire (L_2) est une lentille de distance focale $f_2' = 50$ mm, de centre optique O_2 .

1. Schéma de la lunette

Compléter le schéma n°1 reproduit à l'échelle $\frac{1}{2}$ sur l'axe horizontal, de **L'ANNEXE DE L'EXERCICE I** en plaçant la lentille (L_2) de telle façon que le foyer objet F_2 de l'oculaire coïncide avec le foyer image F_1' de l'objectif.

2. Images et grossissement

L'astre observé est à l'infini, son diamètre AB est perpendiculaire à l'axe optique en A . Tous les rayons issus de B sont parallèles entre eux et font avec l'axe optique un angle θ qui est le diamètre apparent de l'astre. Un des rayons issu de B est représenté sur les schémas de **L'ANNEXE DE L'EXERCICE I**.

1. L'objectif (L_1) donne, de l'astre observé, une image A_1B_1 . Sur le schéma n°1 de **L'ANNEXE DE L'EXERCICE I**, construire l'image A_1B_1 en justifiant la méthode choisie.
2. Où se forme l'image définitive A_2B_2 donnée par l'oculaire (L_2) ? Justifier la réponse.
3. Compléter la figure en traçant le rayon émergent de la lunette correspondant au rayon incident tracé issu de B . Justifier les tracés nécessaires à cette construction.

4. On appelle grossissement G d'un instrument d'optique le rapport $G = \frac{\theta'}{\theta}$. θ' est l'angle sous lequel on voit

l'image donnée par l'instrument.

θ est l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu.

Pour les angles petits et exprimés en radians, $\tan\theta \approx \theta$

Après avoir indiqué θ' sur le schéma n°1 de **L'ANNEXE DE L'EXERCICE I**, montrer que, pour la lunette de

Kepler modélisée à la question 1, le grossissement a pour expression $G = \frac{f_1'}{f_2'}$. En déduire la valeur du grossissement de cette lunette.

5. L'expérience montre que les plus belles images du ciel s'obtiennent avec des grossissements dont la valeur est inférieure à un nombre N . Ce nombre est identique à la valeur du diamètre D de l'objectif, exprimé en millimètre, soit ici 25. L'idéal pour l'instrument étudié ici est de disposer d'une gamme d'oculaires permettant des grossissements de $\frac{N}{7}$ à N . À partir d'un grossissement égal à N les images paraissent floues à l'œil humain.

Déterminer pour l'instrument étudié, les deux valeurs extrêmes de f_2' correspondant à ces grossissements.

3. Cercle oculaire

1. Définir le cercle oculaire.
2. Sur le schéma n°2 de **L'ANNEXE DE L'EXERCICE I**, construire le cercle oculaire. Quel est son intérêt pratique ?

4. Nouvelle image et grandissement

On approche l'oculaire de 5 mm vers l'objectif.

1. Déterminer, par le calcul, la position de l'image définitive A_3B_3 .
2. Calculer le grandissement γ de l'oculaire dans ce cas.

II. Comment accorder une guitare ? (Amérique du Sud 2004)

1. Avec un accordeur électronique

Les guitaristes emploient plusieurs méthodes pour accorder leur guitare. La plus simple consiste à utiliser un accordeur électronique dont le principe de fonctionnement s'apparente à un microphone relié à un fréquencesmètre par l'intermédiaire d'un amplificateur. Chaque corde dite "à vide" vibre entre le sillet et le chevalet, distants d'une longueur L . La corde est pincée puis accordée indépendamment des autres en tournant la clef correspondante située en haut du manche (voir figure 1), ce qui ajuste sa tension. Lorsque la guitare est accordée, chaque corde à vide produit, lorsqu'elle est pincée, une note correspondant à son nom. On parle alors de **corde de mi grave, corde de la, corde de sol**, etc. (voir figure 2). Le tableau 3 précise la correspondance entre la note produite par chaque corde et la fréquence de la tension

périodique mesurée par le fréquencesmètre. Les différentes cordes n'ont pas toutes la même masse linéique et on peut considérer qu'elles sont toutes tendues de la même façon.

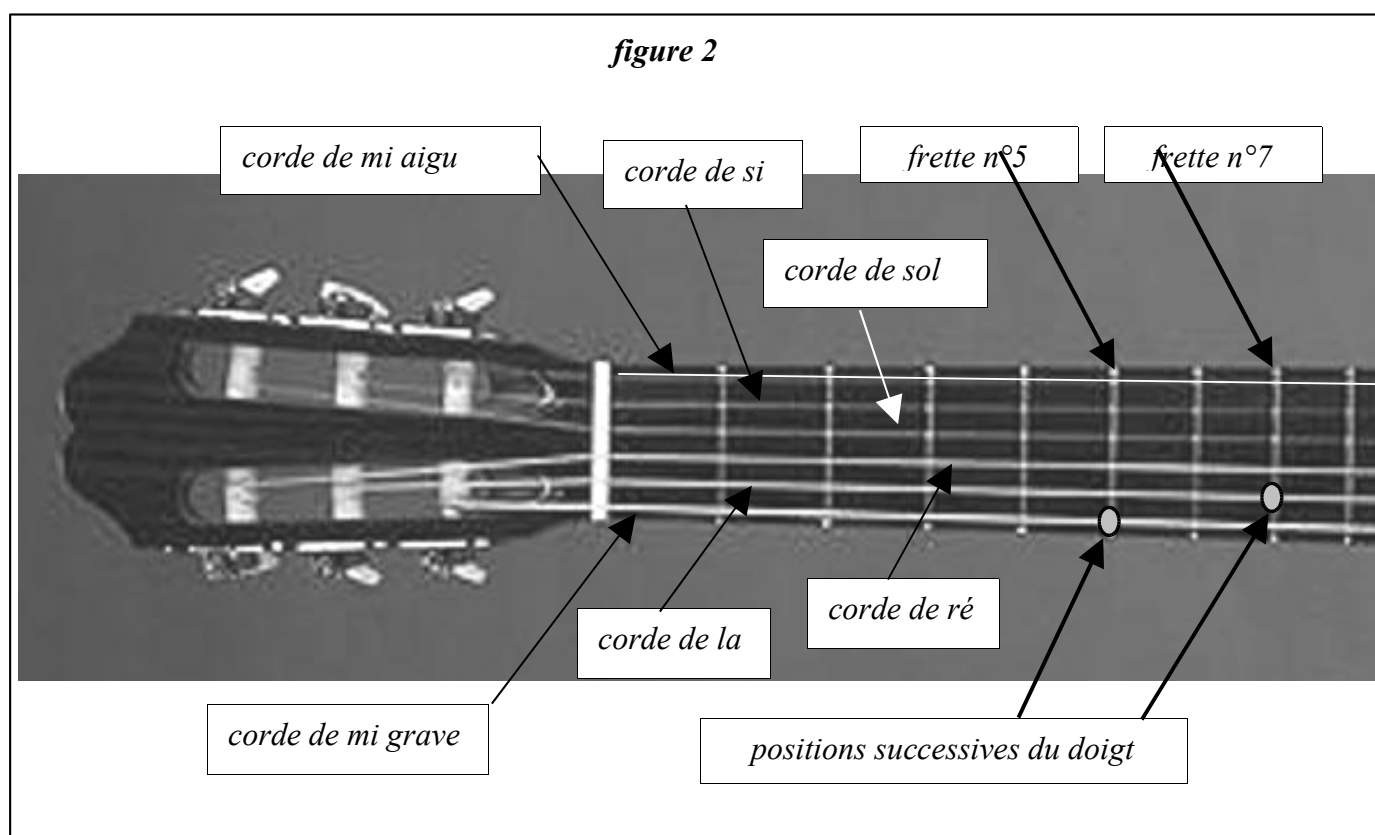
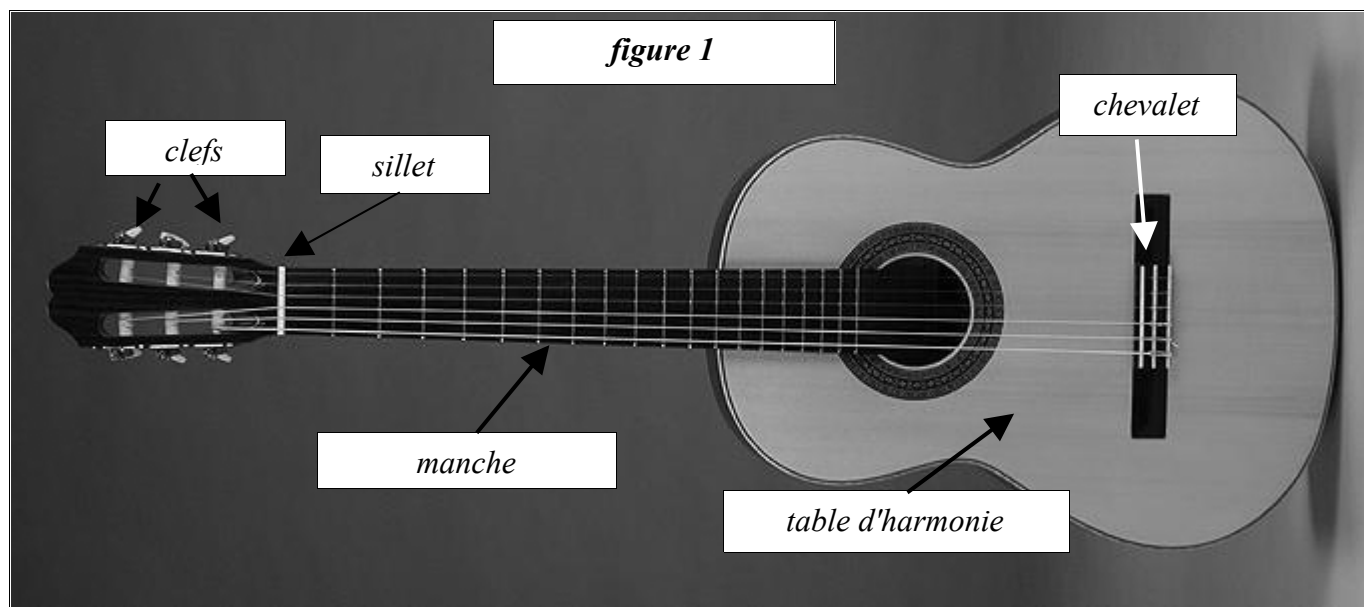


tableau 3

corde de	mi grave	la	ré	sol	si	mi aigu
fréquence (Hz)	329,63	440,00	587,33	783,99	987,77	1318,5

1. Quel est le rôle de la table d'harmonie dans une guitare (voir figure 1) ?
2. Quelle grandeur physique est associée à la hauteur d'une note ?
3. *Étude des paramètres dont dépend la hauteur de la note.*
 - a) Écrire la condition d'existence d'une onde stationnaire entre deux obstacles fixes séparés par une longueur L. En déduire l'expression de la longueur d'onde λ du mode fondamental.
 - b) Écrire la relation entre la longueur d'onde λ , la célérité v et la période T d'une onde sinusoïdale.
 - c) La célérité v des ondes le long d'une corde tendue entre deux points fixes est donnée par l'expression :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{avec } F = \text{tension de la corde en Newton et } \mu = \text{masse linéique en kg.m}^{-1}.$$

En utilisant les résultats des questions 1.3.a. et 1.3.b., montrer que la période du son émis vaut :

$$T = 2L \cdot \sqrt{\frac{\mu}{F}}$$

- d) L'accordeur électronique indique que la **corde de la** a une hauteur trop basse lorsqu'elle est pincée. Quelle manipulation le guitariste doit-il faire pour accorder la **corde de la** ? Justifiez, sans calcul, en vous aidant de l'expression donnée à la question 1.3.3.

2. Vérifier l'accord avec les harmoniques

Pour vérifier le bon accord entre les différentes cordes, le guitariste utilise une technique qui consiste à exciter les cordes sur des modes propres tels que 2 cordes à vide adjacentes produisent la même note. Par exemple, pour vérifier l'accord entre les deux premières cordes, le musicien procède comme suit :

- après avoir pincé la **corde de la**, il pose délicatement et brièvement le doigt sur la corde, sans appuyer sur celle-ci, au niveau de la frette n°7, c'est-à-dire au premier tiers de la distance sillet-chevalet L .
- presque simultanément, il refait la même chose avec la **corde de mi grave** en posant son doigt au niveau de la frette n°5, c'est-à-dire au premier quart de la distance sillet-chevalet L (voir figure 2 et la figure 4).

Les deux cordes doivent alors produire la même note.

La figure 4 (**à rendre avec la copie**) représente les trois premiers modes propres d'une corde tendue entre le sillet et le chevalet de la guitare.

1. Comment s'appelle le premier mode propre ? Comment s'appellent les autres modes propres ?
2. Sur le troisième mode de la figure 4, préciser les positions des nœuds et des ventres de vibration.
3. Sans souci d'échelle pour l'amplitude, représenter sur les lignes A, B, C de la figure 4, l'allure des trois modes propres d'ordre n immédiatement supérieur.
4. Compléter le tableau 4 donnant les fréquences associées aux 6 premiers modes propres des **cordes de mi grave et la**.
5. Quels modes de vibration le guitariste supprime-t-il lorsqu'il pose son doigt au niveau de la frette n°5 ? Même question lorsqu'il pose son doigt au niveau de la frette n°7 (on pourra s'aider de la figure 4).
6. Quelle est la fréquence commune du son obtenu sur les deux cordes ? A quelle note correspond-elle ?

Annexe de l'exercice II

figure 4

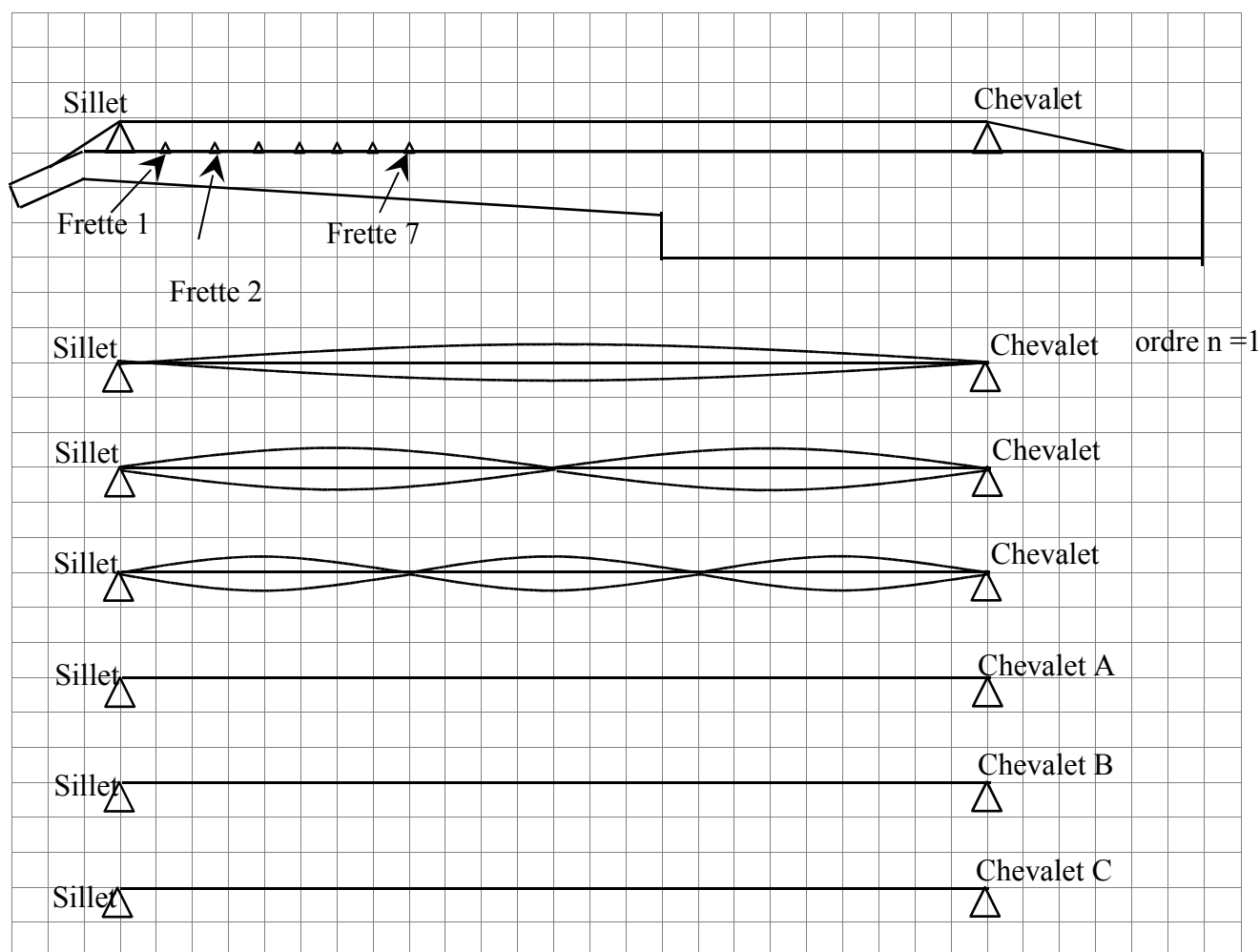


tableau 4

mode n° i	1	2	3	4	5	6
fréquence de la corde de mi grave (Hz)		660			1650	1980
fréquence de la corde de la (Hz)	440		1320	1760		

III. Etude d'un son et de sa réception avec un récepteur radio (Pondichéry 2005)

On se propose, dans cet exercice, d'étudier dans une première partie le son produit par une corde métallique vibrant entre deux points fixes A et B puis, dans une deuxième partie, la transmission et la réception de ce son par ondes hertziennes.

Données :

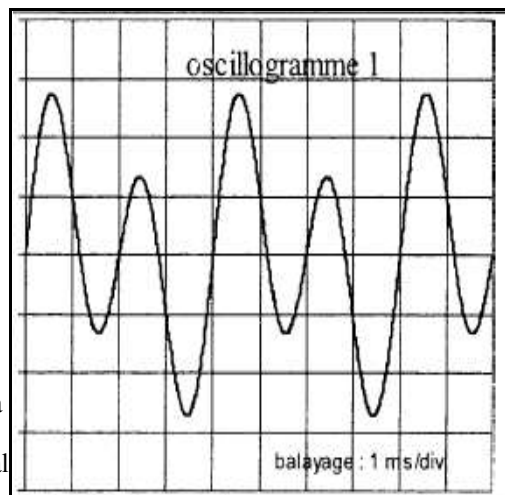
La fréquence propre f_0 d'un circuit L, C est donnée par la relation $L \times C \times (2\pi \times f_0)^2 = 1$

1. Etude du son

On a enregistré, à l'aide d'un microphone et d'un oscilloscope, le signal électrique correspondant au son produit par la corde vibrante. On a obtenu l'oscillogramme ci-contre :

chevalet de la guitare.

1. Le son produit est-il complexe ? Justifier.
2. Déterminer la valeur de la fréquence f_1 du son fondamental.
Déterminer la valeur de la fréquence f_3 de l'harmonique de rang 3.
3. Un générateur basses fréquences fait circuler dans cette corde métallique un courant alternatif sinusoïdal de fréquence réglable. La corde passe entre les pôles d'un aimant en U. Représenter sur un schéma l'état vibratoire de la corde entre A et B pour le fondamental puis pour l'harmonique de rang 3.
4. Donner la relation entre la longueur d'onde λ , la longueur AB et le rang n de l'harmonique.
5. La longueur AB vaut 0,90 m. En déduire la célérité V des ondes le long de la corde.

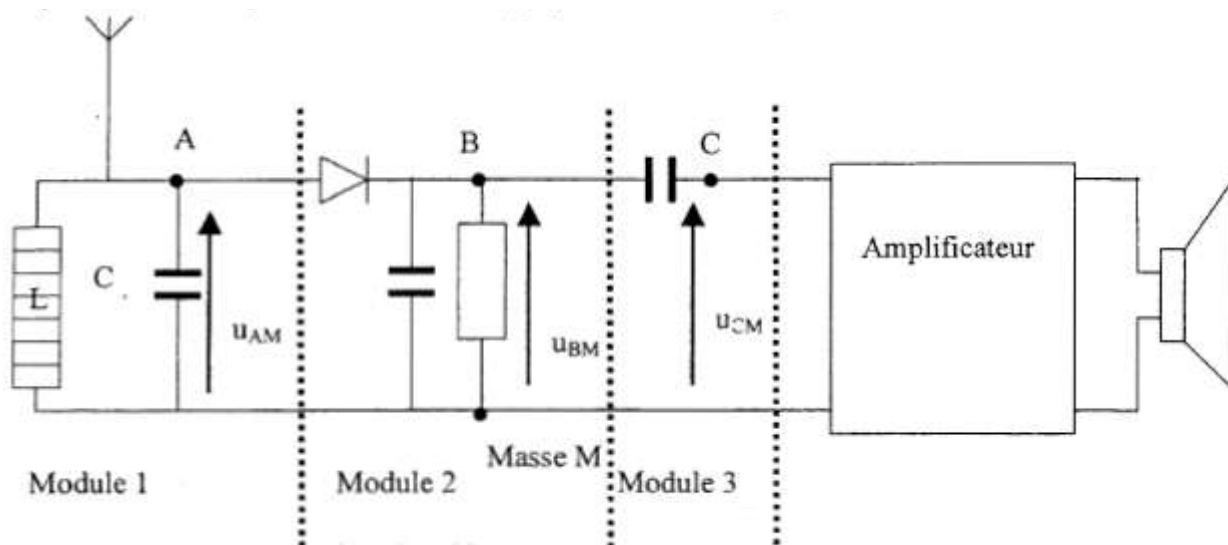


2. Emission et réception

On étudie un dispositif expérimental émetteur-récepteur d'ondes pour transmettre le son précédent par voie hertziennes.

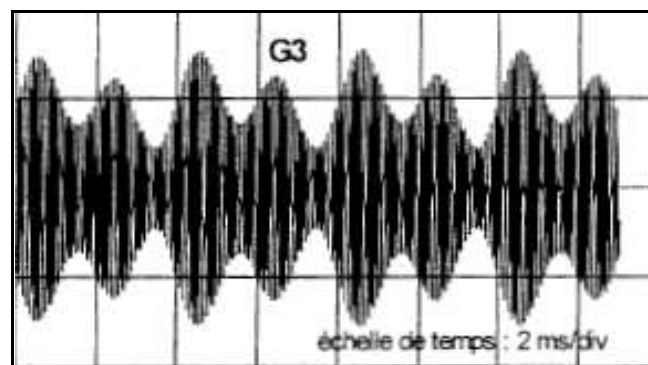
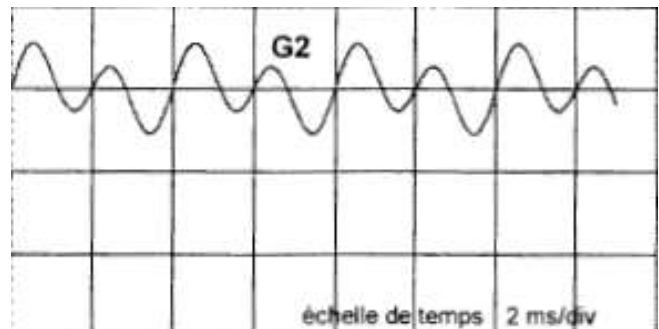
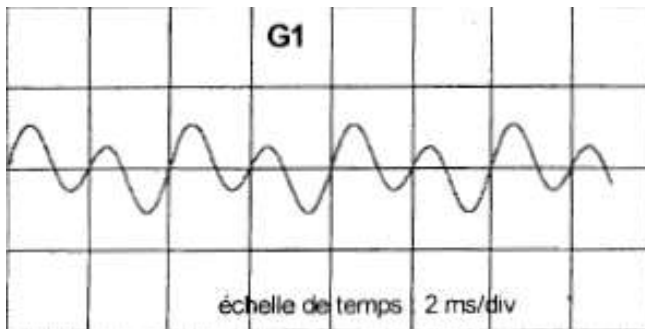
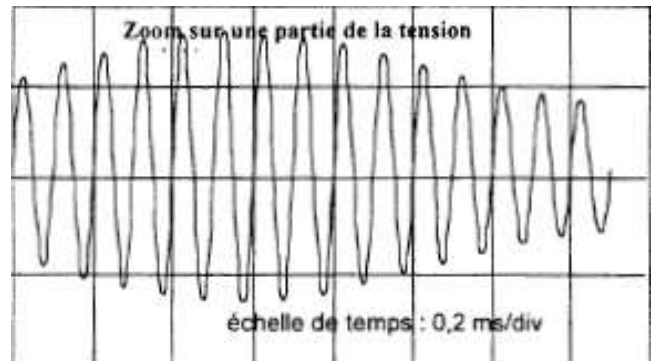
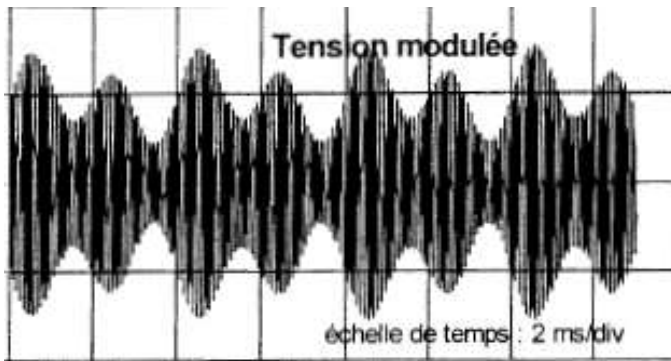
L'émetteur utilise une onde porteuse de fréquence f , modulée en amplitude par le signal électrique de fréquence f_1 correspondant au son de la première partie. La tension modulée u_m émise par l'émetteur est représentée en annexe sur les deux premiers graphes.

Le récepteur constitué de 3 modules notés 1, 2 et 3 selon le schéma de principe ci-après. Les tensions correspondantes sont représentées en annexe (graphes G1, G2 et G3).



1. En utilisant la partie zoomée de la tension modulée u_m à la sortie de l'émetteur (2^{ème} graphe figurant en annexe), déterminer la fréquence f de la porteuse.
2. Le module 1 du récepteur, filtre passe bande ou circuit d'accord, est composé d'une bobine d'inductance L de valeur fixe et d'un condensateur de capacité C réglable.
 - a) Quel est le rôle de ce module ?
 - b) Quel est l'intérêt de pouvoir faire varier la capacité ?
 - c) A quelle valeur doit-on fixer C si $L = 1,00$ mH ?
3. Les graphes des tensions u_{AM} , u_{BM} , u_{CM} sont représentées en annexe. Attribuer les graphes numérotés G1, G2, G3 aux tensions u_{AM} , u_{BM} , u_{CM} en justifiant brièvement vos choix.

Annexe de l'exercice III



Pour chaque oscillogramme, la trace correspondant à une tension nulle est confondue avec l'axe horizontal central.

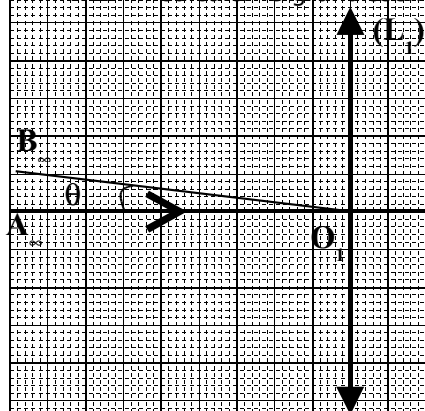
Annexe de l'exercice I

ANNEXE EXERCICE I : schéma n°1

Échelle $\frac{1}{2}$ sur l'axe horizontal
Pas de souci d'échelle sur l'axe vertical

2 cm

4.2. Calculer le grandissement γ de l'oculaire dans ce cas.



ANNEXE EXERCICE I : schéma n°2

Échelle $\frac{1}{2}$ sur l'axe horizontal
Pas de souci d'échelle sur l'axe vertical

2 cm

