Musée de Sismologie

Les oscillations d'un sismomètre

Notice à l'attention du professeur

Public visé par l'activité :	Élèves de terminale S
Disciplines concernées :	Sciences Physiques, Mathématiques
Lieu pour l'activité :	En classe ou à la maison
Durée de l'activité :	Environ 2 heures
Nature de l'activité :	Exploiter des documents expérimentaux pour mettre en évidence l'influence de l'amortissement sur les oscillations d'un sismomètre et pour étudier le phénomène de résonance.
Contenu du dossier :	Fiche élève Documents associés Proposition de correction

Déroulement possible de l'activité :

Cette activité peut tenir lieu de travail dirigé, d'activité en classe entière ou de travail à faire à la maison.

Contacts :

Pierre-André Labolle, Lycée des Pontonniers : plabolle@ac-strasbourg.fr
Valérie Ansel, EOST : valerie.ansel@unistra.fr

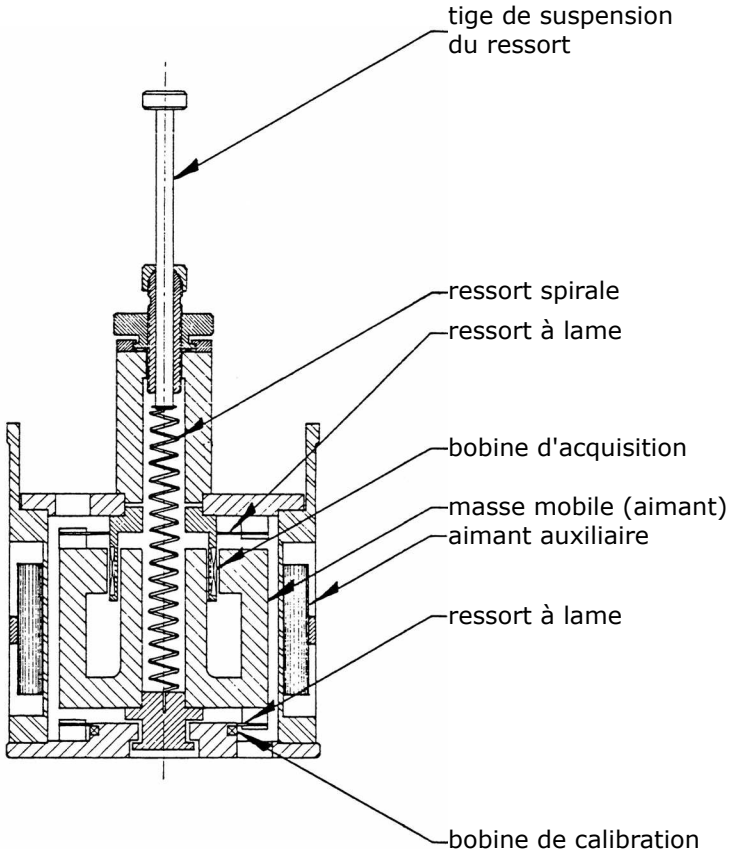
Les oscillations d'un sismomètre

Le but de cette étude est de comprendre le principe de fonctionnement d'un sismomètre qui est utilisé pour étudier et enregistrer les mouvements du sol causés par les tremblements de terre.

I/. Présentation du sismomètre

Le sismomètre étudié ici est sensible aux mouvements verticaux du sol. Il est constitué d'une masse mobile M suspendue au bâti de l'appareil par un ressort (voir schéma). Lors d'un tremblement de terre, la masse mobile se met à osciller, le bâti du sismomètre étant fixé au sol.

La masse mobile est en fait un aimant de masse M = 1,45 kg qui se déplace à l'intérieur d'une bobine. Grâce au phénomène d'induction électromagnétique dans la bobine, la tension électrique mesurée aux bornes de la bobine est directement proportionnelle à la vitesse de la masse par rapport au sol. L'acquisition des données peut alors se faire en mesurant la tension aux bornes de la bobine du sismomètre.



II/. Oscillations mécaniques libres de la masse mobile M

En injectant un courant électrique dans la bobine de calibration, il est possible de contraindre la masse mobile à monter. Tant que le courant circule dans la bobine de calibration, la masse mobile est en maintenue en position haute.

À l'instant t = 0, on supprime le courant électrique dans la bobine de calibration, ce qui a pour effet de libérer la masse mobile M qui peut alors osciller librement. Ce dispositif est utilisé pour régler le sismomètre avant utilisation.

Nous allons nous intéresser ici aux oscillations mécaniques de la masse mobile lorsque celle-ci est libérée suite à l'annulation du courant dans la bobine de calibration.

II.1. On rappelle que tous les référentiels galiléens sont en mouvement de translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres.
Lors d'un séisme, peut-on considérer le référentiel terrestre comme galiléen ?
Justifier la réponse.

Notre étude se fait en-dehors du déroulement d'un séisme. On se place dans le référentiel terrestre que l'on considèrera comme galiléen.

Le sismomètre sera assimilé à une masse M suspendue à l'extrémité inférieure d'un ressort vertical de constante de raideur k et de longueur à vide L_0.

La masse mobile est sujette à des forces de frottement mécanique dues à la constitution de l'appareil et à des forces de freinage électromagnétique dues à la présence de la bobine permettant l'acquisition des données. On démontre que la résultante de toutes les forces de frottements d'exerçant sur la masse est équivalente à une unique force de frottement telle que $\vec{f} = -\lambda \cdot \vec{v}$ où λ, le coefficient de frottement, est une constante positive.

II.2. Étude de la position d'équilibre de la masse mobile

Dans toute la suite de l'exercice, on utilisera un axe vertical (Oz) orienté vers le haut et dont l'origine est repérée par la position d'équilibre du centre d'inertie G de la masse mobile. La position du centre d'inertie G est ainsi repérée par la coordonnée z. On notera $\vec{u}_z$ le vecteur unitaire de cet axe et $\vec{g}$ l'accélération de la pesanteur.

II.2.1. *Faire un schéma du pendule élastique vertical représentant le sismomètre et y faire figurer l'axe (Oz).*

II.2.2. *Faire l'inventaire des forces s'exerçant sur la masse M lorsque celle-ci est à l'équilibre.*

II.2.3. On appelle $L_{éq}$ la longueur du ressort lorsque la masse M est à l'équilibre et $\Delta L_{éq}$ son allongement lorsque la masse M est à l'équilibre.
Démontrer que $M \cdot g = k \cdot \Delta L_{éq}$.

II.3. Équation du mouvement au cours des oscillations

On s'intéresse à présent aux oscillations de la masse M. La longueur du ressort à un instant quelconque au cours des oscillations est notée L. L'axe (Oz) est identique à celui de la question précédente.

II.3.1. *Faire un schéma du pendule représentant le sismomètre pendant les oscillations de la masse M et représenter sur ce schéma toutes les forces extérieures appliquées à la masse M (sans tenir compte de l'échelle).*

II.3.2. *Exprimer la longueur L du ressort en fonction de L_0, $\Delta L_{éq}$ et z en étant attentif au signe de z. En déduire l'expression de la force de rappel $\vec{T}$ du ressort en fonction de $\Delta L_{éq}$ et z.*

II.3.3. *Démontrer alors que l'équation du mouvement de la masse M est de la forme : $\frac{d^2z}{dt^2} + \frac{\lambda}{M} \cdot \frac{dz}{dt} + \frac{k}{M} \cdot z = 0$ en appliquant la deuxième loi de Newton et en projetant la relation obtenue sur l'axe (Oz).*

II.3.4. *Montrer par une analyse dimensionnelle que le rapport $\sqrt{\frac{M}{k}}$ a la dimension d'une durée et rappeler l'expression de la période propre T_0 du pendule élastique représentant le sismomètre.*

II.4. Étude de la période des oscillations

Un dispositif permet de régler l'amortissement des oscillations de la bobine. Le document 1 présente les courbes obtenues lors de l'enregistrement de la tension aux bornes de la bobine pour différents amortissements. Les courbes sont classées selon des valeurs croissantes de l'amortissement.

II.4.1. *Quels sont les différents régimes observés sur ces courbes ? Préciser pour chaque régime à quelle(s) courbe(s) il correspond.*

II.4.2. *Pour chaque courbe, déterminer avec le maximum de précision la valeur de la pseudo période T lorsque cela est possible.*

II.4.3. *La valeur de la pseudo période T dépend-elle de l'amortissement ? Si oui, préciser comment elle dépend de l'amortissement.*

II.4.4. *Justifier que l'on peut considérer la pseudo période de la première courbe comme étant égale à la période propre T_0 du sismomètre.*

II.4.5. À l'aide de la partie **II.3.**, *en déduire la valeur de la constante de raideur k du ressort du pendule représentant le sismomètre.*

II.5. Étude de l'amplitude des oscillations

II.5.1. *Sur la première courbe, mesurer les valeurs crête-à-crête Y_1, Y_2 et Y_3 du signal en unités arbitraires pour les trois premières pseudo périodes.*

II.5.2. *Calculer les rapports $\ln\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)$ et $\ln\left(\frac{Y_2}{Y_3}\right)$. Que peut-on dire des valeurs de ces deux rapports ? Cela démontre mathématiquement que les amplitudes des oscillations décroissent exponentiellement.*

III/. Oscillations mécaniques forcées de la masse mobile M

En injectant cette fois un courant sinusoïdal dans la bobine de calibration, on peut exercer sur la masse mobile une force dont l'intensité est sinusoïdale. La masse mobile se met alors à osciller à la fréquence imposée par le générateur de courant sinusoïdal.

On enregistre la tension aux bornes de la bobine pour différentes valeurs de la fréquence f du courant sinusoïdal délivré par le générateur (voir document 2).

III.1. *Sur les courbes du document 2, mesurer les valeurs crête-à-crête U_{cc} des tensions observées aux bornes de la bobine pour les différentes fréquences du générateur. Compléter les tableaux ci-dessous en calculant également les amplitudes U_m de la tension observée aux bornes de la bobine.*

f (Hz)	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55
U_{cc} (unité arbitraire)						
U_m (unité arbitraire)						

f (Hz)	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
U_{cc} (unité arbitraire)							
U_m (unité arbitraire)							

III.2. *Tracer la courbe représentative de U_m en fonction de la fréquence f.*

III.3. *Quel est le phénomène mis en évidence par cette courbe ?*

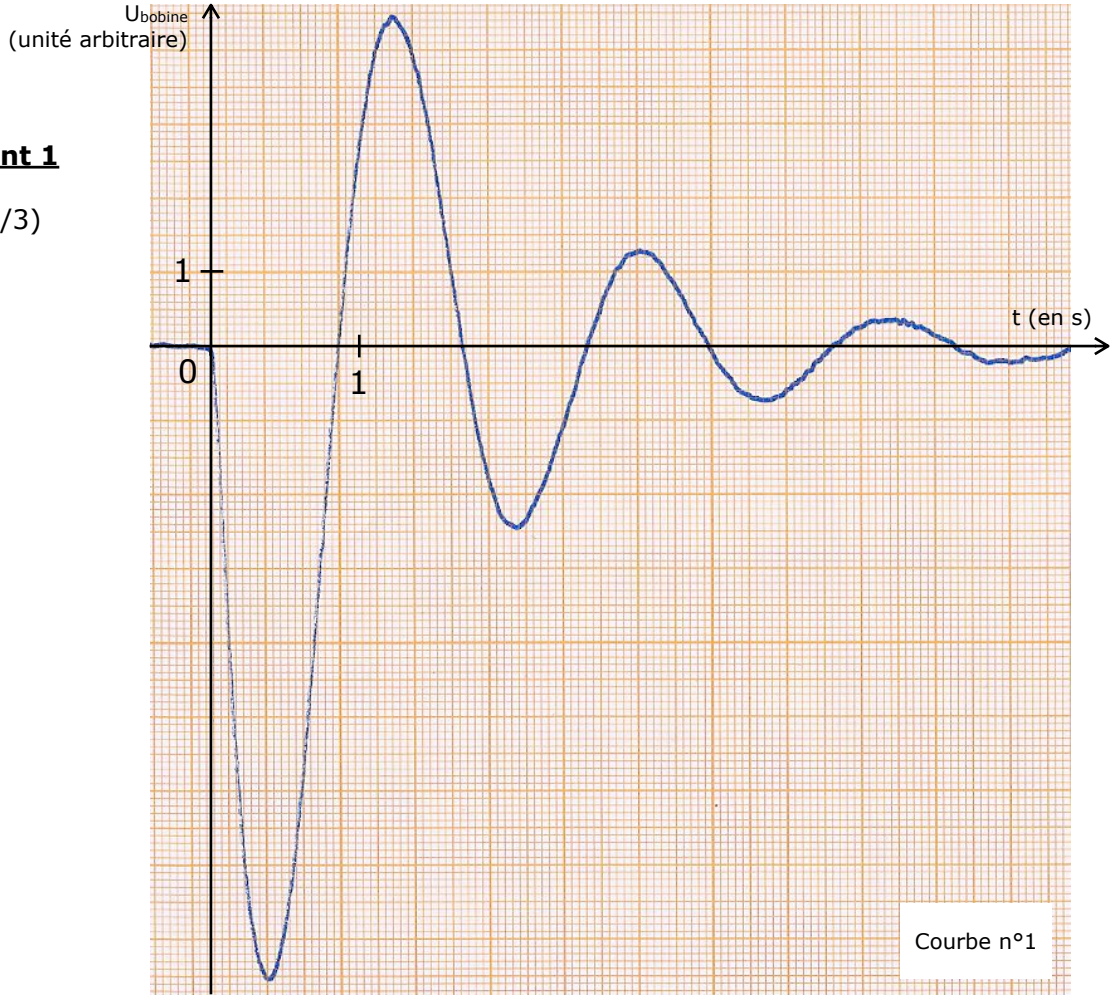
III.4. *Comment appelle-t-on alors le générateur de courant sinusoïdal ?*
Quel nom donne-t-on alors à la masse mobile M ?

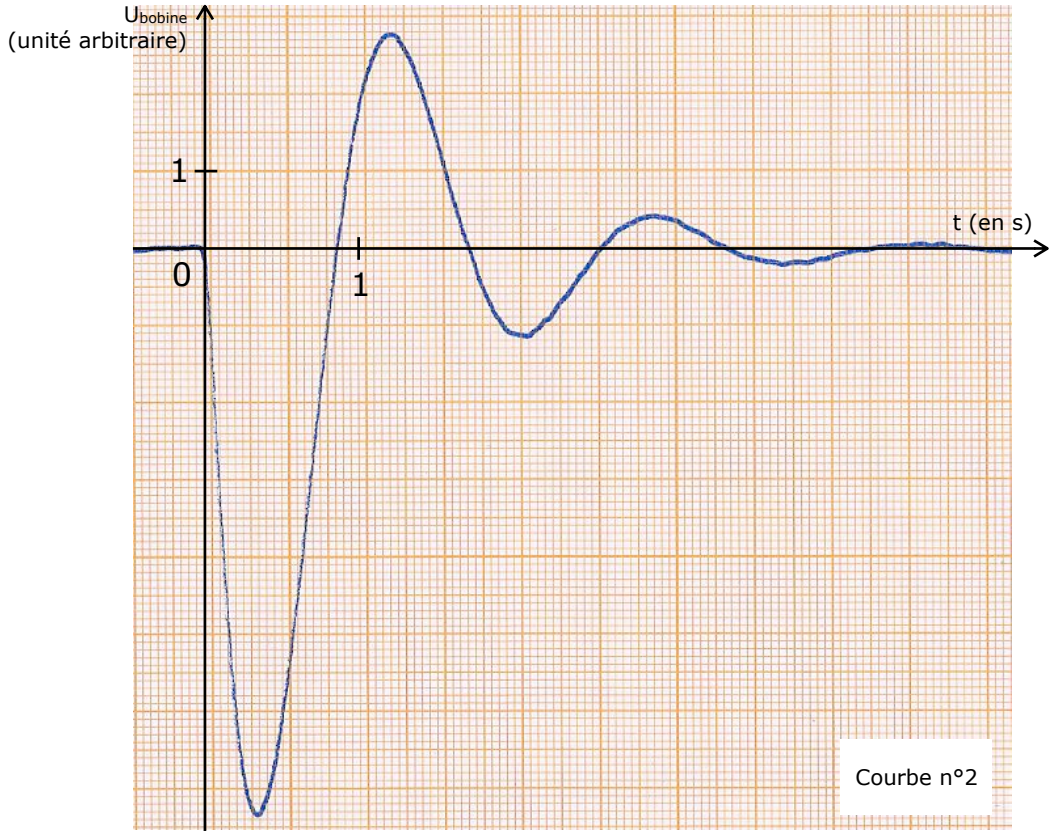
III.5. *En expliquant la méthode et en justifiant la réponse, déterminer à l'aide de cette courbe la fréquence propre f_0 d'oscillation du sismomètre.*

III.6. *En déduire la valeur de la période propre T_0 du sismomètre et la comparer à la valeur trouvée en **II.4.4.***

Document 1

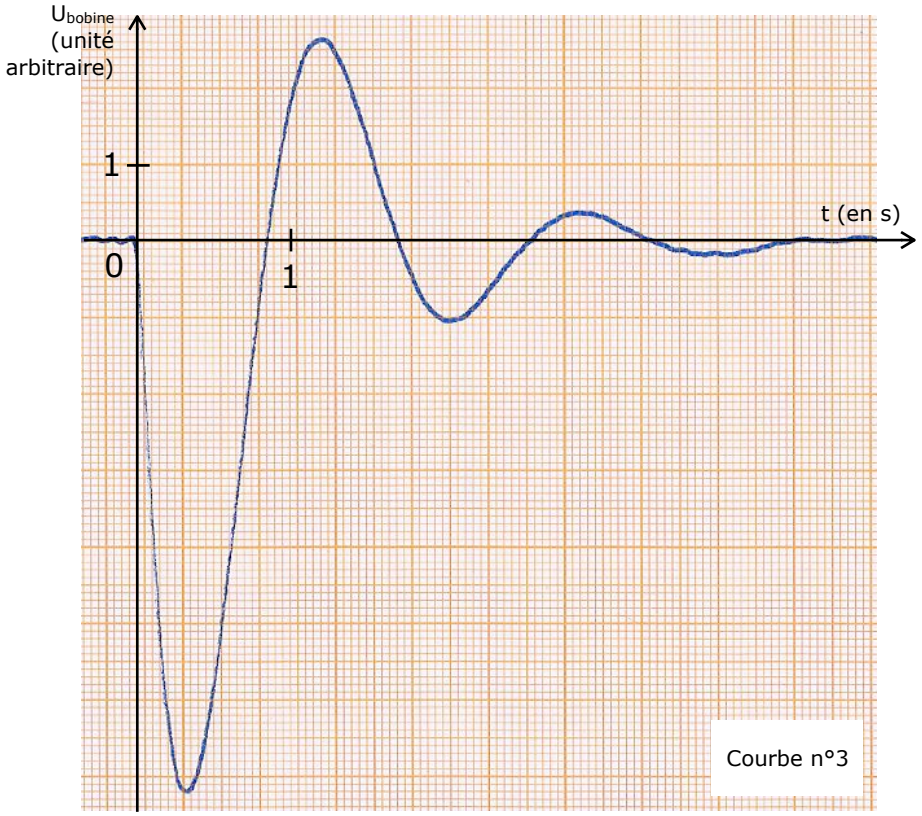
(page 1/3)

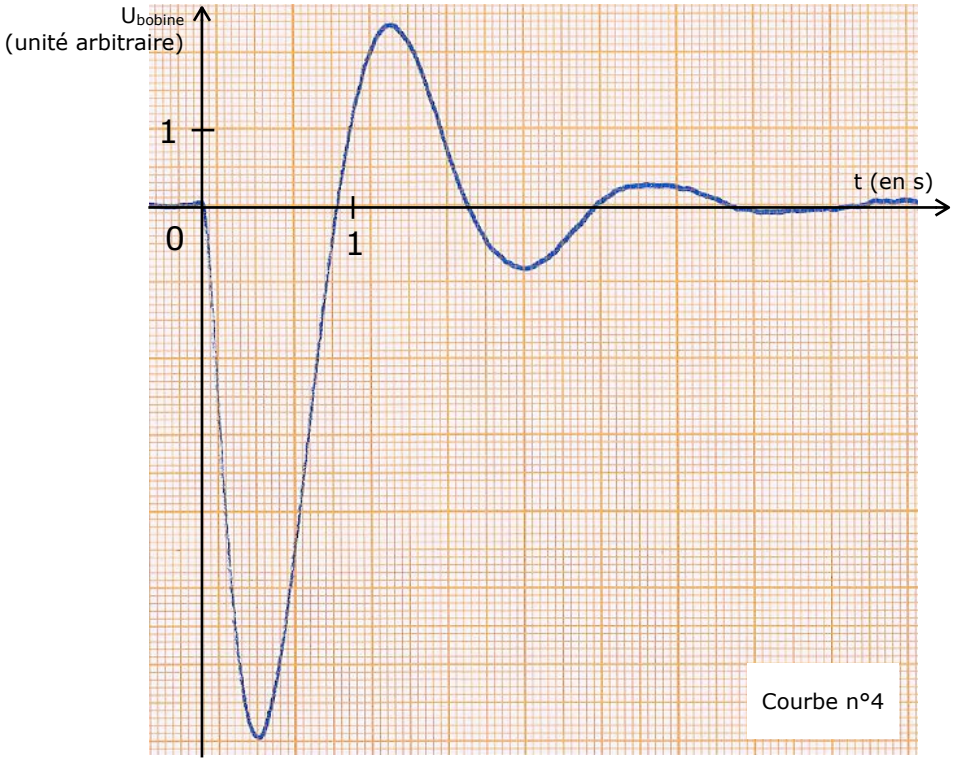




Document 1

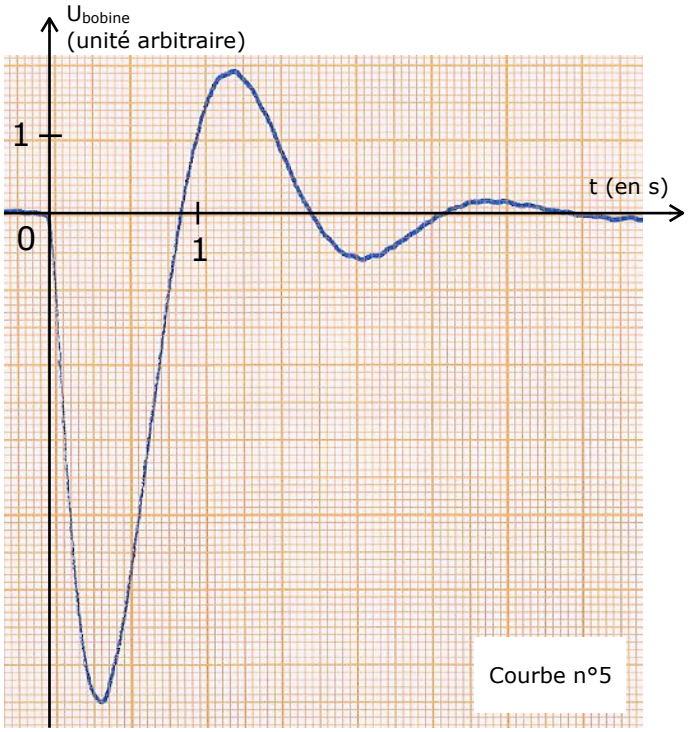
(page 2/3)

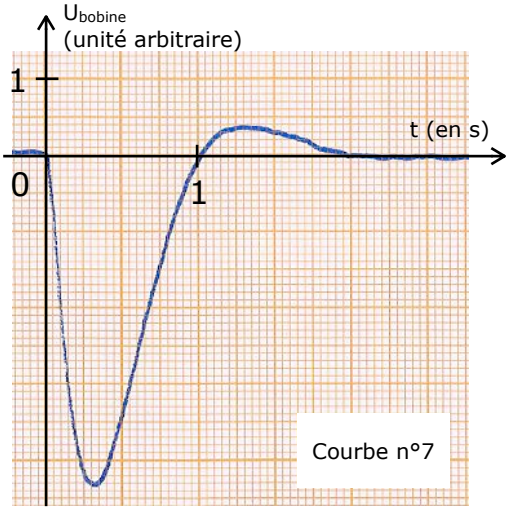


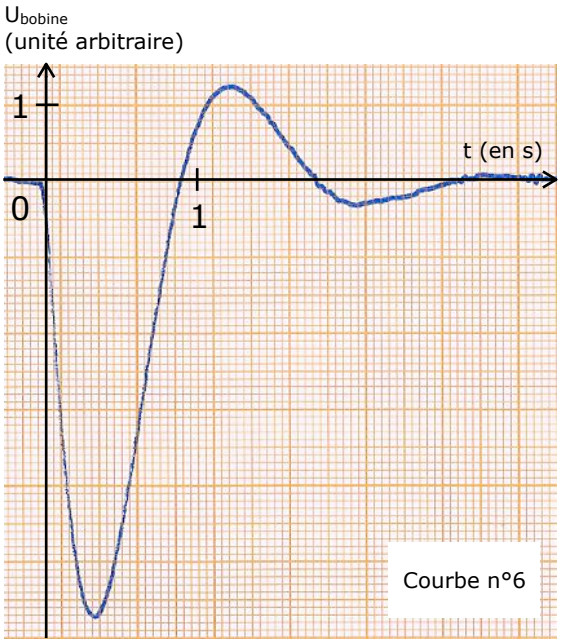


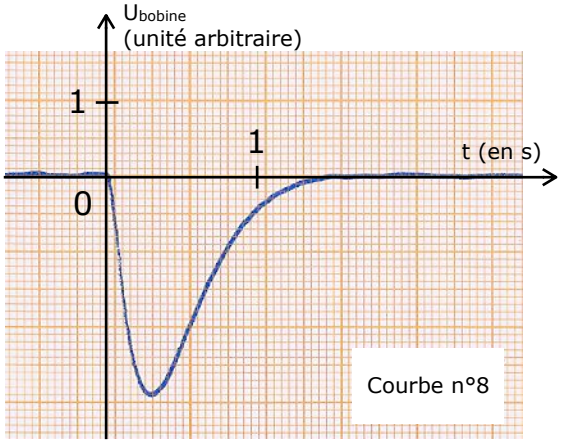
Document 1

(page 3/3)

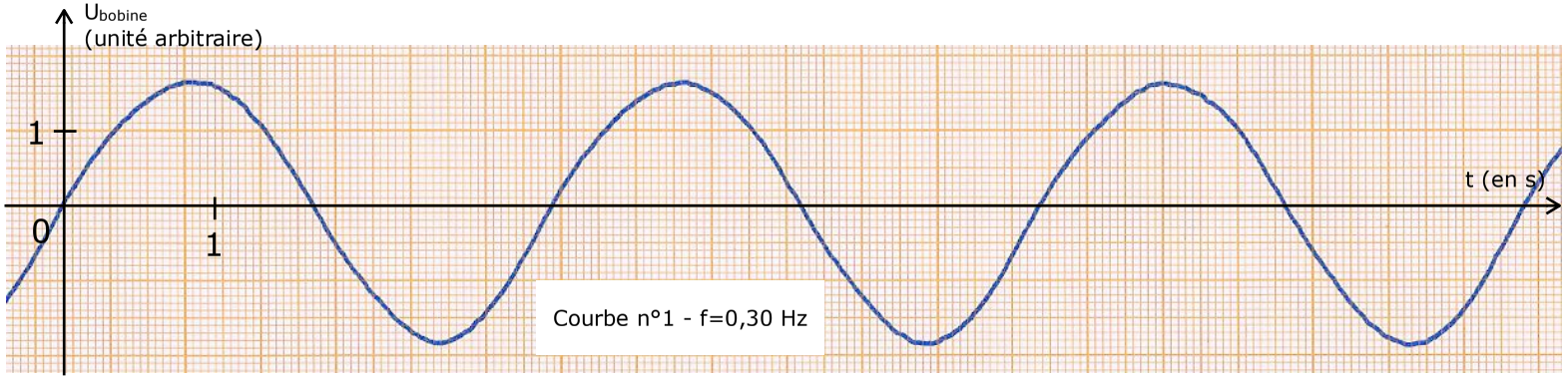


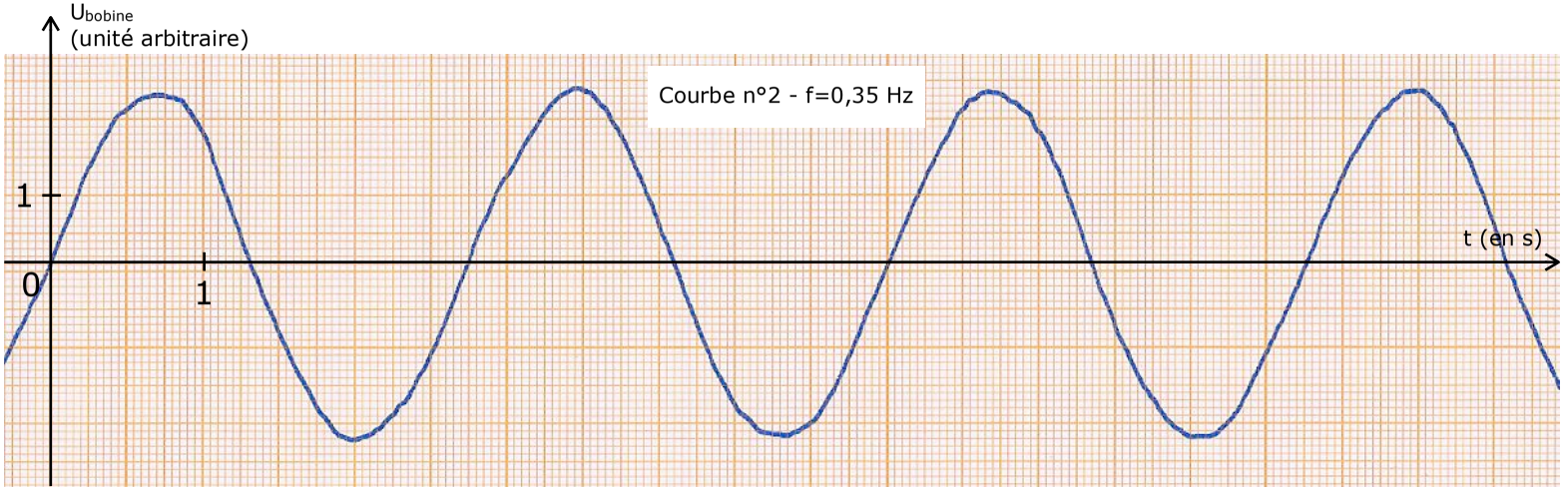




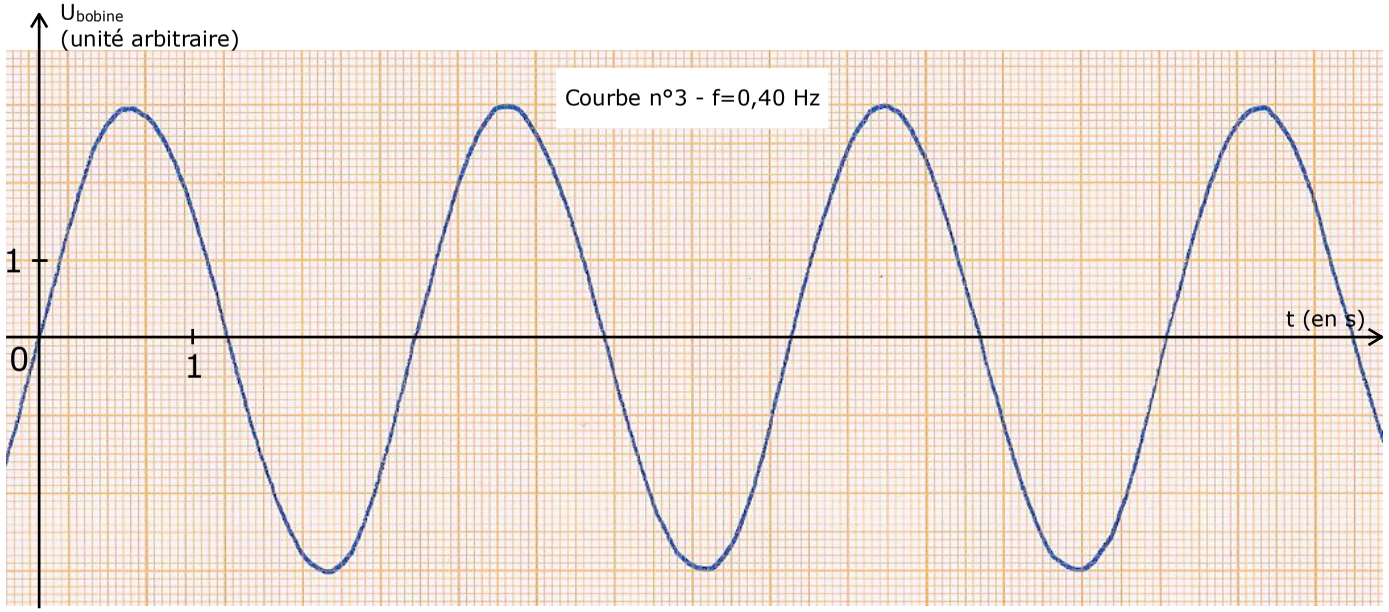


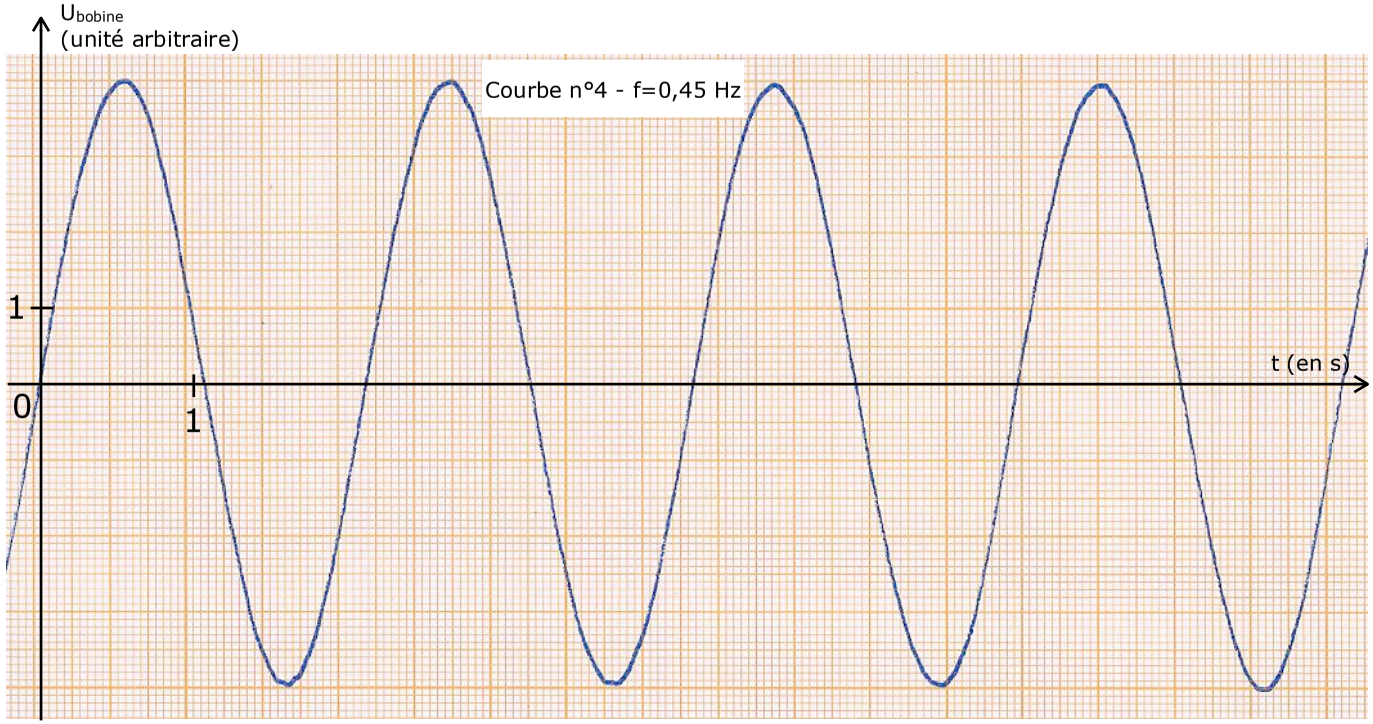
Document 2 (page 1/6)



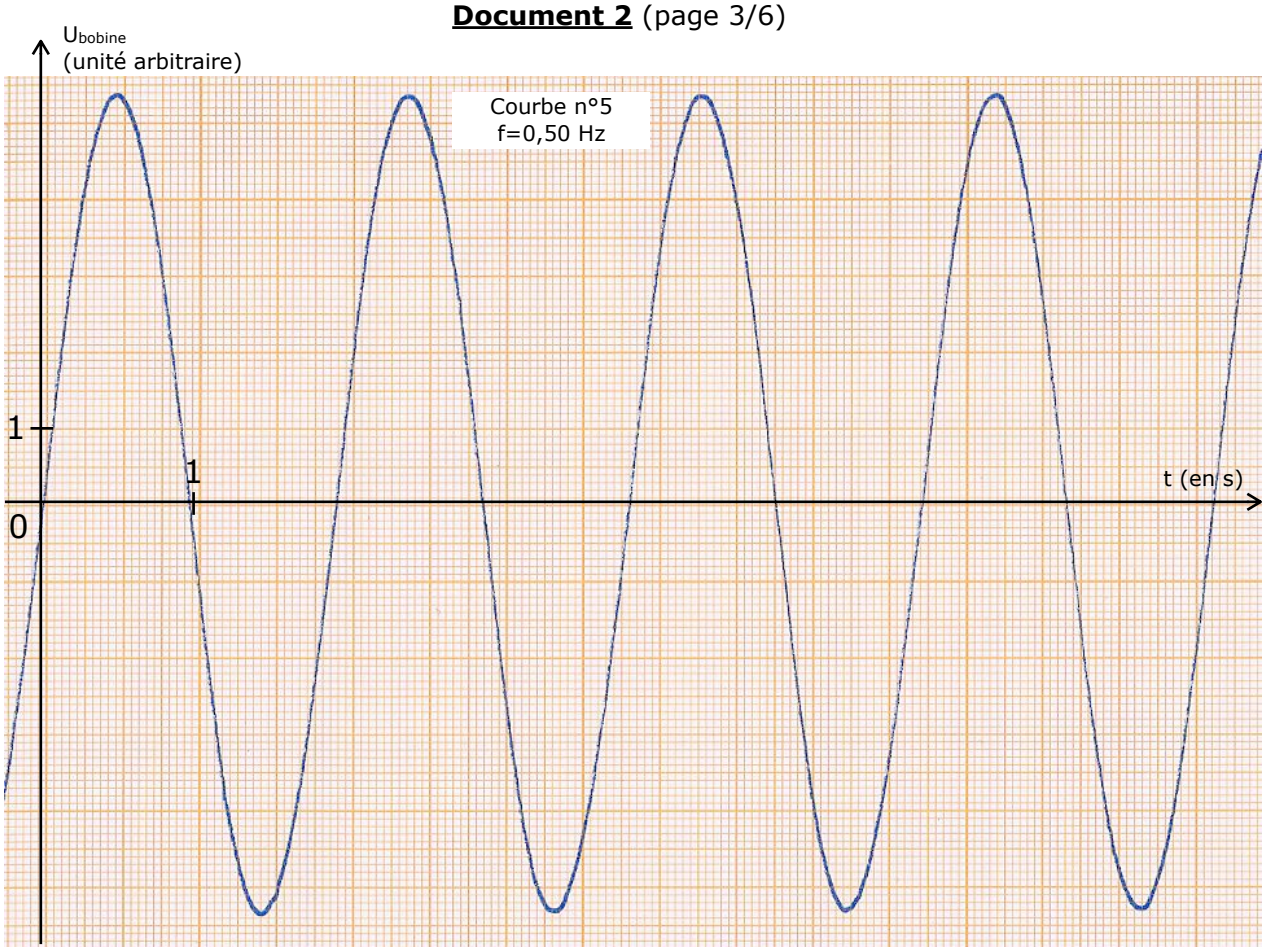


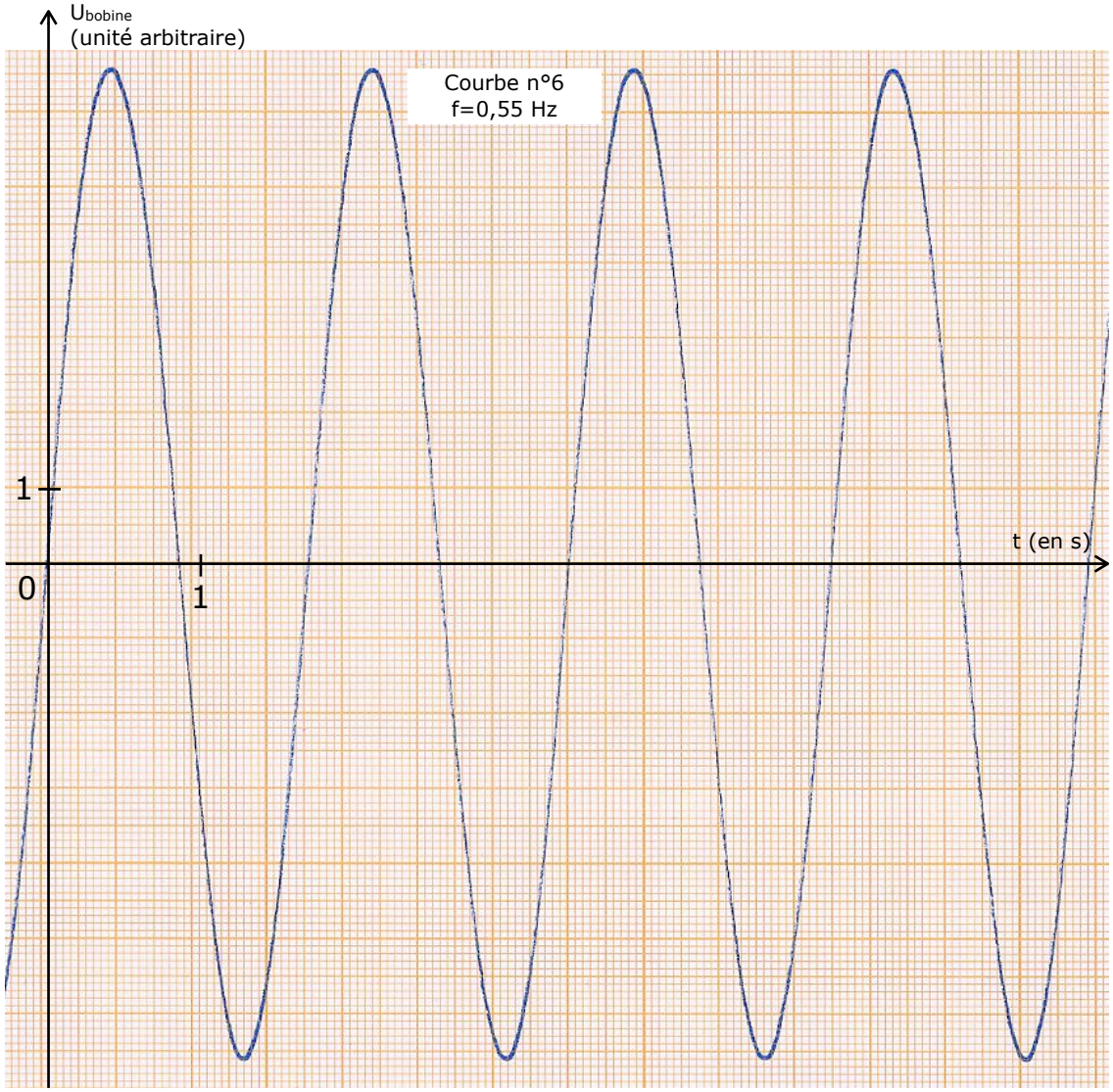
Document 2 (page 2/6)





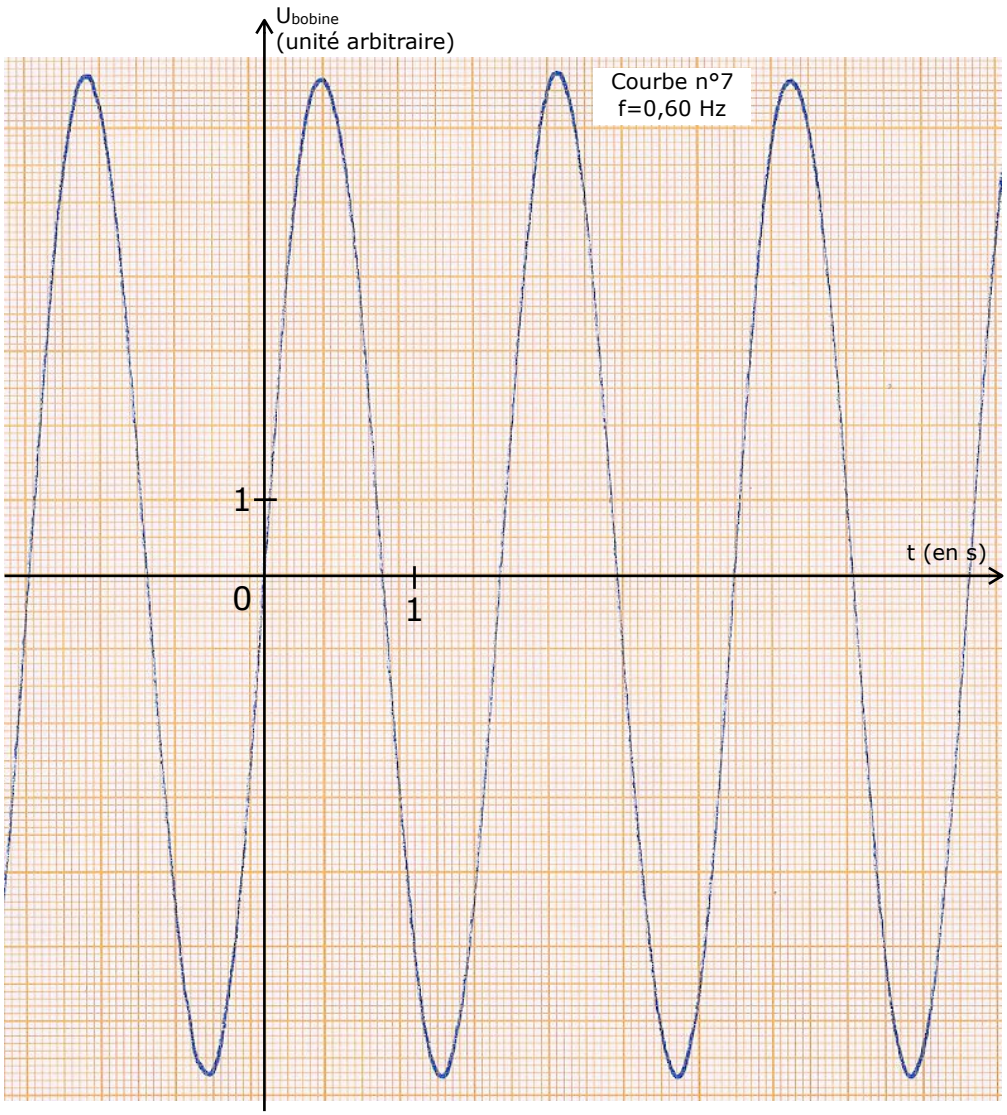
Document 2 (page 3/6)

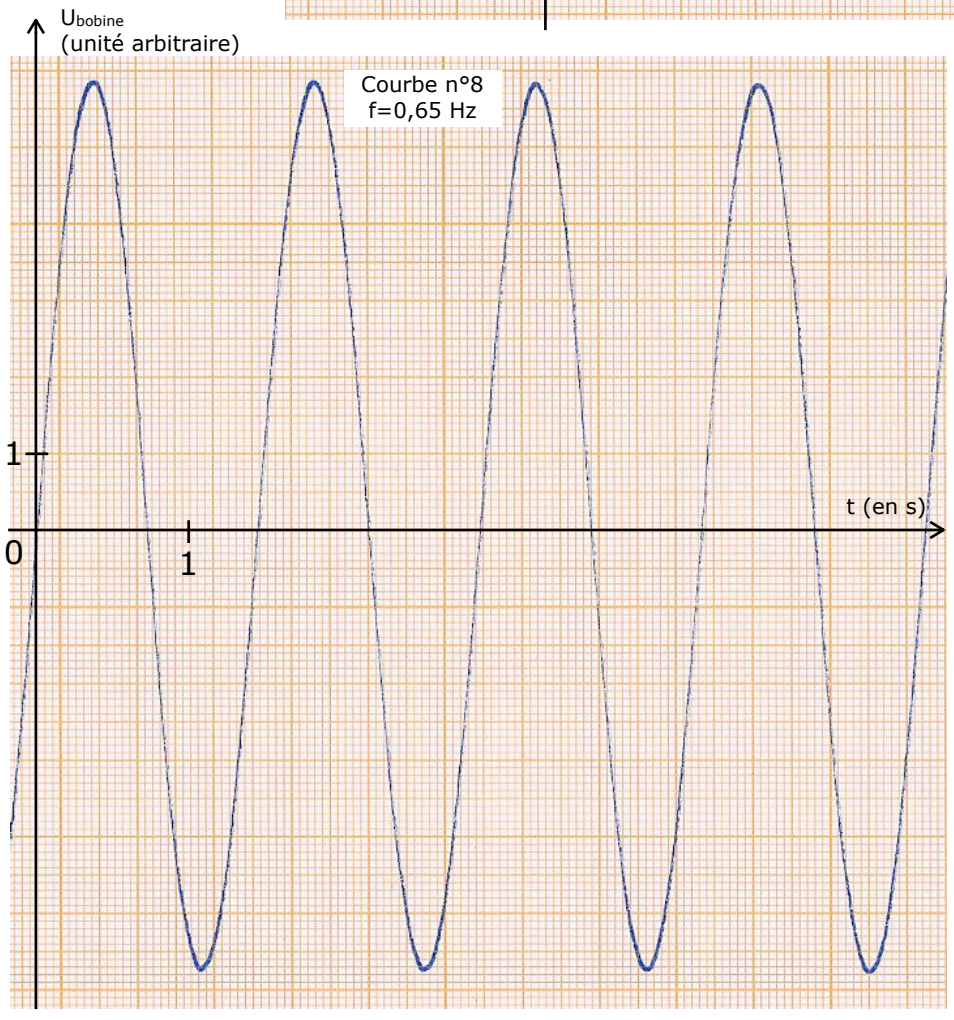




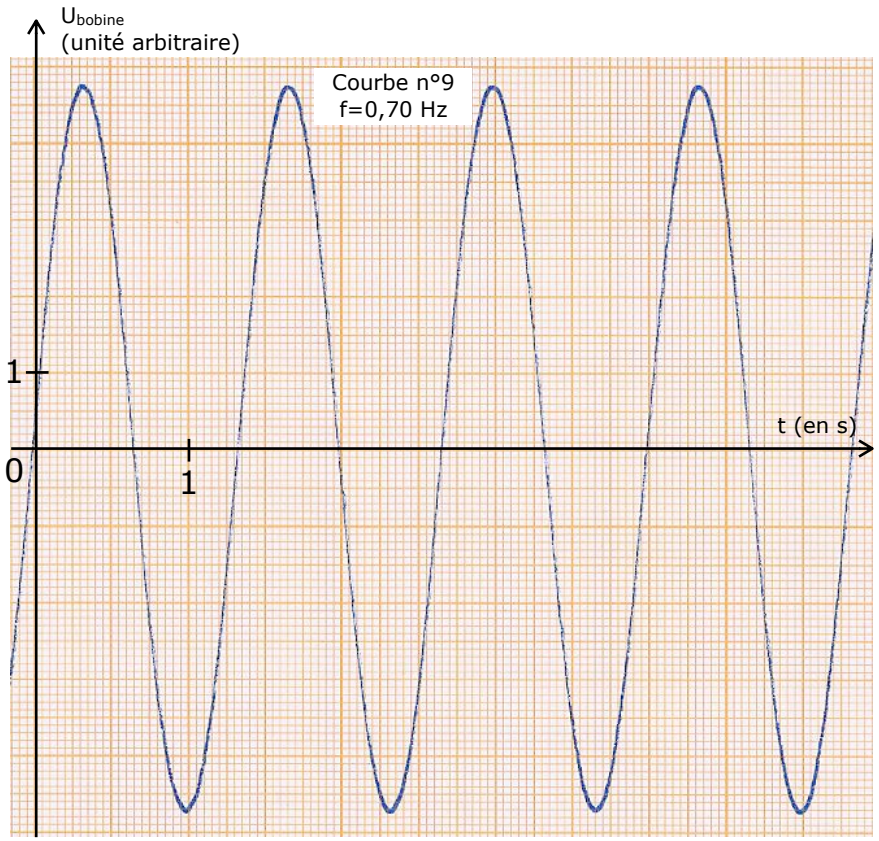
Document 2

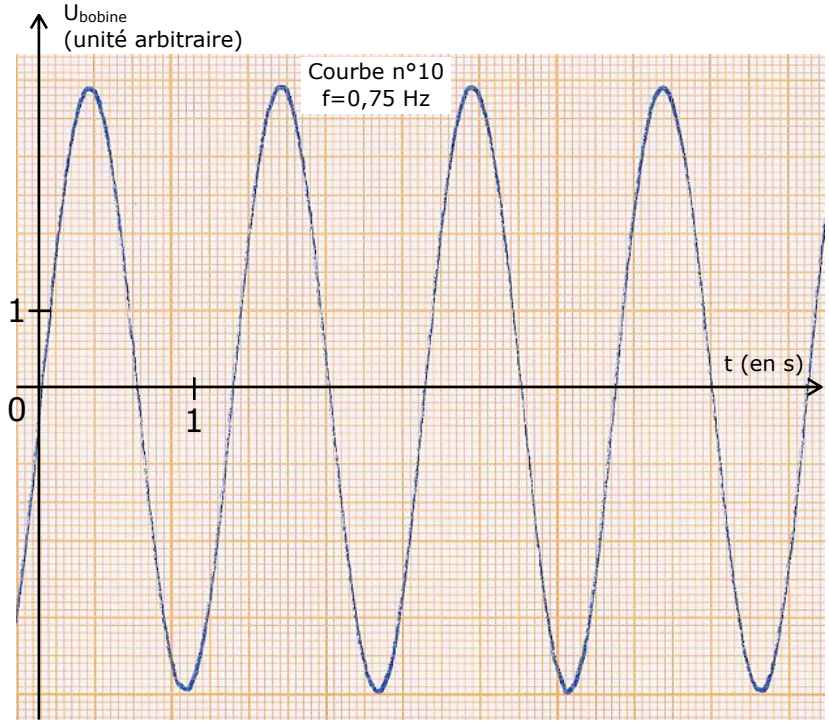
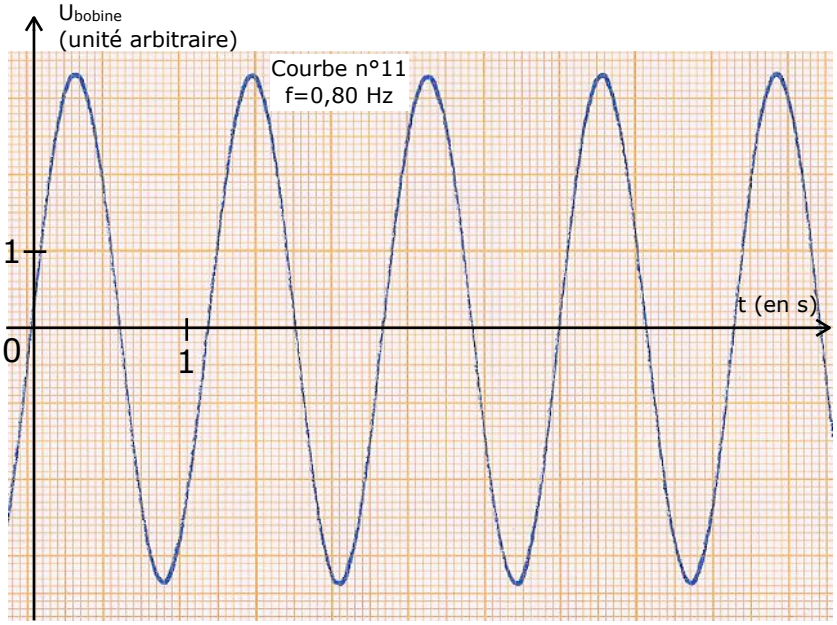
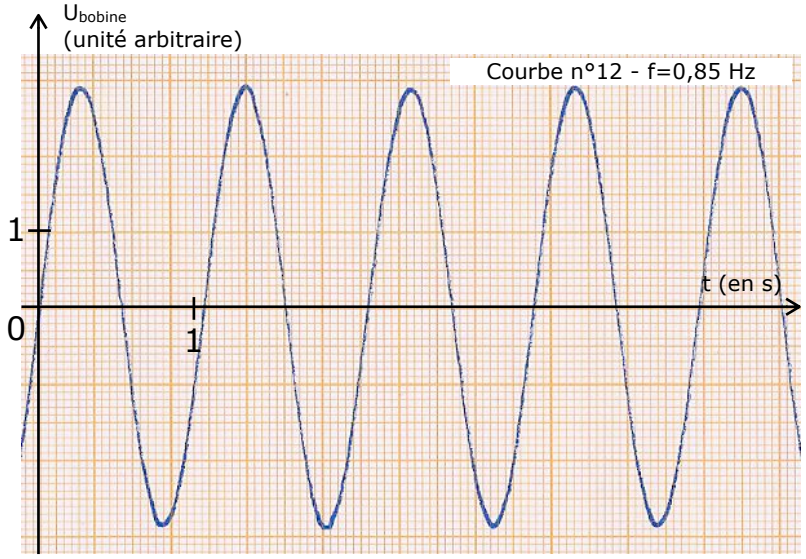
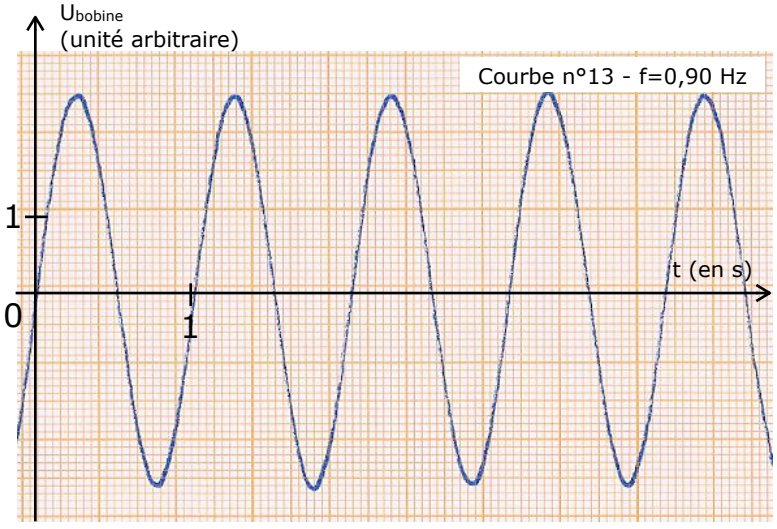
(page 4/6)





Document 2 (page 5/6)





Document 2 (page 6/6)