# DEVOIR SURVEILLÉ 3 (3 HEURES)

**Conseils de rédaction (À LIRE !)**

- Le sujet comporte **8 pages**, dont 2 pages en ANNEXE, **à rendre avec la copie**.
- **Parcourez l'ensemble du sujet** et **commencez** par ce qui vous semble **le plus facile !**
- Toutes les réponses doivent être **justifiées**, par des **schémas** notamment.
- Les **résultats (expressions littérales, A.N.)** doivent être **mis en valeur**.
- Soyez attentif à **l'énoncé** et aux **notations** utilisées : adaptez-vous !
- Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, signalez-la sur votre copie et poursuivez votre réflexion en expliquant les raisons des initiatives que vous prendrez en conséquence.
- La **calculatrice** est autorisée.

## Exercice 1 – Propagation d'ondes (≈ 40 mn)

***Les parties A et B sont totalement indépendantes.***

PARTIE A : ONDE À LA SURFACE DE L'EAU

On modélise la houle par une onde progressive unidirectionnelle sinusoïdale, représentée, sur la FIGURE 1, à deux instants : $t_0 = 0$ s (trait plein) et $t_1 = 2$ s (tirets). Entre les deux dates, l'onde s'est déplacée de 1 m dans le sens des $x$ décroissants. L'expression de l'onde à $t_0 = 0$ est : $s(x,0) = A\cos(kx + \varphi)$.

*Nota Bene : Laisser les $\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}$... dans les applications numériques.*

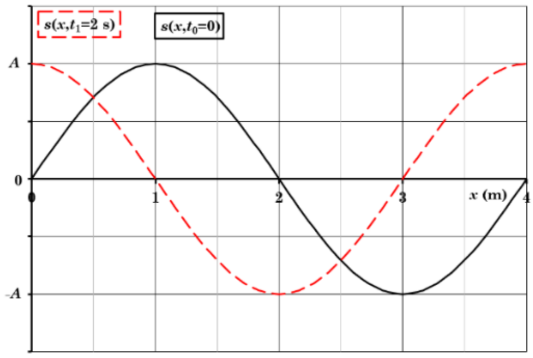



FIGURE 1 : Allure de la houle à deux instants différents

1. Indiquer s'il s'agit d'une onde longitudinale ou transversale. Justifier. Quelle est la perturbation qui se propage ?
2. Exprimer $k$ en fonction de $\lambda$ et préciser les noms donnés à $\lambda$ et $k$. Déterminer leur valeur numérique.
3. Déterminer les valeurs numériques de $\varphi$ et de la célérité $c$ de l'onde.
4. Déterminer l'expression du signal $s(x,t)$ en un point $M$ d'abscisse $x$ à l'instant $t$. Exprimer sa pulsation $\omega$ en fonction de $k$ et $c$, et calculer sa valeur.
5. Déterminer l'expression du signal en $x_1 = 2$ m et représenter son graphe temporel.

PARTIE B : ONDE SONORE

Deux haut-parleurs identiques, HP1 et HP2, sont placés face à face à la distance $d$ l'un de l'autre, tels que le centre de HP1 est en $x = 0$ et le centre de HP2 est en $x = d$. Un microphone $M$ est placé à l'abscisse $x$. Les surpressions acoustiques émises par HP1 et HP2 s'écrivent : $p_1(t) = P_0 \cos(\omega t + \varphi_0) = p_2(t)$.

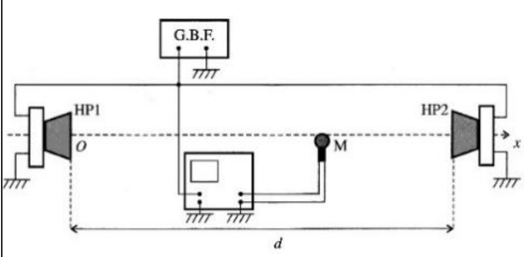



FIGURE 2 : Interférences avec deux haut-parleurs

6. Déterminer, en justifiant l'écriture, les expressions des surpressions $p_1(x,t)$ et $p_2(x,t)$ au point $M$, en fonction notamment de $P_0$ $\omega$, $\varphi_0$ et de $k$ (expression à préciser).
7. Exprimer, en fonction de $x$, $d$ et $\lambda$, le déphasage $\Delta\varphi$ entre les deux ondes au point $M$.
8. Quelle est l'expression, en fonction de $P_0$ et $\Delta\varphi$, de l'amplitude $P$ de la surpression $p(x,t)$ résultant de la superposition des deux ondes au point $M$ ?
9. Exprimer, en fonction de $d$ et $\lambda$, les abscisses $x$ pour lesquelles les interférences sont constructives.

## Exercice 2 – Capteur de lumière (≈ 30 mn) *(d'après Banque PT 2017)*

Une photodiode permet de convertir un signal lumineux en signal électrique. C'est un dipôle dont la caractéristique statique dépend de l'éclairement $E$.

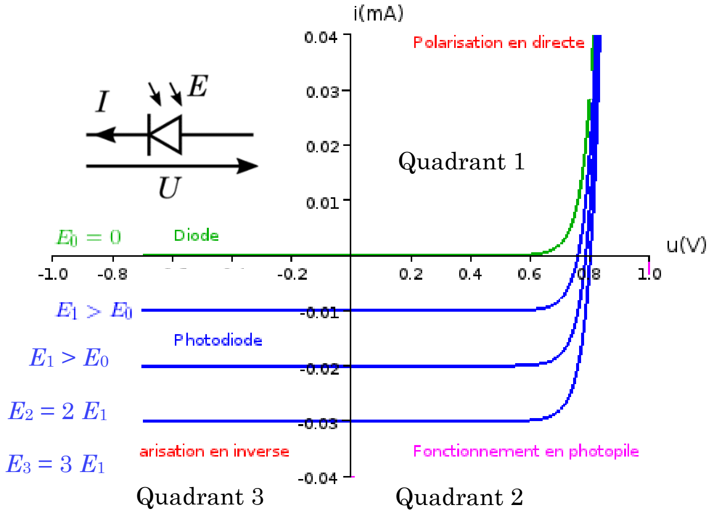



FIGURE 3 : Caractéristiques statiques de la photodiode

On donne sur la FIGURE 3 le schéma électrique de la photodiode, ainsi que le réseau de ses caractéristiques courant-tension pour différentes valeurs de l'éclairement $E$. Le graphe est divisé en trois quadrants selon les signes de $U$ et $I$.

1. En l'absence d'éclairement, le courant ne passe dans la photodiode que lorsque $U$ est supérieur à une tension seuil $U_S$. Quelle est la valeur (approximative) de $U_S$ ?
2. Dans quel(s) quadrant(s) le composant se comporte-t-il comme un dipôle récepteur ou comme un dipôle générateur ? Justifier.

La photodiode est insérée dans le montage de la figure ci-contre dans lequel le générateur, supposé parfait, délivre une tension continue et positive $U_0 = 0{,}6\ \text{V}$. La résistance est $R = 20\ \text{k}\Omega$. Un luxmètre mesure l'éclairement $E = E_1 = 1000\ \text{lx}$, indiqué sur le réseau de caractéristiques.

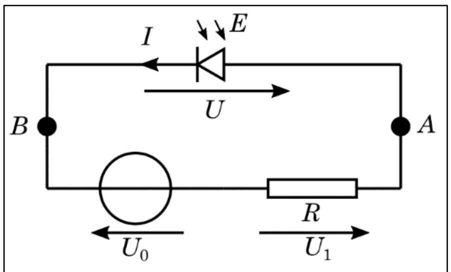


FIGURE 4 : Photodiode insérée dans un montage

3. Déterminer l'équation de la caractéristique statique $I = f(U)$ du dipôle situé entre $A$ et $B$ et incluant le générateur.
4. En déduire, par une méthode graphique en complétant la FIGURE 3 en **ANNEXE (à rendre avec la copie)**, les coordonnées du point de fonctionnement de la photodiode.
5. Préciser dans quel quadrant se situe le point de fonctionnement ainsi que le schéma électrique équivalent de la photodiode dans ce quadrant.
6. Quelle est la valeur de la résistance limite $R_{lim}$ permettant un fonctionnement de la photodiode dans ce quadrant (pour l'éclairement $E_1$) ?
7. Déterminer les expressions et valeurs numériques des puissances reçues par chacun des trois dipôles. Commenter.
8. Montrer que la tension $U_1$ aux bornes de la résistance $R$ est proportionnelle à l'éclairement $E$, soit $U_1 = kE$. Déterminer la valeur de la constante $k$.

ÉTUDE D'UN SCRIPT PYTHON

Le programme Python ci-dessous permet de tracer la caractéristique statique du dipôle situé entre $A$ et $B$ et incluant le générateur, nommé par la suite « dipôle générateur ».

```python
## Cellule 1 : Importation des bibliothèques
import numpy as np                  # pour la manipulation des tableaux
import matplotlib.pyplot as plt     # pour les représentations graphiques

## Cellule 2 : Caractéristique du dipôle générateur

U0 =      # Valeur de la fem (en V)
R =       # Valeur de la résistance (en Ohm)
"""
t = np.linspace(tmin,tmax,N)
Renvoie un tableau de N points régulièrement espacés entre tmin (inclus) et tmax (inclus)
"""
U =

I =    # Equation de la caractéristique du dipôle générateur

plt.figure(figsize=(16,9))
plt.plot(                    ,label='Caractéristique du dipôle générateur')
plt.xlim(-1.,1.)
plt.xlabel(       )   # Titre de l'axe des abscisses
plt.ylabel(       )  # Titre de l'axe des ordonnées
plt.legend(loc='best')
plt.grid()
plt.show()
```

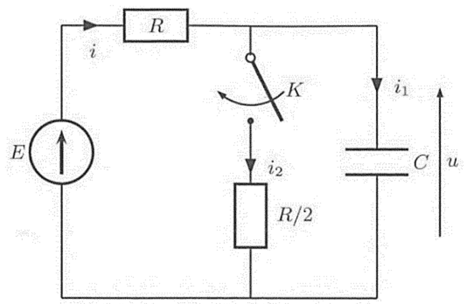
9. Recopier et compléter les lignes 13 et 14.
10. Écrire la ligne 19 permettant de générer un tableau de 100 valeurs pour la tension $U$, comprises entre une valeur minimale et une valeur maximale, à définir.
11. Ligne 21 : écrire l'expression de l'équation de la caractéristique statique $I = f(U)$ du dipôle générateur.
12. Recopier et compléter la ligne 24 afin de tracer, en tirets bleus, la caractéristique statique du dipôle générateur, sur le même système d'axes (et avec les mêmes unités !) que les caractéristiques statiques de la photodiode représentées sur la FIGURE 3.
13. Recopier et compléter les lignes 26 et 27.
14. Expliquer ce que réalisent les lignes 23, 28, 29 et 30.

# Problème 3 – Régimes transitoires (≈ 1h40)

***Les parties A et B sont totalement indépendantes.***

PARTIE A : CHARGE VARIABLE D'UN CONDENSATEUR

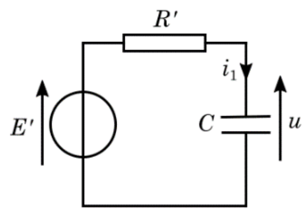
On considère le circuit de ci-contre. On note $i(t)$ l'intensité dans le résistor $R$, $i_1(t)$ celle dans le condensateur de capacité $C$, $i_2(t)$ celle dans le résistor $R/2$ et $u(t)$ la tension aux bornes du condensateur. L'interrupteur est ouvert depuis très longtemps. À l'instant $t = 0$ pris pour origine des temps, on ferme l'interrupteur $K$.




1. Préciser $i$, $i_1$, $i_2$ et $u$ à l'instant $t = 0^-$ juste avant la fermeture de l'interrupteur.
2. Déterminer $i$, $i_1$, $i_2$ et $u$ à l'instant $t = 0^+$, juste après la fermeture.
3. Même question quand $t \to \infty$.
4. Montrer que, pour $t > 0$, la portion de réseau située à gauche du condensateur est équivalente à un générateur de Thévenin de force électromotrice $E' = \dfrac{E}{3}$ et de résistance interne $R' = \dfrac{R}{3}$.

*Nota Bene : Utiliser les résultats de la question 4 pour traiter les questions 5 à 10 !*

5. Pour $t > 0$, le circuit étant équivalent au schéma ci-contre et caractérisé par une constante de temps $\tau$ (à préciser), établir l'équation différentielle vérifiée par la tension $u(t)$ aux bornes du condensateur, puis déterminer l'expression de $u(t)$.



6. Parmi les graphes proposés sur la FIGURE 6 en **ANNEXE**, indiquer, en le justifiant, lequel correspond à l'allure de $u(t)$.
7. Déterminer par une méthode graphique en complétant l'**ANNEXE (à rendre avec la copie)** la valeur de la constante de temps $\tau$ du circuit.
8. Déterminer les expressions de $i(t)$, $i_1(t)$ et $i_2(t)$.
9. Identifier, en le justifiant, les graphes associés à $i(t)$, $i_1(t)$ et $i_2(t)$ représentés sur la FIGURE 7 en **ANNEXE (à compléter et à rendre avec la copie)**.
10. À l'aide des graphes, déterminer les valeurs de $E$, $R$ et $C$, en expliquant la démarche.

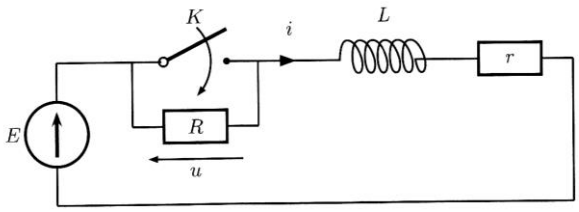
*Étude complémentaire : questions 11 et 12 à ne traiter que si vous en avez le temps…*

On suppose que le régime permanent (correspondant à $K$ fermé) est atteint à l'instant $t_1 = 3\tau$. À $t = t_1$, on ouvre l'interrupteur $K$.

11. Déterminer l'expression de la tension $u(t)$ pour $t > t_1$.
12. Tracer l'allure de la tension $u_C(t)$ pour $t \in [0;\ 12\tau]$.

PARTIE B : ÉTINCELLE DE RUPTURE

Une bobine réelle, d'inductance $L = 3{,}0\ \text{mH}$ et de résistance $r = 3{,}0\ \Omega$, est alimentée par un générateur idéal de tension continue $E = 12\ \text{V}$. Un interrupteur $K$ fermé est placé en série.




On appelle $u(t)$ la tension aux bornes de l'interrupteur. La résistance $R$ en parallèle aux bornes de l'interrupteur représente la résistance de l'air, qui est très grande, et n'intervient que lorsque l'interrupteur est ouvert.

La tension de claquage de l'air (tension à partir de laquelle l'air, normalement isolant, devient conducteur) est de l'ordre de 30 kV/cm.

13. Quelle est l'intensité $i_0$ du courant établi depuis longtemps dans le circuit ? Effectuer l'application numérique.
14. Quelle est l'expression de l'énergie stockée dans l'inductance dans cette situation ? Effectuer l'application numérique
15. À l'instant $t = 0$, on ouvre l'interrupteur. Déterminer la loi de variation de l'intensité $i(t)$ dans le circuit. Examiner $i(\infty)$ dans le cas limite où $R$ tend vers l'infini, i.e. $R >> r$. Conclure.
16. Déterminer l'expression de $u(t)$. Calculer $u(0)$ et $u(\infty)$. Examiner le comportement limite de ces deux tensions lorsque $R$ tend vers l'infini, et les comparer à $E$. Effectuer l'application numérique pour $R = 10\ \text{k}\Omega$. Que risque-t-on d'observer au niveau de l'interrupteur ?

Pour résoudre le problème précédent, on place un condensateur de capacité $C = 0{,}27\ \mu\text{F}$ en parallèle de l'interrupteur. Il n'est donc plus nécessaire de tenir compte de $R$. Pour $t < 0$, l'interrupteur est fermé et le condensateur est déchargé. On ouvre l'interrupteur à $t = 0$.

17. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $u(t)$ après ouverture de l'interrupteur. On posera $\lambda = \dfrac{r}{2L}$, dont on précisera l'unité, et on introduira une pulsation propre $\omega_0$.
18. Déterminer l'expression littérale puis numérique de $u(t)$. Préciser la nature du régime transitoire.

Le graphe de $u(t)$ est représenté sur la FIGURE 5 ci-dessous.

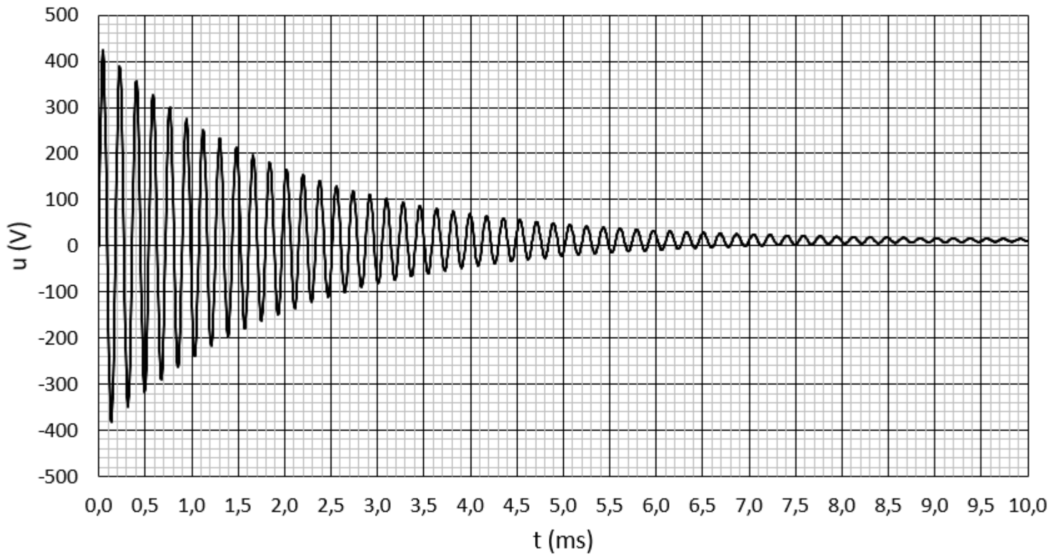



FIGURE 5 : Allure de $u(t)$ après ouverture de l'interrupteur

19. Est-ce qu'une étincelle se produit à l'ouverture de l'interrupteur ? Justifier.
20. En régime permanent, quel composant possède de l'énergie ? Exprimer puis calculer cette énergie.

<u>*Étude complémentaire : questions 21 et 22 à ne traiter que si vous en avez le temps…*</u>

21. Déterminer l'expression puis la valeur numérique de la résistance $R'$ qu'il faudrait ajouter en série pour observer un régime transitoire critique.
22. Déterminer l'expression littérale puis numérique de $u(t)$ dans ce cas. Tracer l'allure de $u(t)$.

# ANNEXE (à rendre avec la copie)

## NOM :

### Exercice 2 – Capteur de lumière

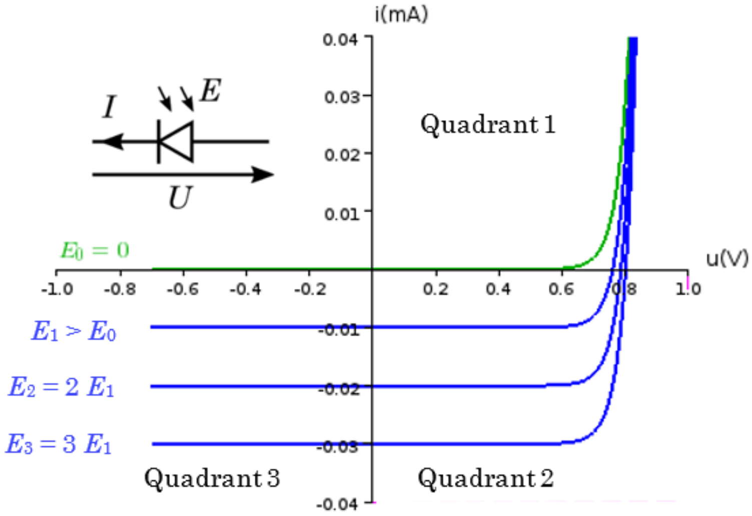
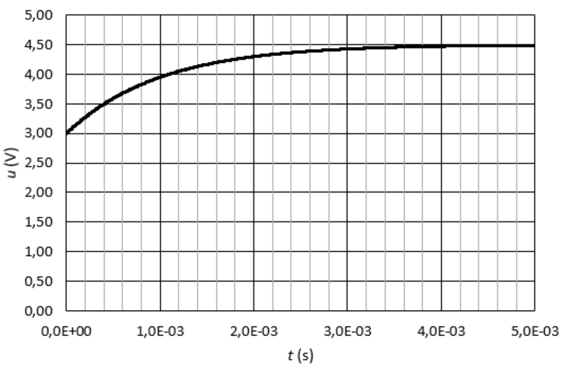


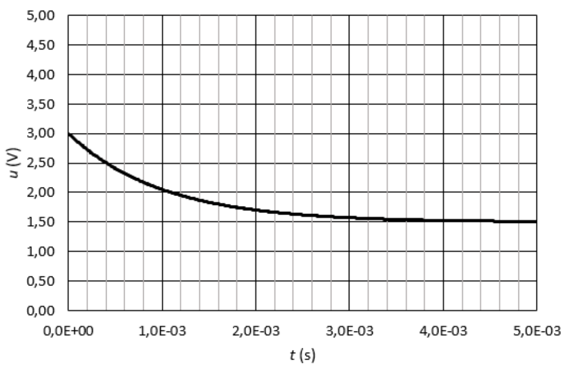

FIGURE 3 : Caractéristiques statiques et point de fonctionnement

### Problème 2 – Partie A : Questions 6, 7, 9, 10

Graphe 1




Graphe 2




Graphe 3

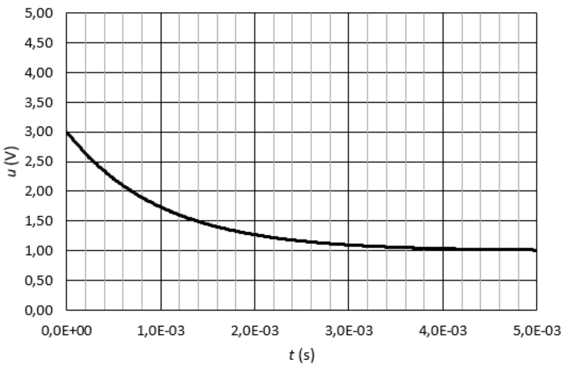



FIGURE 6 : Trois allures possibles de la tension $u(t)$

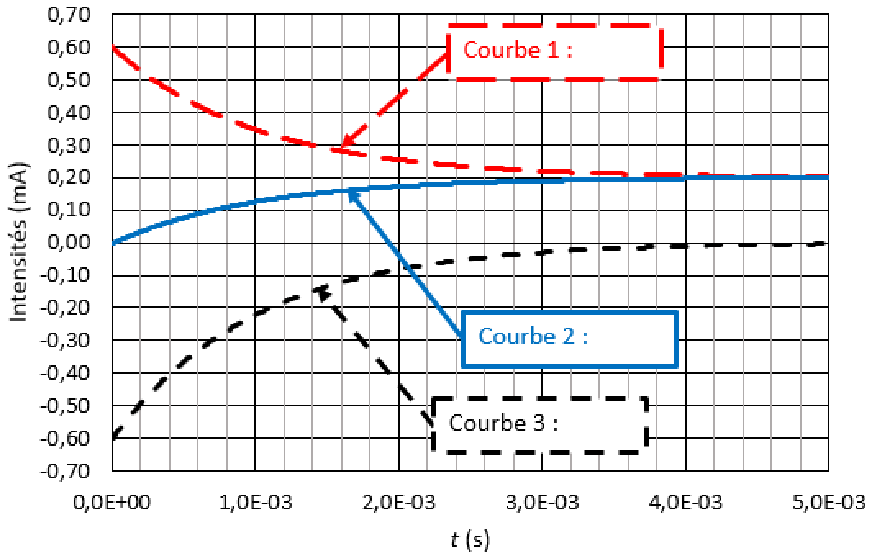



FIGURE 7 : Allures des intensités $i(t)$, $i_1(t)$ et $i_2(t)$