



## Devoir surveillé 4 de Physique-Chimie TS11

---

---

**Thème(s)** : optique, électronique, chimie et mécanique  
**Durée** : 4 heures

---

---

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

### RAPPEL DES CONSIGNES

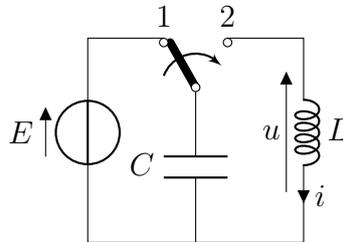
- Utiliser uniquement un **stylo noir ou bleu foncé non effaçable** pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats ;
- Ne pas utiliser de **correcteur** ;
- Écrire le mot FIN à la fin de votre composition ;
- Remplir sur chaque copie en MAJUSCULES toutes vos informations d'identification : nom, prénom ;
- Les applications numériques seront faites avec un nombre adapté de chiffres significatifs.

Les calculatrices sont **autorisées**.

Le sujet est composé de ? **parties** qui peuvent être traitées indépendamment. Si besoin, le candidat pourra admettre le résultat d'une question et l'utiliser dans les questions suivantes.

## Exercice 1 : l'application de cours - le circuit LC

Soit le circuit ci-dessous. À l'instant initial, nous basculons l'interrupteur de la position 1 à la position 2.



- Q1.** Déterminer l'équation différentielle vérifiée par  $u$ ,  $\forall t > 0$ . Quel est l'ordre de cette équation différentielle ? Combien de conditions sont nécessaires pour la résoudre complètement ?
- Q2.** Déterminer la valeur de la tension  $u(0^+)$ .
- Q3.** Déterminer la valeur du courant  $i(0^+)$ .
- Q4.** Résoudre l'équation différentielle portant sur  $u$ . En déduire  $i$ .
- Q5.** Tracé  $u$  et  $i$  en fonction du temps.

## Exercice 2 : Cinétique de l'alcool dans le sang

Inspiré du concours E3A - Filière MP - 2017

Les accidents de la route constituent la première cause de mortalité et de handicap des 18-25 ans. Pour un quart de ces accidents, une alcoolémie excessive en est l'origine.

21 pays européens ont déjà adopté une alcoolémie l'égale inférieure à  $0,5 \text{ g L}^{-1}$  soit pour leurs conducteurs novices soit pour tous.

Cette mesure a par exemple permis en Allemagne de réduire de 17 % la mortalité routière des 18-21 ans dès la première année de mise en place de cette mesure.

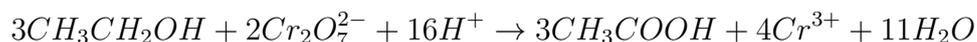
En France, le taux d'alcool maximal autorisé est de  $0,5 \text{ g L}^{-1}$  voire de  $0,2 \text{ g L}^{-1}$  pour les permis probatoires à savoir pendant trois ans pour les jeunes conducteurs, les conducteurs ayant perdu 12 points ou ayant eu une annulation de leur permis.

La durée est ramenée à deux ans lorsque le permis a été obtenu dans le cadre de la conduite accompagnée.

On peut noter que ce seuil de  $0,2 \text{ g L}^{-1}$  est dépassé dès le premier verre...

Se sont développés sur internet des tests permettant de calculer son degré d'alcoolémie comme par exemple sur [www.acces-soiree.fr](http://www.acces-soiree.fr).

Certains éthylotests sont constitués d'une embouchure stérilisée, d'un tube de verre rempli de dichromate de potassium solide  $K_2Cr_2O_7$  (oxydant coloré) acidifié et d'un ballon en plastique d'un litre. Lorsqu'une personne a consommé de l'alcool, de l'éthanol passe de son sang dans l'air de ses poumons. Si elle souffle dans un éthylotest, l'éthanol  $CH_3CH_2OH$  contenu dans son haleine sera oxydé en acide acétique  $CH_3COOH$  par les ions dichromate  $Cr_2O_7^{2-}$ , de couleur orange, qui se transformeront alors en ions chrome(III)  $Cr^{3+}$ , de couleur verte, selon la réaction d'oxydoréduction suivante :



Si la personne a consommé plus d'alcool que ce que la législation autorise, des ions chrome(III) se formeront le long du tube de verre et la couleur verte atteindra le trait qui délimite la valeur à ne pas dépasser.

L'éthylotest électronique mesure le taux d'alcool contenu dans l'haleine humaine et affiche l'alcoolémie en  $g L^{-1}$ .

Le dichromate de potassium est fortement toxique, corrosif et cancérigène. Il est aussi dangereux pour l'environnement.

La fiabilité de certains modèles reste néanmoins médiocre.

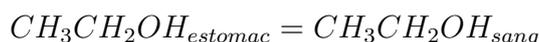
On donne :

élément	H	C	O	Cr
numéro atomique $Z$	1	6	8	24
masse atomique $M$ ( $g \cdot mol^{-1}$ )	1,0	12	16	52

On donne la valeur de la masse volumique de l'éthanol pur  $\rho = 0,78 g/mL$ .

Le degré alcoolique d'un vin est le pourcentage volumique d'alcool mesuré à  $20^\circ C$ .

Sachant qu'on estime à 20% la quantité d'alcool passant dans le sang au niveau de l'estomac, il est important de s'intéresser à la vitesse d'absorption de l'alcool au niveau de la paroi stomacale. On peut la modéliser par la réaction



On analyse l'assimilation d'un verre d'apéritif en admettant que le volume  $V$  du milieu réactionnel est celui du verre et qu'il reste constant au cours de l'assimilation de l'alcool.

On mesure la concentration en alcool dans l'estomac pour suivre la cinétique de l'équilibre précédent.

**Q6.** Calculer la concentration molaire volumique initiale en alcool sachant que l'apéritif a un degré d'alcool de  $35^\circ$ .

Les mesures expérimentales sont les suivantes :

$t$ (min)	0,0	2,0	4,0	8,0	12	16	20
$C$ ( $mol \cdot L^{-1}$ )	5,9	4,2	3,0	1,5	0,76	0,39	0,20

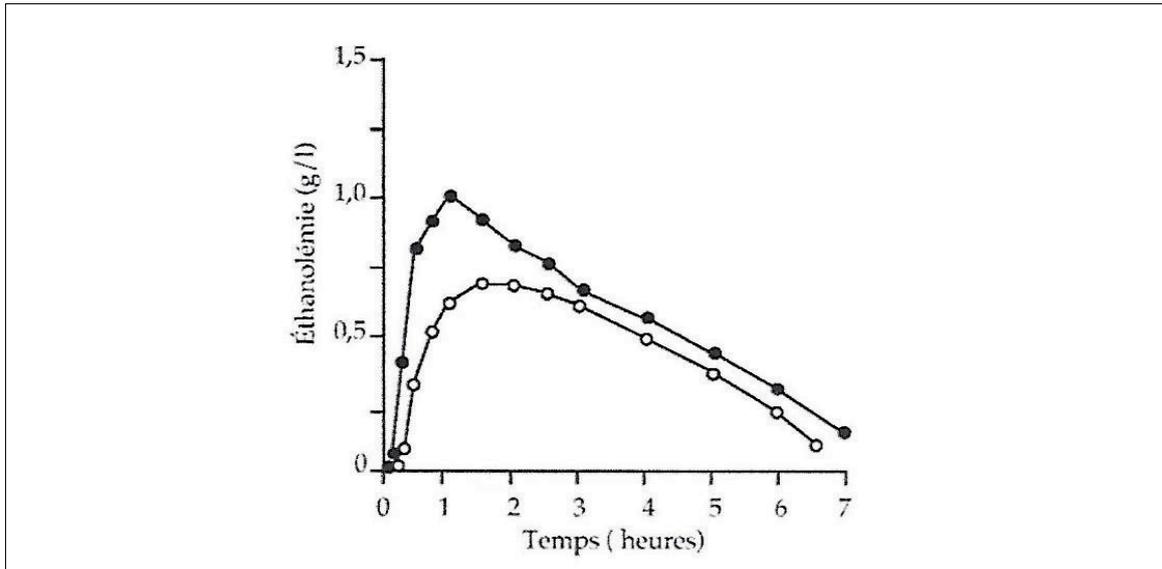
**Q7.** Montrer que la réaction est d'ordre 1. On précisera et justifiera la méthode employée.

**Q8.** Estimer la constante de vitesse.

**Q9.** Définir le temps de demi-réaction puis le déterminer en détaillant la méthode employée.

Le taux d'alcool dans le sang varie sous l'action conjointe de deux phénomènes : l'absorption stomacale étudiée précédemment et son oxydation. Par conséquent, il faut tenir compte de ces deux aspects pour déterminer le temps à attendre après l'ingestion d'alcool avant de prendre le volant.

L'évolution du taux d'alcool dans le sang suit l'allure suivante pour un homme ayant consommé 0,80 g d'alcool par kilogramme de poids corporel à jeun (points noirs) ou après le petit déjeuner (points blancs) :



**Q10.** Un homme de 51 kg boit un verre de 15 cL d'apéritif à 35° à jeun. Estimer l'instant  $t_m$  pour lequel l'alcoolémie de cet homme passe par un maximum ainsi que son alcoolémie maximale.

**Q11.** Au bout de combien de temps cet homme aura-t-il le droit de conduire ?

### Exercice 3 : Uranus

La planète Uranus a été découverte en 1781. La sonde Voyager 2 lancée en 1977 est passée à proximité d'Uranus le 24 janvier 1986. Cette planète possède vingt-et-un satellites.

Les différents corps sont supposés avoir une répartition de masse à symétrie sphérique.

Dans le référentiel héliocentrique, Uranus décrit une trajectoire pratiquement circulaire dont le centre est le centre du Soleil. Seule l'interaction entre le Soleil et Uranus est prise en compte.

**Q12.** Montrer que le mouvement d'Uranus dans le référentiel héliocentrique est uniforme.

**Q13.** Établir l'expression de la période de révolution  $T$  d'Uranus autour du Soleil en fonction du rayon  $r$  de l'orbite, de la masse  $M_S$  du Soleil et de la constante de gravitation universelle  $G$ .

**Q14.** En déduire le rayon de l'orbite d'Uranus autour du Soleil en unité astronomique (u.a). Données :

↪ 1 u.a. = la distance moyenne entre le centre du Soleil et celui de la Terre. On supposera que l'orbite terrestre est circulaire.

↪ Période de révolution d'Uranus :  $T = 84$  ans terrestres

Les cinq satellites d'Uranus les plus massifs ont été découverts entre 1787 et 1948. Le mouvement de ces satellites est étudié dans un référentiel  $\mathcal{R}_U$  considéré comme galiléen, défini par le centre d'Uranus et trois étoiles fixes. Les données relatives aux satellites sont rassemblées dans le tableau ci-après. Pour les calculs, on supposera les orbites circulaires.

Satellite	Rayon moyen de l'orbite ( $\times 10^6$ m)	Période de révolution (jours terrestres)	Diamètre (km)
Titania	436	9	1578
Obéron	583	14	1523
Umbriel	266	4	1169
Ariel	191	3	1158
Miranda	130	1	472

**Q15.** Dans le référentiel  $\mathcal{R}_U$ , exprimer la période de révolution de ces satellites (en mouvement circulaire et uniforme) en fonction du rayon  $r$  de leur orbite, de la masse  $m_U$  d'Uranus et de la constante de gravitation  $G$ . On ne considérera que l'interaction satellite-planète.

**Q16.** Tracer la représentation graphique  $T^2 = f(r^3)$  pour  $T$  exprimée en jours terrestres et  $r^3$  en  $1 \times 10^{24} \text{ m}^3$

**Q17.** Déduire de ce tracé la masse d'Uranus.

Donnée :  $G = 6,67 \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

## Exercice 4 : mouvement en coordonnées polaires

Dans un référentiel  $\mathcal{R}$  rapport au repère cartésien  $(Oxyz)$ , on considère une tige tournant dans le plan  $(xOy)$  à la vitesse angulaire constante  $\omega$  autour de l'axe  $(Oz)$ .

Une bague assimilée à un point  $M$  se déplace le long de cette tige selon un mouvement sinusoïdal de pulsation  $\omega$  et d'amplitude  $r_0 > 0$ .

La position du point  $M$  dans le plan  $(xOy)$  est repérée par des coordonnées polaires  $(r, \theta)$ . Ainsi,  $\overrightarrow{OM} = r\vec{u}_r$  avec  $\vec{u}_r$  le vecteur unitaire orientant la tige, et  $\theta$  désigne l'angle entre les vecteurs unitaires  $\vec{u}_x$  et  $\vec{u}_r$ . On admet que le mouvement de  $M$  obéit aux équations horaires suivantes :

$$\begin{cases} r(t) = r_0 \cos(\omega t) \\ \theta(t) = \omega t \end{cases}$$

**Q18.** Déterminer, dans la base  $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta)$ , l'expression du vecteur vitesse  $\vec{v}$  du point  $M$  dans  $\mathcal{R}$ .

**Q19.** En déduire la norme  $v = \|\vec{v}\|$  du vecteur vitesse. Quelle propriété constate-t-on pour le mouvement de  $M$  ?

**Q20.** Déterminer de même, dans la base  $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta)$ , l'expression du vecteur accélération  $\vec{a}$  du point  $M$  dans  $\mathcal{R}$ .

**Q21.** En déduire la norme  $a = \|\vec{a}\|$  du vecteur accélération.

**Q22.** Montrer que le produit scalaire  $\vec{v} \cdot \vec{a}$  est nul. Ce résultat était-il prévisible ?

**Q23.** Placer sur un schéma les positions  $M_0$ ,  $M_1$  et  $M_2$  occupées par le point  $M$  aux instants respectifs  $t_0 = 0$ ,  $t_1 = \frac{\pi}{4\omega}$  et  $t_2 = \frac{\pi}{2\omega}$ . Tracer en chacune de ces positions les vecteurs vitesse et accélération du point  $M$ .

## Exercice 5 : chute d'une goutte

On étudie le mouvement d'une goutte d'eau, assimilée à un point matériel, en chute verticale dans l'air, en l'absence de tout vent. Sa vitesse initiale est supposée nulle.

On suppose que la force de frottement subie par la goutte s'exprime  $\vec{f} = -\alpha\vec{v}$ , où  $\vec{v}$  désigne le vecteur vitesse du centre d'inertie de la goutte et  $\alpha$  une constante positive. La goutte de pluie considérée a une masse  $m$ , un volume  $V$  et une masse volumique  $\rho_\ell$  constante. On désigne par  $\rho_a$  la masse volumique de l'air.

**Q24.** Donner les caractéristiques du poids  $\vec{P}$  de la goutte, puis de la poussée d'Archimède  $\vec{\Pi}$  agissant sur la goutte.

**Q25.** Parmi ces deux forces, laquelle peut être négligée devant l'autre ? On fera cette hypothèse dans la suite.

**Q26.** Établir l'équation différentielle de la vitesse de chute de la goutte d'eau :  $\vec{v} = v\vec{e}_z$ .

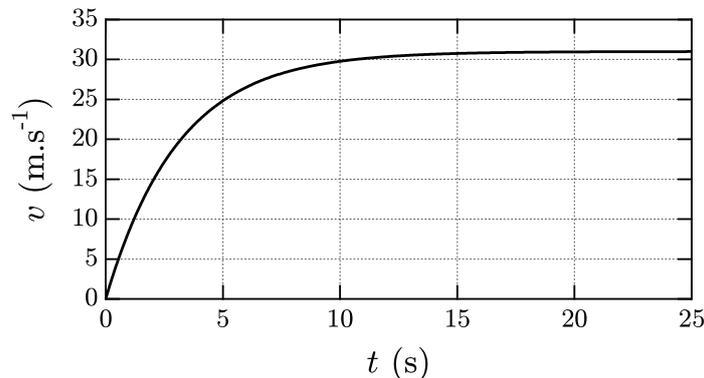
**Q27.** Justifier physiquement le fait que la goutte atteint une vitesse limite  $v_{\text{lim}}$ , que l'on exprimera en fonction de  $g$ ,  $\alpha$  et  $m$ .

**Q28.** Déterminer la solution de l'équation différentielle en fonction des données et montrer qu'elle peut s'écrire :

$$v(t) = v_{\text{lim}}(1 - e^{-t/\tau})$$

où l'on exprimera le temps caractéristique  $\tau$  du mouvement en fonction de  $\alpha$  et  $m$ .

La courbe représentant l'évolution de la vitesse au cours du temps est donnée ci-dessous :



**Q29.** Comment évolue l'accélération de la goutte d'eau ? Justifier votre réponse.

**Q30.** Lorsque  $u \ll 1$ , un développement limité permet d'écrire  $e^{-u} \simeq 1 - u$  (point prochainement abordé en maths). Montrer qu'aux premiers instants, la vitesse peut s'écrire  $v(t) \simeq gt$ . Interpréter physiquement ce résultat.

**Q31.** Donner la valeur de l'accélération atteinte en régime permanent. Quel est alors le mouvement de la goutte d'eau ?

**Q32.** Déterminer, en justifiant votre réponse, la vitesse limite  $v_{\text{lim}}$  et le temps caractéristique  $\tau$  à l'aide du graphique.

**Q33.** Le modèle développé est valable tant que le rayon  $r$  de la goutte de pluie reste suffisamment petit ( $r < 100 \mu\text{m}$  typiquement). Comparer la vitesse limite de chute d'une goutte de brouillard, de rayon  $r \simeq 20 \mu\text{m}$ , et d'une goutte de bruine, de rayon  $r \simeq 60 \mu\text{m}$ , sachant que le coefficient  $\alpha$  est proportionnel au rayon  $r$  de la goutte.

Données :

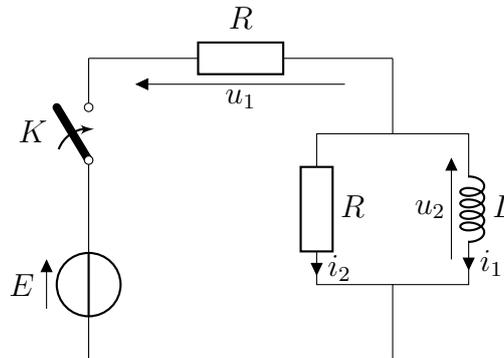
$\rightsquigarrow g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$  : accélération de la pesanteur

$\rightsquigarrow \rho_l = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$  : masse volumique de l'eau

$\rightsquigarrow \rho_a = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$  : masse volumique de l'air

## Exercice 6 : RL à deux mailles

On étudie le circuit ci-dessous.



La bobine est supposée idéale d'inductance  $L$ .

Pour  $t < 0$ , l'interrupteur est ouvert et aucun courant ne circule dans le circuit. À l'instant  $t = 0$ , on ferme l'interrupteur  $K$ .

**Q34.** Quelle grandeur électrique ne peut pas subir de discontinuité dans ce circuit ? On répondra clairement, avec une phrase en français, et on donnera son nom dans le circuit ci-dessus.

**Q35.** Déterminer les valeurs à  $t = 0^+$  des tensions  $u_1$  et  $u_2$ . Une justification très précise est attendue.

On pourra admettre pour la suite :  $u_1(0^+) = u_2(0^+) = E/2$

**Q36.** Comment se comporte la bobine en régime permanent ?

**Q37.** Déterminer les valeurs asymptotiques de  $u_1$  et  $u_2$  en régime permanent (un temps très long après la fermeture de l'interrupteur). Cette question ne nécessite pas de calculs, mais un schéma du circuit bien représenté et une loi.

**Q38.** Établir l'équation différentielle vérifiée par  $u_2$  pour  $t > 0$ , et la mettre sous la forme canonique :

$$\frac{du_2}{dt} + \frac{u_2}{\tau} = 0$$

Introduire un temps caractéristique  $\tau$  que vous exprimerez en fonction de  $R$  et  $L$ .

**Q39.** Résoudre l'équation différentielle pour obtenir l'expression de  $u_2(t)$ , pour  $t > 0$ .

**Q40.** Représenter l'allure de  $u_2$  en fonction du temps.

**Q41.** Exprimer, en fonction de  $L$  et  $R$ , le temps  $t_{10}$  au bout duquel la tension  $u_2$  a été divisée par 10.

**Q42.** On mesure  $t_{10} = 3,0 \text{ s}$  pour  $R = 1,0 \text{ k}\Omega$ . En déduire la valeur de  $L$ .