

DS1 – 18 septembre 2021

1. Utilisation de bobines pour la détection de métaux

Les détecteurs de métaux sont des instruments électroniques capables d'indiquer la présence d'objets métalliques de nature et de taille différentes. Les détecteurs fixes sont utilisés dans les aéroports, dans l'industrie agro-alimentaire ou pharmaceutique, sur les réseaux routiers, etc. Les détecteurs mobiles peuvent servir à localiser et suivre le cheminement de canalisations enterrées ou de fils électriques, à aider aux fouilles archéologiques, à repérer des engins dangereux, etc.



Figure 1 – Diverses utilisations de détecteurs de métaux

Les détecteurs de métaux fonctionnent selon des principes variés dépendant de l'utilisation souhaitée. Le sujet aborde les détecteurs de métaux fonctionnant sur le principe d'un battement de fréquence dont le principe est expliqué dans le **document 1**.

Document 1 - Principe du détecteur à battement de fréquence

Le principe de fonctionnement d'un détecteur de métaux repose sur l'induction électromagnétique. Une bobine parcourue par un courant électrique variable génère un champ magnétique variable auquel sont soumis les objets situés dans la zone de détection. En réponse, les objets conducteurs, et en particulier les métaux, sont le siège de courants induits par ce champ magnétique variable, appelés courants de Foucault. Ces courants induits dans la matière engendrent à leur tour un champ magnétique qui est perçu par un circuit de détection.

Plus précisément, un détecteur à battement de fréquence utilise deux oscillateurs dont les fréquences d'oscillations sont identiques en l'absence d'objets métalliques proche. Chacun d'eux contient notamment une bobine dont le rôle sera différent selon le circuit :

La bobine de l'un des deux circuits est utilisée pour générer des oscillations (circuit émetteur). La fréquence des oscillations sert de référence et ne doit pas varier au cours de la mesure. La bobine qu'il contient doit être maintenue loin des objets à détecter.

L'autre oscillateur fonctionne comme récepteur. La bobine qu'il contient interagit avec le champ magnétique induit par les courants de Foucault dans l'objet métallique, ce qui provoque une variation de sa fréquence d'oscillations par rapport au circuit de référence.

Une différence entre les fréquences d'oscillation dans l'émetteur et le détecteur indique la proximité d'un objet métallique.

A - OSCILLATIONS LIBRES D'UN CIRCUIT RLC SERIE

L'élément déterminant du détecteur de métal est une bobine, utilisée dans un montage oscillateur. L'étude de son fonctionnement a pour but de déterminer les caractéristiques de la bobine.

Un circuit RLC série est réalisé. Le schéma du montage est reproduit sur la **figure 2**. Il est constitué :

- d'un générateur de signaux basse fréquence (GBF), de résistance interne R_g et de force électromotrice $e(t)$;
- d'une résistance variable R , de valeur comprise entre 0Ω et $10 k\Omega$;
- d'un condensateur de capacité C variable, de valeur comprise entre $0,01 \mu F$ et $1 \mu F$;
- d'une bobine réelle d'inductance L et de résistance r inconnues.

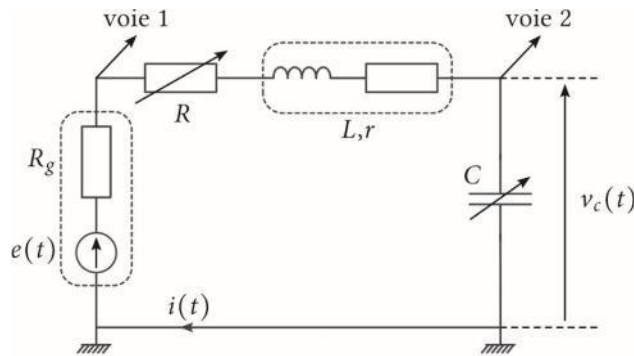


Figure 2 – Circuit RLC série

Les notations suivantes seront adoptées :

- $R_{tot} = R + R_g + r$: résistance totale du circuit ;
- $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$: pulsation propre ;
- $Q = \frac{L\omega_0}{R_{tot}}$: facteur de qualité.

Un extrait des caractéristiques techniques du GBF est reproduit dans le **document 2**.

Document 2 - Extrait des caractéristiques techniques du GBF (Source : notice Metrix GX 320 - 2018)

Sortie du signal MAIN OUT

- Amplitude crête-à-crête réglable en circuit ouvert : de 0 à 20 V
- Impédance : $50 \Omega \pm 3\%$
- Tension continue de décalage : réglable de $-10 V$ à $+10 V$ en circuit ouvert (OFFSET)

1. Montrer que l'équation différentielle satisfaite par la tension $v_c(t)$ aux bornes du condensateur peut se mettre sous la forme suivante :

$$\frac{d^2 v_c}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{dv_c}{dt} + \omega_0^2 v_c = \omega_0^2 e(t)$$

2. Dans un premier temps, on suppose que $Q > \frac{1}{2}$. Quel type de régime est adopté par le circuit ? Représenter, sans résoudre l'équation différentielle, l'allure de la courbe $v_c(t)$ dans le cas où $v_c(t=0) = 0$ et $\left(\frac{dv_c}{dt}\right)_{(t=0)} = 1 V \cdot s^{-1}$. Le facteur de qualité pourra être pris de l'ordre de 5.
3. Préciser sur le graphique précédent comment obtenir la valeur de la pseudo-période T des oscillations et montrer que son expression peut s'écrire :

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}}$$

Déterminer l'expression littérale de la grandeur T_0 en fonction de grandeurs caractéristiques des dipôles du circuit.

4. La pseudo-période a été mesurée pour différentes valeurs de la capacité C . La fonction $T^2 = f(C)$ a été tracée sur la **figure 3**. Une modélisation affine a été superposée aux valeurs numériques expérimentales.

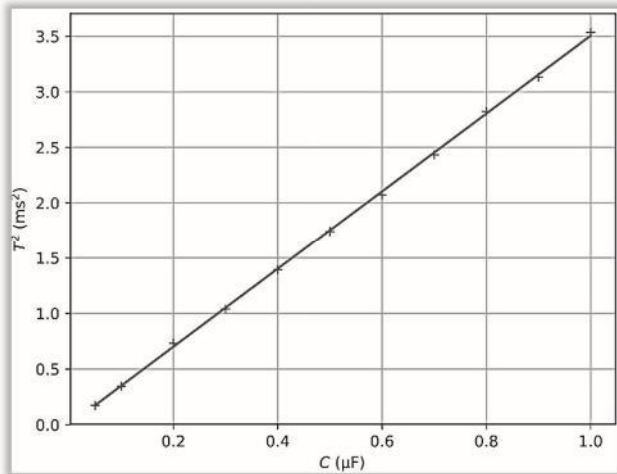


Figure 3 – Carré de la pseudo-période en fonction de la capacité

Modélisation affine :

- coefficient de corrélation : 0,999 ;
- ordonnée à l'origine : $-3,0 \cdot 10^{-9} SI$;
- coefficient directeur : 3,3 SI.

- a. Quelle information apporte le coefficient de corrélation ? Cette information est-elle pertinente ici ?
 - b. Quelles sont les unités SI du coefficient directeur et de l'ordonnée à l'origine ?
 - c. En déduire la valeur de l'inductance de la bobine en expliquant la démarche et en justifiant d'éventuelles approximations.
5. Résoudre l'équation différentielle en déterminant les valeurs des constantes d'intégration lorsque $e(t) = 0$ et pour les conditions initiales précédemment introduites $v_c(t = 0) = 0$ et $\left(\frac{dv_c}{dt}\right)_{(t=0)} = 1 V \cdot s^{-1}$.
 6. Définir le décrément logarithmique δ et expliquer ce que représente cette grandeur. Préciser la grandeur responsable de l'évolution de l'amplitude des oscillations. Établir l'expression de δ en fonction de R_{tot} , L et C , puis déterminer la valeur de R_{tot} si le décrément logarithmique est égal à 0,6 et la capacité 100 nF.

La partie précédente a permis de montrer comment déterminer la valeur de l'inductance L de la bobine, ainsi que la valeur de la résistance totale du circuit dans le cas où le facteur de qualité est supérieur à 0,5. On s'intéresse désormais à une méthode alternative de détermination de la résistance interne de la bobine. On appelle résistance critique totale $R_{tot,c} = R_c + R_g + r$, la valeur de la résistance totale du circuit permettant d'être en régime critique (R_c représente la valeur de résistance réglable dans cette situation, elle est simplement appelée résistance critique). Aucune hypothèse n'est faite sur la valeur de Q .

7. Montrer que la résistance critique totale vaut $R_{tot,c} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$.
8. Les valeurs de tous les autres paramètres étant fixées, la réponse du circuit à un échelon de tension donne lieu à des régimes transitoires successifs dont l'allure dépend de la valeur réglée pour la résistance variable R . Identifier et nommer les trois régimes associés aux courbes 1, 2 et 3 de la **figure 4** (en voie 1 de l'oscilloscope, est visualisé l'échelon de tension délivré par le générateur ; en voie 2, la tension aux bornes du condensateur).

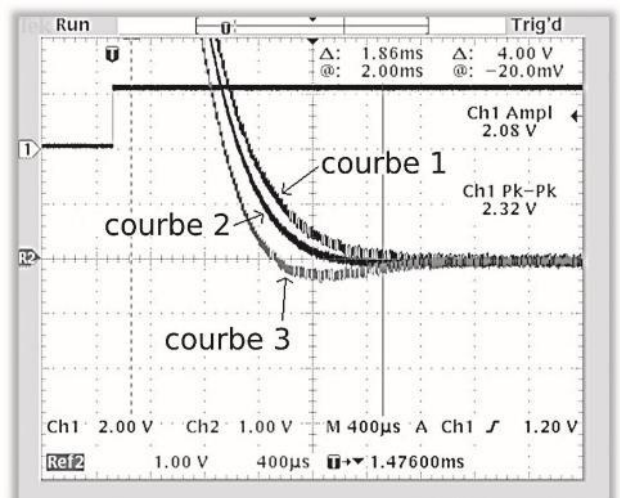


Figure 4 – Superposition des réponses du circuit soumis à un échelon de tension, pour trois valeurs différentes de R

9. La résistance critique $R_c = R_{tot,c} - R_g - r$ a été déterminée pour différentes valeurs de C . Déduire du tracé de R_c en fonction de $\frac{1}{\sqrt{C}}$ (**figure 5**) une estimation de la valeur de r . Pourquoi cette mesure est-elle peu précise ?

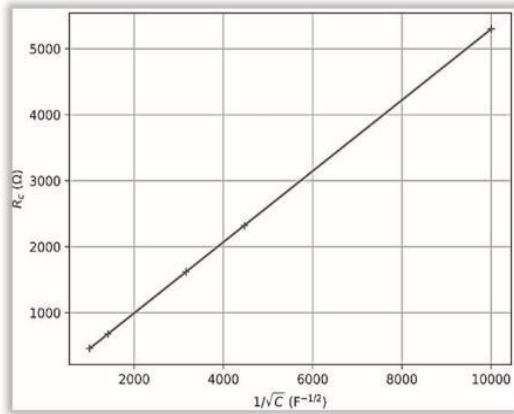


Figure 5 – Résistance critique en fonction de l'inverse de la racine carré de la capacité

Modélisation affine :

- ordonnée à l'origine : $- 81 SI$;
- coefficient directeur : $0,58 SI$.

B – OBTENTION D'UN OSCILLATEUR QUASI-SINUSOÏDAL

1 - Montage à résistance négative

Les pertes par effet Joule empêchent de maintenir l'amplitude des oscillations constantes dans un circuit RLC série. Afin de les entretenir et de compenser les pertes, un montage est élaboré à partir d'un amplificateur linéaire intégré (ALI), qui est un composant électronique dont le fonctionnement est décrit tout au long des questions. En plus de l'ALI, le montage représenté à la **figure 7** comporte 3 conducteurs ohmiques dont l'un a une résistance réglable, notée R_3 .

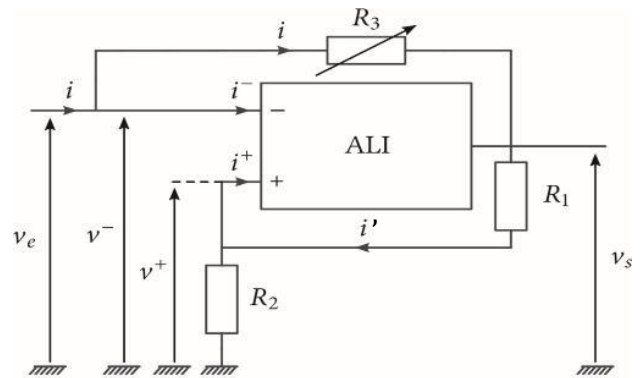


Figure 7 – Montage à résistance négative

10. En fonctionnement normal, le courant $i^- = 0$, en déduire une relation liant v_e , v_s , R_3 et i .
11. De la même façon, $i^+ = 0$ et $v^+ = v^-$, en déduire une relation liant v_e , v_s , R_1 et R_2 .
12. En déduire que l'on peut écrire $v_e = R_{neg}i$ où R_{neg} est une grandeur négative homogène à une résistance, que l'on exprimera en fonction de R_1 , R_2 et R_3 .

2. Circuit oscillateur de référence

On étudie maintenant le circuit constitué de l'association des deux circuits précédents (figures 2 et 7), dont le schéma est représenté sur la figure 8.

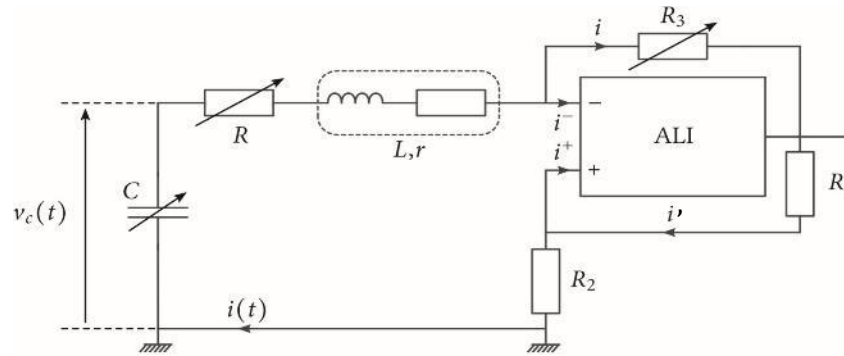


Figure 8 – Circuit oscillateur

13. Montrer que l'équation différentielle satisfaite par l'intensité $i(t)$ du circuit de l'oscillateur se met sous la forme suivante :

$$\frac{d^2i}{dt^2} + 2\xi\omega_0 \frac{di}{dt} + \omega_0^2 \cdot i = 0$$

Donner l'expression du coefficient ξ en fonction de R_{neg} , R , r , C et L .

14. Comment régler la valeur de R_{neg} pour que les oscillations ne soient pas amorties.
 15. Dans ces conditions, montrer que l'énergie totale du circuit (condensateur et bobine) se conserve.

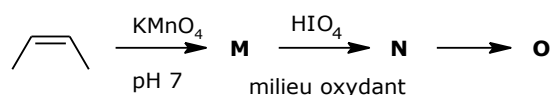
2. Des phéromones aux insecticides

Les **lépidoptères** (*Lepidoptera*) sont un ordre d'insectes dont la forme adulte (ou imago) est communément appelée papillon et dont la larve est une chenille. Les documents mentionnés figurent dans l'annexe.

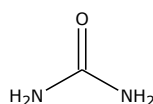
PARTIE 1 : QUESTIONS SUR DES NOTIONS SIMPLES DU PROGRAMME EN LIEN AVEC LA THEMATIQUE.

1. Généralités

- Les phéromones d'insecte présentées dans le document 1 contiennent des groupes fonctionnels divers. Sur l'**annexe 1** entourer les groupes fonctionnels et les nommer.
 - Attribuer les stéréodescripteurs de la phéromone sexuelle du carpocapse et de celle de la pyrale de la canne à sucre figurant sur le **schéma 1**.
2. Lorsque le (Z)-but-2-ène est traité par du permanganate de potassium, une espèce chimique **M** est obtenue. En présence d'acide périodique HIO_4 en milieu oxydant, **M** est transformée en **O** dont le spectre infrarouge présente une large bande vers 3350 cm^{-1} .



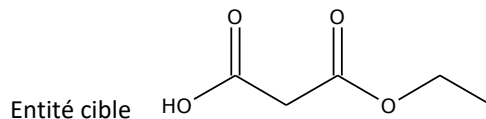
- Indiquer la structure plane de l'entité **M**, ainsi que les éventuels stéréoisomères obtenus. Le mélange final présente-t-il une activité optique ?
 - Indiquer les structures des entités **N** et **O**.
3. Acido-basicité
- Une amine primaire symbolisée par R-NH_2 est une espèce amphotère. Définir ce terme, identifier les couples acido-basiques dans lesquels l'amine est impliquée et donner un ordre de grandeur de leur pK_a .
 - L'urée représentée ci-dessous est la base d'un couple de pK_a proche de 1 et l'acide d'un couple de pK_a proche de 17. Expliquer les différences de valeur de pK_a avec ceux d'une amine primaire.



4. Stratégie de synthèse

4.1. Rétrosynthèse.

Lorsqu'un chimiste envisage la synthèse d'une molécule, il doit réaliser au préalable une analyse rétrosynthétique. Considérons l'exemple de la synthèse de l'entité cible ci-dessous à partir d'éthanoate d'éthyle de formule semi-développée $H_3C - CO - O - CH_2 - CH_3$.



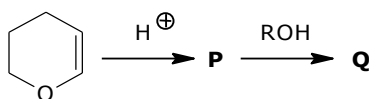
- a) L'éthanoate d'éthyle est traité par une base forte comme le LDA, puis soumis à l'action de l'iodométhane.
- Justifier l'acidité des atomes d'hydrogène portés par le carbone en « alpha » du groupe C=O de l'ester.
 - Proposer une structure pour l'espèce chimique produite par action du LDA puis de l'iodométhane sur l'éthanoate d'éthyle.
 - Proposer un mécanisme réactionnel en justifiant votre choix.
- b) En déduire une voie de synthèse de la molécule cible représentée plus haut.

4.2. Précurseurs

- a) Écrire l'équation de la réaction impliquant la propanone et l'éthane-1,2-diol en milieu acide. Nommer la réaction et proposer un mécanisme réactionnel.
- b) Certaines espèces chimiques jouent le rôle de précurseur dans les synthèses organiques : elles sont transformées pour fournir en quelques étapes l'espèce chimique souhaitée. Montrer que pour synthétiser la phéromone de la mouche de l'olivier (**schéma 1**), on peut commencer par la synthèse de la 1,3,9-trihydroxynonan-5-one. Dans quelles conditions cette cétone doit-elle être traitée pour former la phéromone ?

4.3. Dihydropyranne

Lorsque le dihydropyranne DHP est mis en présence d'un alcool ROH en milieu acide, un produit **Q** est obtenu selon le schéma ci-contre :



P symbolise un intermédiaire réactionnel qui ne peut être isolé.

- a) Identifier les sites basiques du DHP. En déduire les structures possibles pour l'espèce chimique **P**. Identifier la plus stabilisée. C'est elle qui est obtenue le plus rapidement.
- b) Proposer une structure pour l'acétal **Q** et détailler le mécanisme de sa formation.
- c) Quel peut être l'intérêt de ce type de réaction dans une synthèse ?

PARTIE 2 : ANALYSE DES DOCUMENTS.

1. Détermination des structures... (document 2)

1.1. ... du bombykol (**doc 2a**)

- a) Montrer comment les résultats expérimentaux permettent de déterminer la formule plane du bombykol.
- b) Combien de stéréoisomères les auteurs ont-ils dû synthétiser pour déterminer la stéréochimie du bombykol ?

1.2. ... de la disparlure (**doc 2b**)

Proposer une méthode spectroscopique qui permettrait aujourd'hui de différencier sans ambiguïté les structures des espèces chimiques **1** et **2**. Justifier rigoureusement.

2. Etude des schémas synthétiques (document 3)

2.1. Schéma 3a

- a) Comme préparer l'organomagnésien utilisé ? On précise les réactifs, le solvant, le montage expérimental et les conditions de sécurité attendues pour une telle synthèse.

- b) Montrer que le réactif présentant deux liaisons C=O et C=C conjuguées avec lequel réagit l'organomagnésien présente deux sites électrophiles. Au vu de la structure proposée pour l'entité de **B**, en déduire le site électrophile qui a été mis en jeu. Qualifier la sélectivité observée.
- c) Déterminer la structure de l'espèce chimique **A**. Combien de stéréoisomères de configuration de **A** sont-ils obtenus ? Le mélange est-il optiquement actif ? Justifier votre réponse.
- d) Proposer un mécanisme réactionnel qui permette d'obtenir **B** à partir de **A**. On précise que le mécanisme réactionnel débute par la protonation d'un groupe alcool.
- e) Représenter l'espèce chimique **C**, puis l'espèce chimique **D**.
- f) Quelle est la réaction qui a lieu entre **B** et **D** ? Donner la structure de **E**, obtenu après hydrolyse du milieu réactionnel.
- g) Indiquer la structure de l'espèce chimique **3** ainsi que les conditions opératoires qui permettent de l'obtenir à partir de **E**.

2.2 Schéma 3b (annexe 2)

- a) Compléter le **schéma 3b** recopié dans l'**annexe 2** en indiquant la structure des produits et réactifs manquants dans les cadres prévus à cet effet.
- b) Calculer la valeur de la constante d'équilibre de la réaction acide-base correspondant au passage de **F** à **F'**.

Données : Le butyllithium, noté BuLi, (« Bu⁻, Li⁺ ») est une base très forte (pK_a voisin de 50).
Le pK_a du couple dans lequel le dérivé acétylénique joue le rôle d'acide (H-C≡CR/⁻C≡CR) est de 25.

2.3 Schéma 3c (annexe 3)

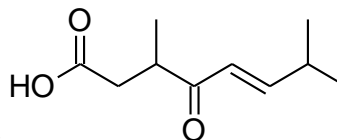
- a) Compléter le **schéma 3c** recopié dans l'**annexe 3** en indiquant la structure des produits et réactifs manquants dans les cadres prévus à cet effet.
- b) Par analogie avec l'action d'un organomagnésien sur un ester, proposer un mécanisme réactionnel pour l'action de LiAlH₄ sur un ester. On pourra noter simplement l'ion hydrure H⁻.

PARTIE 3 : QUESTIONS OUVERTES SUR LE THEME (POUR LES 3/2 JOUEURS ET LES 5/2)

Rétrosynthèse de la phéromone sexuelle de la pyrale de la canne à sucre (**schéma 1 document 1**).

On ne s'intéressera pas à la stéréochimie du produit obtenu et on pourra raisonner sur des formules planes.

1. Proposer une synthèse de l'acide carboxylique ci-dessous à partir du 4-iodo-3-méthylbutan-2-one et du 2-méthylpropanal.



Tous les réactifs minéraux et organiques classiques pourront être utilisés.

2. Proposer des étapes finalisant la synthèse.