



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Concours externe BAC + 3 du CAPET

Cafep-Capet

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : ingénierie électrique

- 1) Exemple de sujet pour la seconde épreuve d'admissibilité
- 2) Attendus de l'épreuve
- 3) Extrait de l'arrêté du 17 avril 2025

Les épreuves du concours externe du Capet et Cafep-Capet BAC+ 3 sont déterminées dans [l'arrêté du 17 avril 2025 fixant les modalités d'organisation du concours externe du certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement technique](#), publié au Journal Officiel du 19 avril 2025, qui fixe les modalités d'organisation du concours et décrit le schéma des épreuves.

1) Exemple de sujet pour la seconde épreuve d'admissibilité

CAPET BAC + 3 Sujet 0

Sommaire

	Page
Sommaire	2
Présentation du support	3
ÉTUDE A (à traiter obligatoirement)	4
ÉTUDE B (à traiter obligatoirement)	10
DOCUMENTS TECHNIQUES DE L'ÉTUDE A	14
DOCUMENTS TECHNIQUES DE L'ÉTUDE B	18

Les études A et B sont à traiter obligatoirement par tous les candidats.

Réseau d'électrification d'un site isolé sur l'île de La Réunion



La situation de Mafate sur l'Île de La Réunion

Coupé du monde au cœur du Parc national de La Réunion, situé dans un cirque au relief très escarpé, possédant un foncier restreint, le cirque de Mafate est classé au patrimoine mondial de l'UNESCO. La nouvelle, qui est le hameau le plus grand du cirque, ne peut compter que sur le soleil pour produire son électricité. Alimenté jusque-là par des panneaux photovoltaïques vieillissants, la croissance du tourisme l'oblige à augmenter et stabiliser sa production.

Il n'est desservi par aucune route, n'est pas connecté au réseau électrique, est ravitaillé par hélicoptère et pourtant 100 000 personnes le visitent chaque année. L'économie du cirque de Mafate et ses dix îlets (hameaux) peuplés par environ 700 habitants (310 familles) est très dépendante du tourisme. Les besoins en électricité augmentent, mais les installations de production se dégradent et ne permettent plus de satisfaire la demande.

Les 310 foyers et 13 gîtes équipés, il y a une vingtaine d'années, de panneaux photovoltaïques, se tournent désormais vers des groupes électrogènes. Selon un habitant, ils consommeraient environ 50 000 litres de carburant par an. Il faut donc trouver une solution pour éviter de transformer ce site naturel en un espace pollué et dépendant des énergies fossiles sur le long terme.

Un système développé par une start-up française

À La Nouvelle, l'îlet le plus peuplé du cirque de Mafate, EDF expérimente un système de stockage de l'énergie solaire via des batteries lithium-ion et de l'hydrogène. Développée par la start-up française Powidian, la technologie baptisée « SAGES » (Smart Autonomous Green Energy System) permet d'emmagasiner l'électricité excédentaire produite par les panneaux photovoltaïques installés sur les toits des bâtiments publics.

Stockée dans des batteries pour un usage à court terme, l'électricité peut également être convertie en hydrogène via un électrolyseur. Conservé dans un réservoir, il peut ensuite être retransformé en électricité grâce à une pile à combustible et injecté dans un micro-réseau selon les besoins. Lors de longues périodes sans ensoleillement, les habitants peuvent donc théoriquement continuer à être alimentés. Un premier dispositif a vu le jour en février 2016 sur le toit de l'école de La Nouvelle, avant un éventuel déploiement à plus grande échelle dans les autres îlets.

ÉTUDE A (à traiter obligatoirement)

Comment fournir l'énergie électrique nécessaire sur un site isolé ?

Afin de limiter l'utilisation des groupes électrogènes dont le ravitaillement en fioul se fait par des rotations d'hélicoptère, une solution comprenant des panneaux solaires dont une partie de l'énergie récupérée peut être stockée dans des batteries est envisagée. Avant d'étudier la solution technologique la plus adaptée à l'électrification du site il est important de comprendre les besoins énergétiques des 310 foyers et 13 gîtes de ce site.

Objectif : Comprendre les besoins énergétiques du site isolé et apporter une solution technologique adaptée.

Bilan énergétique des habitations

Le document technique DTA1 présente les équipements ménagers présents dans des foyers ainsi que la consommation moyenne annuelle de chacun de ces équipements.

Question A1 | Compléter le tableau du document réponse DRA1 à l'aide de la documentation technique DTA1. En déduire la consommation totale annuelle d'un foyer E_{foyer} .

Une étude similaire à la précédente permet de déterminer l'énergie consommée par un gîte sur un an comme $E_{\text{gîte}} = 6829 \text{ kWh}$.

Question A2 | Calculer l'énergie annuelle E_{site} nécessaire pour l'ensemble du site.

Potentiel d'énergie solaire

Afin de n'utiliser que des panneaux solaires pouvant éventuellement recharger des batteries, l'installation dont le schéma synoptique est présenté par le document technique DTA2 est utilisée.

La société installant les panneaux solaires a exploité un fichier de relevés météorologiques pour estimer l'énergie solaire surfacique annuelle reçue sur le cirque. La valeur relevée est $E_{\text{sol}} = 1\,447 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$.

Question A3 | À l'aide du document technique DTA2, calculer la surface de panneaux photovoltaïques S_{pan} à installer pour subvenir aux besoins énergétiques annuels du site. Les transferts d'énergie depuis et vers la batterie seront considérés comme possédant un rendement unitaire.

La surface ainsi calculée n'étant pas disponible au sol, la solution proposée est de répartir les panneaux de manière équitable sur les toitures des 310 foyers et 13 gîtes du site.

Question A4 | Justifier si cette solution est envisageable dans le cas où le plus petit toit présente une surface de 20 m^2 . Calculer le nombre de panneaux photovoltaïques (DTA1) à installer sur chaque toit.

Acheminement de l'énergie vers l'armoire de jonction

L'installation réalisée sur chaque toit est appelée "mini-centrale". Elle comporte finalement 8 panneaux photovoltaïques connectés en série.

Question A5 | À l'aide du document technique DTA2, calculer la tension nominale U_{nc} et la puissance nominale P_{mc} d'une mini-centrale.

L'énergie produite par chacune de ces mini-centrales n'est pas directement exploitée par le logement correspondant mais acheminée vers une armoire de jonction via deux conducteurs électriques. La modélisation de l'un de ces conducteurs électriques est présentée figure A1.

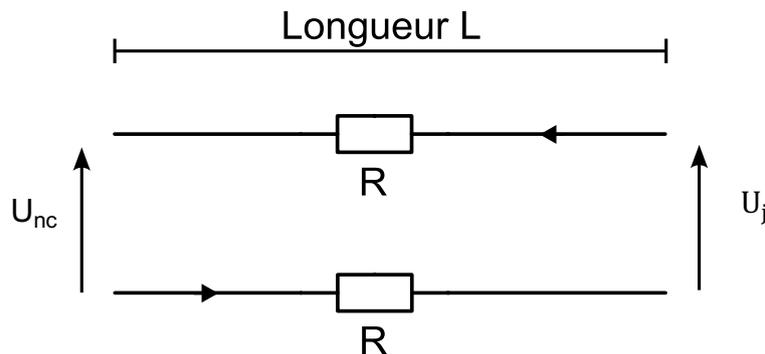


Figure A1 – Modélisation d'un conducteur

Notations :

- U_{nc} est la tension disponible en sortie d'une mini-centrale ;
- U_j est la tension disponible au niveau de l'armoire de jonction ;
- $\varepsilon_{\%} = \frac{U_{nc} - U_j}{U_{nc}}$ est la chute de tension relative dans le câble ;
- $R = \frac{\rho L}{S}$ est la résistance équivalente d'un conducteur ;
- $\rho = 17 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ est la résistivité électrique du cuivre ;
- $I_z = 12 \text{ A}$ est le courant maximal admissible dans le conducteur.

Question A6 | En tenant compte du fait qu'il y a deux conducteurs dans le calbe, démontrer que la section d'un conducteur s'exprime par :

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I_z}{\varepsilon_{\%} \cdot U_{nc}}$$

Afin d'obtenir un fonctionnement satisfaisant, la chute de tension est limitée à $\varepsilon_{\%} = 0,03$.

Question A7 | Calculer la valeur numérique de la section de conducteur à choisir pour une mini-centrale située à 300 m de l'armoire de jonction puis utiliser le document technique DTA3 pour donner la section normalisée qui sera finalement retenue.

Une fois l'énergie acheminée vers l'armoire de jonction elle est stockée dans les batteries puis redistribuée vers les gîtes ou foyers en fonction de leurs besoins. Pour cela, chaque habitation est équipée d'un convertisseur CV3 composé de deux étages CV3-1 et CV3-2 conformément au synoptique de la figure A2. Ce convertisseur permet de transformer la tension continue issue des batteries en tension alternative exploitable par les équipements des foyers.

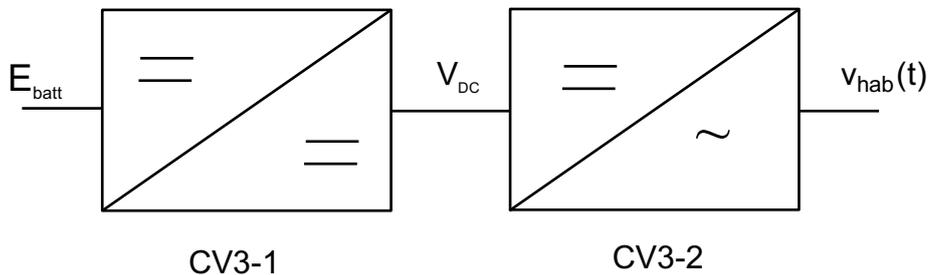


Figure A2 – Schéma synoptique du convertisseur continu/alternatif CV3

Étude du convertisseur CV3-1

Le premier étage de conversion noté CV3-1 est présenté figure A3. On supposera parfaits tous les interrupteurs et les composants passifs le constituant, lui conférant un rendement unitaire. L'étude est limitée au régime établi, les tensions E_{batt} et V_{DC} sont alors supposées constantes, avec $V_{DC} > E_{batt}$.

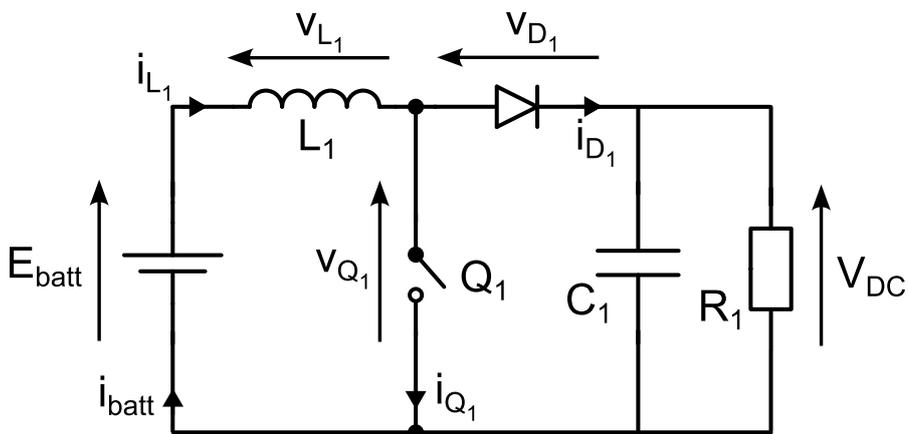


Figure A3 – Schéma du premier étage du convertisseur CV3-1

L'interrupteur Q_1 est piloté par un signal de période T et de rapport cyclique noté α . Le montage est conçu de telle manière à ce que dès que l'interrupteur Q_1 est fermé alors la diode D_1 se bloque et inversement lorsque Q_1 est ouvert alors la diode D_1 est passante. Les phases d'ouverture et de fermeture de l'interrupteur Q_1 sont présentées sur le document réponse DRA2.

L'objectif de cette étude est de choisir la valeur du rapport cyclique α et de l'inductance L_1 de manière à obtenir le bon niveau de tension en sortie tout en limitant l'ondulation de courant.

Question A8 | Entre 0 et αT , donner la valeur de v_{Q_1} . Entre αT et T faire de même cette fois-ci uniquement en fonction de V_{DC} . Compléter alors le document réponse DRA2 en représentant l'allure temporelle de v_{Q_1} .

Pour rappel, la valeur moyenne d'une grandeur $x(t)$ évoluant dans le temps, périodique de période T , est notée \bar{x} se calcule en utilisant l'expression :

$$\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot dt$$

- Question A9** | Calculer la valeur moyenne du signal $v_{Q_1}(t)$ notée $\overline{v_{Q_1}}$ en fonction de α et de V_{DC} à l'aide du document réponse DRA2.
- Question A10** | En appliquant la loi des mailles, donner la relation liant E_{batt} , $v_{L_1}(t)$ et $v_{Q_1}(t)$. Sachant que la valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inductance $\overline{v_{L_1}}$ est nécessairement nulle en fonctionnement périodique établi, en déduire une relation entre $\overline{v_{Q_1}}$ et E_{batt} .
- Question A11** | En exploitant les deux questions précédentes, exprimer la relation entre la tension de sortie V_{DC} , la tension de la batterie E_{batt} et le rapport cyclique α . Calculer la valeur numérique du rapport cyclique α à choisir afin d'obtenir une tension de sortie $V_{DC} = 300$ V sachant que la tension de la batterie est $E_{batt} = 48$ V.
- Question A12** | Entre 0 et αT uniquement, donner la relation entre E_{batt} et $v_{L_1}(t)$. Modifier ensuite cette relation pour exprimer E_{batt} en fonction de L_1 et $i_{L_1}(t)$.
- Question A13** | En supposant qu'à l'instant initial, $i_{L_1}(t=0) = i_{min}$ résoudre l'équation obtenue à la question précédente pour montrer qu'entre 0 et αT on a :
- $$i_{L_1}(t) = \frac{E_{batt}}{L_1} \cdot t + i_{min}$$
- Question A14** | Sachant qu'à l'instant $t = \alpha T$ le courant $i_{L_1}(t)$ atteint sa valeur i_{max} , exprimer l'ondulation de courant $\Delta i_{L_1} = i_{max} - i_{min}$ en fonction de α , L_1 , E_{batt} et T . Montrer qu'une valeur minimale de 4 mH de l'inductance L_1 permet de limiter l'ondulation de courant à 1A lors d'un découpage de période $T = 0,1$ ms.

Étude du convertisseur CV3-2

Le second étage de conversion noté CV3-2 est présenté figure A4 ; tous les interrupteurs le constituant sont supposés parfaits lui conférant un rendement unitaire.

L'onduleur CV3-2 est piloté en utilisant une commande décalée. Les interrupteurs K_1 à K_4 sont successivement ouverts et fermés à la fréquence du fondamental souhaitée $f = \frac{1}{T} = 50$ Hz. Les instants de fermeture des interrupteurs sont représentés sur le document réponse DRA3.

L'objectif de l'étude est d'optimiser le fonctionnement de la structure afin d'obtenir une tension exploitable pour les habitations $v_{hab}(t)$, le réseau domestique étant basé sur une tension sinusoïdale de valeur efficace 230 V et de fréquence 50 Hz.

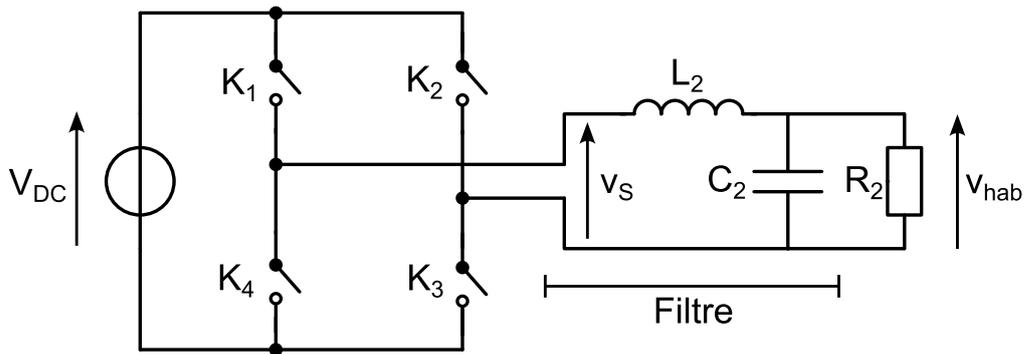


Figure A4 – Schéma du second étage du convertisseur CV3-2

Question A15 | Compléter le document réponse DRA3 en représentant l'allure de la tension $v_S(t)$ au cours du temps.

À ce stade, la tension $v_S(t)$ n'est pas sinusoïdale. En appelant β l'angle de décalage entre la fermeture de K_1 et celle de K_3 , on montre qu'elle peut s'exprimer selon une décomposition en série de Fourier :

$$v_S(t) = \frac{4V_{DC}}{\pi} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{\cos((2k+1)\beta)}{2k+1} \cdot \sin\left(2\pi(2k+1)\frac{t}{T}\right)$$

Question A16 | À partir de l'expression de $v_S(t)$, calculer la valeur de l'angle β à choisir si on souhaite annuler l'harmonique de rang $n=2k+1=3$.

Avec les limitations de la mesure, on ne s'intéresse qu'aux rangs des harmoniques inférieures ou égales à 11. On considère donc les composantes harmoniques pour $n = 1, 3, 5, 7$ et 11 , correspondant respectivement aux indices $k = 0, 1, 2, 3, 4$ et 5 .

Toutefois, le choix de β restreint encore l'étude aux seuls rang non nuls pour $n = 1, 5, 7$ et 11 (soit indices $k = 0, 2, 3$ et 5). Ces composantes ont alors pour amplitudes respectives :

$$A_n = \left| \frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot V_{DC}}{n \cdot \pi} \right|$$

Question A17 | Compléter le document réponse DRA4 en représentant les harmoniques manquants.

Afin de ne conserver que la composante fondamentale, le signal $v_S(t)$ est filtré pour former $v_{hab}(t)$.

Question A18 | Indiquer la nature du filtre à utiliser (passe-bas, passe-haut, etc.) et proposer une fréquence de coupure f_C pour ce filtre. Représenter cette fréquence par une barre rouge sur le document réponse DRA4.

La fonction de transfert du filtre sélectionné $H_2(j\omega)$ s'exprime par :

$$\underline{H_2(j\omega)} = \frac{1}{1 + j\frac{L_2}{R_2}\omega + L_2C_2(j\omega)^2}$$

Avec :

- $\omega = 2\pi f$ la pulsation en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$;
- $L_2 = 60 \text{ mH}$;
- $C_2 = 220 \text{ }\mu\text{F}$;
- $R_2 = 20 \text{ }\Omega$.

Question A19 | Calculer l'amplitude du fondamental de la tension $v_{\text{hab}}(t)$ noté $A_{1_{\text{hab}}}$ ainsi que celle de l'harmonique de rang 5 notée $A_{5_{\text{hab}}}$. Vérifier alors la pertinence du filtre en montrant que l'harmonique de rang 5 est au moins 100 fois plus faible que la composante fondamentale.

Question A20 | Vérifier finalement la pertinence de la structure globale en montrant que la valeur efficace de la tension $v_{\text{hab}}(t)$ est bien comprise dans l'intervalle de tolérance $230 \text{ V} \pm 10 \text{ V}$.

ÉTUDE B (à traiter obligatoirement)

Comment concevoir un énergie-mètre ?

Il est nécessaire de quantifier l'énergie délivrée à chaque foyer et gîte du hameau pour adapter la production et anticiper les pointes de consommation. Les bâtiments sont alimentés par des onduleurs dont la tension est parfaitement sinusoïdale et toutes les grandeurs sont stables.

La conception d'un énergie-mètre est basée sur une mesure du courant absorbé par le foyer et sur la mesure de tension délivrée par l'onduleur. Le synoptique de cet énergie-mètre est présenté à la figure B1.

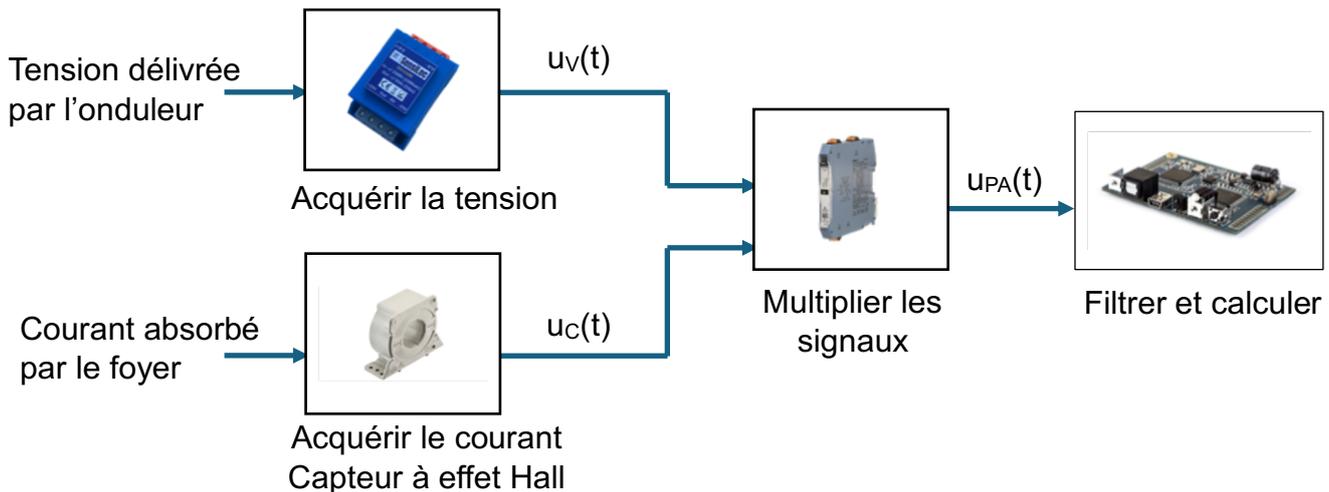


Figure B1 : Synoptique de l'énergie-mètre étudié

Objectif : Concevoir un énergie-mètre à partir des mesures de la tension délivrée par l'onduleur et le courant absorbé par le foyer.

Conception du capteur de courant

Le document technique DTB1 montre les différentes étapes structurelles du capteur de courant. Le capteur doit permettre de fournir une tension $u_C(t)$ qui est l'image du courant $i(t)$. Dans cette structure, k_1 et k_2 sont des constantes.

Question B1 | Donner l'expression de $u_C(t)$ en fonction de $i(t)$, k_1 , k_2 , k_h et I_0 puis indiquer la condition qui permettrait d'avoir une tension $u_C(t)$ qui serait l'image uniquement de $i(t)$.

Le document technique DTB2 présente le montage utilisé pour générer le courant I_0 .

Données et hypothèses :

- Les ALI (amplificateur linéaire intégré, ou AOP) sont considérés comme idéaux, alimenté avec une alimentation symétrique ;
- les tensions et courants sont considérés comme continue ;
- $R_1 = R_3 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega$, $E = 20 \text{ V}$;
- R_h représente la résistance de la "puce" Hall ; $R_h = 1 \text{ k}\Omega$.

Question B2 | Justifier le fonctionnement en régime linéaire de l'ALI2. En déduire une relation simple entre V_{s2} et V_s .

Question B3 | Pour l'ALI 1, déterminer l'expression de V_- en fonction de R_1, R_2 et V_s . Montrer que la tension V_+ est donnée par la relation :

$$V_+ = R_h \cdot \frac{E \cdot R_4 + V_s \cdot R_3}{R_4 \cdot R_h + R_4 \cdot R_3 + R_h \cdot R_3}$$

Question B4 | En combinant les deux expressions précédentes, montrer que l'expression de V_+ s'exprime suivant la relation :

$$V_+ = E \frac{R_4 \cdot R_h}{R_4 \cdot R_h + R_4 \cdot R_3 + R_h \cdot R_3 - \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot R_3 \cdot R_h}$$

Question B5 | Déduire des résultats précédents l'expression de I_0 en fonction de E .

Question B6 | À partir de l'expression précédente, déterminer une condition sur R_1, R_2, R_3 et R_4 permettant de rendre I_0 indépendant de R_h . En déduire la valeur numérique de la résistance R_2 et montrer que l'expression finale de I_0 s'exprime suivant la relation : $I_0 = \frac{E}{R_3}$. Donner la valeur numérique de I_0 .

Réalisation de l'amplificateur de tension

Données :

- k_1 s'exprime par $k_1 = \frac{\mu_0}{e}$;
- μ_0 : perméabilité de l'air, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$;
- e : mesure de l'entrefer du tore magnétique en mètre, $e = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$;
- $I_0 = 20 \text{ mA}$;
- $k_h = 50 \text{ V} \cdot (\text{T} \cdot \text{A})^{-1}$.

Question B7 | À partir des données présentées sur le document technique DTB1, donner l'expression de $v_h(t)$ en fonction de $i(t)$ sous la forme $v_h(t) = K \cdot i(t)$. Faire l'application numérique pour la constante K en précisant son unité.

La réalisation de l'énergie-mètre impose d'obtenir $u_c(t) = 100 \text{ mV}$ lorsque le capteur mesure un courant $i(t) = 100 \text{ mA}$

Question B8 | Calculer la valeur du gain k_2 .

Le montage de l'amplificateur mis en œuvre est donné sur le document technique DTB3. Ce montage est basé sur l'utilisation d'un amplificateur d'instrumentation (INA 122).

Question B9 | Justifier l'intérêt d'une structure d'amplification de type différentielle.

Question B10 | À partir des données du schéma interne de l'INA 122, déterminer l'expression de la tension en sortie de l'amplificateur différentiel $u_c(t)$ en fonction de $i(t)$. Choisir la résistances R_G pour obtenir l'amplification souhaité.

Étude du multiplicateur de signaux

Le schéma structurel de l'énergie-mètre est celui de la figure B1.

Notations :

- $u_v(t) = K_V \cdot E \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t)$;
avec :
 - ω : pulsation électrique ($f = 50$ Hz) ;
 - E : valeur efficace de la tension en sortie de l'onduleur, $E = 230$ V ;
 - K_V : coefficient du capteur de tension.
- $u_c(t) = K_C \cdot I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t - \phi)$
avec :
 - ω : pulsation électrique ($f = 50$ Hz) ;
 - I : valeur efficace du courant absorbé par le foyer ou le gîte ;
 - K_C : coefficient du capteur de courant ;
 - ϕ : décalage du courant vers la tension.
- Le multiplicateur de tension est considéré comme idéal et de gain unitaire ;
- Pour rappel, $\sin(a) \cdot \sin(b) = \frac{\cos(a-b) - \cos(a+b)}{2}$.

Question B11 | Montrer que $u_{PA}(t)$ peut se mettre sous la forme $u_{PA}(t) = u_0 + u_f(t)$. Donner les expressions de u_0 et $u_f(t)$.

Conception du filtre

Pour un courant absorbé par le foyer considéré comme constant, le terme u_0 représente la puissance moyenne active, notée P_0 . C'est sur cette dernière relation que s'appuie le calcul de l'énergie délivrée au foyer. Le terme $u_f(t)$ est lié à la puissance fluctuante $p_f(t)$ dont la valeur moyenne est nulle.

La quantification de l'énergie repose essentiellement sur la capacité de la chaîne de mesure à obtenir P_0 avec précision sans être affectée par le terme $p_f(t)$. Le cahier des charges impose une atténuation minimale de 40 dB à une fréquence de 50 Hz. Le temps de réponse à 5% du filtre doit être inférieur ou égal à 1 s. Soit $u_{FS}(t)$, la tension en sortie du filtre.

On choisit dans un premier temps une fréquence de coupure pour ce filtre, notée f_c , égale à 0,5 Hz.

Question B12 | Choisir l'ordre et le type de filtre à mettre en place afin de conserver uniquement le signal u_0 et de répondre au cahier des charges.

Question B13 | Différentes structures de filtre sont proposées dans la documentation technique DTB4, choisir en le justifiant la structure permettant de répondre au besoin.

Finalement, le constructeur a choisi la structure présentée à la figure B2.

Question B14 | Expliquer le rôle et l'intérêt d'un ALI dans ce type de montage. Donner l'expression de la pulsation de coupure de ce filtre, notée ω_c , ainsi que sa valeur numérique. Calculer l'atténuation apportée par le filtre à la pulsation $\omega_n = 100 \cdot \omega_c$.

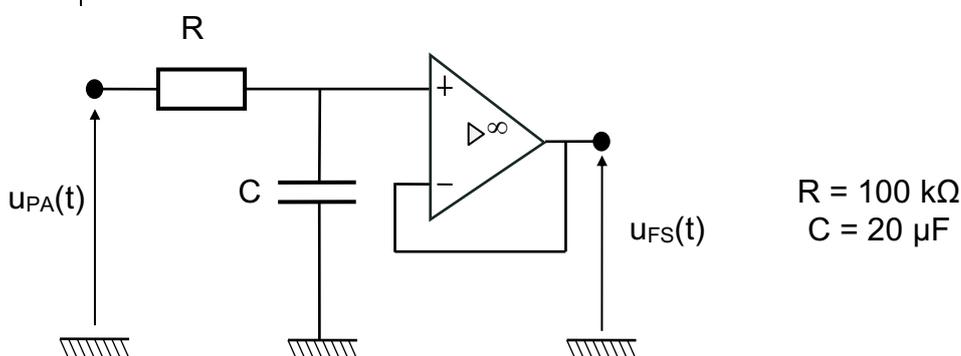


Figure B2 : Filtre retenu par le constructeur

Question B15 | Exprimer puis calculer le temps de réponse de ce filtre. Conclure sur la capacité de ce filtre à répondre au cahier des charges.

Le fabricant précise que les valeurs de la résistance R et du condensateur C possèdent une tolérance de 10 %.

Question B16 | Calculer les valeurs minimale et maximale de la pulsation ω_n . Conclure vis-à-vis de l'exigence sur l'atténuation et le temps de réponse.

Par la suite, afin de s'affranchir de ces imprécisions, mais aussi de la variation des caractéristiques des composants dans la durée, le constructeur choisit un filtrage numérique confié au calculateur.

L'équation de ce filtre dans le domaine temporel est la suivante : $u_{PA}(t) = \tau \cdot \frac{d(u_{SF}(t))}{dt} + u_{SF}(t)$.

Notations :

- Les signaux sont échantillonnés à une période d'échantillonnage notée T_e ;
- Le passage en temps discret s'appuie sur l'approximation d'Euler explicite de la dérivée : $\frac{d(u_{SF}(t))}{dt} \approx \frac{u_{SF(n)} - u_{SF(n-1)}}{T_e}$, avec $u_{SF(n)} = u_{SF}(nT_e)$ et $u_{SF(n-1)} = u_{SF}((n-1)T_e)$;
- $u_{PA(n)} = u_{PA}(nT_e)$.

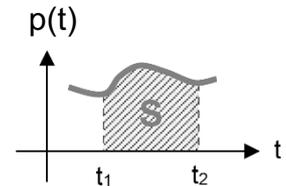
Question B17 | En posant $t = nT_e$ dans l'équation différentielle précédente, déterminer alors l'équation de récurrence permettant de calculer $u_{SF(n)}$ en fonction de $u_{SF(n-1)}$ et $u_{PA(n)}$.
La mettre sous la forme $u_{SF(n)} = b_0 \cdot u_{SF(n-1)} + a_0 \cdot u_{PA(n)}$ et exprimer les coefficients b_0 et a_0 fonction de τ et T_e .

Question B18 | Compléter sur le programme Python document réponse DRB1 :

- la définition des paramètres et constantes ;
- l'expression de la relation de récurrence dans la fonction filtre.

Calcul de l'énergie

Le calcul de l'énergie consommée entre deux instants t_1 et t_2 , E , nécessite de déterminer la valeur de la surface hachurée S de l'évolution de la puissance $p(t)$ au cours du temps : $E = \int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot dt$.



L'évolution de la puissance au cours du temps est proportionnelle au signal numérique $u_{SF(n)}$, issu du filtrage numérique précédent.

Ces données sont exploitées par un programme Python dont le script partiel est donné sur le document réponse DRB2. Celui-ci exploite deux tableaux noté P et t , qui contiennent respectivement les valeurs numériques de la puissance absorbée par un foyer (en W) ainsi que les instants échantillonnés (en s).

Question B19 | Sur le document réponse DRB2, compléter la définition de la fonction `energie(P,t)` qui prend en argument deux tableaux P et t représentant respectivement les valeurs de la puissance et des instants d'échantillonnages et renvoie l'énergie consommée.

La figure B3 donnée en page suivante présente l'évolution au cours du temps de la puissance absorbée par un foyer au cours du temps. L'algorithme de calcul de l'énergie a permis d'évaluer l'énergie consommée dans cette situation à $E = 9,85$ kWh.

Question B20 | À partir de l'approximation géométrique présentée sur la figure B3, déterminer à partir d'un calcul d'aire sous la courbe, l'énergie consommée dans ce cas de figure. Conclure sur les capacités de l'énergie-mètre à répondre au besoin.

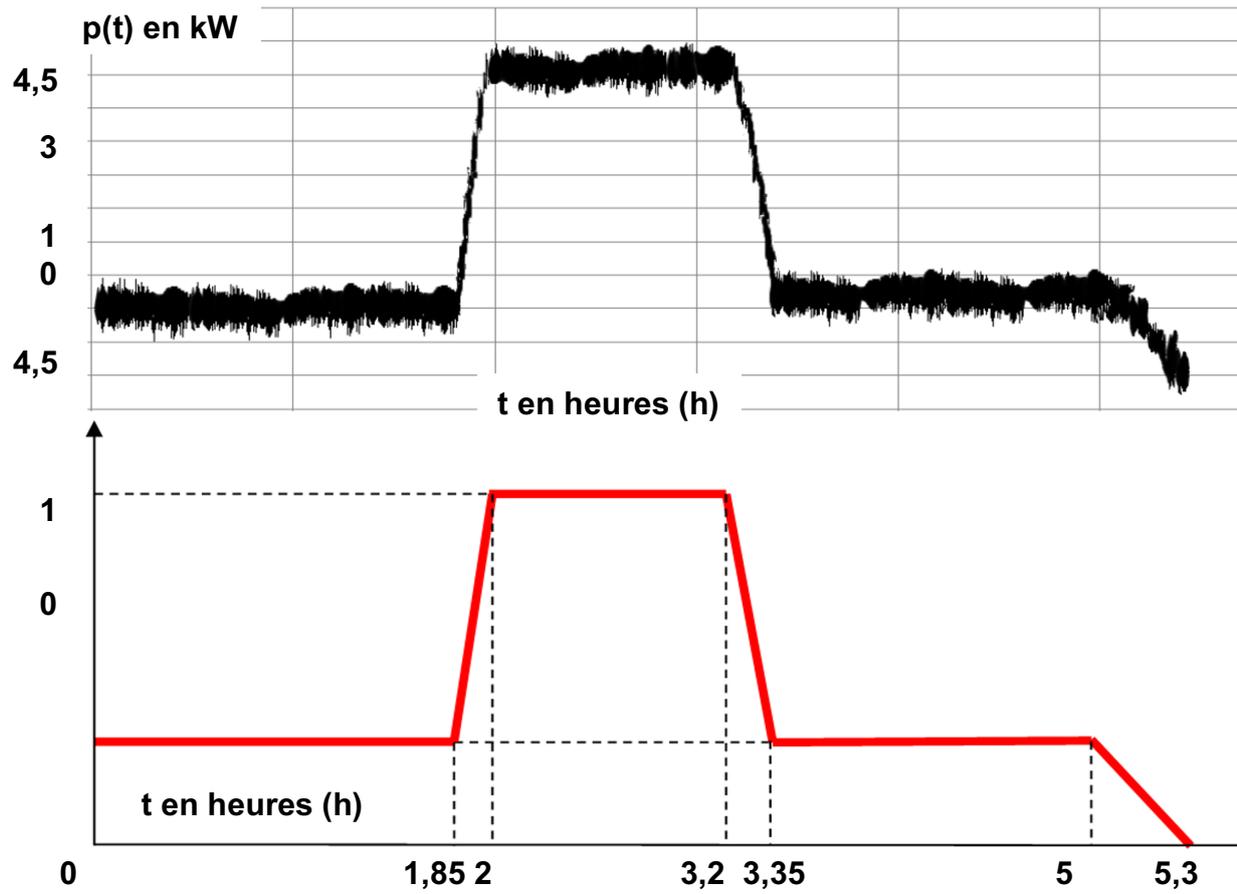


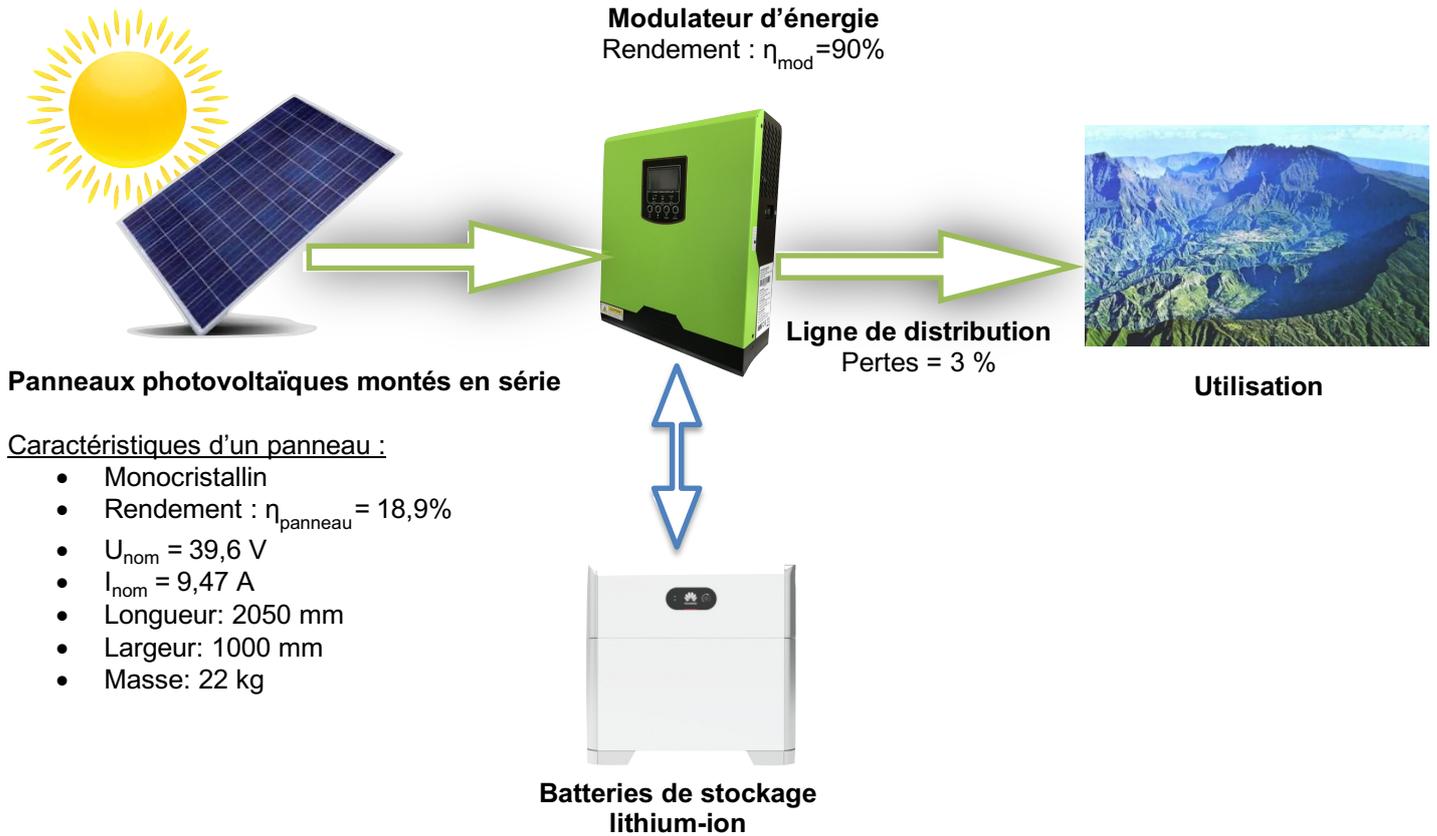
Figure B3 : Évolution de la puissance absorbée par un foyer au cours du temps

Document technique DTA1

Appareils	Puissance de l'appareil (W)	Période d'utilisation	Fréquence d'utilisation	Consommation moyenne annuelle (kWh)
Réfrigérateur	40 W	365 jours	En continu	350 kWh
Congélateur	130 W à 190 W	365 jours	En continu	1 402 kWh
Lave-vaisselle	1 200 W	48 semaines	5 fois par semaine	288 kWh
Four à micro-ondes	1 300 W	365 jours	5mn par jour	40 kWh
Four	2 000 W	365 jours	30mn par jour	365 kWh
Gaufrier	800 W à 1 200 W	15 jours	1h par jour	15 kWh
Aspirateur	1 500 W	52 semaines	2h par semaine	156 kWh
Chargeur de smartphone	5 W	365 jours	1h par jour	2 kWh
Ordinateur de bureau	90 W	365 jours	24h par jour	790 kWh
Ordinateur portable	30 W	365 jours	2h par jour	22 kWh
Téléviseur LCD	100 W	365 jours	3h par jour	110 kWh
Lave-linge	2 200 W	48 semaines	4 fois par semaine	422 kWh
Sèche-linge	2 500 W	32 semaines	2 fois par semaine	160 kWh
Fer à repasser	750 W	48 semaines	5h par semaine	180 kWh
Ampoule à incandescence	60 W	365 jours	5h par jour	110 kWh
Ampoule à basse consommation	12 W	365 jours	5h par jour	22 kWh
Autocuiseur	700 W	365 jours	1h par jour	255 kWh

Source : <https://www.lelynx.fr/energie/comparateur-electricite/consommation-electrique/appareils/>

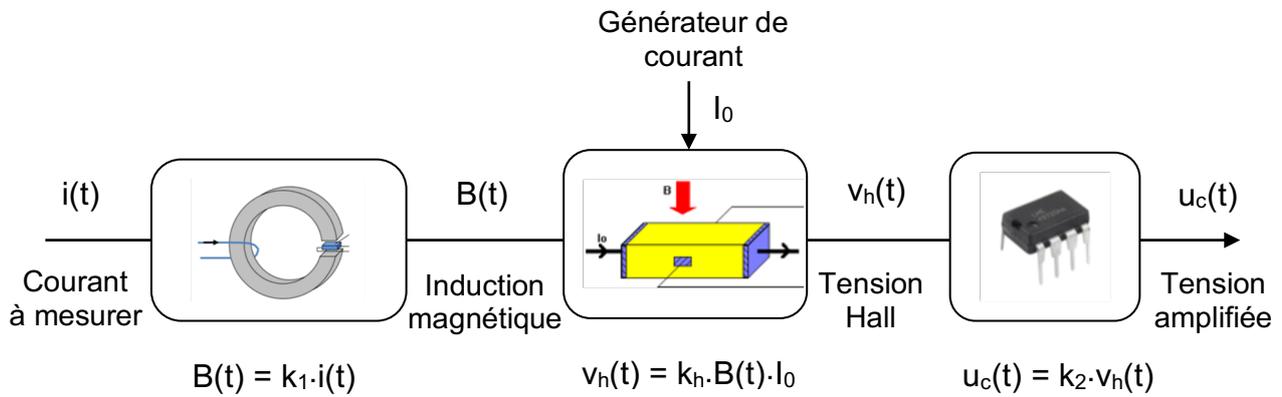
Document technique DTA2



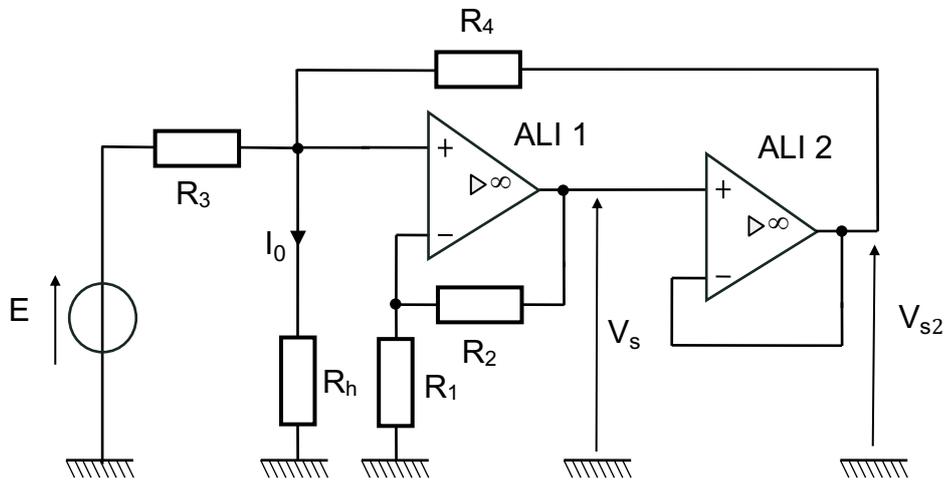
Document technique DTA3

Section normalisée en mm ²	Densité de courant admise pour marche en continue en A/mm ²	Charge totale en A
1	10	10
1.5	10	15
2.5	10	25
4	10	40
6	6	36
10	6	60
16	6	96
25	4	100
35	4	140
50	4	200
70	3	210
95	3	285

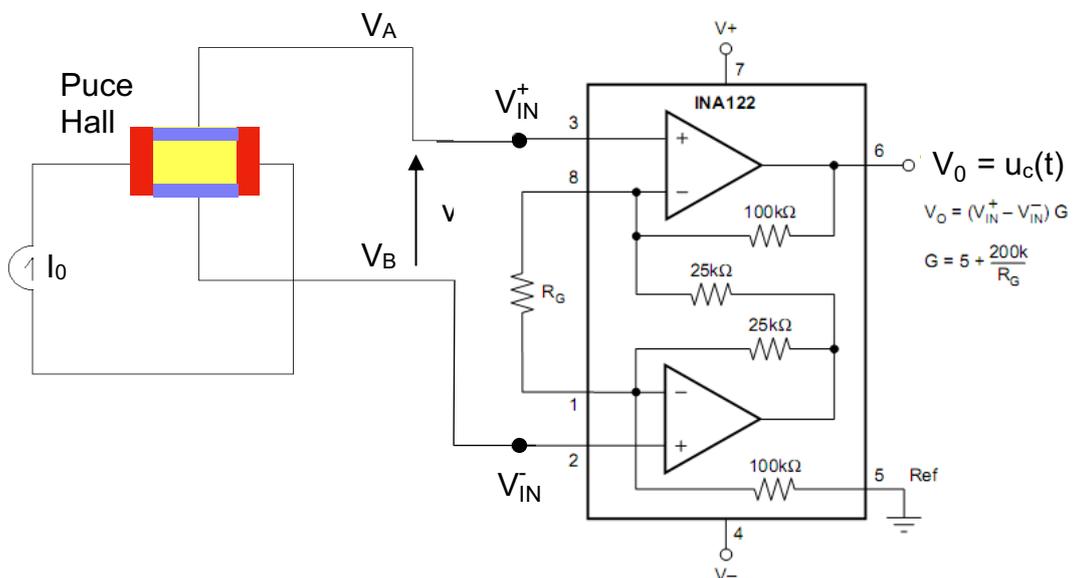
Document technique DTB1



Document technique DTB2



Document technique DTB3

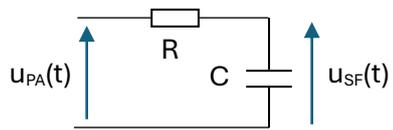


Document technique DTB4

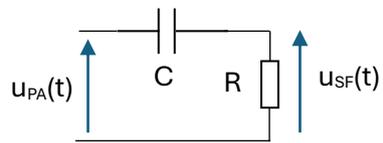
Signal d'entrée du filtre : $u_{PA}(t)$

Signal de sortie du filtre : $u_{SF}(t)$

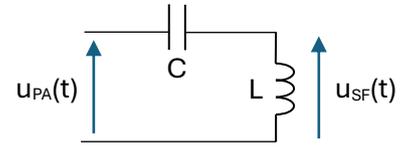
Montage 1



Montage 2



Montage 3

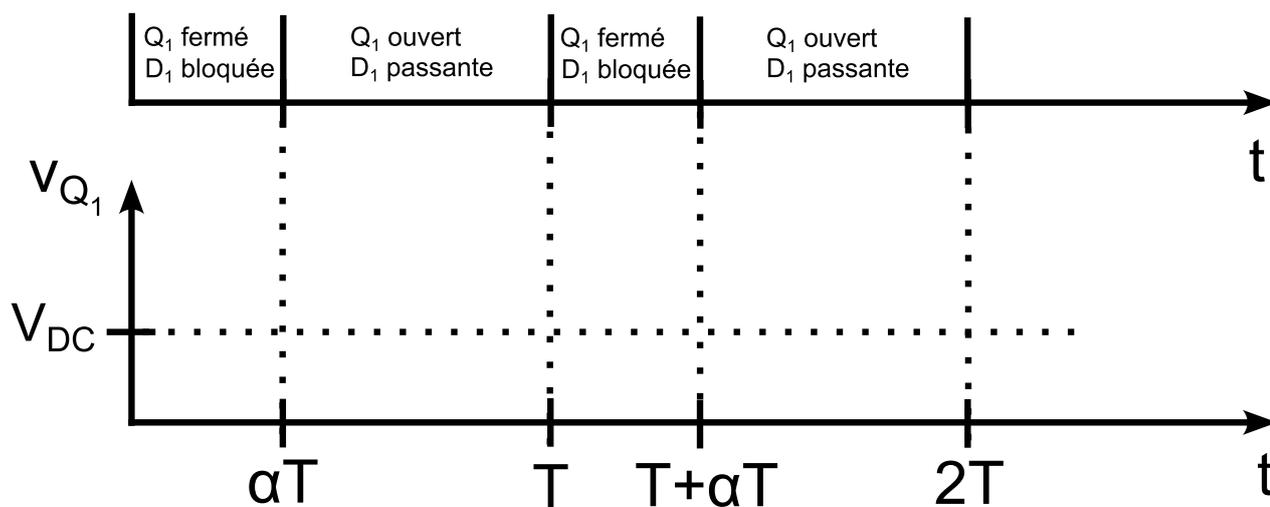


DOCUMENT RÉPONSE DRA1 (Question A1)

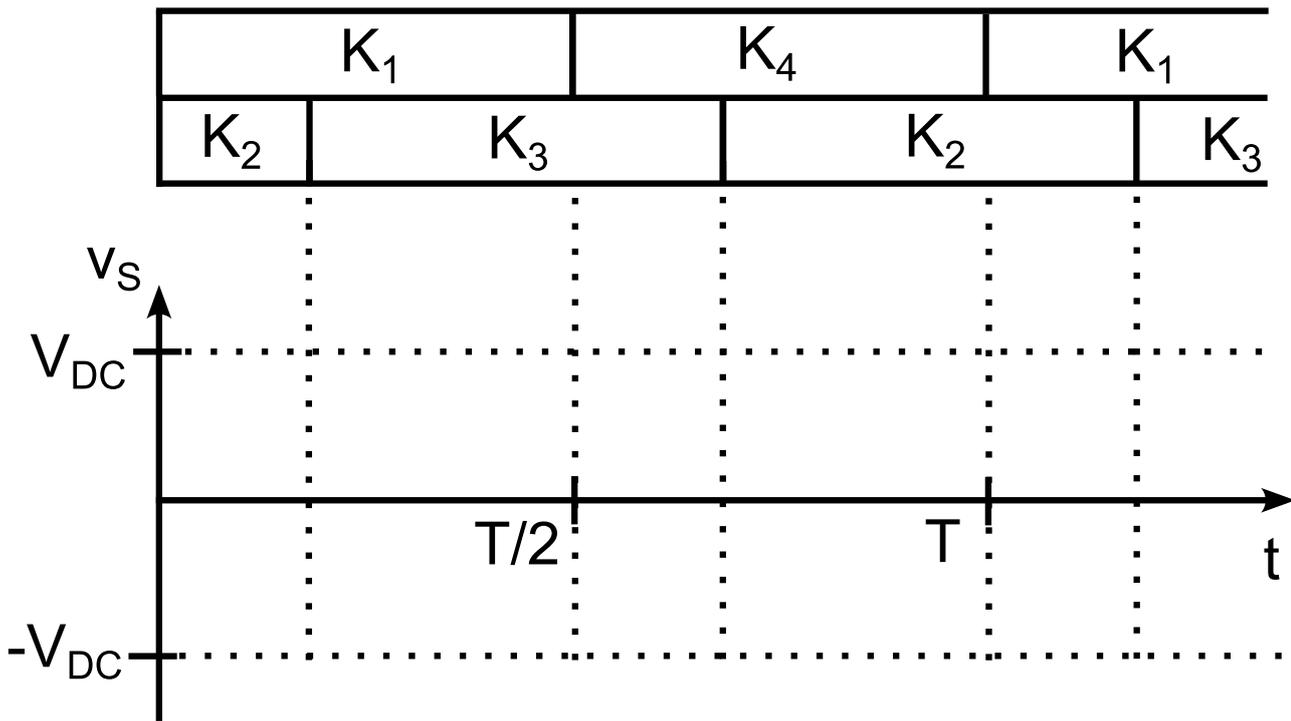
Synthèse de la consommation annuelle d'un foyer

Appareils	Nombre	Consommation totale annuelle (kWh)
Réfrigérateur	1	350
Congélateur	1	
Four micro-onde	1	40
Charge de smartphone	4	
Ordinateur de bureau	1	
Téléviseur LCD	1	
Lave-linge	1	
Fer à repasser	1	180
Ampoule basse consommation	10	
Autocuiseur	1	255
Consommation totale d'un foyer		

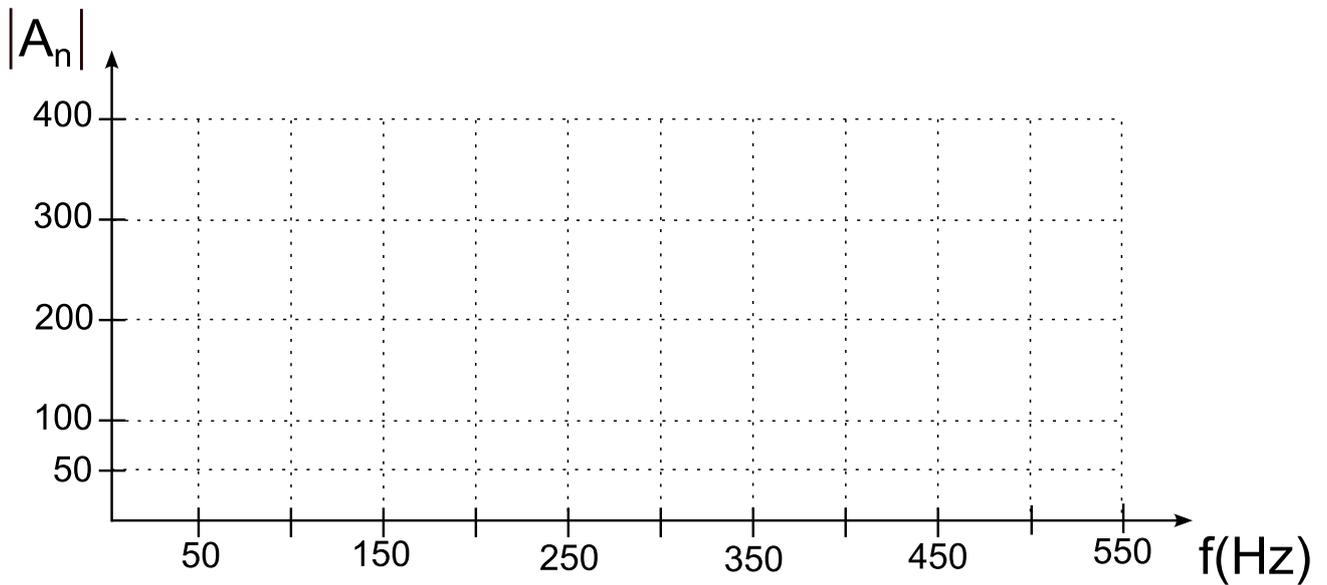
DOCUMENT RÉPONSE DRA2 (Question A8)



DOCUMENT RÉPONSE DRA3 (Question A15)



DOCUMENT RÉPONSE DRA4 (Question A17-A18)



DOCUMENT RÉPONSE DRB1 (Question B18)

```
# Définitions des paramètres et constantes de l'équation de récurrence
Tau = 0.32           # Constante de temps du filtre (s)
fe = 500            # Fréquence d'échantillonnage (Hz)
a0 =                # Coefficient à définir
b0 =                # Coefficient à définir

# Equation de récurrence générale
# e désigne la liste des échantillons d'entrée, N le nombre d'échantillons

def filtre (e,b0,b1,N):
    Usn=[]          # Création d'une liste vide
    Usn.append(0)
    for k in range(1,N):
        Usn_k=     # Définition de Usn_k (=Usn[k])
        Usn.append(Usn_k) # Ajout de Usn_k à la liste
    return s
```

DOCUMENT RÉPONSE DRB2 (Question B19)

```
def energie(P,t):
    E=0
    for i in range( ) :
        pas=
        E=
    return(E)
```

2) Attendus de l'épreuve (éléments de corrigé)

Conseils aux candidats

Il est demandé aux candidats :

- de rédiger les réponses aux différents exercices sur des feuilles de copie séparées et clairement repérées ;
- de numéroter chaque feuille de copie et indiquer le numéro de la question traitée ;
- de rendre tous les documents réponses, même non complétés ;
- d'utiliser exclusivement les notations indiquées dans le sujet lors de la rédaction des réponses ;
- de justifier clairement les réponses ;
- d'encadrer ou souligner les résultats ;
- de présenter lisiblement les applications numériques, sans omettre les unités, après avoir explicité les expressions littérales des calculs ;
- de formuler les hypothèses nécessaires à la résolution des problèmes posés si celles-ci ne sont pas indiquées dans le sujet.

Question A1

Synthèse de la consommation annuelle d'un foyer		
Appareils	Nombre	Consommation totale annuelle (kWh)
Réfrigérateur	1	350
Congélateur	1	1402
Four micro-onde	1	40
Charge de smartphone	4	8
Ordinateur de bureau	1	790
Téléviseur LCD	1	110
Lave-linge	1	422
Fer à repasser	1	180
Ampoule basse consommation	10	220
Autocuiseur	1	255
Consommation totale d'un foyer		3777

Question A2

$$E_{\text{site}} = 310 \times 3777 + 13 \times 6829$$

$$E_{\text{site}} = 1259647 \text{ kWh}$$

Question A3

En utilisant le document technique, on détermine l'énergie surfacique récupérable par les panneaux :

$$E_{\text{récup}} = E_{\text{sol}} \times \eta_{\text{panneau}} \times \eta_{\text{mod}} \times \eta_{\text{ligne}}$$
$$E_{\text{récup}} = 1447 \times 0,189 \times 0,9 \times 0,97 \approx 239 \text{ kWh.m}^{-2}$$

Pour récupérer toute l'énergie nécessaire au site il faut donc une surface de panneau solaires :

$$S_{\text{pan}} = \frac{E_{\text{site}}}{E_{\text{récup}}} = \frac{1259647}{239} \Rightarrow \boxed{S_{\text{pan}} \approx 5276 \text{ m}^2}$$

Question A4

On dénombre 310+13 = 323 bâtiments sur le site. Répartis de manière équitable cela représente donc :

$$S_{\text{panneau par bâtiment}} = \frac{5276}{323} \approx 16,33 \text{ m}^2$$

Le plus petit toit mesurant $S_{\text{toit}} = 20 \text{ m}^2 > S_{\text{panneau par bâtiment}} \approx 16,33 \text{ m}^2$ cette solution est envisageable.

D'après la documentation technique, la surface d'un panneau est de :

$$S_{1 \text{ panneau}} = 2,05 \times 1 = 2,05 \text{ m}^2$$

Pour couvrir cette surface, on calcule :

$$N = \frac{S_{\text{panneau par bâtiment}}}{S_{1 \text{ panneau}}} \approx 7,97$$

Il faut placer 8 panneaux sur chaque toit.

Question A5

La tension nominale et la puissance nominale d'un panneau sont respectivement :

$$\begin{aligned} U_{\text{nom}} &= 39,6 \text{ V} \\ P_{\text{nom}} &= 375 \text{ W} \end{aligned}$$

Si on place 8 panneaux en série, alors :

$$\begin{aligned} U_{\text{mc}} &= 8 \times U_{\text{nom}} = 8 \times 39,6 & \Rightarrow & \boxed{U_{\text{mc}} = 316,8 \text{ V}} \\ P_{\text{mc}} &= 8 \times U_{\text{nom}} \times I_{\text{nom}} = 8 \times 39,6 \times 9,47 & \Rightarrow & \boxed{P_{\text{mc}} = 3 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Question A6

Possédant deux conducteurs (aller+retour), le câble entier présente une résistance $R_{\text{câble}} = \frac{\rho \times 2L}{S}$.

La chute de tension relative s'écrit donc :

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\%} &= \frac{U_{\text{nc}} - U_{\text{j}}}{U_{\text{nc}}} = \frac{R_{\text{câble}} \cdot I_{\text{z}}}{U_{\text{nc}}} \\ R_{\text{câble}} &= \frac{\varepsilon_{\%} U_{\text{nc}}}{I_{\text{z}}} = \frac{\rho \times 2L}{S} \end{aligned}$$

Et ainsi :

$$S = \frac{\rho \times 2L \times I_Z}{\epsilon_{\%} U_{nc}}$$

Question A7

On fait l'application numérique :

$$S = \frac{0,017 \times 2 \times 300 \times 12}{0,03 \times 316,8} = 12,88 \text{ mm}^2$$

En utilisant le document technique, on choisit la valeur immédiatement supérieure à cette valeur soit :

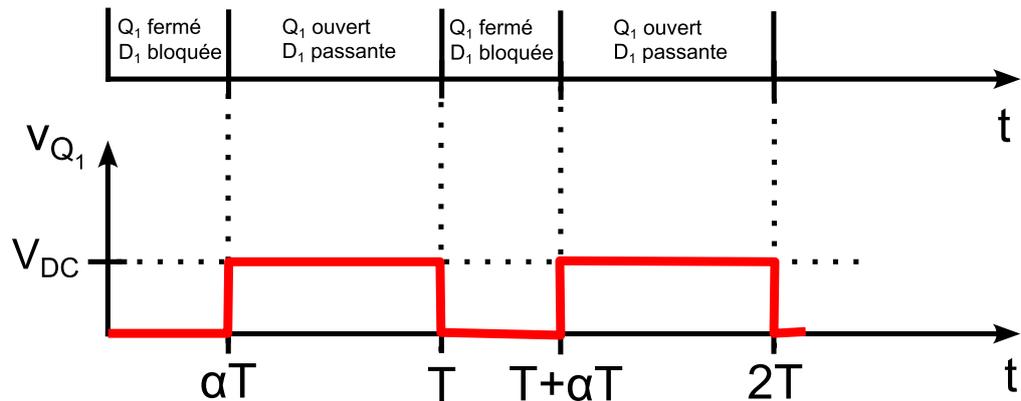
$$S_{\text{conducteur}} = 16 \text{ mm}^2$$

Question A8

Entre 0 et αT , l'interrupteur Q_1 est fermé. Étant parfait, il se comporte comme un fil et $v_{Q_1} = 0$.

Entre αT et T , la diode est passante donc la tension à ses bornes est nulle (diode supposée parfaite). La loi des mailles appliquée dans la maille comprenant Q_1 , D_1 et R_1 donne directement $v_{Q_1} = V_{DC}$.

On peut ainsi compléter le document réponse :



Question A9

$$\overline{v_{Q_1}} = \frac{1}{T} \int_0^T v_{Q_1}(t) dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T V_{DC} dt = \frac{V_{DC}}{T} [t]_{\alpha T}^T$$

$$\overline{v_{Q_1}} = V_{DC}(1-\alpha)$$

Question A10

Indépendamment de l'intervalle de temps, la loi des mailles donne :

$$E_{\text{batt}} = v_{L_1} + v_{Q_1}$$

En passant à la valeur Moyenne, on a :

$$\overline{E_{\text{batt}}} = \overline{v_{L_1}(t)} + \overline{v_{Q_1}}$$

$$\underbrace{E_{\text{batt}}}_{\text{car } E_{\text{batt}}=\text{cst}} = \underbrace{v_{L_1}(t)}_{=0} + \overline{v_{Q_1}}$$

D'où :

$$E_{\text{batt}} = \overline{v_{Q_1}}$$

Question A11 En égalisant les deux valeurs de $\overline{v_{Q_1}}$, il vient :

$$E_{\text{batt}} = V_{\text{DC}}(1-\alpha)$$

On en déduit alors :

$$\alpha = 1 - \frac{E_{\text{batt}}}{V_{\text{DC}}} = 1 - \frac{48}{300}$$

$$\alpha = 0,84$$

Question A12 Entre 0 et αT uniquement, on a :

$$E_{\text{batt}} = v_{L_1}(t)$$

Donc en utilisant la relation entre courant et tension dans une inductance :

$$E_{\text{batt}} = L_1 \frac{di_{L_1}(t)}{dt}$$

Question A13 Cette relation peut encore se réécrire :

$$di_{L_1}(t) = \frac{E_{\text{batt}}}{L_1} dt$$

On intègre entre l'instant initial et un instant quelconque t :

$$\int_{i_{\text{min}}}^{i_{L_1}(t)} di_{L_1}(t) = \int_0^t \frac{E_{\text{batt}}}{L_1} du$$

$$i_{L_1}(t) - i_{\text{min}} = \frac{E_{\text{batt}}}{L_1} [u]_0^t = \frac{E_{\text{batt}}}{L_1} t$$

Finalement :

$$i_{L_1}(t) = \frac{E_{\text{batt}}}{L_1} t + i_{\text{min}}$$

Question A17 | On commence par calculer :

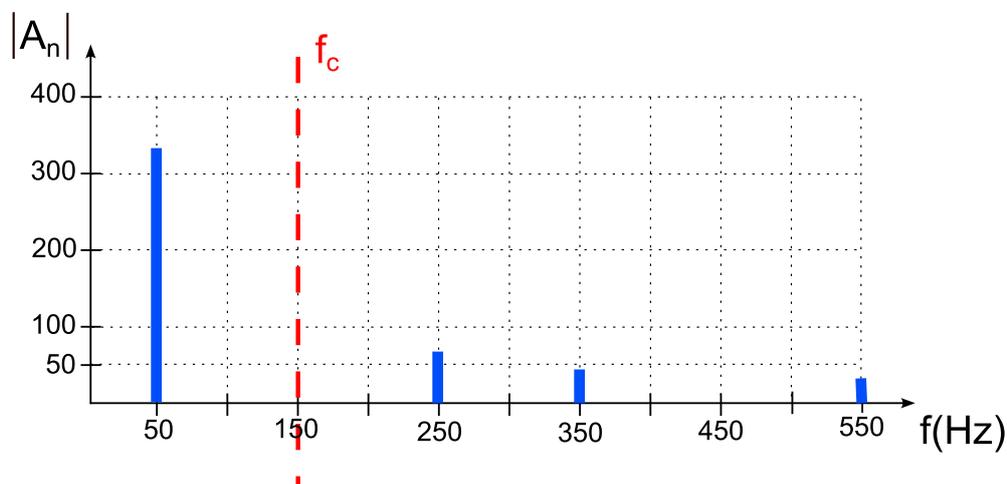
$$A_1 = \left| \frac{4V_{DC}}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) \right| = 331 \text{ V}$$

$$A_5 = \left| \frac{4V_{DC}}{5\pi} \cos\left(\frac{5\pi}{6}\right) \right| = 66 \text{ V}$$

$$A_7 = \left| \frac{4V_{DC}}{7\pi} \cos\left(\frac{7\pi}{6}\right) \right| = 47 \text{ V}$$

$$A_{11} = \left| \frac{4V_{DC}}{11\pi} \cos\left(\frac{11\pi}{6}\right) \right| = 30 \text{ V}$$

On complète alors le document réponse :



Question A18 | Pour garder le fondamental et éliminer les harmoniques plus hautes fréquences, il faut utiliser un filtre passe-bas (passe-bande à la limite s'il fallait se débarrasser d'une composante continue).

Il faut imposer une fréquence de coupure située entre la fréquence fondamentale $f=50$ Hz et l'harmonique de rang 5 de fréquence $f_5=250$ Hz. On peut choisir comme sur le graphique présenté à la question précédente $f_c=150$ Hz par exemple.

Question A19 | On calcule :

$$A_{1_{\text{hab}}} = A_1 \left| \underline{H_2(j\omega)} \right|_{\omega=2\pi \times 50} = \frac{A_1}{\sqrt{(1-4\pi^2 L_2 C_2 f^2)^2 + \left(2\pi \frac{L_2}{R_2} f\right)^2}}$$

$$A_{1_{\text{hab}}} = \frac{331}{\sqrt{(1-4\pi^2 \times 60 \cdot 10^{-3} \times 220 \cdot 10^{-6} \times 50^2)^2 + \left(2\pi \frac{60 \cdot 10^{-3}}{20} 50\right)^2}}$$

$$A_{1_{\text{hab}}} = 334,4 \text{ V}$$

$$A_{5_{\text{hab}}} = A_5 \left| \underline{H_2(j\omega)} \right|_{\omega=2\pi \times 250} = \frac{A_5}{\sqrt{(1-4\pi^2 L_2 C_2 f^2)^2 + \left(2\pi \frac{L_2}{R_2} f\right)^2}}$$

$$A_{5_{\text{hab}}} = \frac{66}{\sqrt{(1-4\pi^2 \times 60 \cdot 10^{-3} \times 220 \cdot 10^{-6} \times 250^2)^2 + \left(2\pi \frac{60 \cdot 10^{-3}}{20} 250\right)^2}}$$

$$A_{5_{\text{hab}}} = 2,1 \text{ V}$$

Au final :

$$\frac{A_{5_{\text{hab}}}}{A_{1_{\text{hab}}}} = \frac{2,1}{334,4} \approx 6,28 \cdot 10^{-3} < 0,01$$

L'harmonique le plus gênant est plus de 100 fois inférieur au fondamental. Les autres seront encore plus atténués.

Question A20

Vu le résultat de la question précédente, on peut considérer la tension $v_{\text{hab}}(t)$ comme sinusoïdale et réduite à son terme fondamental.

La valeur efficace de cette tension est donc :

$$V_{\text{hab,eff}} = \frac{A_{1_{\text{hab}}}}{\sqrt{2}} \approx \frac{334,4}{\sqrt{2}} = 236,45 \text{ V}$$

On a bien : $220 < V_{\text{hab,eff}} < 240$, le critère est satisfait.

Question B1

En exploitant le document technique DTB1, on a : $u_c(t) = k_2 \cdot k_h \cdot k_1 \cdot I_0 \cdot i(t)$.

Si on maintient k_h et I_0 constants $u_c(t)$ est alors proportionnel à $i(t)$.

Remarques : k_h , dépendant de constante Hall et de la géométrie de la 'puce' est nécessairement constant et I_0 provenant d'un générateur de courant est par définition constant.

Question B2

Il y a une rétroaction sur ce montage ALI2 (liant entre l'entrée – et la sortie) ce qui justifie un fonctionnement en régime linéaire. Dans ces conditions, entre $V_{s2} = V_s$ (montage suiveur).

Question B3

D'après la relation du pont diviseur appliquée sur l'entrée - :

$$V_- = V_s \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

En appliquant le théorème de Millman en V_+ (ou une loi des noeuds) :

$$V_+ = \frac{\frac{E + V_s}{R_3} + \frac{V_s}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_h} + \frac{1}{R_4}} \text{ soit } V_+ = R_h \cdot \frac{E \cdot R_4 + V_s \cdot R_3}{R_4 \cdot R_h + R_4 \cdot R_3 + R_h \cdot R_3} \quad (2)$$

Question B4

On extrait V_s depuis l'équation (1) et on utilise les propriétés de l'ALI :

$$V_+ = V_- = V_s \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \text{ soit } V_s = V_+ \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

On réinjecte cette expression dans (2) : $V_+ = R_h \cdot \frac{E \cdot R_4 + V_+ \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot R_3}{R_4 \cdot R_h + R_4 \cdot R_3 + R_h \cdot R_3}$

$$\text{soit } V_+ \cdot (R_4 \cdot R_h + R_4 \cdot R_3 + R_h \cdot R_3) = E \cdot R_4 \cdot R_h + V_+ \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot R_3 \cdot R_h$$

$$\text{D'où : } V_+ = E \cdot \frac{R_4 \cdot R_h}{R_4 \cdot R_h + R_4 \cdot R_3 + R_h \cdot R_3 - \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot R_3 \cdot R_h}$$

Question B5

D'après une loi des mailles : $V_+ = I_0 \cdot R_h$, soit :

$$I_0 = E \cdot \frac{R_4}{R_4 \cdot R_h + R_4 \cdot R_3 + R_h \cdot R_3 - \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot R_3 \cdot R_h}$$

Question B6

Pour que l'expression de I_0 soit indépendante de R_h , il suffit d'éliminer l'ensemble des termes qui contiennent R_h au dénominateur :

$$R_4 \cdot R_h + R_h \cdot R_3 - \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot R_3 \cdot R_h = 0 \text{ soit } R_4 \cdot R_1 + R_1 \cdot R_3 - (R_1 + R_2) \cdot R_3 = 0$$

$$\text{D'où } R_4 \cdot R_1 = R_2 \cdot R_3.$$

On peut choisir par exemple $R_2 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_3 = R_1 = 1 \text{ k}\Omega$.

$$\text{Au final on a : } I_0 = \frac{E}{R_3} = 20 \text{ mA}.$$

Question B7

En exploitant le document technique DTB1 on a : $v_h(t) = k_h \cdot \frac{H_0}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot I_0 \cdot i(t)$.

$$\text{A.N. } v_h(t) = 50 \cdot \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot i(t) = 4,19 \cdot 10^{-4} \cdot i(t). \text{ Soit } K = 4,19 \cdot 10^{-4} \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$$

Question B8

On a $u_c(t) = k_2 \cdot v_h(t) = k_2 \times 4,19 \cdot 10^{-4} \cdot i(t)$.

On en déduit l'expression du gain k_2 :

$$k_2 = \frac{u_c(t)}{4,19 \cdot 10^{-4} \cdot i(t)} = \frac{100}{4,19 \cdot 10^{-4} \cdot 100} \approx 2388.$$

Question B9

La liaison différentielle améliore l'immunité aux bruits : les tensions transientes sur une paire de fils distincts de la masse, de façon différentielle : rejet du mode commun, TRMC, etc...

Question B10

D'après la documentation, on a :

$$u_c(t) = k_2 \cdot v_h(t) = G \cdot v_h(t) \text{ avec } G = 5 + \frac{200 \text{ k}\Omega}{R_G}.$$

On peut donc déterminer R_G : $R_G = \frac{200 \text{ k}\Omega}{G-5} = \frac{200 \text{ k}\Omega}{2388-5} \approx 84 \Omega$.
Résistance de précision associée à un potentiomètre.

Question B11

En sortie du multiplicateur on a :

$$u_{PA}(t) = u_V(t) \cdot u_C(t) = K_C \cdot I \cdot 2 \cdot K_V \cdot E \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t - \phi)$$

En utilisant la relation trigonométrique donnée on obtient :

$$u_{PA}(t) = u_V(t) \cdot u_C(t) = K_C \cdot K_V \cdot E \cdot I \cdot (\cos(\phi) - \cos(2\omega \cdot t - \phi))$$

Soit :

$$u_{PA}(t) = K_C \cdot K_V \cdot E \cdot I \cdot \cos(\phi) - K_C \cdot K_V \cdot E \cdot I \cdot \cos(2\omega \cdot t - \phi)$$

On pose :

$$u_0 = K_C \cdot K_V \cdot E \cdot I \cdot \cos(\phi) \quad \text{et} \quad u_f(t) = -K_C \cdot K_V \cdot E \cdot I \cdot \cos(2\omega \cdot t - \phi)$$

Question B12

Il est nécessaire d'atténuer les hautes fréquences, on choisit donc un filtre passe-bas.

Pour de l'ordre 1, une atténuation de 40db est obtenue pour une fréquence supérieure à deux décades de la fréquence de coupure, notée f_c , que l'on peut donc déduire comme étant égale à 0,5Hz.

Le temps de réponse est égal à 3 fois la constante de temps du filtre qui est l'inverse de la pulsation de coupure soit $t_{R5\%} = \frac{3}{2\pi \cdot 0,5} = 0,95s$, valeur inférieure à l'exigence.

Question B13

On choisit le montage 1.

Montage 1 : pour les basses fréquences le condensateur se comporte comme une impédance infinie, la tension en sortie du filtre est égale à la tension d'entrée. Pour les hautes fréquences le condensateur se comporte comme une impédance nulle, la tension en sortie du filtre est nulle. C'est un filtre passe-bas.

Montage 2 : pour les basses fréquences le condensateur se comporte comme une impédance infinie, la tension en sortie du filtre est nulle. Pour les hautes fréquences le condensateur se comporte comme une impédance nulle, la tension en sortie du filtre est égale à la tension d'entrée. C'est un filtre passe-haut.

Montage 3 : idem montage 2 (ordre 2).

Question B14

Le montage ALI (suiveur de tension) permet d'assurer une adaptation d'impédance vis-à-vis du montage en aval. Le comportement du 'pont diviseur' de l'ensemble R/C est assuré par une entrée + de l'ALI qui n'absorbe aucun courant (impédance infinie).

La pulsation de coupure est donnée par : $\omega_c = \frac{1}{RC} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^3} = 0,5 \text{ rd/s}$.

L'atténuation apportée par ce filtre à deux décades de ω_c est de 40dB (filtre d'ordre 1).

Question B15 | Le temps de réponse est égal à 3 fois la constante de temps du filtre qui est l'inverse de la pulsation de coupure soit $t_{R5\%} = \frac{3}{2\pi \cdot 0,5} = 0,95s$. Le cahier des charges est totalement respecté (rapidité et atténuation).

Question B16 | Valeur minimale : $\omega_n = 100 \cdot \omega_c = \frac{100}{RC} = \frac{100}{22 \cdot 10^{-6} \cdot 110 \cdot 10^3} = 41,32 \text{ rd/s}$
 Valeur maximale : $\omega_n = 100 \cdot \omega_c = \frac{100}{RC} = \frac{100}{18 \cdot 10^{-6} \cdot 90 \cdot 10^3} = 61,72 \text{ rd/s}$

L'incertitude sur les composants ne permet pas d'obtenir l'atténuation fixée par le cahier des charges. Il en est de même pour le temps de réponse.

Question B17 | Pour $t = kT_e$, l'équation précédente devient :

$$u_{PA(n)} = \tau \cdot \frac{u_{SF(n)} - u_{SF(n-1)}}{T_E} + u_{SF(n)}$$

On en déduit l'expression finale suivante :

$$u_{SF(n)} = u_{SF(n-1)} \cdot \frac{\tau}{T_E + \tau} + u_{PA(n)} \cdot \frac{T_E}{T_E + \tau}$$

Par identification :

$$b_0 = \frac{\tau}{T_E + \tau} ; a_0 = \frac{T_E}{T_E + \tau} ;$$

Question B18 | Programme complété

Définitions des paramètres et constantes de l'équation de récurrence

Tau = 0.32 # Constante de temps du filtre (s)
 fe = 500 # Fréquence d'échantillonnage (Hz)
 a0 = (1/fe)/(1/fe+Tau) # Coefficient à définir
 b0 = Tau/(1/fe+Tau) # Coefficient à définir

Equation de récurrence générale

e désigne la liste des échantillons d'entrée, N le nombre d'échantillons

```
def filtre (e,b0,b1,N):
    Usn=[] # Création d'une liste vide
    Usn.append(0)
    for k in range(1,N):
        Usn_k=b0*Usn[k-1]+a0*e[k] # Définition de Usn_k (=Usn[k])
        Usn.append(Usn_k) # Ajout de Usn_k à la liste
    return s
```

Question B19 | Programme complété

```
def energie(P,t):
    E=0
    for i in range(1,len(P)) :
        pas=t[i]-t[i-1]
        E=E+P[i]*pas
    return(E)
```

Question B20

On effectue un calcul d'aire sous la courbe :

$$E = 5 \times 1 + \frac{3,5}{2} \times 0,15 + 3,5 \times 1,2 + \frac{3,5}{2} \times 0,15 + \frac{1}{2} \times 0,3 = 9,875 \text{ kWh}$$

Le résultat est cohérent par rapport à la valeur obtenue à l'aide de l'algorithme. L'énergie-mètre répond au besoin de mesurer l'énergie consommée par un foyer.

3) Extrait de l'arrêté du 17 avril 2025

Extrait de l'annexe de l'arrêté du 17 avril 2025 fixant les modalités d'organisation du concours externe du certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré, publié au Journal Officiel du 19 avril 2025

A. - Epreuves d'admissibilité

2° Seconde épreuve d'admissibilité.

L'épreuve consiste en une résolution de problème.

L'épreuve vise à apprécier la capacité du candidat, à partir de l'exploitation de ressources et documents techniques, à résoudre un problème technique posé et à établir des éléments de conception préliminaire.

Durée : quatre heures.

Coefficient 2.

L'épreuve est notée sur 20. Une note globale égale ou inférieure à 5 est éliminatoire.