

SESSION 2024

**AGREGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE ÉLECTRIQUE**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE
ORGANISATION**

Durée : 4 heures

Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1415A	102	7048

► **Concours interne du CAER / Agrégation de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1415A	102	7048

Définition de l'épreuve

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de conduire une analyse critique de solutions technologiques et de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système ou d'un processus lié à la spécialité et définir des solutions technologiques.

Conseils aux candidats

Il est demandé aux candidats :

- de rédiger les réponses aux différentes parties 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.

Étude proposée

Le support d'étude s'inspire du bus Hycity[®], de la société Safra, présenté en page suivante.

L'étude est décomposée en quatre parties indépendantes :

- Partie A : Comment répondre aux besoins énergétiques du bus ?
- Partie B : Comment permettre les différentes mobilités du bus ?
- Partie C : Comment assurer une température de fonctionnement idéale pour la pile à combustible ?
- Partie D : Comment faciliter l'accès des bus aux usagers occasionnels ?

Ce sujet se décompose de la façon suivante :

- texte du sujet, pages 2 à 26 ;
- documents techniques DT1 à DT13, pages 27 à 38 ;
- documents réponses DR1 à DR13, pages 39 à 49, à rendre avec la copie.

BUS HYDROGÈNE HYCITY®

Présentation

Hycity® est un autobus à hydrogène fabriqué par la société Safra, qui va prendre la suite du Businova®, un véhicule de transport urbain à haut niveau de performances techniques, économiques et écologiques.

Dans cet autobus, présenté figure 1, toute la chaîne de propulsion a été revue avec un essieu électrifié ZF AVE 130 constitué de deux moteurs électriques ZF 125 kW, implantés directement sur l'essieu arrière. Ces moteurs assurent la propulsion, avec une plus forte puissance de freinage régénératif.

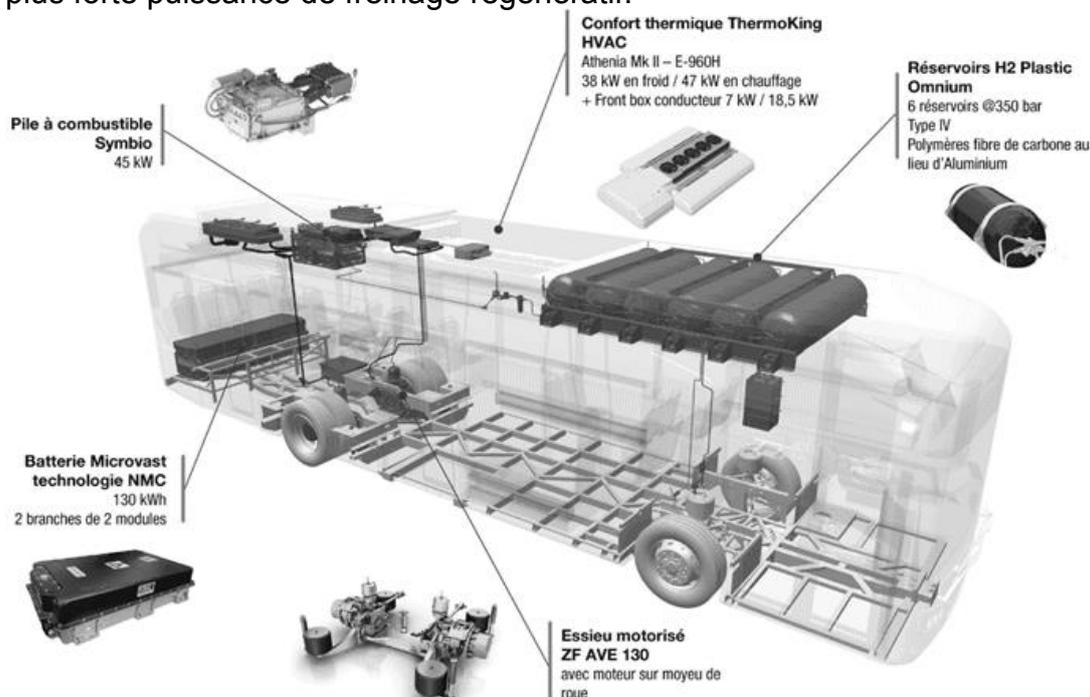


Figure 1 – Présentation du bus Hycity®

Safra a conservé la capacité énergétique de 130 kW·h pour les batteries, mais s'est affranchi du besoin de les recharger de façon externe. Les batteries ont été dimensionnées pour modérer l'impact environnemental de la construction du bus et pour ne pas avoir à être remplacées plus d'une fois au cours de la durée de vie du Hycity®. Pour la même raison, elles ne sont exploitées que jusqu'à 20 % de décharge. Leur durée de vie est estimée à huit ans.

Le Businova® recevait une pile à combustible 30 kW. Le Hycity® va conserver cette puissance, mais via une limitation par logiciel sur des piles à combustibles (PAC) de 45 kW. Cette puissance est suffisante, et permettra de procéder à des évolutions en cas de besoin.

Le stockage de l'hydrogène est assuré par six réservoirs de 232 litres qui offrent une autonomie minimale annoncée de 350 kilomètres en cycle urbain.

En parallèle, Safra a développé des applications de gestion des usagers : abonnements, édition de tickets voyageurs, compostage etc. Elle les commercialise avec ses bus de façon à se positionner sur le marché avec une offre complète de transport urbain.

Partie A – Comment répondre aux besoins énergétiques du bus ?

A.1 – L'hydrogène comme vecteur de mobilité urbaine

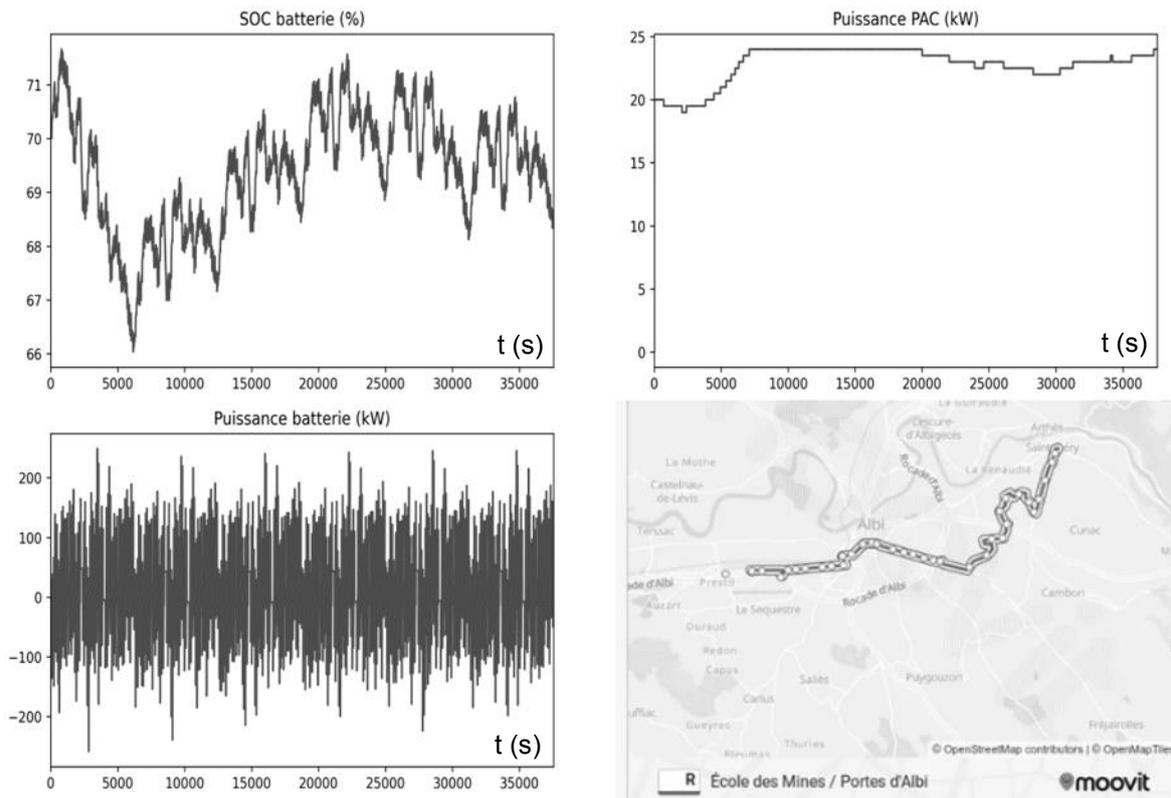
Objectif : valider le dimensionnement des réservoirs.

La pile à combustible (PAC) présente dans le bus est un système qui permet de convertir en électricité l'énergie de l'hydrogène qui est stockée dans des réservoirs composites, implantés sur le toit du bus.

Pour valider le dimensionnement de ces réservoirs d'hydrogène, le constructeur a procédé à une simulation sur un parcours urbain construit à partir d'une ligne de bus de la ville d'Albi.

Le trajet modélise les multiples déplacements journaliers du bus d'une ligne du centre-ville avec des arrêts à différentes stations. La distance totale parcourue est de 200 km.

Les résultats de cette simulation sont présentés à la figure 2. Les évolutions au cours du temps de l'état de charge de la batterie (SOC) et les puissances électriques fournies respectivement par la pile à combustible (PAC) et la batterie y sont représentées.



On désire chiffrer la valeur de l'énergie fournie par la pile à combustible à l'aide d'un programme informatique à partir d'un calcul d'aire de type méthode des rectangles.

Deux tableaux, notés P_{pac} et t , contiennent respectivement les valeurs numériques de la puissance fournie par la PAC (en kW) et des instants échantillonnés (en s) sous la forme : $P_{pac} = [20.00, 19.98, 19.96, \dots etc]$ et $t = [0, 0.5, 1, \dots etc]$.

Les tableaux contiennent N éléments et l'indice initial est 1.

Question 1.

Compléter, sur le document réponse DR1, l'algorithme qui permet d'évaluer l'énergie fournie, en kJ, par la PAC sur ce cycle de fonctionnement à partir de deux paramètres de type tableaux : t contenant les valeurs des instants échantillonnés et P_{pac} contenant les valeurs de la puissance relevée à ces instants, tels que présentés ci-dessus.

L'exécution de ce programme, avec les données issues des relevés présentés à la figure 2, a permis d'évaluer l'énergie fournie par la PAC à 852 MJ.

Question 2.

Estimer la valeur du rendement du système PAC, utilisé à 80 % de sa puissance nominale, à partir des données du document technique DT1. En déduire la masse d'hydrogène nécessaire pour le déplacement du bus étudié, sachant que le pouvoir calorifique de l'hydrogène est de $141\,000\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

La figure 3 donne l'évolution de la densité massique de l'hydrogène en fonction de la pression et de la température de stockage.

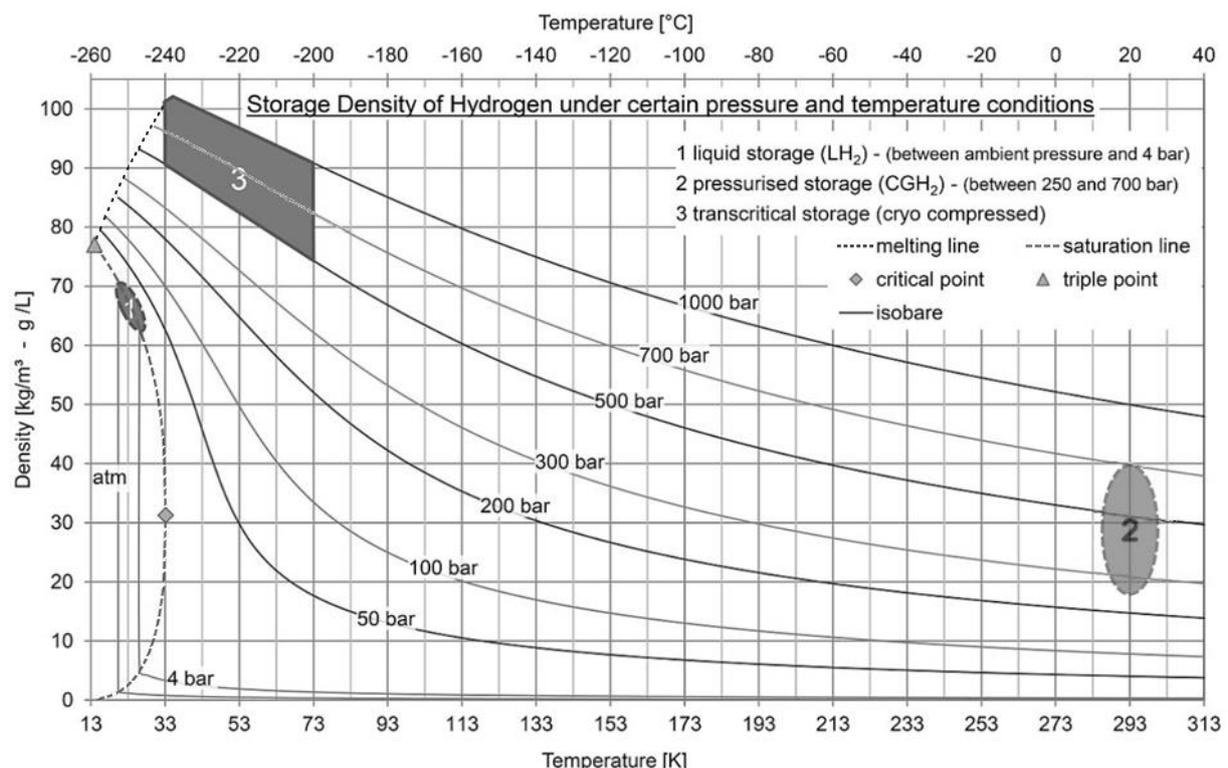


Figure 3 – Densité massique de l'hydrogène en fonction de la pression et de la température de stockage (source : Moritz Kuhn, ILK Dresden)

Question 3.

Évaluer le volume d'hydrogène qui correspond au cycle de fonctionnement du bus pour un stockage à une température de 293 K et une pression de 350 bars. Compte tenu de la capacité de stockage d'hydrogène du bus Hycity présentée à la figure 1, conclure sur l'autonomie obtenue pour ce type de parcours.

A.2 – Étude des différents modes d'échange de l'énergie électrique

Objectif : identifier les modes d'utilisation des constituants suivant les transferts d'énergie.

Le bus étudié dispose de deux sources d'énergie pour assurer sa mobilité : la pile à combustible et la batterie qui n'est utilisée qu'en régime transitoire (accélération, freinage).

La chaîne simplifiée des échanges d'énergie relatifs à la mobilité du bus est présentée sur le document réponse DR2.

Le convertisseur DC/DC inclut le BMS (Battery Management System) de la batterie afin de contrôler le niveau de tension du bus continu.

Question 4.

Compléter le document DR2 en représentant les différents échanges d'énergie correspondants aux deux modes suivants :

- le bus est à l'arrêt, la climatisation est en fonctionnement ;
- le bus est en phase d'accélération (démarrage depuis un feu tricolore).

Question 5.

Compléter le document DR2 en énonçant la situation correspondant au dernier mode d'échange d'énergie représenté.

A.3 – Constitution de la batterie

Objectif : valider le choix de la capacité de stockage de l'énergie.

Sur la figure 2 est représentée l'évolution au cours du temps de l'état de charge de la batterie obtenu par simulation lors d'un parcours du bus. La batterie Microvast, de tension nominale de 600 V, est constituée d'une association de cellule NMC HpCO-53,5 A·h de tension nominale 3,5 V et de capacité 53,5 A·h.

Question 6.

Évaluer les variations de la charge de la batterie à partir de l'analyse de l'évolution du SOC présenté à la figure 2. Expliquer le rôle de la batterie lors du déplacement simulé.

Question 7.

Dessiner un schéma électrique qui représente l'association des cellules élémentaires NMC permettant de réaliser la batterie Microvast (capacité de 130 kW·h, constituée de deux branches de deux modules). Identifier sur ce schéma les modules ainsi qu'une cellule.

En cas de défaillance de la pile à combustible, le constructeur évalue à 22 kW la puissance moyenne que doit délivrer la batterie pour permettre le déplacement du bus à une vitesse moyenne de 40 km·h⁻¹.

Question 8.

Dans ces conditions, déterminer l'autonomie du bus en km pour une décharge de la batterie correspondant à une variation du SOC de 70 % à 20 %. Conclure sur l'intérêt de la présence de la batterie dans cette situation.

Partie B – Comment permettre les différentes mobilités du bus ?

Les mobilités du bus Hycity[®] doivent satisfaire les exigences présentées sur la figure 4.

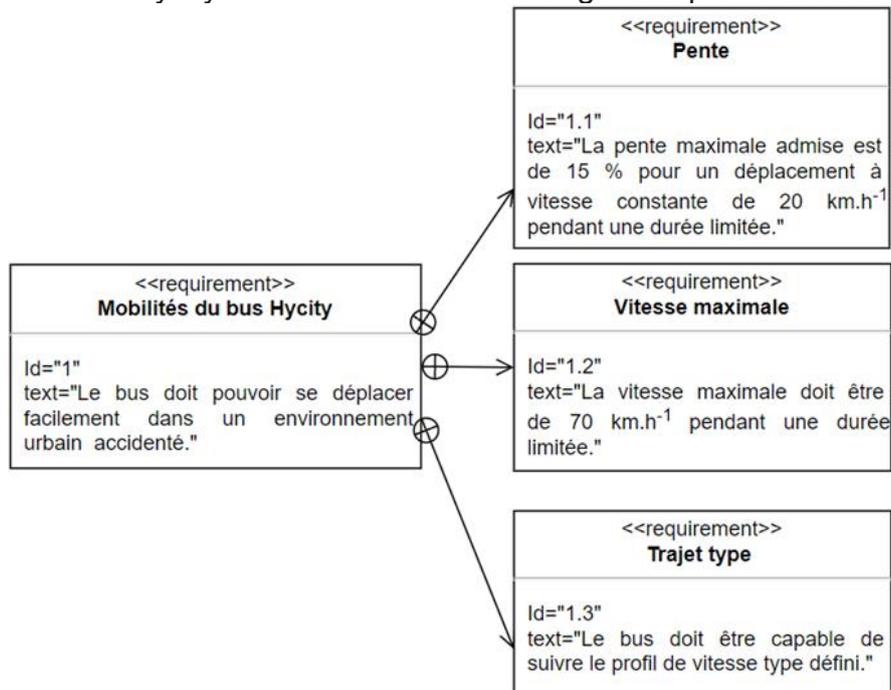


Figure 4 – Exigences fonctionnelles liées aux mobilités du bus Hycity[®]

B.1 – Choix de l'actionneur électrique

Objectif : valider le choix de l'actionneur électrique en fonction des conditions d'utilisations extrêmes du bus.

Dans cette partie, on considère un déplacement du bus lors d'un parcours accidenté, à vitesse constante, conformément à la représentation de la figure 5.

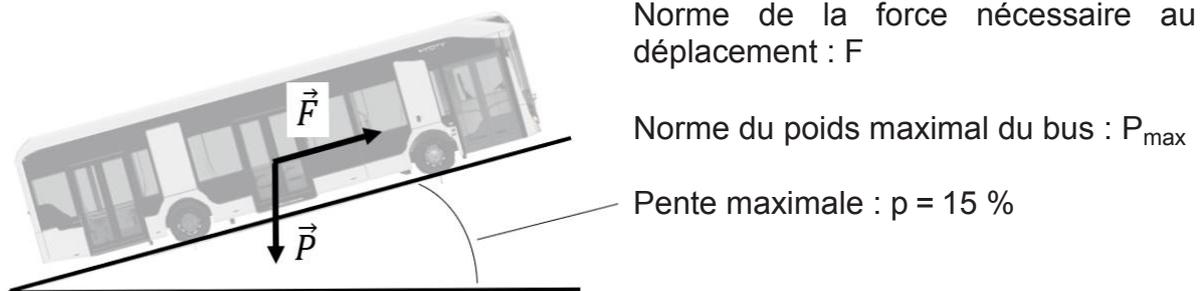


Figure 5 – Représentation simplifiée du bus en déplacement

La puissance mécanique nécessaire au déplacement du bus est fournie par les deux actionneurs électriques de l'essieu électrifié ZF AVE 130 présenté dans le document technique DT2. L'expression de la force nécessaire pour assurer le déplacement du bus, à vitesse constante, est donnée par :

$$F = C_{RR} \cdot M \cdot g + \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot C_x \cdot S_f + M \cdot g \cdot p \quad (\text{Équation 1})$$

Les caractéristiques principales du bus ainsi que les notations utiles pour cette partie sont données ci-dessous.

Notations

M	Masse totale autorisée en charge	21 tonnes
R	Rayon extérieur en charge des pneumatiques	0,44 m
C_{RR}	Coefficient de résistance au roulement	0,01
S_f	Section frontale du véhicule	8,4 m ²
C_x	Coefficient de pénétration dans l'air	0,34
Ω_{roue}	Vitesse angulaire d'une roue	rd·s ⁻¹
Ω_m	Vitesse angulaire de l'actionneur électrique	rd·s ⁻¹
k	Rapport de réduction du réducteur : $k = \frac{\Omega_m}{\Omega_{roue}}$	22,66
η_r	Rendement du réducteur	0,95
v_{max}	Vitesse maximale du véhicule	70 km·h ⁻¹
v	Vitesse du véhicule	m·s ⁻¹
C_{ch}	Couple résistant imposé sur l'arbre d'un des actionneurs électriques	N·m
C_m	Couple développé par un des actionneurs électriques	N·m
J_{eq}	Moment d'inertie équivalent de l'ensemble des pièces en mouvement ramenées sur l'arbre moteur	2,4 kg·m ²
p	Pente de la route	%
g	Accélération de la pesanteur	9,81 m·s ⁻²
ρ	Masse volumique de l'air	1,28 kg·m ⁻³
P_{max}	Puissance mécanique maximale développée par le bus	W

Question 9.

En considérant un déplacement du bus avec sa charge maximale, déterminer les valeurs numériques des forces nécessaires, notées F_v et F_p , correspondant respectivement à une vitesse maximale avec une pente nulle, puis une vitesse de 20 km·h⁻¹ avec une pente maximale. En déduire les puissances mécaniques maximales que doit développer le bus dans ces deux situations. Conclure sur la capacité du moteur à répondre en puissance aux exigences fonctionnelles.

Question 10.

Donner l'expression de la vitesse angulaire des actionneurs en fonction de la vitesse de déplacement du bus. Démontrer que l'expression du couple résistant maximum exercé sur l'arbre moteur en régime établi est donnée par l'expression ci-dessous :

$$C_{chmax} = \frac{P_{max} \cdot R}{2 \cdot \eta_r \cdot v \cdot k} \quad (\text{Équation 2})$$

Le document réponse DR3 représente le tracé type du profil de vitesse lors d'un trajet entre deux stations.

On considère pour toute la suite un couple résistant, C_{ch} , indépendant de la vitesse de déplacement du bus.

L'équation 3 donne l'expression obtenue par l'application du principe fondamental de la dynamique sur l'arbre d'un des deux actionneurs électriques.

$$J_{eq} \cdot \frac{d\Omega_m}{dt} = C_m - C_{ch} \quad (\text{Équation 3})$$

Question 11.

À partir des résultats précédents, déterminer les valeurs numériques de Ω_m et de C_{chmax} pour les deux paliers de vitesse de déplacement du bus imposés par le profil de vitesse (document réponse DR3). À partir de l'application de l'équation 3, compléter le document DR3 avec le tracé des évolutions du couple résistant et du couple moteur en fonction du temps.

Un extrait de la documentation technique des deux actionneurs électriques de l'essieu électrifié ZF AVE 130 est donné sur le document technique DT3.

Question 12.

Déduire des évolutions précédentes, le couple maximal que doit fournir chaque moteur ainsi que le couple thermique équivalent à l'aide du document technique DT4. Conclure.

B.2 – Modélisation de l'actionneur électrique

Objectif : établir le modèle électrique ainsi que la caractéristique mécanique de l'actionneur électrique.

Dans cette partie, on considère un seul des deux actionneurs de l'essieu électrifié mis en œuvre en charge puis à vide.

La machine est un moteur asynchrone (MAS) triphasé à cage, 230 V / 400 V, 700 Hz. Deux essais sous tension et fréquence nominales en fonctionnement moteur ont été réalisés ; ils ont permis d'observer :

- à vide, un courant de ligne $I_0 = 42,5$ A ;
- sous charge nominale, les performances données sur le document DT3.

Dans toute cette partie, on néglige les résistances et inductances de fuites statoriques, ainsi que les pertes mécaniques.

Question 13.

Déterminer le nombre de paires de pôles p_m de cette machine.

Question 14.

À partir de l'essai sous charge nominale, déterminer les valeurs numériques pour :

- le glissement g_n ;
- la puissance absorbée P_{an} ;
- la puissance réactive absorbée Q_n ;
- la puissance électromagnétique (puissance transmise au rotor) P_{em} ;
- les pertes joules rotoriques P_{jn} ;
- les pertes fers statoriques P_{fs} .

La figure 6 présente le modèle équivalent d'une phase de la machine asynchrone et son modèle simplifié.

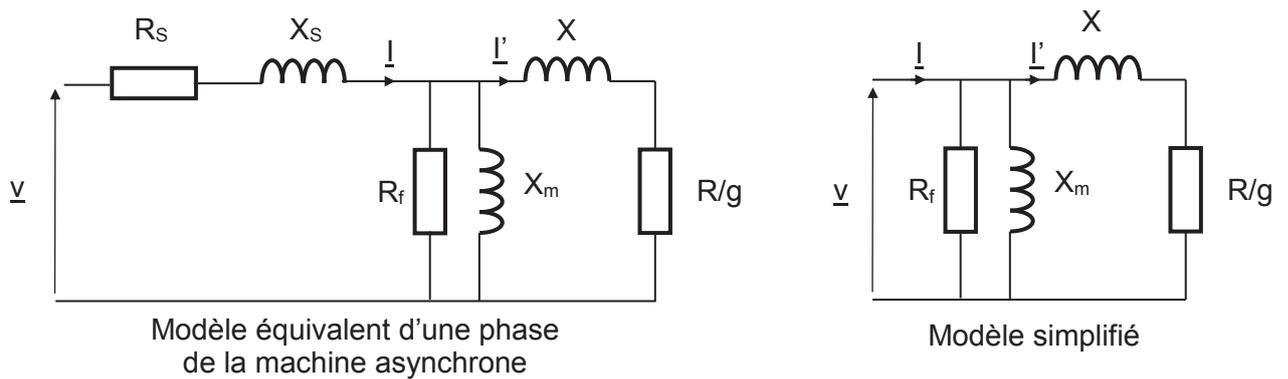


Figure 6 – Modèles équivalents d'une phase de la machine asynchrone

Question 15.

Justifier les modifications proposées par le modèle simplifié présenté à la figure 6.

Question 16.

À partir des données de l'essai à vide, calculer la puissance réactive absorbée Q_0 . En déduire les valeurs numériques de X_m et R_f .

À partir des données de l'essai à vide, et des résultats précédents, calculer les valeurs numériques de R et X .

Indépendamment des résultats obtenus dans les parties précédentes, on retiendra pour la suite de l'étude les valeurs numériques suivantes des éléments du modèle équivalent de l'actionneur :

$$R_f = 20,29 \, \Omega ; X_m = 5,59 \, \Omega ; R = 0,032 \, \Omega ; X = 0,152 \, \Omega$$

L'étude menée à la partie B.1 a conduit à évaluer un couple de démarrage dans des conditions extrêmes à une valeur de 451 N·m.

Question 17.

En calculant la puissance électromagnétique dissipée dans la résistance R/g , démontrer que l'expression du couple utile de la machine, noté C_U s'exprime suivant l'équation 4 donnée ci-dessous.

$$C_U = \frac{3 \cdot p_m \cdot V^2}{2\pi \cdot f} \cdot \frac{R}{\frac{R^2}{g} + g \cdot X^2} \quad (\text{Équation 4})$$

Question 18.

Compléter le document réponse DR4 qui représente l'allure de la caractéristique mécanique de la machine asynchrone, en précisant :

- les valeurs numériques des coordonnées du point correspondant au couple maximum ;
- la valeur numérique du couple de démarrage sous tension et fréquence nominale ;
- les zones de fonctionnement en moteur ou en génératrice.

Question 19.

Discuter la capacité de cette machine asynchrone à démarrer sous tension et fréquence nominales pour les conditions extrêmes de la partie B.1 et proposer une solution, le cas échéant, pour répondre à ce besoin.

B.3 – Variation de vitesse

Objectif : mettre en œuvre une commande pour les variateurs de vitesse associés aux deux actionneurs électriques.

Le moteur, objet de l'étude précédente, est alimenté par un onduleur autonome triphasé.

L'alimentation triphasée délivrée par l'onduleur au moteur présente une valeur efficace de tension simple V , une fréquence f et une pulsation ω . Le moteur sera couplé en étoile. On utilise toujours le modèle simplifié de la figure 6 et on rappelle que $X_m = 5,59 \Omega$, $R = 0,032 \Omega$ et $X = 0,152 \Omega$.

Le document réponse DR5 représente la plaque à bornes de chaque machine asynchrone triphasée utilisée dans l'essieu électrifié. Celle-ci comporte six bornes (U1, V1, W1, U2, V2, W2) auxquelles sont reliées les entrées et les sorties des trois enroulements. Les phases disponibles en sortie de l'onduleur sont notées Ph1, Ph2 et Ph3.

Question 20.

Compléter le câblage du moteur représenté sur le document DR5 afin de réaliser le couplage choisi par le constructeur.

Question 21.

L'onduleur permet à l'utilisateur de régler f tout en conservant le rapport $K_0 = V/f$ constant. Préciser :

- l'intérêt, pour le bus, du réglage de f ;
- l'intérêt, pour le moteur, de garder le rapport V/f constant.

Question 22.

En considérant un rapport V/f constant, tracer les allures du couple utile C_U (couple de démarrage, couple max, vitesse de synchronisme Ω_s) en fonction de la vitesse de rotation du moteur en $\text{tr} \cdot \text{mn}^{-1}$ pour $f = 700 \text{ Hz}$, $f = 500 \text{ Hz}$, $f = 250 \text{ Hz}$ et $0 < \Omega_m < \Omega_s$.

Question 23.

En survitesse (au-delà de $f = 700 \text{ Hz}$), on garde V constant. Le rapport K_0 n'est donc plus constant. Expliquer pourquoi et ce que cela implique pour l'extremum C_{max} . Préciser quelles sont les conséquences de ce fonctionnement pour la machine asynchrone.

Un modèle numérique de l'ensemble onduleur (commande à V/f constant) et machine asynchrone a permis de simuler la variation de vitesse et de couple électromagnétique de la machine asynchrone. Les résultats sont présentés à la figure 7.

Question 24.

Identifier le type de comportement du moteur correspondant à la zone entourée sur les tracés de la figure 7. Conclure sur la capacité de ce type de commande à contrôler parfaitement le moteur et proposer une amélioration de la commande.

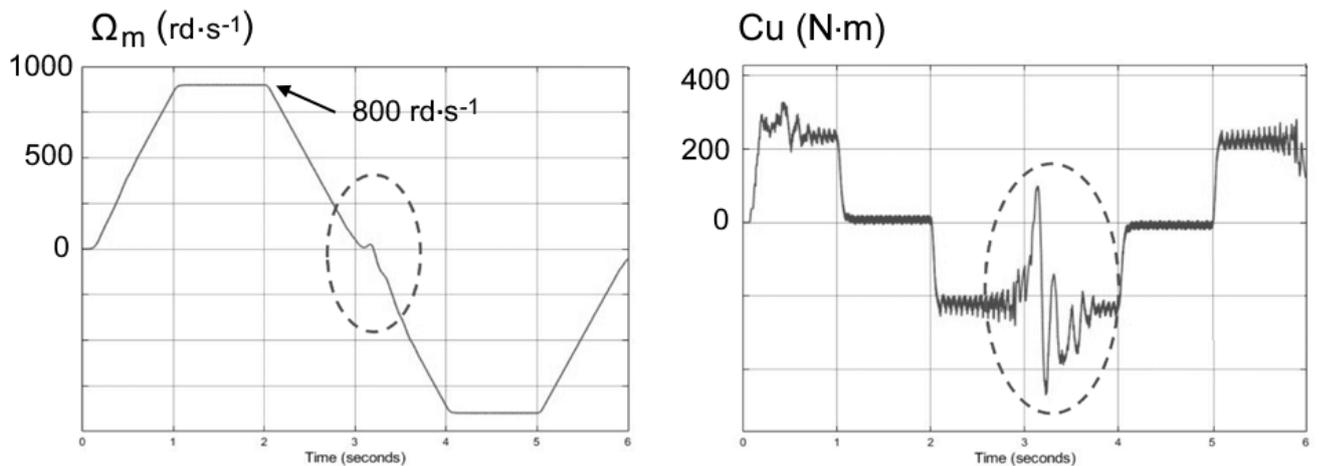


Figure 7 – Résultats d’une simulation de variation de vitesse avec ce modèle

B.4 – Étude de l’onduleur

Objectif : évaluer l’impact de la stratégie de commande de l’onduleur de tension sur le comportement de la machine asynchrone.

Le schéma synoptique du variateur de vitesse pour une des machines asynchrones triphasées de l’essieu électrifié est représenté à la figure 8.

L’onduleur est un onduleur triphasé à modulation de largeur d’impulsions (MLI). On étudie dans un premier temps le fonctionnement et les caractéristiques d’une commande simplifiée. Dans un second temps, on s’intéresse au comportement de la machine en présence des tensions MLI délivrées par le variateur.

La figure 9 présente le schéma électrique de l’onduleur de tension étudié. On s’intéresse dans un premier temps à la mise en œuvre d’une commande simplifiée.

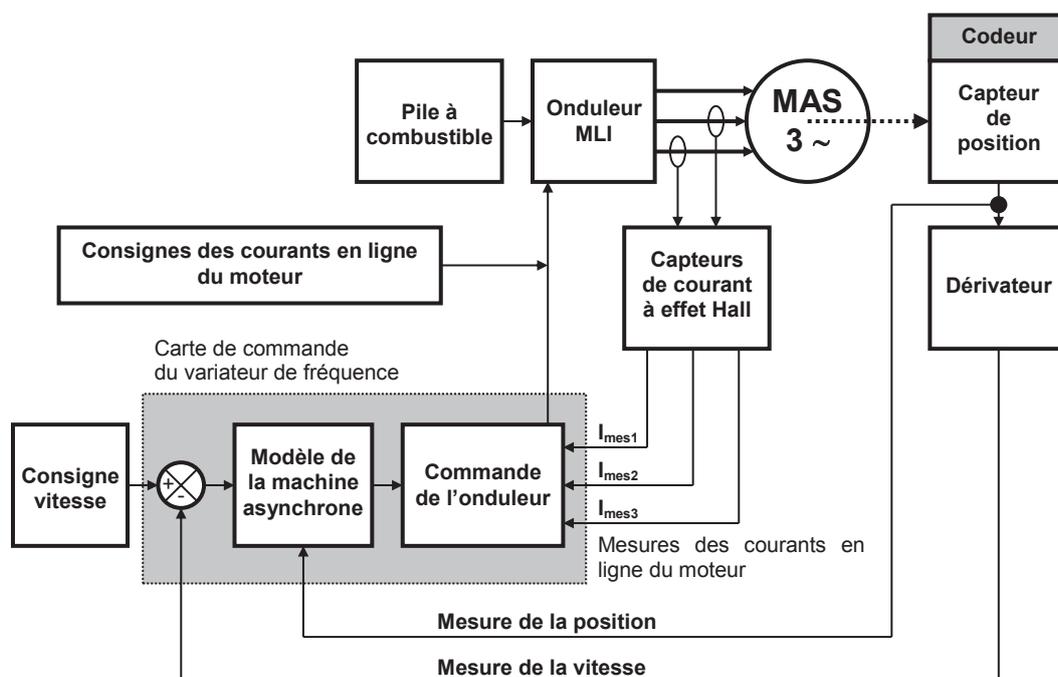


Figure 8 – Schéma synoptique du variateur de vitesse d’une MAS

Hypothèses :

Les composants sont idéaux.

Les K_i sont des interrupteurs unidirectionnels, commandés à l'ouverture et à la fermeture.

Un interrupteur en conduction présente une tension nulle à ses bornes.

La tension U_0 est continue.

Le moteur asynchrone triphasé est alimenté à partir des bornes repérées 1, 2 et 3 du schéma.

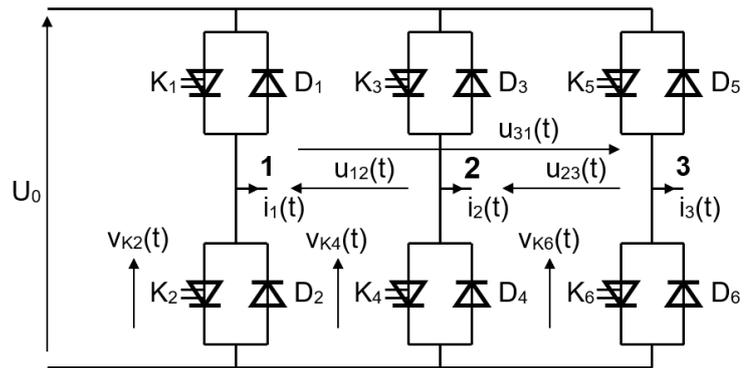


Figure 9 – Schéma électrique de l'onduleur de tension

La commande des interrupteurs est périodique de fréquence $F_0 = 1/T_0$ et suit le séquencement indiqué dans le tableau ci-dessous (dans le tableau, la présence d'un interrupteur correspond à l'état passant de celui-ci).

0	$\frac{T_0}{6}$	$\frac{T_0}{3}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{2T_0}{3}$	$\frac{5T_0}{6}$	T_0	$\frac{7T_0}{6}$	$\frac{4T_0}{3}$	$\frac{3T_0}{2}$	$\frac{5T_0}{3}$	$\frac{11T_0}{6}$	$2T_0$
---	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	-------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	--------

K_1	K_1	K_1	K_2	K_2	K_2	K_1	K_1	K_1	K_2	K_2	K_2
K_4	K_4	K_3	K_3	K_3	K_4	K_4	K_4	K_3	K_3	K_3	K_4
K_5	K_6	K_6	K_6	K_5	K_5	K_5	K_6	K_6	K_6	K_5	K_5

Question 25.

Citer les différentes technologies d'interrupteurs commandés pour réaliser K_i et proposer un choix compte tenu des niveaux de tension et courant mis en jeu.

Pour un fonctionnement donné, l'intensité du courant $i_1(t)$ absorbée par la borne 1 de la machine asynchrone est représentée sur le document réponse DR6.

Question 26.

Tracer les chronogrammes de $v_{K2}(t)$, $v_{K4}(t)$ et $u_{12}(t)$ sur le document DR6.

Question 27.

Établir l'expression de $v_1(t)$ en fonction de $u_{12}(t)$ et $u_{31}(t)$. Tracer les évolutions de $u_{31}(t)$ et $v_1(t)$ sur le document DR6. Donner l'expression de la valeur efficace de $v_1(t)$ et en déduire la valeur de U_0 permettant d'obtenir une alimentation adéquate pour la machine asynchrone (DT3).

La commande simplifiée précédente fait apparaître des tensions entre phases de la forme de celle représentée à la figure 10. L'objet de cette étude est d'évaluer l'influence de l'angle α ($0 < \alpha < \pi/2$) sur le spectre d'une tension composée.

Pour toute la suite, on donne $U_0 = 490$ V et $f_0 = 700$ Hz.

Avec l'origine des angles choisie, on montre que l'on peut mettre $u_{12}(\theta)$ sous la forme :

$$u_{12}(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} A'_n \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(n \cdot \theta) \quad \text{avec} \quad A'_n = \frac{4 \cdot U_0}{\pi \cdot n \cdot \sqrt{2}} \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{n \cdot \alpha}{2}\right) \quad (\text{Équation 5})$$

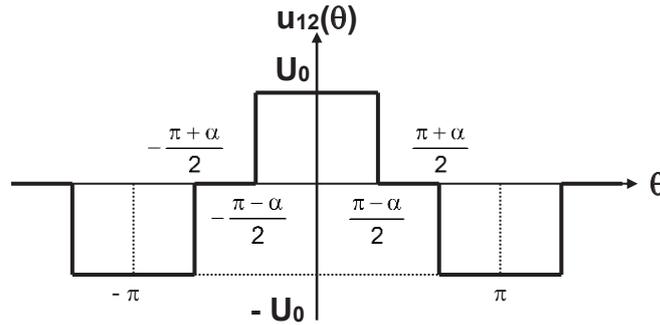


Figure 10 – Allure de la tension entre phases $u_{12}(\theta)$

Question 28.

Identifier quelle est la valeur de α permettant d'annuler l'harmonique 3. En déduire alors les autres harmoniques impairs nuls. Déterminer les valeurs de A'_n pour n pair.

Question 29.

Tracer pour cette valeur de α , le spectre des valeurs efficaces de $u_{12}(t)$ pour $n < 11$.

Pour évaluer le comportement de la machine en présence de l'alimentation précédente, on compare la valeur efficace du courant en ligne absorbé par la machine lors d'une alimentation par un réseau triphasé 400 V, 700 Hz avec celle absorbée lors de l'alimentation fournie par l'onduleur.

On rappelle les grandeurs de la machine asynchrone lorsqu'elle est alimentée par un réseau de tensions triphasées sinusoïdales au point de fonctionnement nominal :

$$U = 400 \text{ V} ; f = 700 \text{ Hz} ; I = 156 \text{ A} \text{ et } \cos\varphi = 0,94$$

L'étude menée à la partie B.2 a permis d'obtenir un modèle simplifié pour le point de fonctionnement par phase de la machine asynchrone, représenté par le schéma électrique de la figure 11.

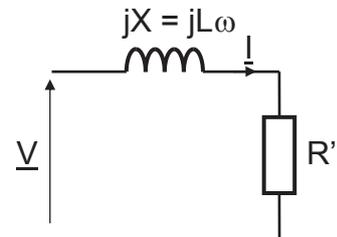


Figure 11 – Schéma électrique simplifié d'une phase de la machine asynchrone.

On donne $R' = 1,68 \Omega$ et $L = 34,55 \mu\text{H}$

Question 30.

Déterminer l'expression de l'impédance \underline{Z} d'une phase en fonction de L , R' et ω . En déduire la valeur numérique de son module Z pour $f = 700 \text{ Hz}$.

On alimente maintenant la machine par les tensions fournies par l'onduleur. Le fondamental a pour fréquence 700 Hz, et la tension U_0 vaut 490 V.

On note I_n et V_n les valeurs efficaces de l'harmonique de rang n du courant $i(t)$ et de la tension $v(t)$. De la même façon, on note Z_n le module de l'impédance complexe d'une phase de la machine de l'harmonique de rang n .

Question 31.

Calculer les modules des impédances Z_n par phase de la machine, pour les valeurs non nulles des harmoniques des tensions simples en se limitant à $n < 11$. En déduire les valeurs efficaces I_n des harmoniques non nulles du courant en ligne pour $n < 11$.

On néglige les valeurs efficaces des harmoniques du courant situés au-delà du rang 11.

Question 32.

Calculer la valeur efficace I du courant en ligne. Comparer celle-ci avec la valeur efficace I_1 du fondamental du courant en ligne et conclure. Proposer, si nécessaire, une amélioration de la commande.

Partie C – Comment assurer une température de fonctionnement idéale pour la pile à combustible ?

Le niveau de performance d'un système à pile à combustible résulte d'une optimisation entre ses paramètres de fonctionnement : température, pression et humidité des gaz. En effet, le contrôle de la température de fonctionnement de la pile, de la pression des gaz ainsi que l'hydratation de la membrane permettent d'augmenter sa conductivité ionique.

En particulier, la régulation en température de la pile doit répondre à trois objectifs :

- protéger la pile. La température de la partie solide de la pile ne doit pas dépasser 85 °C et l'écart entre la température des gaz en entrée de la pile et celle de la pile doit être inférieure à 10 °C ;
- optimiser le bon fonctionnement de la pile. Pour cela la température de la pile T_s doit être asservie à une consigne T_{cons} variable, avec une précision de 2 °C. De plus, l'écart entre les températures des gaz en entrée et de l'eau en sortie de la pile doit être inférieur à 5 °C ;
- assurer un bilan d'eau positif. Cet objectif devient prioritaire lorsque le volume d'eau stocké descend en-dessous d'un seuil limite.

De plus, le constructeur de la pile requiert une mesure de température au degré près et une alerte en cas de température négative, car elle pourrait signifier de l'eau gelée dans certains canaux.

La surveillance de la température de la pile est effectuée dans la gamme -5 °C / +90 °C pour s'assurer une marge par rapport aux valeurs extrêmes.

C.1 – Acquisition de la température de la pile à combustible

Objectif : étudier et valider la chaîne de mesure de température de la pile à combustible (capteur et conditionneur).

La mesure de la température est assurée par un capteur du constructeur Jumo, dont la référence est 902040/12-370-1003-1-7,5-29-121-20/000. Ses caractéristiques sont présentées dans la documentation technique DT5.

Question 33.

À partir de la DT5, et de la référence du capteur, identifier le type de transducteur (conversion de la grandeur physique en une grandeur électrique) de ce capteur.

Citer deux avantages de ce type de transducteur, comparativement à d'autres technologies.

D'après la documentation technique DT6, ce capteur peut être modélisé par une résistance équivalente que l'on notera ici R_T .

Question 34.

À l'aide de cette documentation, donner la loi d'évolution de R_T , en fonction de la température, en explicitant tous les termes.

On estime, en première approche, que cette résistance évolue selon la loi $R_T = R_0(1 + a.T)$ où R_0 est la résistance à 0 °C et a , un coefficient à déterminer.

Question 35.

Justifier pourquoi cette première approche est satisfaisante dans le cadre de notre étude. Identifier alors dans la documentation technique DT6 les valeurs numériques de R_0 et a .

Le capteur JUMO est inséré dans le circuit conditionneur de la figure 12, dans lequel les amplificateurs linéaires intégrés (ALI) référencés A_1 et A_2 sont considérés comme idéaux.

L'évolution de la température est suffisamment lente pour que la température soit considérée comme constante. Les grandeurs électriques utilisées dans le conditionneur sont alors considérées comme continues.

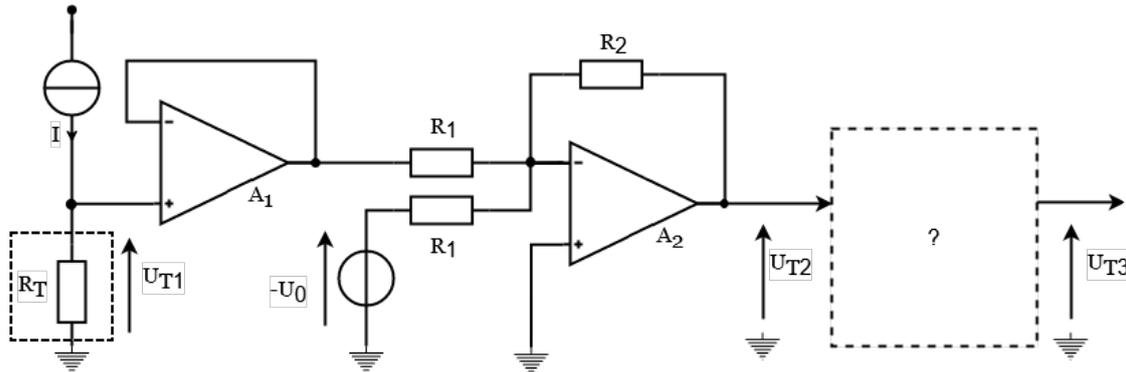


Figure 12 – Circuit de conditionnement du capteur de température

Question 36.

Exprimer la tension U_{T1} , aux bornes de R_T .

La mettre sous la forme : $U_{T1} = U_0(1 + a.T)$ en exprimant U_0 en fonction de I et R_0 , puis expliquer quel est le rôle du circuit A_1 .

Question 37.

Dans le montage construit autour du circuit A_2 , la tension U_0 a la même valeur que celle définie ci-dessus. Montrer que la tension U_{T2} s'écrit sous la forme : $U_{T2} = -b.T$ puis exprimer b en fonction de a , U_0 , R_2 , et R_1 .

On donne $I = 10 \text{ mA}$, $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$, et $R_2 = 56 \text{ k}\Omega$.

Question 38.

Déterminer la sensibilité $S = \frac{\Delta U_{T2}}{\Delta T}$ de l'ensemble capteur + circuits autour de A_1 et A_2 et en déduire les valeurs extrêmes résultantes de U_{T2} dans la gamme de l'application.

Le signal U_{T3} est ensuite traité par un contrôleur de bus CAN SJA1000 qui requiert un signal numérique. La figure 13 représente la chaîne de mesure complète, en amont de ce contrôleur.

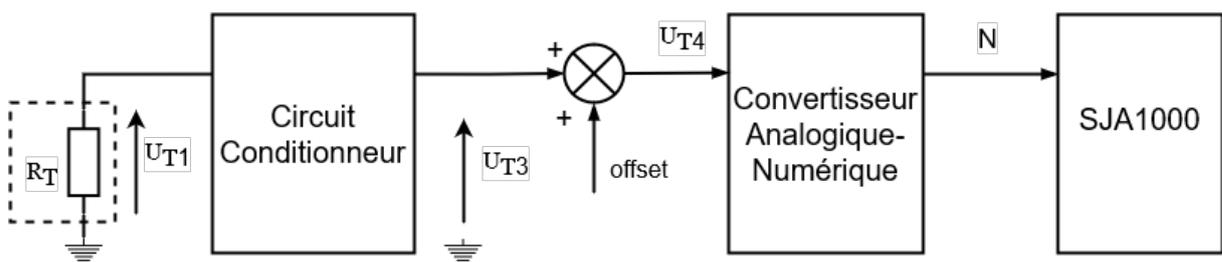


Figure 13 – Chaîne de mesure de température

Pour obtenir en sortie du conditionneur une tension U_{T3} directement proportionnelle à la température, et évoluant sur une plage de tension de 3 Volts, le concepteur a ajouté un étage intermédiaire, d'entrée U_{T2} , et de sortie U_{T3} telle que : $U_{T3}=c.T$, avec $c > 0$.

Question 39.

Proposer une structure à ALI assurant cette fonction pour compléter le conditionneur de la figure 12, en précisant les valeurs des résistances mises en œuvre.

Le signal de sortie du circuit conditionneur U_{T3} est ensuite décalé par un offset puis converti en un nombre N. Un extrait de la documentation constructeur du Convertisseur Analogique-Numérique mis en œuvre est fourni dans le DT7.

Question 40.

D'après la documentation, identifier la grandeur pleine échelle typique de ce convertisseur et sa résolution en bits.

On suppose qu'on a finalement obtenu $U_{T4}=31,17.10^{-3}.T+157,87.10^{-3}$. Après avoir rappelé la plage de mesure de température et le niveau de précision attendus, conclure sur la validité du choix de ce convertisseur, puis plus largement, sur la validité de la chaîne de mesure de température.

Question 41.

Évaluer l'impact de l'erreur d'offset sur la précision de la mesure. Vérifier qu'elle permet, ou non, de rester dans les limites imposées par le cahier des charges.

C.2 – Transmission des informations de température

Objectif : interpréter les informations d'une trame bus CAN afin d'en extraire les données utiles.

La communication entre la pile à combustible et le calculateur du Hycity® est basée sur une architecture bus CAN. Cette communication permet notamment de confier au calculateur la régulation de la température de la pile à partir de la mesure effectuée précédemment.

Question 42.

D'après la documentation fournie en DT1, la pile fournie est compatible avec deux versions du protocole CAN. Citer ces deux versions et rappeler la différence entre les deux.

Une présentation d'une partie du protocole et des trames du bus CAN est disponible dans la documentation technique DT8.

Question 43.

A l'aide du document DT8, rappeler les intérêts d'une communication par bus CAN dans le cadre de notre application.

Expliquer comment la couche physique permet l'élimination des perturbations électromagnétiques.

Question 44.

Justifier le choix du code complément à 2 pour l'écriture des différentes températures. Indiquer la valeur hexadécimale obtenue pour une température mesurée de -5°C .

Le signal CAN_H capturé lors d'un échange de données entre la pile et le calculateur a fourni le chronogramme disponible sur le document réponse DR7.

Question 45.

Sur le document DR7, mettre en évidence le(s) bit(s) de stuffing dans cette trame.

D'après le chronogramme, calculer le débit de transmission de la trame CAN.

Enfin, tracer en concordance de temps le signal CAN_L émis sur l'autre conducteur du bus CAN, depuis le début de la trame à la fin du champ DLC, soit entre les deux marqueurs en pointillés.

Pour plus de lisibilité, la trame capturée et présentée sur le document DR7 a été retranscrite à la figure 14.

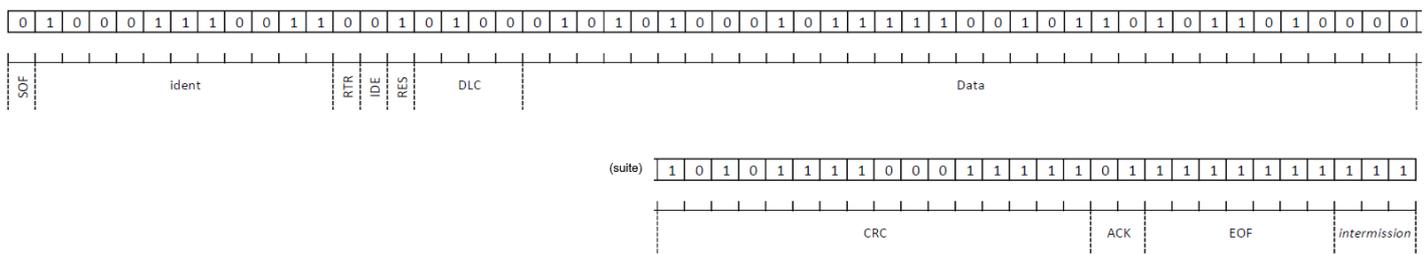


Figure 14 –Trame de données « température pile » circulant sur le bus

Question 46.

D'après la lecture de cette trame, déterminer :

- la version du protocole CAN 2.0 utilisée ici ;
- les températures : des gaz en entrée de la pile à combustible, de la pile à combustible et de l'eau en sortie de la pile à combustible ;
- la valeur du 4^{ème} octet de données en hexadécimal. Justifier l'état des différents bits de cet octet au vu des températures relevées ci-dessus.

Question 47.

Pour les besoins de la programmation du calculateur, on souhaite pouvoir accéder directement à l'état de « l'alerte température pile » à partir d'une variable *DataField*, de type *long int*.

Proposer une fonction, en pseudo-langage, qui renvoie la valeur 1 en cas d'alerte et 0 sinon.

La documentation DT8 rappelle le mode de calcul de la séquence CRC et le contrôle d'erreur qu'elle permet.

Question 48.

Comment faut-il procéder pour vérifier la présence/l'absence d'erreur dans la trame représentée figure 14 ?

Donner la séquence binaire correspondant au polynôme $f(x)$ dans ce cas.

Donner la séquence binaire correspondant au polynôme $f'(x)$.

Question 49.

Poser explicitement le calcul permettant de vérifier la présence/l'absence d'erreur dans la trame de la figure 14, le développer puis conclure quant à la présence, ou non, d'erreurs dans cette trame.

C.3 – Asservissement de la température de fonctionnement de la pile

Objectif : mettre en œuvre un correcteur qui réponde aux exigences du système.

Pour un fonctionnement optimal de la pile à combustible, la température doit être maintenue en permanence entre 50 et 60 °C. Un extrait du diagramme d'exigences de la régulation de température est donné figure 15.

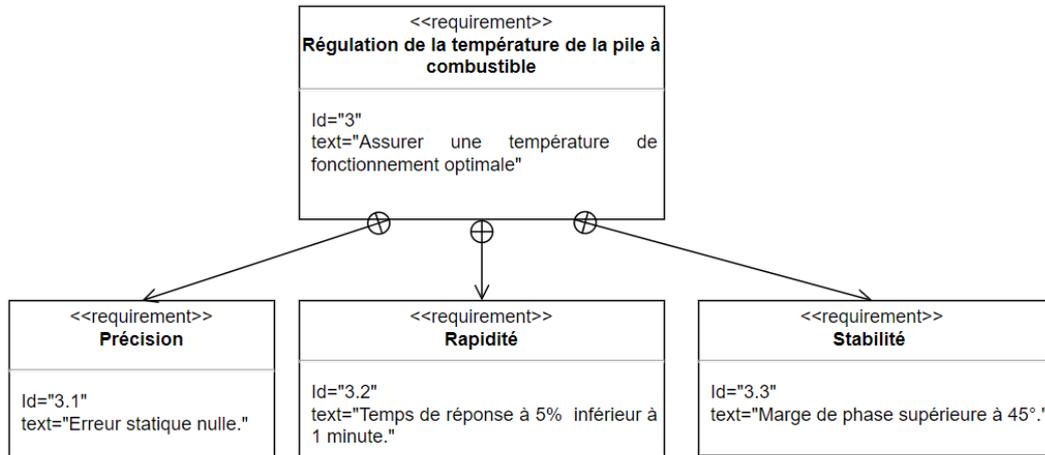


Figure 15 – Exigences fonctionnelles liées à la régulation en température de la pile

L'étude qui suit s'intéresse aux variations autour d'un point de fonctionnement fixé à $T = 55\text{ °C}$ (milieu de l'intervalle de fonctionnement optimal).

En fonctionnement, on ne peut influencer sur la température de la pile à combustible qu'en agissant sur son système de refroidissement. L'actionneur, par l'intermédiaire duquel le système va être piloté, est assimilé à un ventilateur dont la commande en tension $U_{\text{cons}}(p)$ fait varier la vitesse, agissant directement sur la température. $U_{\text{cons}}(p)$ est directement proportionnelle à la température de consigne $T_{\text{cons}}(p)$.

Question 50.

Indiquer quel doit être le signe de la commande du ventilateur lorsqu'on souhaite refroidir la pile à combustible. Justifier.

La température de la pile à combustible T_s est mesurée par un capteur supposé linéaire de gain $K_c = 1\text{ V}\cdot\text{°C}^{-1}$.

Le modèle de représentation linéarisé de la pile à combustible en boucle ouverte est noté $F(p)$, et une commande en boucle fermée avec un correcteur de fonction de transfert $C(p)$ est mise en place.

Question 51.

Compléter le schéma-bloc de l'asservissement représenté sur le document réponse DR8, et expliquer pourquoi le comparateur doit être inversé par rapport au cas classique.

Montrer alors pourquoi cet asservissement est équivalent à celui représenté sur la figure 16.

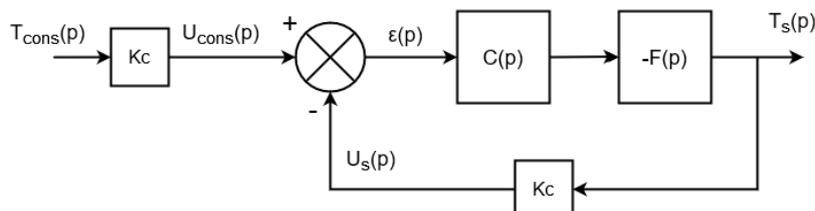


Figure 16 – Régulation de température avec le correcteur $C(p)$

On considère d'abord une commande proportionnelle telle que $C(p)=K$.
Le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO) de ce système asservi, tracé pour $K=10$, est donné sur le document réponse DR9.

Question 52.

À partir du tracé du document DR9, déterminer à l'aide de constructions graphiques adéquates la marge de phase et la marge de gain du système. Conclure sur l'adéquation de la valeur $K=10$.

Question 53.

Calculer le gain limite de stabilité, noté K_{lim} , qui amènerait la régulation de température à la limite de la stabilité (i.e oscillations entretenues).

Un système asservi est jugé par sa stabilité et par la précision avec laquelle il suit la loi d'entrée. La condition de stabilité du système est à présent connue, on s'intéresse donc à sa précision qui est directement liée à la classe du système.

On rappelle que, dans un système asservi, la FTBO peut s'écrire :

$$O(p) = \frac{H_0 \cdot N(p)}{p^\alpha \cdot D(p)} \quad \text{avec : } \begin{cases} N(0)=1 \\ D(0)=1 \\ \alpha, \text{ classe } (\alpha \geq 0) \\ H_0, \text{ gain statique} \end{cases}$$

Question 54.

Déterminer la classe de la FTBO présentée sur le document DR9. Rappeler l'information qu'elle donne sur la précision du système.

En déduire l'expression littérale de l'erreur de température de l'asservissement, en réponse à un échelon de consigne noté T^0_{cons} , en régime permanent, soit $\varepsilon(t \rightarrow +\infty)$.

La figure 17 représente la réponse du système asservi à un échelon unitaire, tracée pour une valeur de K à déterminer.

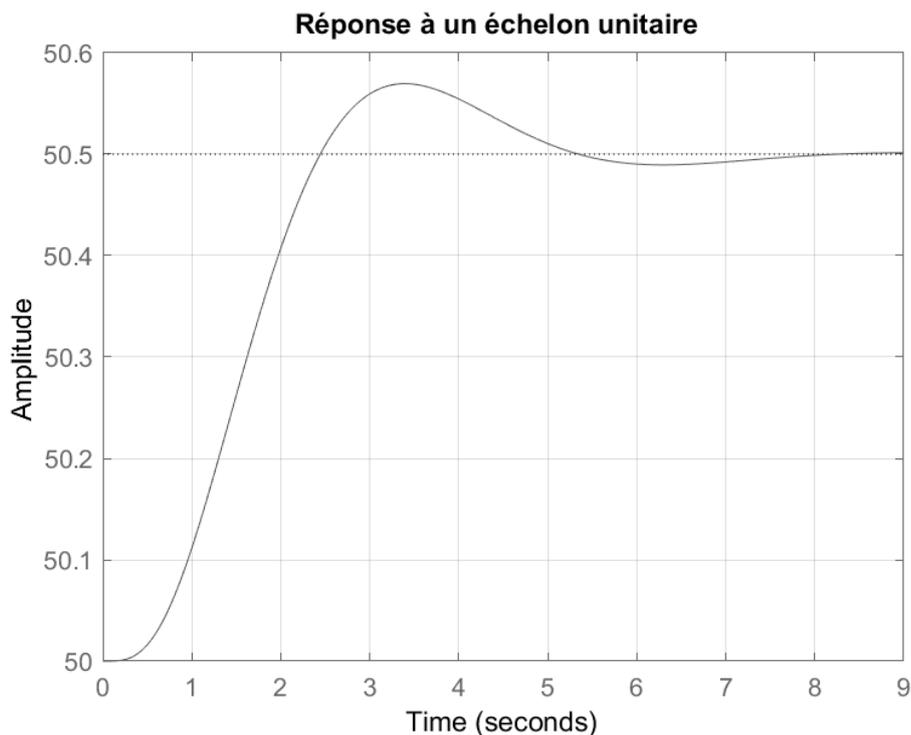


Figure 17 – Réponse à un échelon unitaire tracée pour K à déterminer

Question 55.

À partir de l'erreur en régime permanent et de l'expression littérale établie précédemment, déterminer la valeur de K pour laquelle la réponse a été obtenue. Commenter la valeur de K par rapport à K_{lim} .

On considère les trois correcteurs suivants (K_{lim} désigne le gain limite de stabilité déterminé ci-dessus, sa valeur n'a pas besoin d'être connue) :

$$C_1(p)=K_{lim} \quad ; \quad C_2(p)=\frac{K_{lim}}{4} \quad ; \quad C_3(p)=1+\frac{1}{10p}$$

Question 56.

Quelle est la nature du correcteur $C_3(p)$? Quel est son intérêt ?

Question 57.

En argumentant votre choix, associer chacun des trois correcteurs ci-dessus avec la réponse présentée qui lui correspond, à la figure 18 (notés cas a à c).

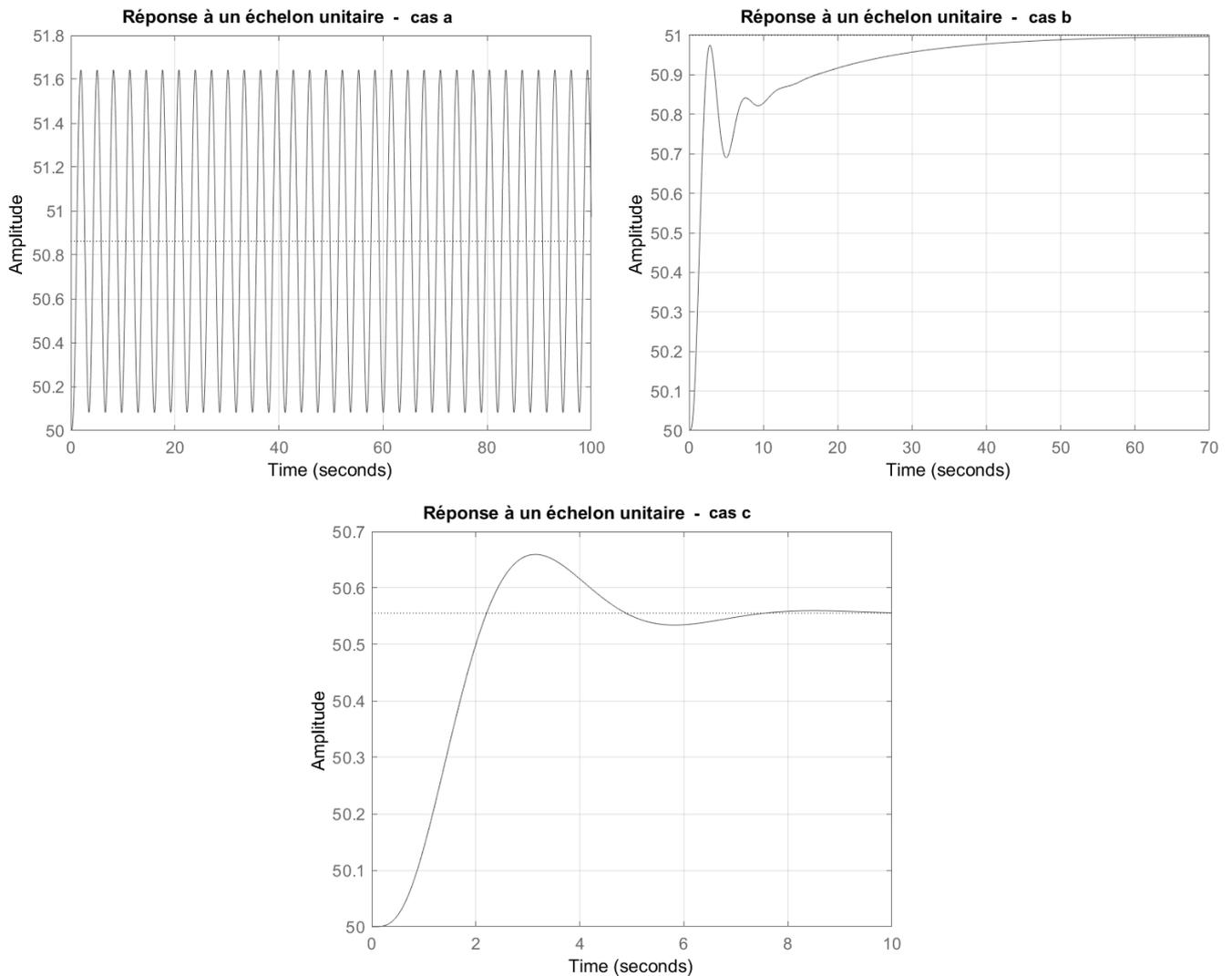


Figure 18 – Réponse à un échelon unitaire avec trois correcteurs à identifier

Question 58.

Identifier le correcteur à privilégier pour réguler la température de la pile à combustible. Justifier ce choix.

Partie D – Comment faciliter l'accès des bus aux usagers occasionnels ?

Parallèlement au développement de son nouveau bus à hydrogène, Safra propose aux collectivités des solutions logicielles de gestion des usagers, abonnés ou utilisateurs occasionnels.

Cette partie se concentre sur l'étude d'une application sur terminal mobile développée pour les usagers occasionnels (non abonnés) et s'appuie sur l'exemple de la ville d'Albi.

D.1 – Génération des tickets de bus hors abonnement

Objectif : permettre à un utilisateur de générer un ticket de bus (QR Code).

L'application permet de mettre en relation l'utilisateur avec le système d'information. Pour cela, il se connecte à l'application, commande ses tickets et les gère directement depuis son smartphone (figure 19).

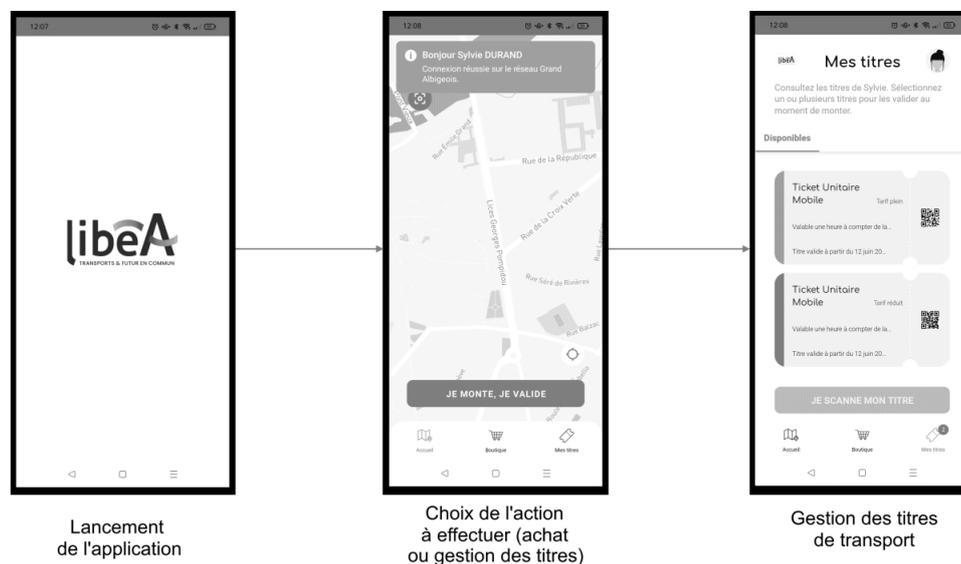


Figure 19 : Workflow de l'application pour la gestion des titres de transport

Lors de la première connexion à l'application, une adresse mail est demandée à l'utilisateur. Le programme vérifiant la validité de l'adresse mail utilise une expression régulière dont les règles de syntaxe sont rappelées dans le document technique DT9.

Question 59.

Proposer une expression régulière qui valide la syntaxe respectant les contraintes décrites dans le cahier des charges dont un extrait est fourni à la figure 20.

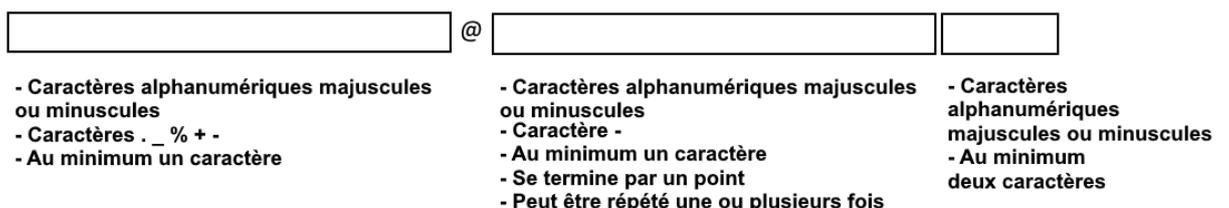


Figure 20 : Extrait du cahier des charges précisant les règles syntaxiques acceptées pour une adresse mail

Afin de vérifier la validité de l'expression régulière, un cas test est réalisé avec l'API Java JUnit.

Question 60.

Compléter chaque assertion du test unitaire présent dans le document réponse DR10 afin de valider le bon fonctionnement de l'expression régulière.

Pour chaque ticket acheté, l'application génère un QR Code qui est validé par la borne de compostage à la montée dans le bus.

Le QR Code contient, sous forme binaire chiffrée, les informations suivantes :

- les informations relatives au service sur 16 bits ;
- l'identifiant du client sur 32 bits ;
- le code tarif du ticket sur 8 bits ;
- la date de validité du ticket sur 64 bits ;
- le checksum sur 8 bits.

À la lecture du code, la borne est capable d'identifier les éléments et de valider le trajet en affichant le profil du voyageur concerné sur le composteur.

Question 61.

En utilisant les spécifications QR Code (document technique DT10), déterminer la taille appropriée pour le QR Code généré par l'application avec une correction d'erreur minimum de 25 %.

D.2 – Conception du Webservice REST

Objectif : sécuriser l'accès aux données des clients.

Toutes les opérations effectuées par l'application mobile sont transmises sur un serveur offrant un Webservice de type REST. Le système est couplé à une base de données PostgreSQL pour le stockage des données. La figure 21 présente l'architecture du système d'information.

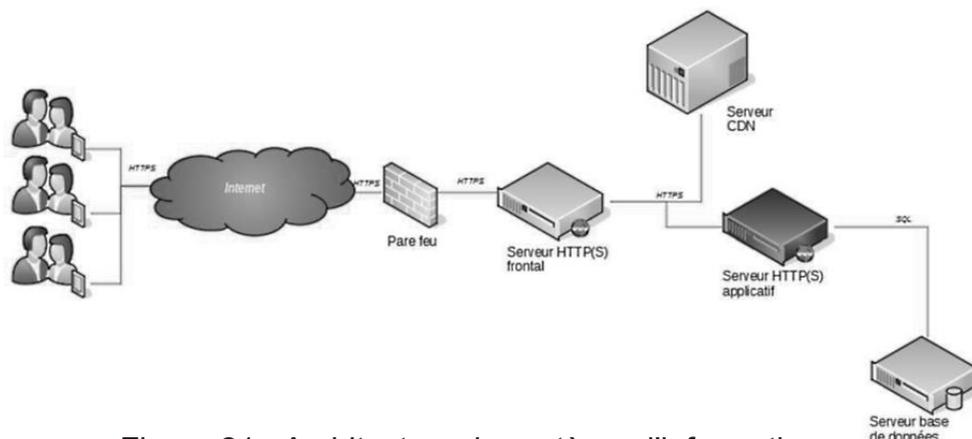


Figure 21 : Architecture du système d'information

Pour empêcher qu'un utilisateur malveillant vole le compte d'un tiers par force brute, un algorithme a été décrit sous forme de logigramme dans le cahier des charges. Après implémentation de l'algorithme par le développeur, il apparaît que les utilisateurs ne peuvent plus se connecter après cinq connexions (validées ou non).

Question 62.

Proposer une modification du logigramme du document réponse DR11 pour pallier cette problématique de connexion.

Le modèle conceptuel de la base de données du système d'information est donné, de manière partielle, à la figure 22.

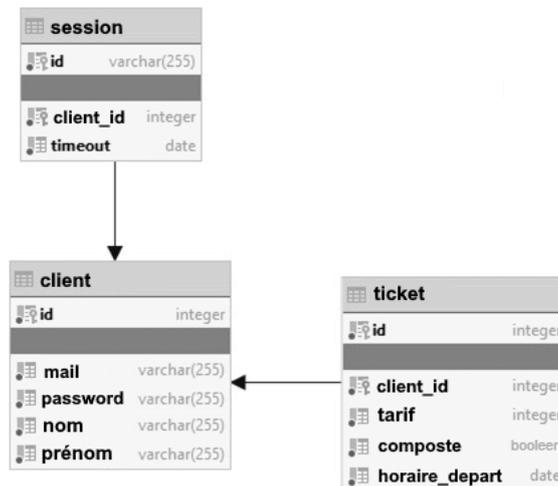


Figure 22 : Schéma partiel de la base de données

Le document technique DT11 rappelle quelques éléments de syntaxe SQL.

Question 63.

Donner la requête SQL (SELECT) qui permet de récupérer uniquement le nom et le prénom d'un client, connaissant son email (par exemple : durand.sylvie@monmail.fr).

Question 64.

Donner la requête SQL qui renvoie la liste des cinq tarifs les plus fréquemment utilisés par ce même client.

D.3 – Infrastructure réseau de la société de transport urbain.

Objectif : étudier l'architecture réseau de la société de transport urbain.

On s'intéresse à l'architecture réseau de la société de transport urbain, qui comprend notamment, à destination des clients :

- un serveur de gestion de tickets pour la délivrance des tickets hors abonnement ;
- un serveur web publiant les informations de la société de transports (plan des lignes, horaires, travaux en cours).

L'architecture informatique globale, avec quelques équipements terminaux représentatifs, est fourni sur le document technique DT12.

Une partie des services de la société (comptabilité, ressources humaines, logiciels bureautique partagés Nextcloud) sont sur des serveurs dont elle est propriétaire, hébergés dans un datacenter Equinix. Une autre partie des services est hébergée dans le « cloud », chez OVH.

Par ailleurs, le serveur d'impression Toshiba est une application hébergée par Toshiba, mise à disposition dans le cadre d'un contrat de location des imprimantes et photocopieurs.

Le routeur du siège est un équipement FortiGate FortiWifi 80F regroupant : un serveur DHCP, un routeur, un pare-feu très complet, un point d'accès Wifi, un serveur VPN. L'équipement est compatible avec le mode Trunk des VLAN 802.1Q.

Sur le site distant, en plus des ordinateurs et téléphones des employés, ne se trouve que le serveur Active Directory recensant les comptes utilisateurs et leurs mots de passe, stockés sous forme hachée.

Le routeur FortiGate est client DHCP pour sa connexion Internet et serveur DHCP pour le réseau local. Tous les équipements sont en DHCP.

Question 65.

Rappeler l'intérêt d'utiliser le protocole DHCP pour la connexion des ordinateurs portables, puis indiquer quelles sont les informations fournies par le serveur DHCP au client, lors de sa réponse.

Question 66.

Préciser l'intérêt de connecter les téléphones, les imprimantes et le serveur ActiveDirectory également en DHCP.

Un VLAN est utilisé pour la téléphonie et un autre pour l'administration.

Question 67.

Après avoir rappelé ce qu'est un VLAN, préciser sa fonction.

La figure 23 donne un élément de la configuration du switch au siège de la société.

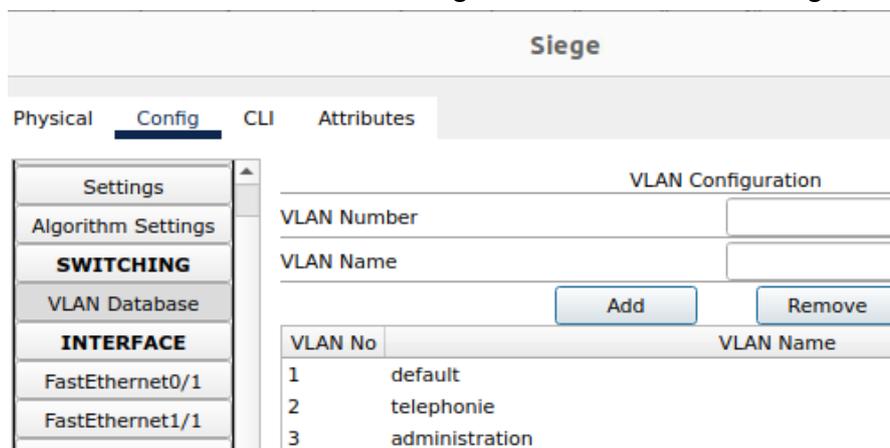


Figure 23 : Élément de configuration du switch

Question 68.

À l'aide des informations données, compléter les cases 1 à 10 de la configuration du routeur sur le document réponse DR12 (2 pages). Plusieurs réponses sont parfois possibles ; le candidat fera alors preuve de bon sens pour proposer des valeurs cohérentes.

Les valeurs relatives aux durées seront exprimées en secondes.

L'imprimante est sur le port FastEthernet 0/1, le téléphone sur le port FastEthernet 1/1 et le routeur sur le port GigabitEthernet 6/1.

Question 69.

Après avoir rappelé la différence entre le mode Trunk et le mode Access, compléter la configuration du switch du siège de la société sur le document réponse DR13 en indiquant le type (Access ou Trunk) dans la zone 1, et le (ou les) identifiant(s) VLAN dans la zone 2.

Pour le serveur d'impression, la société de transport recourt à un système SaaS proposé par Toshiba's Cloud-based Services et hébergé par Microsoft Azure, ElevateSky. Le document technique DT13 rappelle la spécificité de ce type de système.

Question 70.

Rappeler l'intérêt de ce système dans le cas présent.

Question 71.

Le système se veut sûr et « plug and play », ce qui signifie qu'aucune configuration spécifique du routeur n'est nécessaire pour utiliser le service d'impression. Expliquer comment, avec le firewall configuré par défaut, un document peut aller du PC au serveur d'impression et du serveur d'impression à l'imprimante.

Question 72.

Conclure sur l'intérêt de disposer de services sur des serveurs propriétaires par rapport à des services hébergés sur le cloud.

DT1 – SYMBIO H2MOTIVE STACKPACK 45



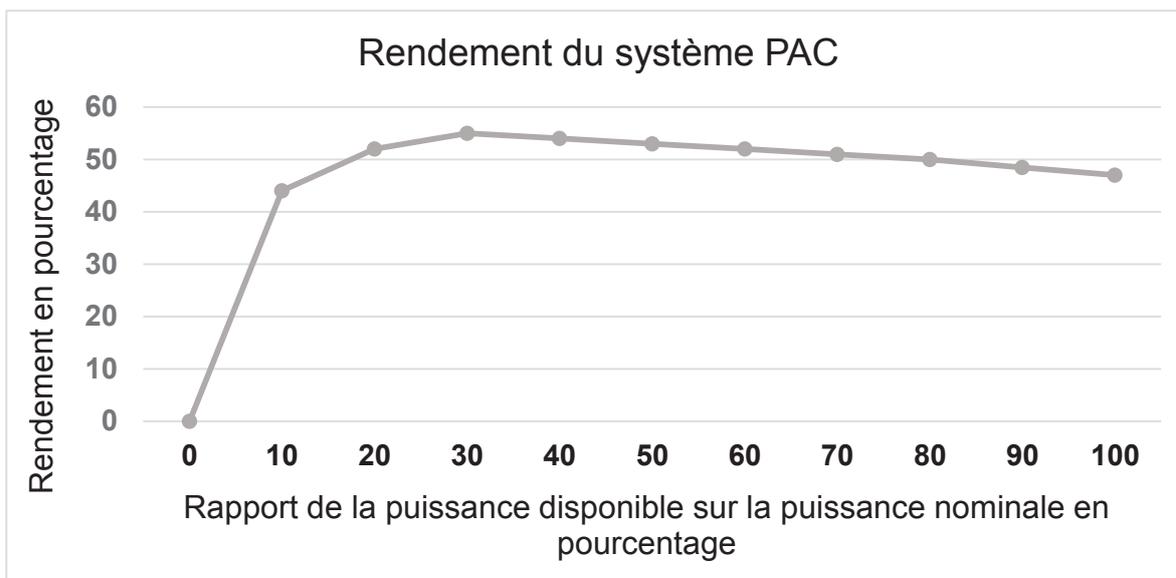
PRODUCT SPECIFICATIONS

Power (net) ¹	45 kW
Stack power density	4.9 kW/liter
Voltage, output range	450 - 850V / 250 - 450V
Current, max output	340 A
Durability	20,000 hours
Control interface	CAN 2.0 (CAN FD compatible)
Dimensions (length x width x height) ²	810 mm x 450 mm x 300 mm
Weight (dry) ³	80 kg
Coolant outlet temperature, max	85 °C
Environmental protection	IP69K
Regulations	UN ECE R10, UN ECE R100, UN ECE R134, UN GTR13
Safety standard	ISO 26262

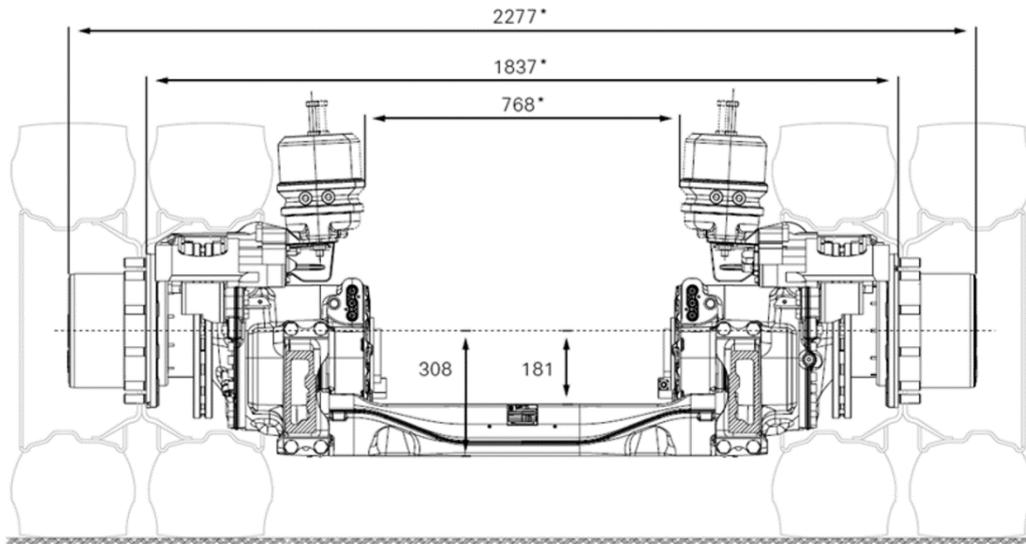
¹ Power delivered by the complete fuel cell solution to the DC bus.

² Stack and fluid management system, with housing.

³ Does not include air compressor, coolant pump and DCDC converter.



DT2 – Caractéristiques de l'essieu électrifié ZF AVE 130



Fahrmotor / Traction motor					
Produkt-Bezeichnung	Motortechnologie	Leistung (Peak/30 min)	Drehzahl E-Motor (Peak/Dauer)	Übersetzungsstufe ¹ E-Motor, 1-Gang	Abtriebsdrehmoment ² (Peak)
Product designation	Motor technology	Performance (peak/30 min)	Speed electric motor (peak/continuous)	Transmission stage ¹ el. motor, 1-gear	Output torque ² (peak)
	2 x Asynchronmotor 3 Phasen 2 x asynchronous motor 3 x phase	250 / 174	11000 / 10300	22.66	22000 Nm 16226 Lb/ft

Wechselrichter / Inverter			System / System			
Produkt-Bezeichnung	Nennspannung DC	Strom AC (Peak/Dauer)	Fahrzeug-Gesamtgewicht	Gewicht ³	Steuergerät	Schutzklasse
Product designation	Nominal DC voltage	Current AC (peak/continuous)	Total vehicle weight	Weight ³	Control unit	Protection class
AVE 130	650	340 / 250	29000	1250	EST 54	IP6K9K

DT5 - Sondes à résistance à visser JUMO

JUMO VIBROtemp

Sondes à résistance à visser avec cosse de raccordement

- Pour des températures comprises entre -50 et +270 °C (temporairement jusqu'à 300 °C)
- Montage antivibratoire
- Domaines d'application : véhicules utilitaires, machines de chantier, machines agricoles, moteurs, compresseurs et domaine ferroviaire
- Différents connecteurs enfichables, verrouillage des contacts sécurisé
- Indice de protection jusqu'à IP67 / IP69 suivant EN 60529 (IP69K suivant DIN 40050)

Les sondes à résistance à visser de la série VIBROtemp permettent des mesures de température fiables, même sous pression, dans les véhicules utilitaires, machines de chantier, machines agricoles, moteurs, compresseurs et dans le domaine ferroviaire.

Grâce à la structure résistante aux vibrations, on obtient une excellente stabilité à long terme, même dans des conditions d'utilisation difficiles.

Différents connecteurs enfichables sont proposés, suivant le domaine d'utilisation. Lorsque le connecteur est enfiché, l'indice de protection est IP67 / IP69 suivant EN 60529 ou IP69K suivant DIN 40050.

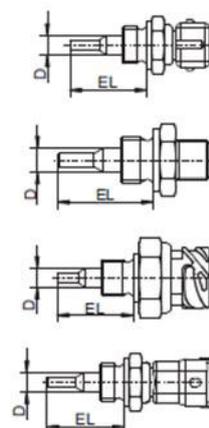
La gaine de protection est rétreinte à 4 mm, ce qui permet d'obtenir des temps de réponse courts.

L'élément de mesure de série est une sonde de température Pt100 suivant EN 60751:2009 / IEC 60751:2008, classe B, en montage deux fils. Des exécutions avec Pt500 ou Pt1000 ainsi qu'avec des capteurs de température CTP ou CTN sont également possibles.



Références de commande

		(1) Type de base	
		902040/10	Sonde à résistance à visser avec connecteur AMP (Junior-Power-Timer)
		902040/12	Sonde à résistance à visser avec connecteur machine M12 x 1
		902040/15	Sonde à résistance à visser avec connecteur à baïonnette suivant DIN 72585
		902040/17	Sonde à résistance à visser avec connecteur compact Bosch 1.1
		(2) Température d'utilisation en °C	
x	x	370	-50 à +150 °C
x		387	-50 à +270 °C (brièvement 300 °C)
		(3) Élément de mesure	
x	x	1003	1x Pt100 en montage 2 fils
x	x	1004	1x Pt500 en montage 2 fils
x	x	1005	1x Pt1000 en montage 2 fils
x	x	9999	Suivant indications du client
		(4) Classe de tolérance suivant EN 60751:2009 / IEC 60751:2008	
x	x	0	Sans
x	x	1	Classe B
x	x	2	Classe A
		(5) Diamètre de la gaine de protection D en mm	
x	x	7,5	Ø 7,5 mm rétreint à Ø 4 mm
		(6) Longueur utile EL en mm	
x	x	29	29 mm
		(7) Raccord de process	
x	x	121	Raccord fileté M14 x 1,5
		(8) Matériau de la gaine de protection	
x	x	20	CrNi (acier inoxydable)
x	x	46	CuZn (laiton)
		(9) Options	
x	x	000	Sans
x	x	658	Compatible SIL et PL avec limiteur de température de sécurité et contrôleur de température de sécurité 70115X



Code de commande	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Exemple de commande	902040/10	- 387	- 1004	- 2	- 7,5	- 29	- 121	- 46	/ 000

DT6 – Capteur de température Reissmann



Product Information

► Temperature measurement with Platinum resistive sensors acc. to DIN EN 60751

Winding temperature monitoring and surface temperature
measurement with Platinum sensors

Pt100, Pt500, Pt1000

- Technical Data

Electrical Data:

Nominal resistance:	100 Ω at 0°C (Pt 100)
Basic thermistor values:	for platinum measuring resistors as in chart
Measuring range:	-50°C to +230°C, other ranges on request
Recommend applied current:	1mA PT100 / 0,5mA PT500 / 0,3mA PT1000 (<i>Self-heating must be considered</i>)
Circuit:	standard: 2-wire, on request: 3-wire or 4-wire circuit
Insulation strength:	2.5 kV, on request up to 8 kV
Characteristic temperature curves:	All sensors conform to DIN EN 60751: -50 ... 0 °C: $R(t) = R(0) \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot [t - 100] \cdot t^3)$ 0 ... 600 °C: $R(t) = R(0) \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2)$ $A = 3.9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $B = -5.772 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$; $C = -4.2735 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$ $R(0)$ = thermistor value in Ohms at 0°C

DT7 – Extrait de la documentation de l'ADS7029-Q1

ADS7029-Q1 Small-Size, Low-Power, 8-Bit, 2-MSPS, SAR ADC

6.5 Electrical Characteristics

at $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 125°C , AVDD = 3 V, DVDD = 1.65 V to 3.6 V, $f_{\text{SAMPLE}} = 2$ MSPS, and $V_{\text{AINM}} = 0$ V (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
ANALOG INPUT						
Full-scale input voltage span ⁽¹⁾			0		AVDD	V
Absolute input voltage range	AINP to GND		-0.1		AVDD + 0.1	V
	AINM to GND		-0.1		0.1	
C_s	Sampling capacitance			15		pF
SYSTEM PERFORMANCE						
Resolution				8		Bits
NMC	No missing codes		8			Bits
INL	Integral nonlinearity	AVDD = 3 V	-0.5	±0.25	0.5	LSB ⁽²⁾
DNL	Differential nonlinearity	AVDD = 3 V	-0.4	±0.2	0.4	LSB
E_o	Offset error			±0.5		LSB
dV_{OS}/dT	Offset error drift with temperature			±25		ppm/°C
E_g	Gain error	AVDD = 3 V		±0.2		%FS
	Gain error drift with temperature	No calibration		±25		ppm/°C
SAMPLING DYNAMICS						
t_{acq}	Acquisition time		120			ns
	Maximum throughput rate	32-MHz SCLK, AVDD = 2.35 V to 3.6 V			2	MHz
POWER-SUPPLY REQUIREMENTS						
AVDD	Analog supply voltage		2.35	3	3.6	V
DVDD	Digital I/O supply voltage		1.65	3	3.6	V
I_{AVDD}	Analog supply current	At 2 MSPS with AVDD = 3 V		335	370	μA
I_{DVDD}	Digital supply current	AVDD = 3 V, no load, no transitions		10		μA
P_D	Power dissipation	At 2 MSPS with AVDD = 3 V		1.005	1.11	mW

DT8 (3 pages) – Format des trames CAN et structure du champ de données

1- Informations générales

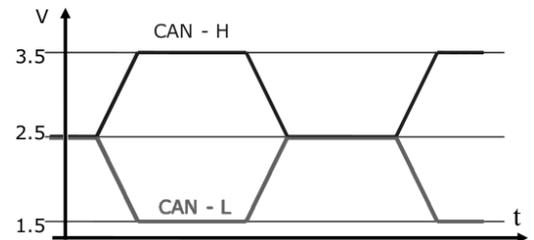
Le bus CAN (Controller Area Network) est un bus série de terrain car il doit fonctionner dans un environnement limité et sévère (milieu industriel, atelier, voiture...) permettant la transmission asynchrone de données numériques. Il s'agit d'un bus multiplexé.

Les particularités de ce bus sont :

- un bus producteur/consommateur où tous les participants ont les mêmes droits ;
- les nœuds (hôtes) de ce bus ne sont pas adressés ; seuls les messages transmis possèdent un identificateur ; chaque nœud scrute en permanence le bus et décide selon l'identificateur si le message lui est destiné ou pas ;
- une fiabilité élevée des mécanismes de protection du protocole.

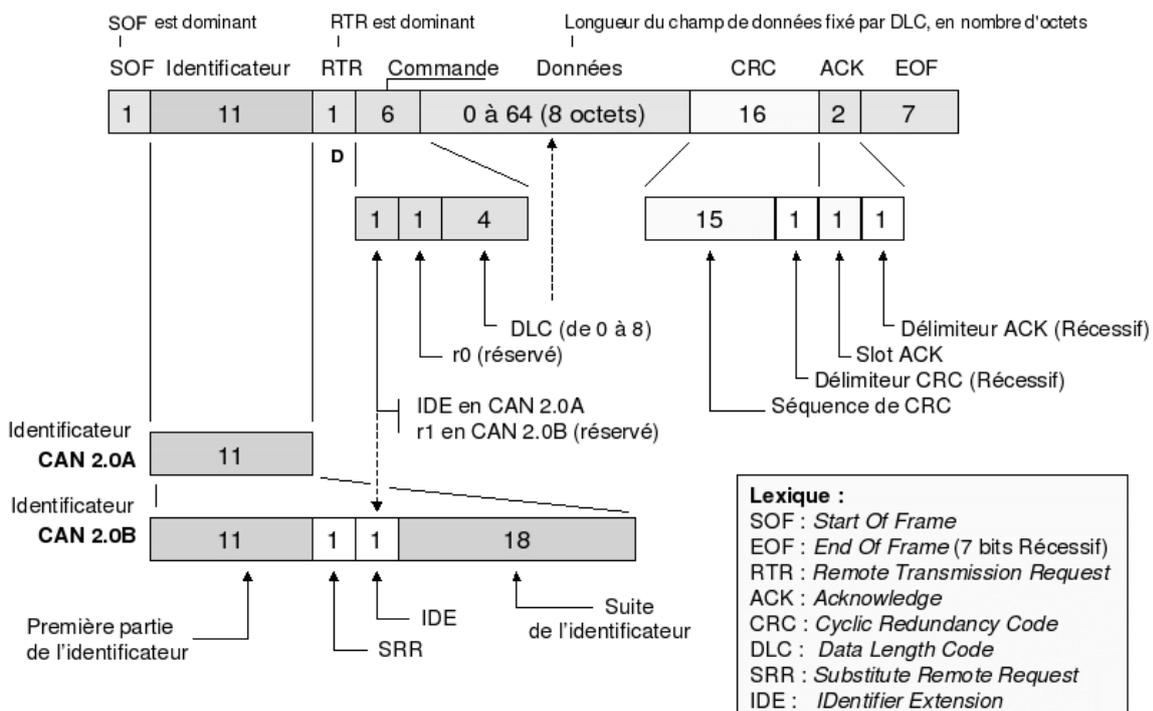
Le protocole CAN couvre seulement deux des sept couches du modèle d'interconnexion des systèmes ouverts OSI : la couche liaison de données (couche 2) et une partie de la couche physique (couche 1).

Dans sa version CAN High Speed, la couche physique comporte deux signaux CAN_L et CAN_H construits de façon symétrique, ce qui permet l'élimination des parasites électromagnétiques.



Différence de potentiel	État du bus CAN	État logique
$V_{CAN_H} - V_{CAN_L} > +0.5V$	Dominant	0
$V_{CAN_H} - V_{CAN_L} < +0.5V$	Récessif	1

La trame de données CAN se décompose en 8 champs décrits ci-dessous :



On trouve ensuite une 9^{ème} zone dite *intermission* (intertrame) qui appartient à la trame et qui se compose, au minimum, de 3 bits au niveau récessif.

Dès que le bus est libre (bus IDLE), n'importe quel nœud relié au réseau peut émettre un nouveau message SOF (début de trame de données). Il signale à toutes les stations le début d'un échange. Cet échange ne peut démarrer que si le bus était précédemment au repos.

L'utilisation du codage NRZ utilisé dans les trames CAN nécessite une horloge stable, régulièrement resynchronisée sur les fronts. C'est pourquoi la méthode du bit-stuffing impose au transmetteur d'ajouter automatiquement un bit de valeur opposée lorsqu'il détecte 5 bits consécutifs dans les valeurs à transmettre entre SOF et la fin du champ CRC.

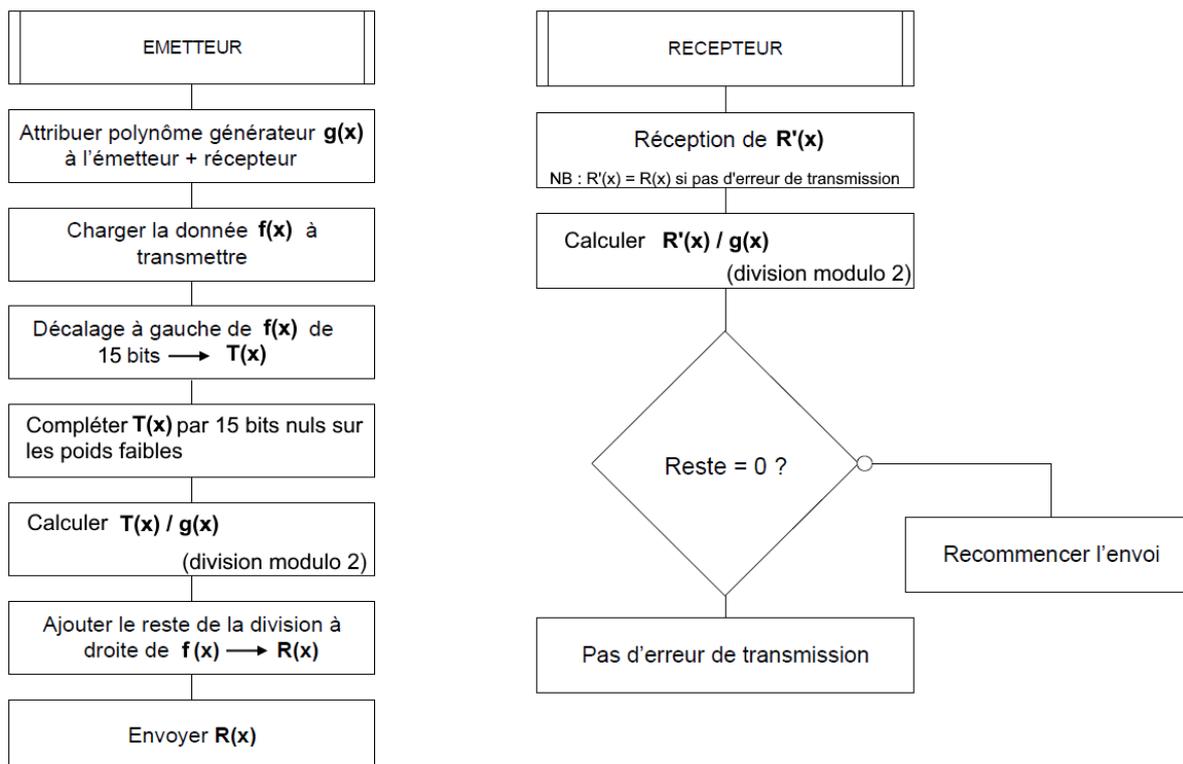
Pour le codage de chaque octet, le poids fort est transmis en premier.

2- Champ CRC

Le champ CRC est composé d'une séquence CRC calculée (15 bits) et d'un délimiteur. La séquence de CRC est calculée par la procédure suivante :

- le flot de bits (hors Bit-Stuffing), constitué des bits depuis le début de la trame jusqu'à la fin du champ de données est interprété comme un polynôme $f(x)$ avec des coefficients 0 et 1 affectés à la présence, effective ou non, de chaque bit. Le polynôme obtenu est complété par des « 0 » pour les 15 coefficients les moins significatifs. On le note alors $T(x)$;
- $T(x)$ est divisé (modulo 2) par le polynôme générateur $g(x) = x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + 1$. La chaîne de bits correspondante à $g(x)$ est : 1100010110011001 ;
- le reste de la division du polynôme $T(x)$ par le polynôme générateur $g(x)$ constitue la séquence CRC de 15 bits insérée dans la trame CAN.

À la réception, on effectuera le même calcul avec le polynôme $f'(x)$ constitué des bits depuis le début de la trame jusqu'à la fin de la séquence CRC. Si la transmission s'est déroulée sans erreur, le reste de la division du polynôme $f'(x)$ par le polynôme générateur $g(x)$ sera nul.



3- Structures du champ de données « température pile à combustible »

Taille : 4 octets

Période : 100 ms

Identificateur : 473h

Désignation du signal	Bits	Position
Température pile en °C	8	1
Température gaz en entrée pile en °C	8	2
Température eau en sortie pile en °C	8	3
0 0 0	3	4.2 à 4.0
Alerte écart température gaz entrée vs eau sortie	1	4.3
Alerte écart température pile vs température gaz	1	4.4
Alerte température pile	1	4.5
Consigne pompe refroidissement	1	4.6
État pompe refroidissement	1	4.7

L'encodage des données de température est en complément à 2, sur 8 bits.

DT9 – Syntaxe des expressions régulières

ANCRES / MÉTACARACTÈRES

Symbole	Sens
^	Marquer le début d'une chaîne
\$	Marquer la fin d'une chaîne
Ex :	^chat\$ reconnaît chat seulement ^\$ reconnaît chaîne vide

CLASSES DE CARACTÈRES

Symbole	Sens
[]	Les crochets indique une classe
-	Le tiret indique l'intervalle dans une classe
\char	Échappement caractère spécial
[^...]	Classe complémentée
Ex :	[a-z] reconnaît les lettres de a à z [^a-z] reconnaît tout sauf les lettres de a à z

ALTERNATIVE

Symbole	Sens
 	Marque l'alternative
Ex :	a b reconnaît <i>a</i> ou <i>b</i>

QUANTIFICATEURS

Symbole	Sens
*	Facultatif (0,1 ou plusieurs occurrences)
+	Obligatoire (1 ou plusieurs occurrences)
?	Facultatif (0 ou 1 occurrence)
{n}	Exactement <i>n</i> fois
{n,}	Au minimum <i>n</i> fois
{n,m}	De <i>n</i> à <i>m</i> fois
Ex :	a? reconnaît 0 ou 1 a a* reconnaît 0 ou plusieurs a a+ reconnaît 1 ou plusieurs a

PARENTHÈSES

Symbole	Sens
(exp)	Encadrer les instructions de sous-chaînes

Exemple :

Expression régulière décrivant un matricule tel que les 3 premiers caractères doivent être alphabétiques majuscules ou numériques, suivis d'un tiret obligatoire puis de 4 à 6 caractères numériques :

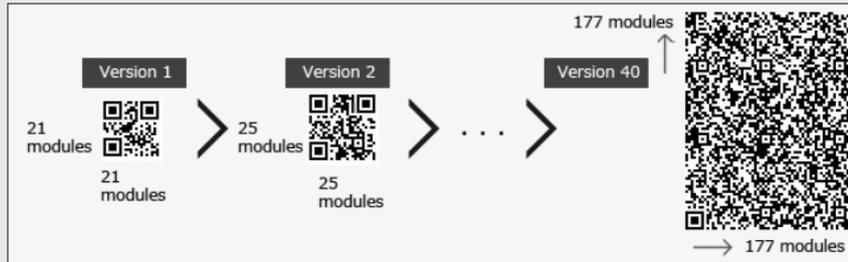
^[0-9A-Z]{3}\-[0-9]{4,6}\$

Cette expression correspond par exemple aux matricules suivants : NT6-8679, A5R-782457, 584-1234, mais elle ne correspond pas aux matricules suivants : NT6-867A, a5r-782457, 584 1234

DT10 – Specifications QR Code

Information capacity and versions of the QR Code

The symbol versions of QR Code range from Version 1 to Version 40. Each version has a different module configuration or number of modules. (The module refers to the black and white dots that make up QR Code.) "Module configuration" refers to the number of modules contained in a symbol, commencing with Version 1 (21 × 21 modules) up to Version 40 (177 × 177 modules). Each higher version number comprises 4 additional modules per side.



Each QR Code symbol version has the maximum data capacity according to the amount of data, character type and error correction level. In other words, as the amount of data increases, more modules are required to comprise QR Code, resulting in larger QR Code symbols.

⌵ Error Correction Feature

This code is generated using the Reed-Solomon method so as to restore data without loss even if part of a QR code is damaged. The restoration rate has four levels according to how damaged the code is.



Spot



Stain



Damaged

Error correction level	Damaged area to entire code size
L	7%
M	15%
Q	25%
H	30%

⌵ Version List

The figures in the Numeral, Alphanumeric, Binary and Kanji columns indicate the maximum allowable number of respective characters, including those for the data bit number. When using the Version 1 QR Code with correction level L, for example, the maximum allowable numbers are 152, 25, 17, 10 for the data bit number, numerals, binaries and Kanji respectively.

Version	Modules	ECC Level	Data bits (mixed)	Numeric	Alphanumeric	Binary	Kanji
1	21x21	L	152	41	25	17	10
		M	128	34	20	14	8
		Q	104	27	16	11	7
		H	72	17	10	7	4
2	25x25	L	272	77	47	32	20
		M	224	63	38	26	16
		Q	176	48	29	20	12
		H	128	34	20	14	8
3	29x29	L	440	127	77	53	32
		M	352	101	61	42	26
		Q	272	77	47	32	20
		H	208	58	35	24	15
4	33x33	L	640	187	114	78	48
		M	512	149	90	62	38
		Q	384	111	67	46	28
		H	288	82	50	34	21
5	37x37	L	864	255	154	106	65
		M	688	202	122	84	52
		Q	496	144	87	60	37
		H	368	106	64	44	27
6	41x41	L	1,088	322	195	134	82
		M	864	255	154	106	65
		Q	608	178	108	74	45
		H	480	139	84	58	36
7	45x45	L	1,248	370	224	154	95
		M	992	293	178	122	75
		Q	704	207	125	86	53
		H	528	154	93	64	39

DT11 – Rappels concernant la requête SQL SELECT

L'utilisation la plus courante de SQL consiste à lire des données issues de la base de données. Cela s'effectue grâce à la commande SELECT, qui retourne des enregistrements dans un tableau de résultats. Cette commande peut sélectionner une ou plusieurs colonnes d'une table.

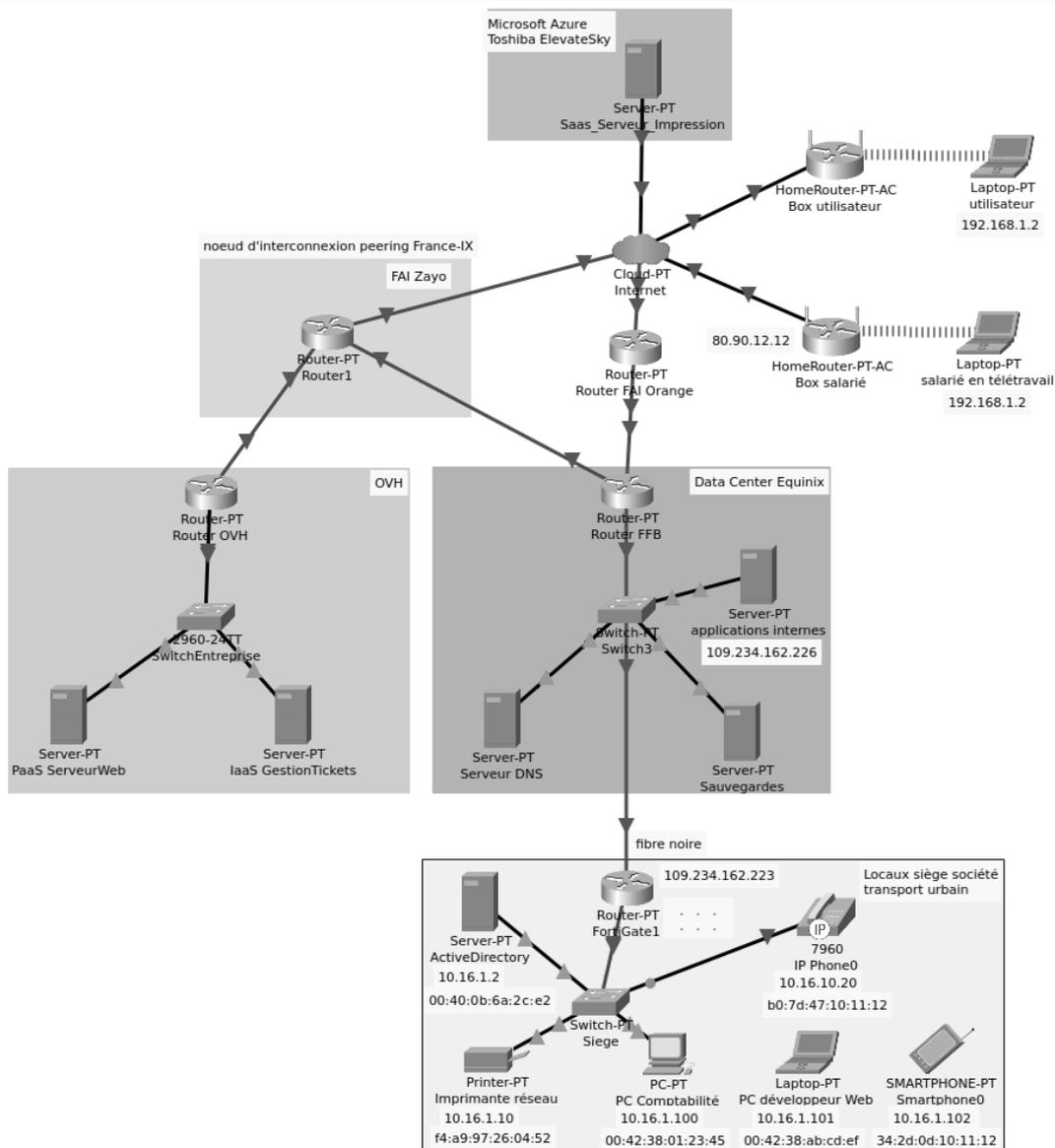
Cette commande SQL est commune car il est très fréquent de devoir lire les données issues d'une base de données.

Une requête SELECT peut devenir assez longue. À titre informatif, voici une requête SELECT fictive qui possède presque toutes les commandes possibles :

```
SELECT *  
FROM table  
WHERE condition  
GROUP BY expression  
ORDER BY expression  
LIMIT count  
OFFSET start
```

NB : cette requête imaginaire sert d'aide-mémoire pour savoir dans quel ordre sont utilisées les commandes au sein d'une requête SELECT.

DT12 – Architecture réseau de la société de transport urbain



Quelles sont les différences entre l'IaaS, le PaaS et le SaaS ?

Chaque solution comporte un type de ressource différent. Chacune d'entre elles possède sa distribution, son mode de facturation et son usage.

- Infrastructure as a Service (IaaS) ou infrastructure en tant que service. Il s'agit d'un ensemble de ressources informatiques brutes proposées à l'utilisateur par le prestataire de services cloud. Elles peuvent être utilisées pour virtualiser une infrastructure ou pour des projets exigeants en ressources : machine learning, big data, hébergement, etc.
- Platform as a Service (PaaS). Il s'agit d'une plateforme qu'un fournisseur propose à ses clients via Internet. Elle permet aux équipes, en particulier les développeurs, de créer des applications et des logiciels sur une solution sans devoir en assurer la maintenance. Certaines applications autorisent une grande variété de langages de programmation, offrant ainsi davantage de possibilités qu'une application hébergée sur une infrastructure locale.
- Software as a Service (SaaS). Il s'agit du service cloud le plus répandu. C'est un logiciel fonctionnant sur l'infrastructure d'un prestataire. L'utilisateur en paie la licence, mais ne s'occupe pas du stockage de données ni de l'entretien du matériel physique.

Ces différents modèles possèdent leurs propres avantages et ne répondent pas aux mêmes besoins.

Source : OVH

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

**DR1 - Algorithme du calcul numérique de l'énergie fournie par la
PAC**

Question 1

Tableaux $P_{pac}[N]$, $t[N]$

Réel W

Début

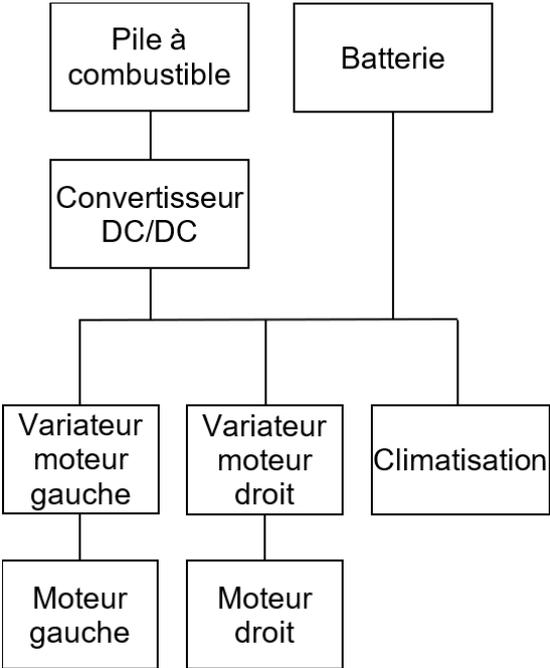
Pour i variant de à

Fin

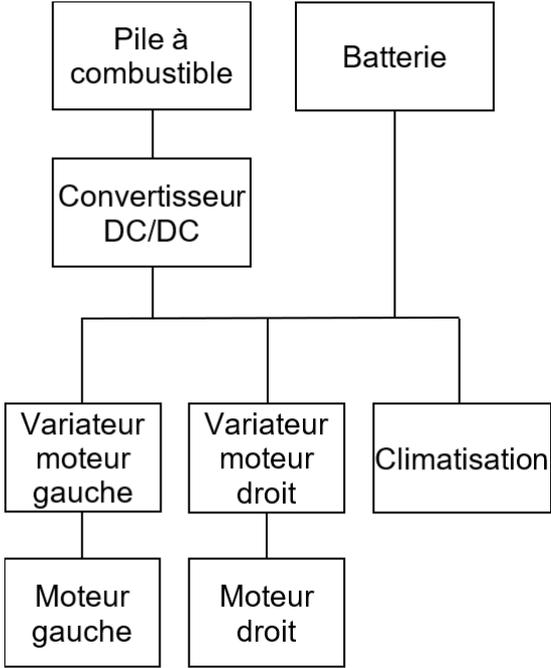
DR2 – Modes d'utilisations des constituants de la chaîne de puissance

Question 4

Mode 1: Le bus est à l'arrêt, la climatisation est en fonctionnement.

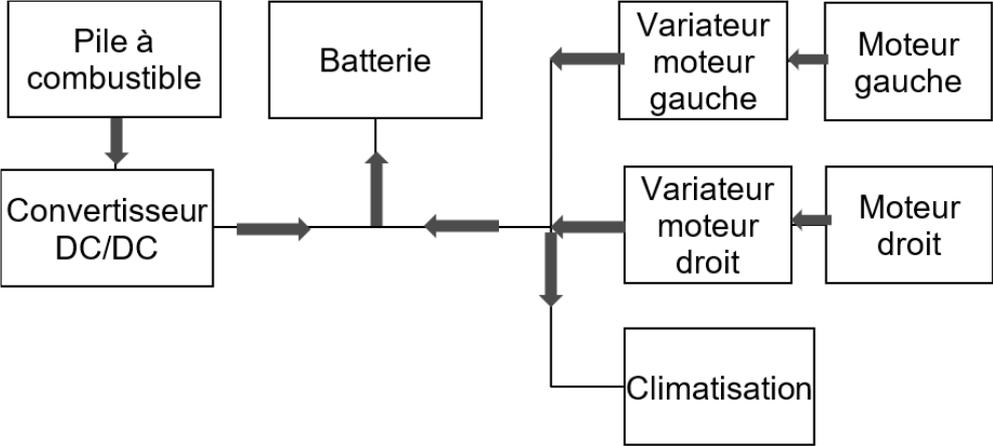


Mode 2: Le bus est en phase d'accélération (démarrage depuis un feu tricolore).



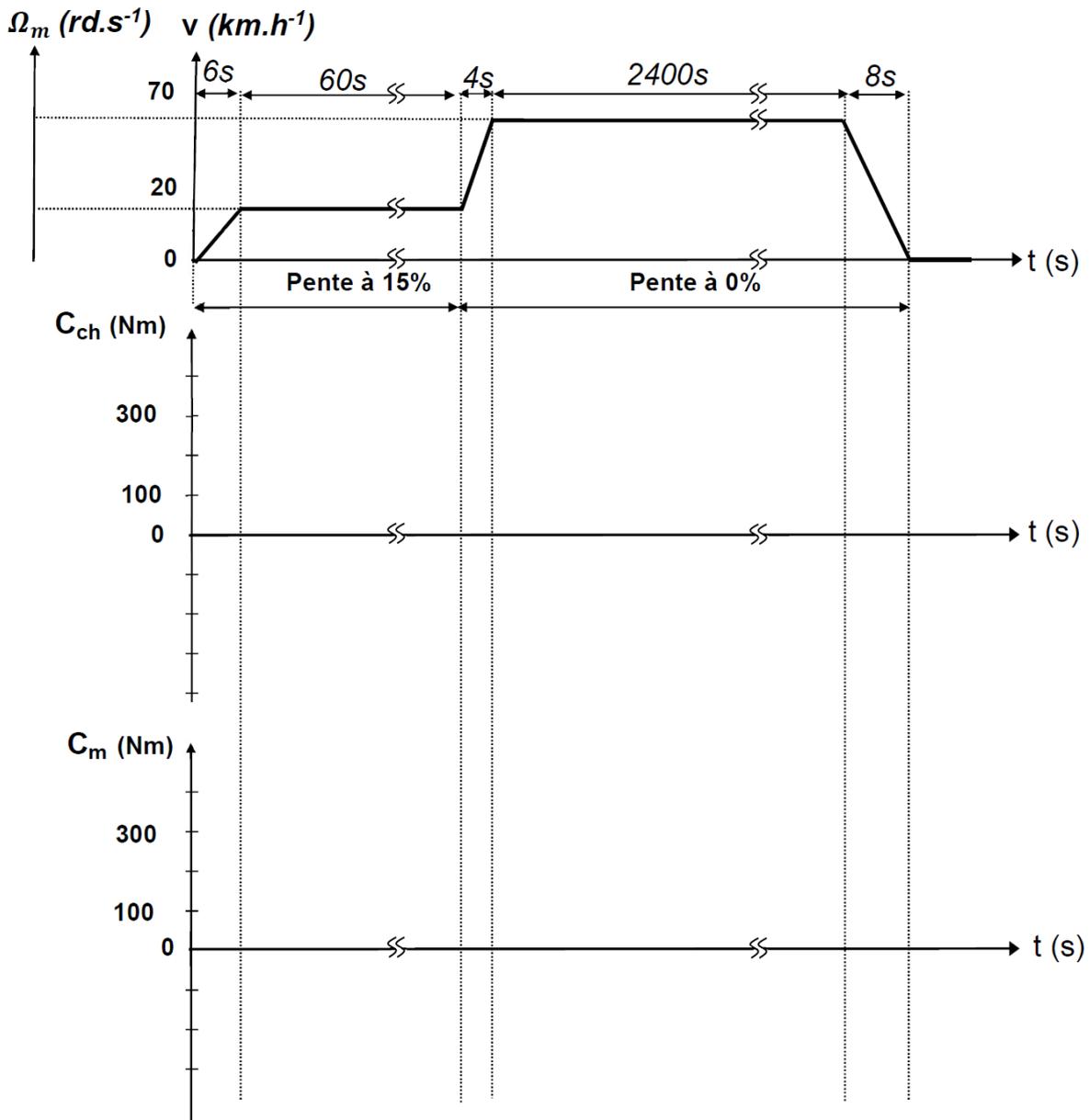
Question 5

Mode 3: (à énoncer)



DR3 - Évolutions des vitesses et du couple résistant d'un cycle de fonctionnement

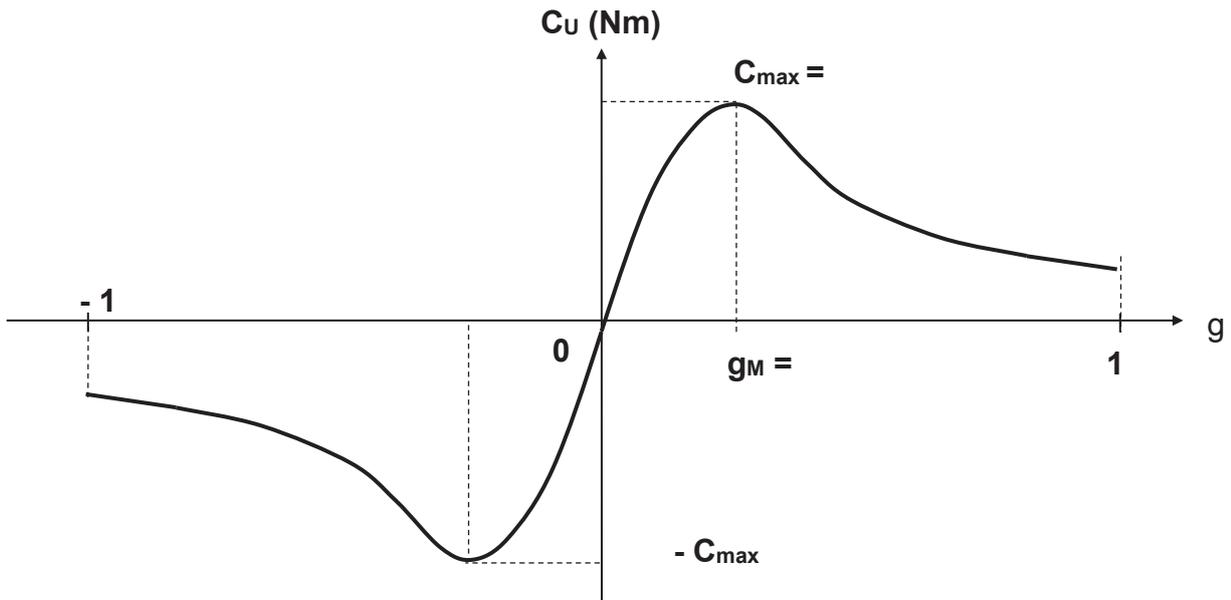
Question 11



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

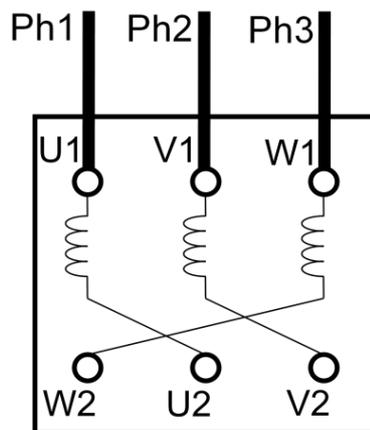
DR4 - Caractéristique mécanique d'une MAS

Question 18



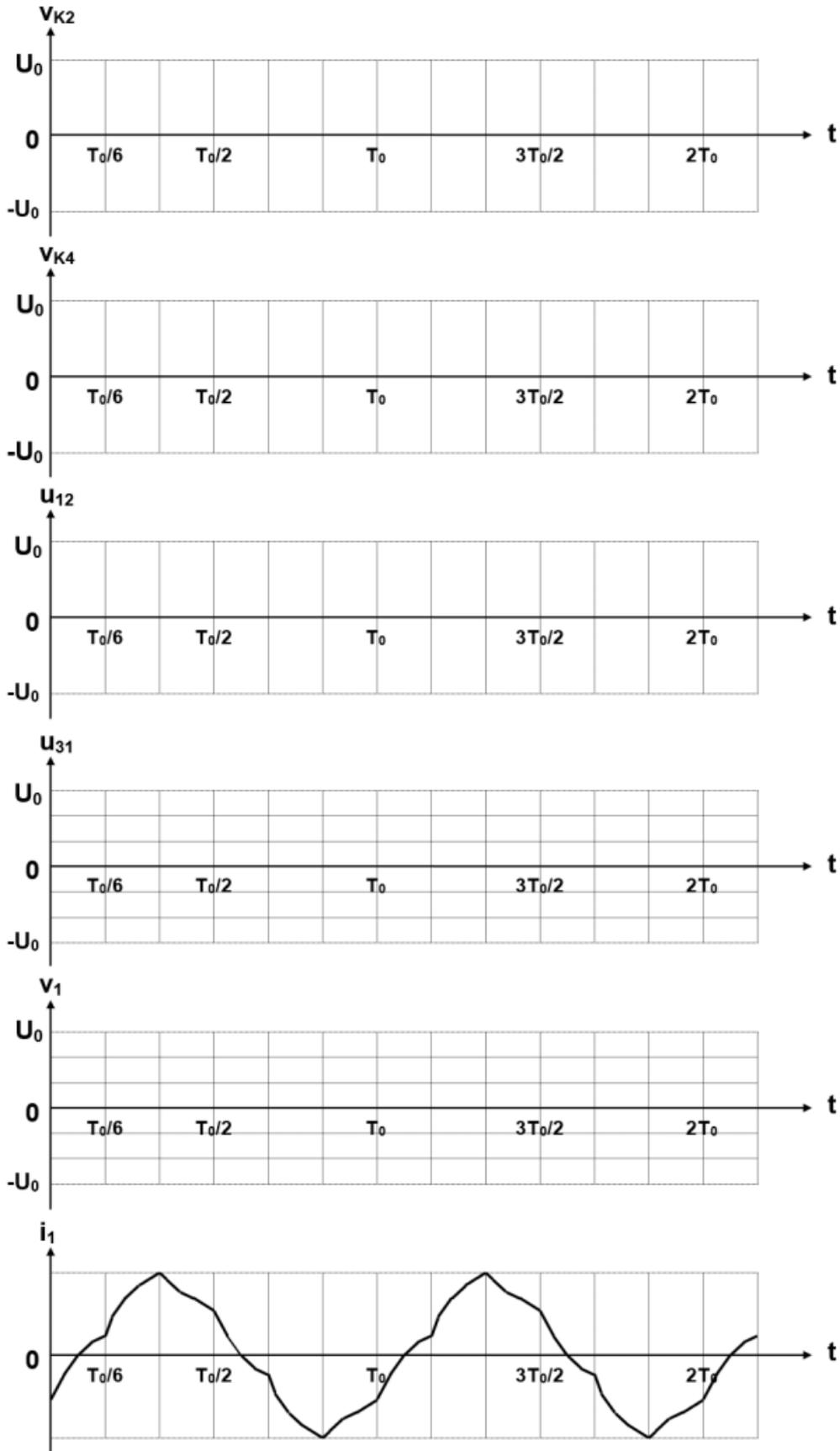
DR5 - Plaque à bornes de la MAS

Question 20



DR6 - Chronogrammes des signaux de l'onduleur

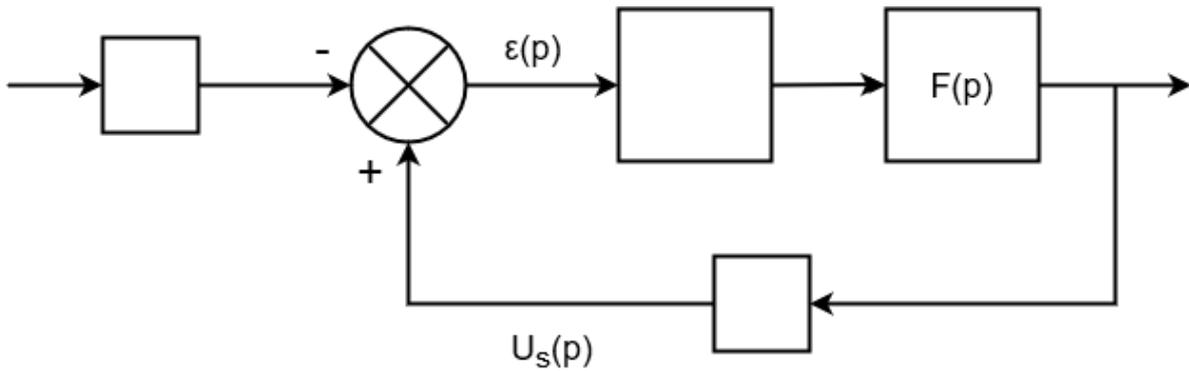
Questions 26 et 27



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

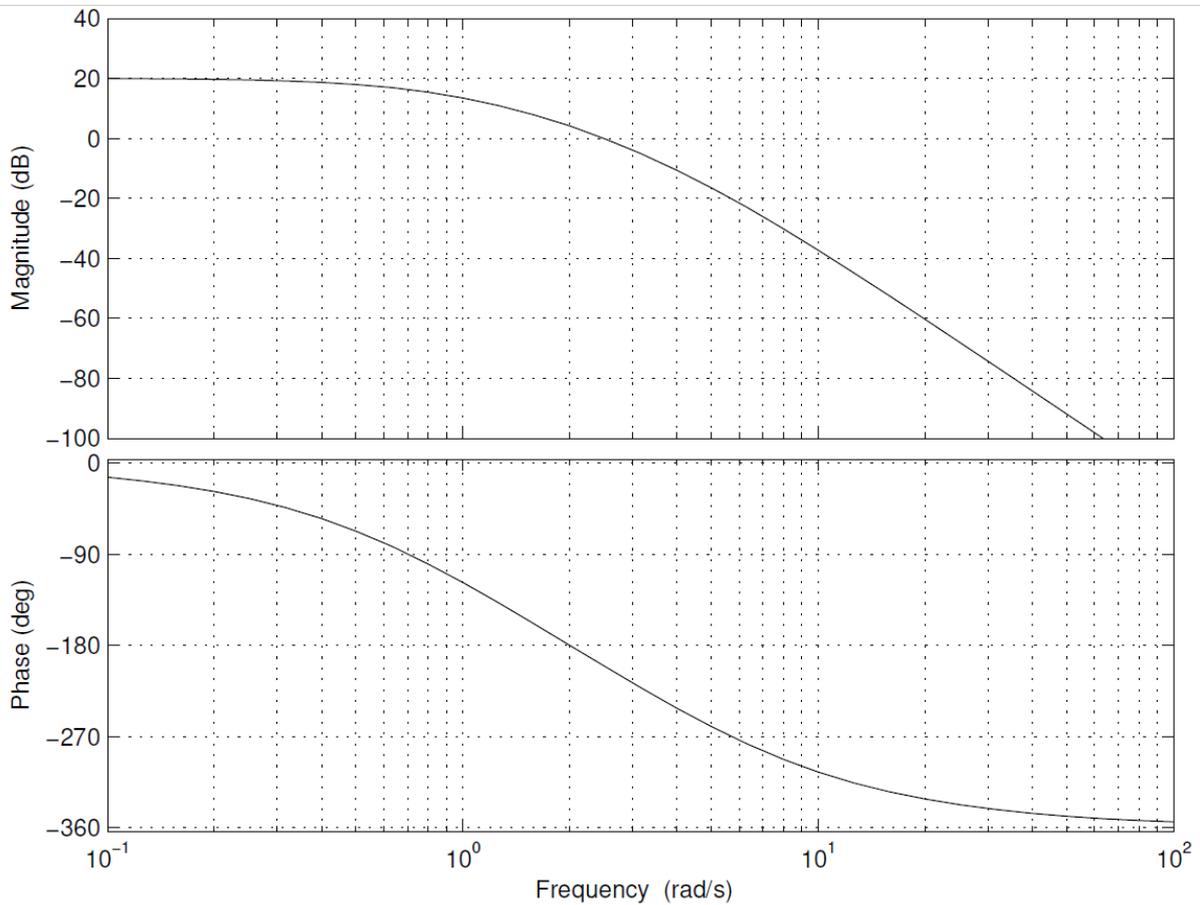
DR8 – Schéma-bloc de l'asservissement de température à compléter

Question 51



DR9 – Diagramme de Bode de la FTBO pour un gain $K = 10$

Question 52



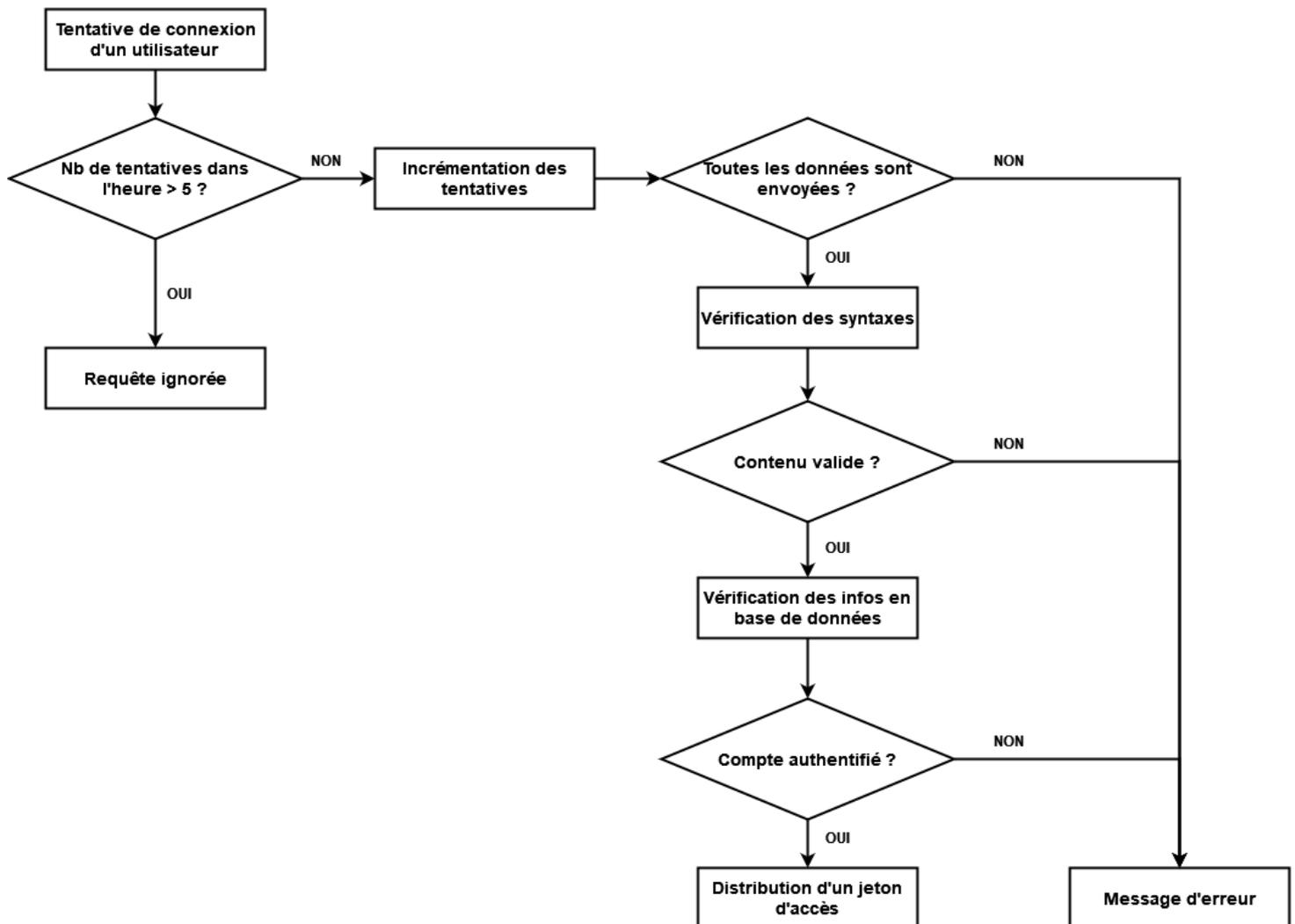
DR10 – Vérification de l'expression régulière

Question 60

```
1 public class MailUtilsTest {
2     @Test
3     public void isValid() {
4         assertEquals(,MailUtils.isValid("dupont.robort@hycity.fr"));
5         assertEquals(,MailUtils.isValid("hycity@univfrance.fr"));
6         assertEquals(,MailUtils.isValid("ne-pasrépondre@hysity.fr"));
7         assertEquals(,MailUtils.isValid("Celia.Mayeur@prod.hycity.com"));
8         assertEquals(,MailUtils.isValid("autobus45217854@54000.hycity"));
9         assertEquals(,MailUtils.isValid("ibus@hycity..fr"));
10    }
11 }
```

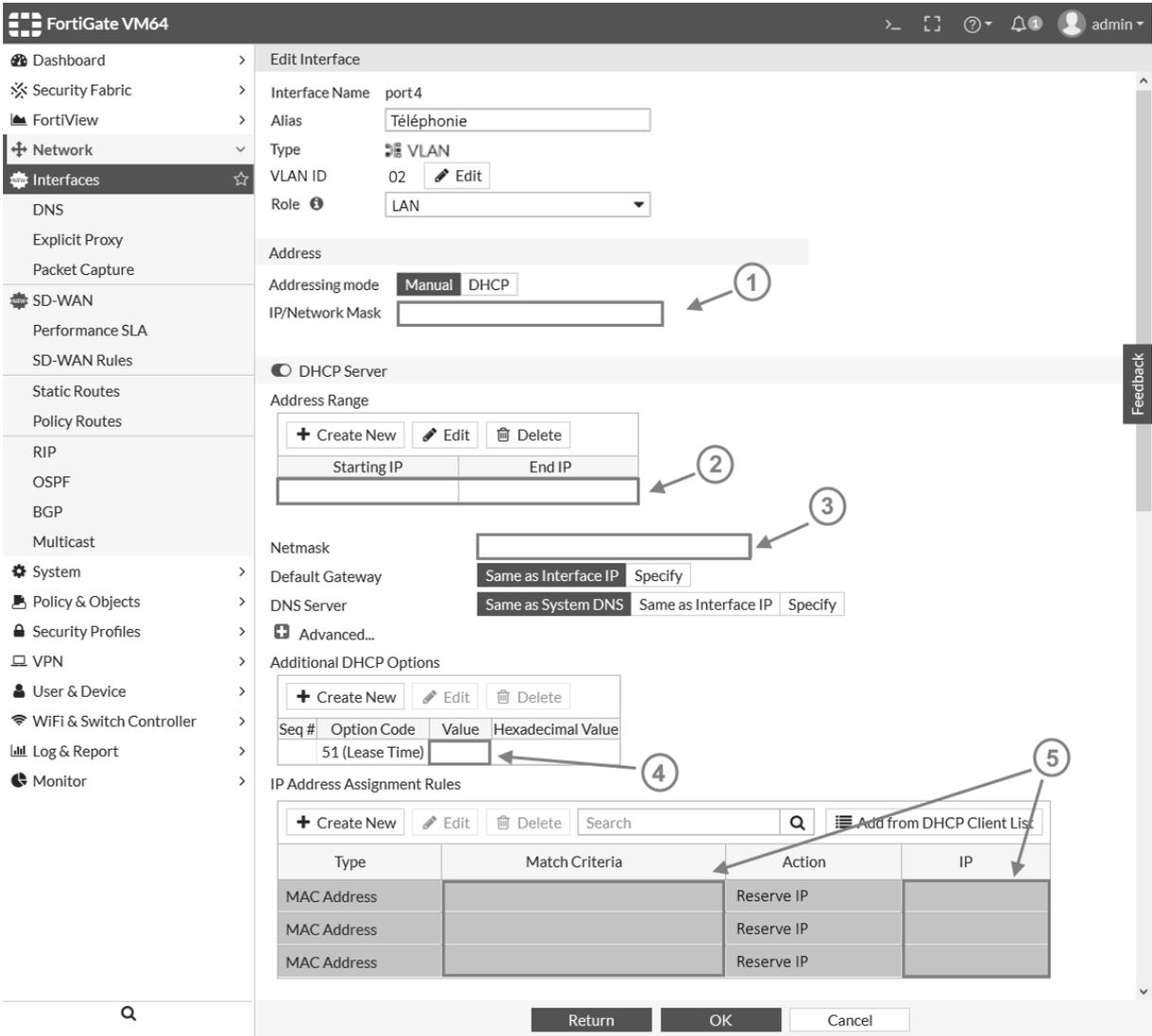
DR11 – Algorithme contre les attaques par force brute

Question 62



DR12 (1/2) – Configuration du routeur à l'aide de FortiGate Copie d'écran n°1

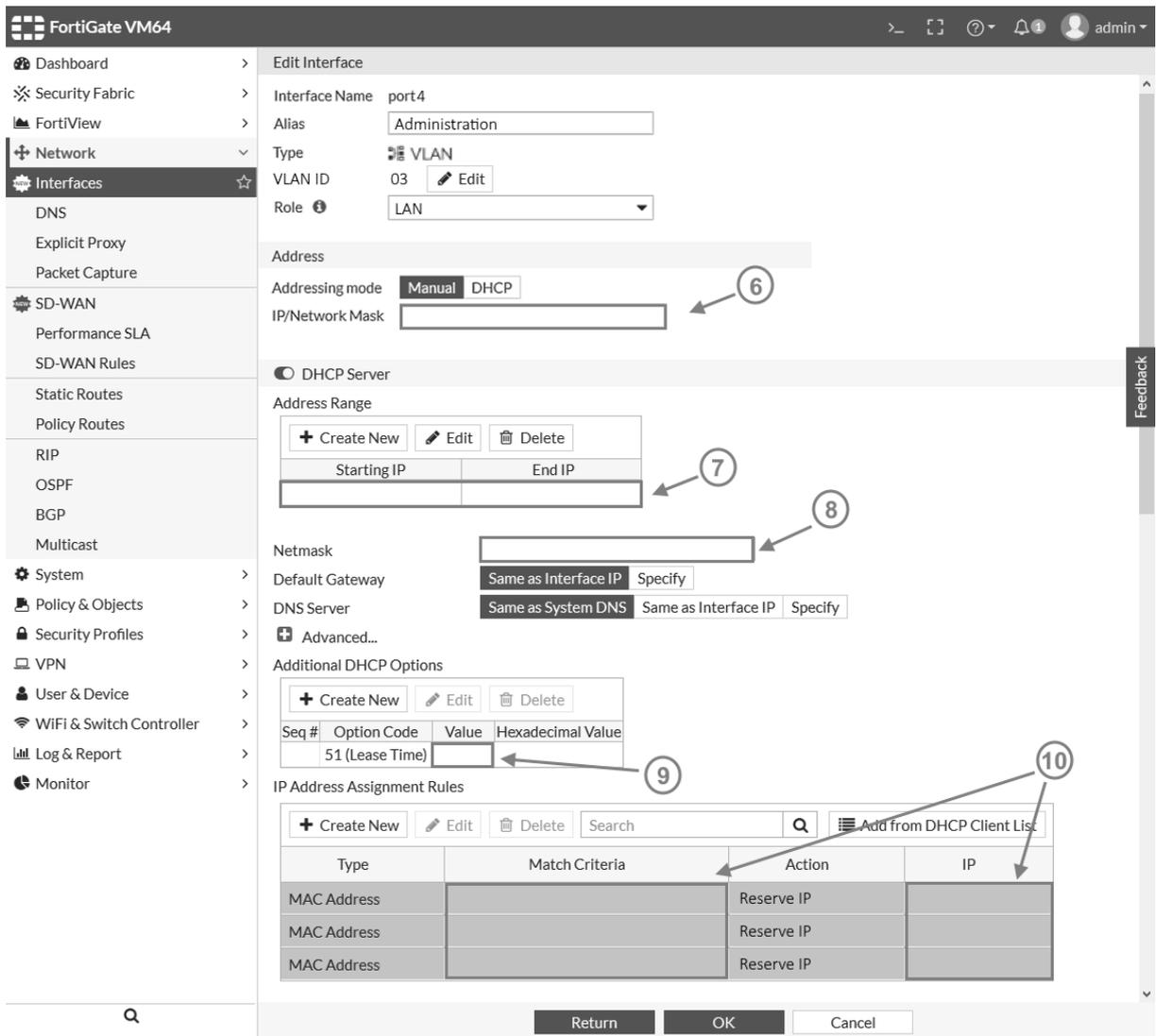
Question 68



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR12 (2/2) – Configuration du routeur à l'aide de FortiGate Copie d'écran n°2

Question 68 (suite)



The screenshot shows the FortiGate VM64 configuration interface for the 'Edit Interface' page. The interface is for 'port4' with an alias of 'Administration'. It is configured as a VLAN interface with ID 03 and role LAN. The addressing mode is set to 'Manual' (circled 6). The DHCP Server is disabled. The Address Range section includes fields for Starting IP (circled 7) and End IP (circled 8). The Netmask field is currently empty (circled 8). The Default Gateway is set to 'Same as Interface IP'. The DNS Server is set to 'Same as System DNS'. The Advanced... section shows the DHCP Server is disabled. The Additional DHCP Options section has a table with one entry: Seq # 51 (Lease Time) with a value field (circled 9). The IP Address Assignment Rules section has a table with three entries, all with 'Reserve IP' as the action and an empty IP field (circled 10).

Type	Match Criteria	Action	IP
MAC Address		Reserve IP	
MAC Address		Reserve IP	
MAC Address		Reserve IP	

DR13 – Configuration du switch

Question 69

