

SESSION 2024

CAPET
CONCOURS EXTERNE ET CAFEP CORRESPONDANT
ET TROISIEME CONCOURS

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : INGÉNIERIE ÉLECTRIQUE

ÉPREUVE ÉCRITE DSICILINAIRE

Durée : 5 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 externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D E	1 4 1 2 E	1 0 1	9 3 1 1

► **Concours externe du CAFEP/CAPET de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D F	1 4 1 2 E	1 0 1	9 3 1 1

► **Troisième concours externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D V	1 4 1 2 E	1 0 1	9 3 1 1

Étude de l'extracteur d'air du pôle bois et menuiserie du lycée les Lombards de Troyes

Le fonctionnement d'une industrie comme celle du bois génère de nombreuses particules de natures différentes. Celles-ci sont nuisibles pour l'homme et pour l'environnement. Parmi ces particules, on retrouve la poussière en très grande quantité. Elle contient des composés pouvant provoquer de graves problèmes de santé, raison pour laquelle il est indispensable de trouver des solutions efficaces pour l'évacuer de manière adaptée.

Chaque industrie en fonction de ses activités et des matières premières qu'elle utilise, peut avoir besoin d'une solution spécifique pour l'aspiration industrielle. Pour que la solution choisie soit efficace et adaptée aux besoins, il faudra prendre en compte :

- le type de polluants concerné (il peut s'agir de poussières de verre, de bois, de farine, de plastique, ou encore de poussières métalliques) ;
- la nature du (des) poste(s) à équiper.

Dans le souci de préserver la santé des opérateurs des machines, la réglementation impose aux industriels de se doter de systèmes permettant de purifier l'air dans leurs locaux.

L'étude porte sur un extracteur d'air (figure 1) équipant les locaux des salles de travaux pratiques du pôle bois et menuiserie (figure 2) du lycée les Lombards de Troyes.



Figure 1 : extracteur d'air



Figure 2 : salle de travaux du CAP bois et menuiserie

Problématique générale

Quelles sont les solutions technologiques permettant d'optimiser la consommation énergétique de l'extracteur d'air tout en assurant un fonctionnement conforme aux exigences du client et aux normes en vigueur ?

Ce sujet comporte cinq parties indépendantes abordant les problématiques suivantes :

Partie A : comment dimensionner le variateur et le moto-extracteur électriques afin d'optimiser la consommation énergétique de l'extracteur d'air ?

Partie B : comment vérifier la conformité de l'installation électrique vis-à-vis des normes ?

Partie C : comment optimiser le contrôle de la vitesse d'extraction d'air ?

Partie D : comment surveiller les températures des équipements de la chaîne d'énergie ?

Partie E : comment mettre en forme le signal issu d'un capteur de température en vue de son traitement par un automate programmable ?

Partie A : comment dimensionner le variateur et le moto-extracteur électriques afin d'optimiser la consommation énergétique de l'extracteur d'air ?

L'objectif de l'étude est de vérifier le dimensionnement de la motorisation utilisée pour entrainer les pales de l'extracteur d'air.

Le principe de fonctionnement de l'extraction et du recyclage de l'air repose sur l'association d'un ventilateur et d'une machine asynchrone à vitesse variable et contrôlée, le descriptif est présenté sur la figure 3.

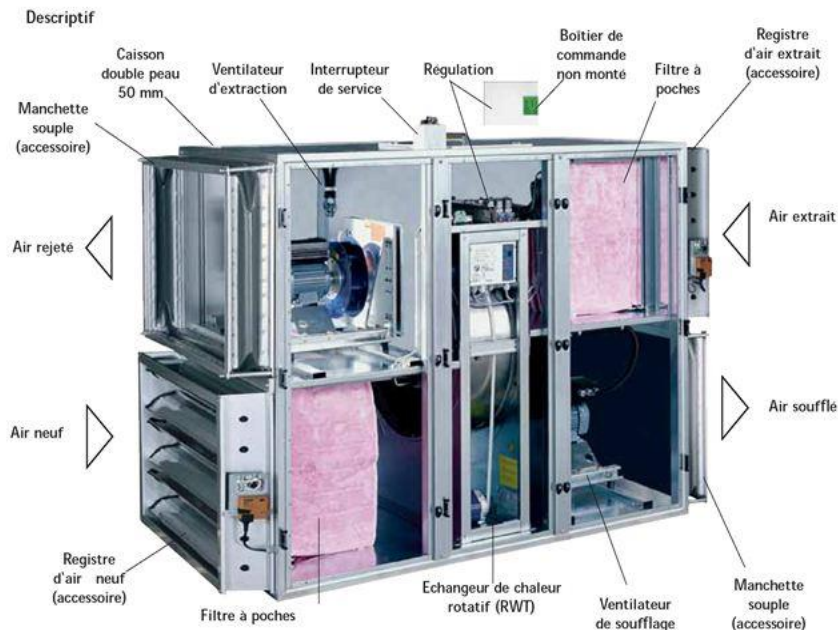


Figure 3 : synoptique de l'extraction et du recyclage de l'air

La première étape de l'étude consiste à dimensionner en puissance la pompe de l'extracteur d'air afin d'assurer le recyclage de l'air dans les conditions imposées par le client. Pour cela, le nombre de renouvellement par heure préconisé est égal à 10 (le volume total d'air de la pièce doit être renouvelé 10 fois par heure). Pour limiter le bruit, la vitesse de l'air dans les canalisations ne doit pas dépasser $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Le schéma de la figure 4 représente l'installation. L'extracteur doit permettre le renouvellement de l'air dans les deux salles du laboratoire. La salle 1 a un volume $V_1 = 2\,500 \text{ m}^3$ alors que la deuxième salle a un volume $V_2 = 2\,750 \text{ m}^3$.

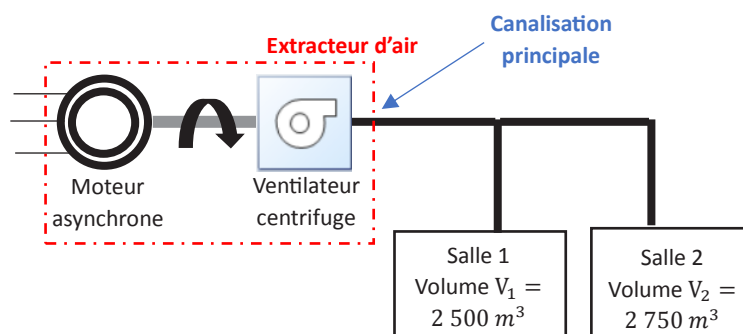


Figure 4 : schéma de l'installation

A1 Calculer les débits D_1 et D_2 respectivement dans les salles 1 et 2 en fonction des données imposées par le client. **En déduire** le débit total D_t dans la canalisation principale.

Le réseau d'aspiration est constitué de nombreux coudes, tés, raccords et réductions qui augmentent fortement les pertes de charges des conduites. En tenant compte de la pression dynamique nécessaire pour mettre l'air en mouvement, l'extracteur doit alors exercer une pression totale $\Delta p = 5\,297$ Pa.

La puissance fournie par l'extracteur, notée P_{extra} , pour assurer le débit D_t s'exprime par :

$$P_{\text{extra}} = \Delta p \times D_t \text{ avec } P_{\text{extra}} \text{ en W, } \Delta p \text{ en Pa et } D_t \text{ en m}^3 \cdot \text{s}^{-1} .$$

A2 Calculer la puissance P_{extra} et la puissance utile P_u du moteur asynchrone sachant que le ventilateur a un rendement $\eta = 0,78$.

La seconde étape de l'étude vise à valider le choix de la motorisation au point de fonctionnement nominal. Le document technique DT1 précise le modèle de la machine asynchrone utilisé pour cette étude. La plaque signalétique du moteur asynchrone porte les indications suivantes :

- tension composée $U_s = 400$ V soit une tension simple $V_s = 230$ V ;
- courant nominal $I_s = 229$ A ;
- facteur de puissance $\cos \varphi_{\text{mot}} = 0,85$;
- fréquence d'alimentation du réseau $f = 50$ Hz ;
- pulsation des grandeurs électriques $\omega_s = 2\pi \times f$
- vitesse de rotation nominale $N = 1\,400$ tr · min⁻¹ ;
- nombre de paires de pôle $p = 2$.

A3 À l'aide du document technique DT1, **déterminer** l'expression littérale et **calculer** la vitesse des champs tournants vu du stator N_s en tr · min⁻¹. **En déduire** la valeur du glissement nominal g .

On note X la valeur efficace de la grandeur complexe \underline{X} .

A4 À l'aide du document technique DT1, **exprimer** le courant I'_r en fonction de V_s , L_f , ω_s et $\frac{R'_R}{g}$. **Calculer** la valeur de I'_r .

Dans la suite de l'étude on considère que $I'_r = 122$ A et que le couple de pertes est constant et égal à $C_p = 200$ Nm.

A5 À l'aide du document technique DT1, **calculer** :

- la puissance absorbée P_a ;
- les pertes joules au rotor P_{jr} ;
- les pertes mécaniques P_{pm} .

A6 À l'aide du document technique DT1, **en déduire** la valeur de la puissance utile P_u en sortie de la machine asynchrone.

Pour la suite on pose $P_u = 100 \text{ kW}$.

A7 Valider le choix de la motorisation en comparant le résultat obtenu à la question A2 et la valeur de P_u .

Le document réponse DR1 représente les courbes suivantes :

- évolution du couple utile C_u de la machine asynchrone en fonction de la vitesse de rotation de l'arbre Ω ;
- évolution des couples aérodynamique C_v en fonction de Ω selon différentes valeurs du diamètre, noté d , des pâles du ventilateur.

On rappelle que la vitesse rotation nominale du moteur est $N = 1400 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

A8 Sur le document réponse DR1, **placer** le point de fonctionnement nominal du moteur sur la courbe caractéristique $C_u(\Omega)$. **En déduire** le diamètre des pâles du ventilateur adapté au fonctionnement en régime établi.

Partie B : comment rendre conforme l'installation électrique vis- à vis des normes ?

L'objectif de l'étude est d'identifier et de dimensionner les matériels requis pour garantir un transfert d'énergie de qualité et conforme à la norme.

La figure 5 illustre l'installation électrique triphasée de l'atelier bois et menuiserie du lycée les lombards. L'atelier est alimenté par un réseau triphasé équilibré de tension composée $U_r = 400 \text{ V}$ et est constitué :

- du moto-ventilateur de l'extracteur d'air dont les caractéristiques sont les suivantes :
 - tension composée $U_n = 400 \text{ V}$ soit une tension simple $V_n = 230 \text{ V}$;
 - courant nominal $I_s = 229 \text{ A}$;
 - facteur de puissance $\cos \varphi_{\text{mot}} = 0,85$;
 - fréquence d'alimentation du réseau $f = 50 \text{ Hz}$;
 - pulsation d'alimentation $\omega = 2\pi \times f$.
- d'ordinateurs et d'un automate de sécurité qui consomment une puissance électrique $P_0 = 1 \text{ kW}$ avec un facteur de puissance $\cos \varphi_0 = 1$;
- du système d'éclairage et des équipements de l'atelier (groupe de perçage, brosses, chaînes et scies) qui consomment une puissance active $P_e = 43 \text{ kW}$ et une puissance réactive $Q_e = 25,5 \text{ kVAR}$.

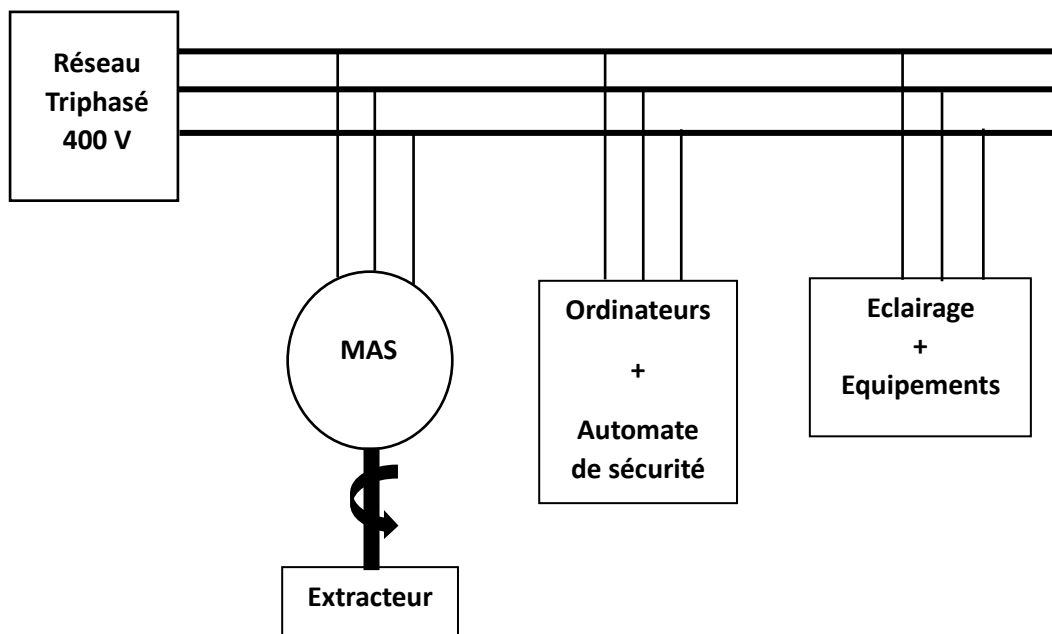


Figure 5 : synoptique de l'installation de l'atelier bois et menuiserie

B1 Calculer, pour l'atelier, la puissance active totale P_{charge} , la puissance réactive totale Q_{charge} et la puissance apparente totale S_{charge} .

B2 En déduire le courant total absorbé noté I_{abs} , par cette installation ainsi que le facteur de puissance F_p .

Pour la suite de l'étude on prend $P_{\text{charge}} = 178,3 \text{ kW}$ et $Q_{\text{charge}} = 108,7 \text{ kVAR}$.

Le gestionnaire d'énergie impose un facteur de puissance compris entre 0,92 et 1. Pour cela, une batterie de condensateurs a été ajoutée en parallèle (un condensateur de capacité C par phase) de l'installation.

Le dimensionnement des condensateurs de compensation d'énergie réactive est réalisé afin d'obtenir un facteur de puissance unitaire de l'ensemble de l'installation au point de fonctionnement nominal.

B3 Montrer que l'expression permettant de calculer la capacité d'un condensateur à coupler en étoile et ramenant le facteur de puissance à 1 est :

$$C = \frac{Q_{\text{charge}}}{3 \times \omega \times V_n^2} \text{ avec } \omega = 2\pi \times f.$$

B4 En déduire la valeur de C pour compenser la puissance réactive.

Dans la suite de l'étude, l'atelier équipé de la batterie de condensateurs est assimilé à une charge dont la puissance active est $P_{\text{charge}} = 178,3 \text{ kW}$ et le facteur de puissance $F_p = 1$. Le réseau électrique défini précédemment alimente l'atelier au travers d'une ligne triphasée de longueur $X = 850 \text{ m}$ via le secondaire du transformateur. Chaque fil de ligne est modélisé par l'association d'une résistance R_L en série avec une inductance L_L . Les câbles ont une résistance par unité de longueur $R_u = 20 \text{ m}\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ et une inductance par unité de longueur $L_u = 1,2 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$.

La figure 6 illustre le schéma équivalent de l'installation étudiée. Les grandeurs utilisées sur cette figure sont :

- U_D la valeur efficace de la tension composée tension au secondaire du transformateur considéré comme parfait ;
- U_r la valeur efficace de la tension composée du réseau triphasé équilibré, alimentant l'atelier, $U_r = 400 \text{ V}$;
- $\Delta U = U_D - U_r$ la chute de tension composée ;
- I_{tot} la valeur efficace du courant dans un conducteur de phase.

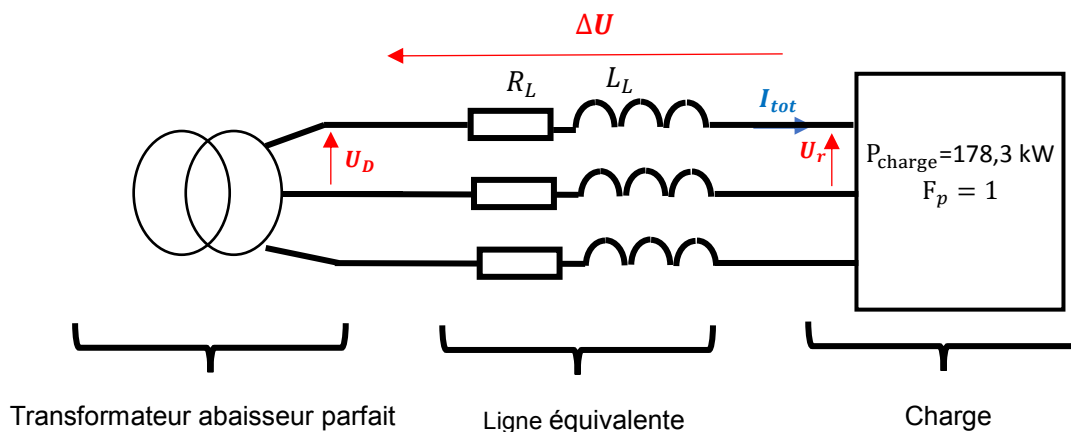


Figure 6 : schéma équivalent du réseau électrique

B5 Calculer la résistance R_L et l'inductance L_L pour chaque fil de ligne de longueur $X=850$ m.

B6 Exprimer et **calculer** la valeur efficace de l'intensité I_{tot} du courant dans un conducteur de phase.

Pour la suite, on pose $I_{tot} = 258$ A.

B7 Pour l'ensemble « réseau électrique et récepteur », **exprimer** et **calculer** la puissance active totale P_T , la puissance réactive totale Q_T et la puissance apparente S_T vue du secondaire du transformateur abaisseur parfait.

B8 En déduire la valeur efficace de la tension entre phases U_D au secondaire du transformateur abaisseur ainsi que la chute de tension ΔU en proportion de U_D .

B9 À l'aide du document technique DT2, **indiquer** si la valeur de ΔU est conforme à la norme NFC 15-100 sachant que le transformateur est du domaine public dans la catégorie « autres usages ». Dans le cas contraire, **proposer** une solution pour diminuer la chute de tension.

La suite de l'étude porte sur le fonctionnement du moto-extracteur en vitesse variable. L'objectif est de valider le choix d'une commande du variateur par MLI (Modulation de largeur d'impulsion) de l'onduleur au regard des impacts de compatibilité électromagnétique de celui-ci sur le reste du réseau. Le but est de calculer le taux de distorsion harmonique (THD) et de le valider vis-à-vis des exigences de la norme IEC/EN 61000-2-2.

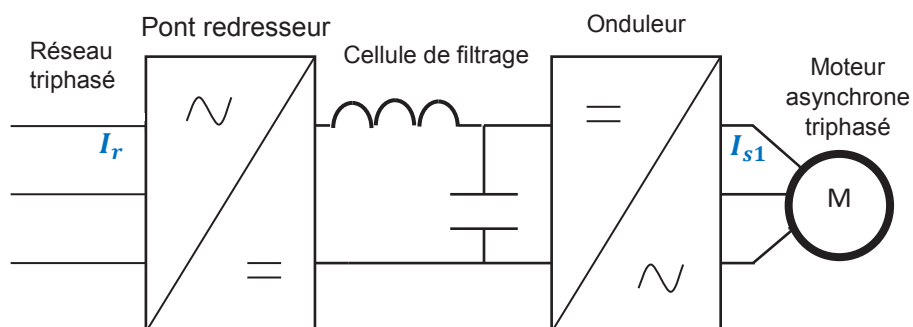


Figure 7 : synoptique de la structure "variateur + moto-extracteur"

La structure interne du variateur est présentée sur la figure 7. Il est constitué :

- d'un pont redresseur, celui-ci génère des harmoniques sur le réseau ;
- d'une cellule de filtrage ;
- d'un onduleur commandé afin de piloter en vitesse la machine asynchrone.

Les simulations réalisées sont présentées sur le document technique DT3. Deux cas d'études sont présentés :

- le cas 1 où le variateur de vitesse est commandé en pleine onde ;
- le cas 2 où le variateur de vitesse est commandé par MLI avec une fréquence de la porteuse $f_p = 6\,000$ Hz.

On rappelle que le taux de distorsion harmonique (THD) est déterminé par la formule :

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1}$$

avec :

- I_1 : valeur efficace du fondamental du courant
- $I_2, I_3, I_4, \dots, I_n$ valeurs efficaces des harmoniques du courant

B10 À l'aide du document technique DT3, **calculer**, à l'aide du fondamental et des harmoniques de rang 3, 5, 7 et 9, le THD du courant réseau I_r dans les deux cas.

La norme IEC/EN 61000-2-2 fixe un THD de courant inférieur à 25 % pour assurer une compatibilité électromagnétique conforme.

B11 Conclure dans les deux cas sur la qualité du signal I_r vis-à-vis de l'exigence fixée par la norme IEC/EN 61000-2-2.

B12 À l'aide du document technique DT3, **commenter** la conséquence de la mise en place d'une MLI sur la décomposition spectrale du signal I_r . **Proposer** une solution pour pallier ce problème.

B13 À partir des résultats précédents, **justifier** le choix d'une commande MLI pour le pilotage du variateur de vitesse.

Partie C : Comment optimiser le contrôle de la vitesse d'extraction de l'air ?

L'objectif de cette partie est de définir une stratégie de commande permettant d'assurer le pilotage en vitesse de la motorisation.

On suppose que le point de fonctionnement nominal de la vitesse N se trouve dans la zone de linéarité. La figure 8 décrit le principe de la commande scalaire (asservissement en vitesse) de la motorisation. Pour cela un capteur de vitesse mesure la vitesse instantanée Ω et la compare à une consigne de vitesse Ω_{ref} . L'écart entre la consigne et la vitesse réelle permet d'établir la commande de pulsation des champs statoriques ω_{sref} via un correcteur.

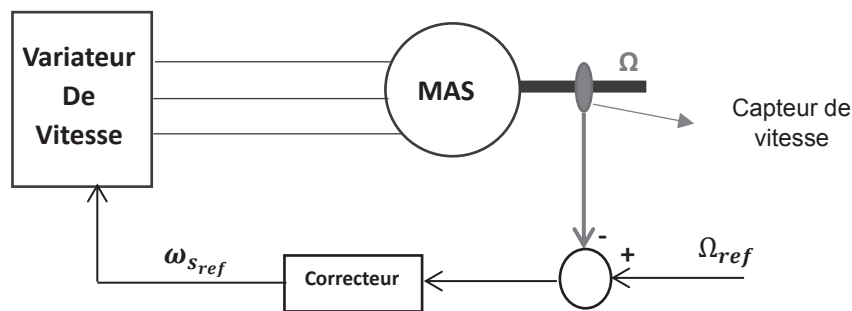


Figure 8 : schéma de l'autopilotage de la motorisation

Le modèle de la machine asynchrone et les équations associées sont indiquées dans le document technique DT1. L'étude sera faite pour un glissement faible ($g \approx 0$).

C1 À l'aide des équations 1 et 2 du document technique DT1 et de l'hypothèse d'un faible glissement, **montrer** que le couple C_{em} peut se mettre sous la forme

$$C_{em} = \frac{3p}{R_r'} \times \left(\frac{V_s}{\omega_s}\right)^2 \omega_s \times g.$$

C2 À l'aide du document technique DT1, **mettre** l'équation précédente sous la forme $C_{em} = A \cdot \omega_r$ avec ω_r la pulsation des champs au rotor. **Donner** l'expression de A en fonction de p, V_s , R_r' et ω_s .

C3 **Montrer** que l'équation 3 du document technique DT1 peut s'exprimer dans le domaine de Laplace (à conditions initiales nulles) sous la forme :

$$\Omega(p) = \frac{K_{meca}}{1 + \tau_{meca} p} [C_{em}(p) - C_r(p)].$$

Exprimer K_{meca} et τ_{meca} en fonction de J et f. **Déterminer** les valeurs numériques K_{meca} et τ_{meca} .

C4 À partir de l'équation 2 du document technique DT1 et des résultats précédents, **compléter** le document réponse DR2 illustrant le modèle scalaire de la motorisation asynchrone dans le domaine de Laplace.

La suite de l'étude porte sur le dimensionnement du correcteur qui assure l'asservissement en vitesse de la motorisation. La figure 9 illustre la modélisation de la boucle de vitesse. Pour la suite de l'étude, on considère que $H_m(p) = \frac{K_{meca}}{1 + \tau_{meca}p}$.

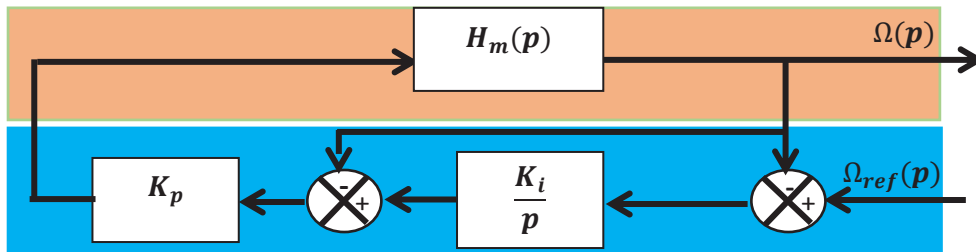


Figure 9 : modélisation de la boucle d'asservissement de vitesse

C5 Déterminer la fonction de transfert $H_{bf}(p) = \frac{\Omega(p)}{\Omega_{ref}(p)}$ en fonction de K_p, K_i, K_{meca} et τ_{meca} . **Mettre** l'expression obtenue sous la forme canonique :

$$H_{bf}(p) = \frac{1}{1 + \frac{2m}{\omega_0}p + \frac{1}{\omega_0^2}p^2}.$$

C6 Déterminer l'expression de m et de ω_0 en fonction de K_p, K_i, K_{meca} et τ_{meca} .

C7 À l'aide du théorème de la valeur finale, **montrer** que l'erreur statique de la boucle de vitesse est nulle lorsque l'entrée est un échelon de vitesse d'amplitude Ω_0 .

Pour la suite du problème on pose :

- l'amortissement $m = 1$;
- le temps de réponse T_r (en s) = 1 s
- la pulsation propre ω_0 (en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$) = $\frac{5}{T_r}$.
- avec $K_{meca} = 250$ et $\tau_{meca} = 8,5$ s.

C8 Exprimer les gains K_p et K_i représentés figure 9 en fonction de m, K_{meca}, τ_{meca} et ω_0 . **Déterminer** les valeurs numériques de K_p et K_i .

Les performances de l'autopilotage sont étudiées dans un premier temps pour une situation parfaite dans laquelle la génération de ω_s à partir de ω_{sref} se fait instantanément soit $\omega_s = \omega_{sref}$.

Dans la suite de l'étude on considère que la consigne de vitesse est un échelon d'amplitude Ω_0 .

C9 À l'aide du document technique DT4, **déterminer** l'erreur statique ε_{s1} et le dépassement relatif D_1 de la boucle de vitesse dans le cas où $\omega_s = \omega_{sref}$.

La marge de phase correspond à la différence entre la phase pour un gain de 0 dB et 180° , soit $M_\varphi = \text{Arg}(H_{\text{bf}(0\text{dB})}) + 180^\circ$. La fonction Arg représente l'argument de $H_{\text{bf}}(p)$.

C10 À l'aide du document technique DT4, **déterminer** la marge de phase $M_{\varphi 1}$ de la boucle de vitesse.

Les exigences fixées par le cahier des charges sont :

- un dépassement $D_\% \leq 5\%$;
- une erreur statique sur la boucle de vitesse ε_v nulle ;
- une marge de phase $M_\varphi \geq 90^\circ$.

C11 Conclure sur les performances de la motorisation au regard des exigences fixées par le cahier des charges dans le cas où $\omega_s = \omega_{\text{sref}}$.

Dans un second temps, il faut prendre en compte le régime transitoire du variateur de vitesse tel que $\omega_s = \frac{1}{1+\tau_{vv}p} \omega_{\text{sref}}$.

C12 À l'aide du document technique DT5, **évaluer** dans cette situation :

- l'erreur statique ε_{s2} ;
- le dépassement relatif D_2 ;
- la marge de phase $M_{\varphi 2}$.

C13 Conclure sur les performances de la motorisation au regard des exigences fixées par le cahier des charges dans le cas où $\omega_s = \frac{1}{1+\tau_{vv}p} \omega_{\text{sref}}$.

Partie D : Comment surveiller les températures des équipements de la chaîne d'énergie ?

L'objectif est d'établir la constitution matérielle et logicielle de la chaîne d'information assurant la régulation de la température de l'armoire électrique du variateur de vitesse.

L'automate utilisé pour la gestion de la sécurité des équipements et la surveillance des températures est un Siemens S7-1500.



Celui-ci est accompagné d'un module d'alimentation ainsi que de quatre modules d'entrées/sorties (E/S « tout ou rien » et analogiques).

Parmi les fonctions de sécurité attribuées à l'automate, on retrouve également la surveillance des températures des éléments de la distribution en énergie : le redresseur, la cellule de filtrage, le moteur de l'extracteur mais aussi les températures intérieures et extérieures du bâtiment. Le diagramme des exigences de la figure 10 présente l'ensemble des fonctionnalités.

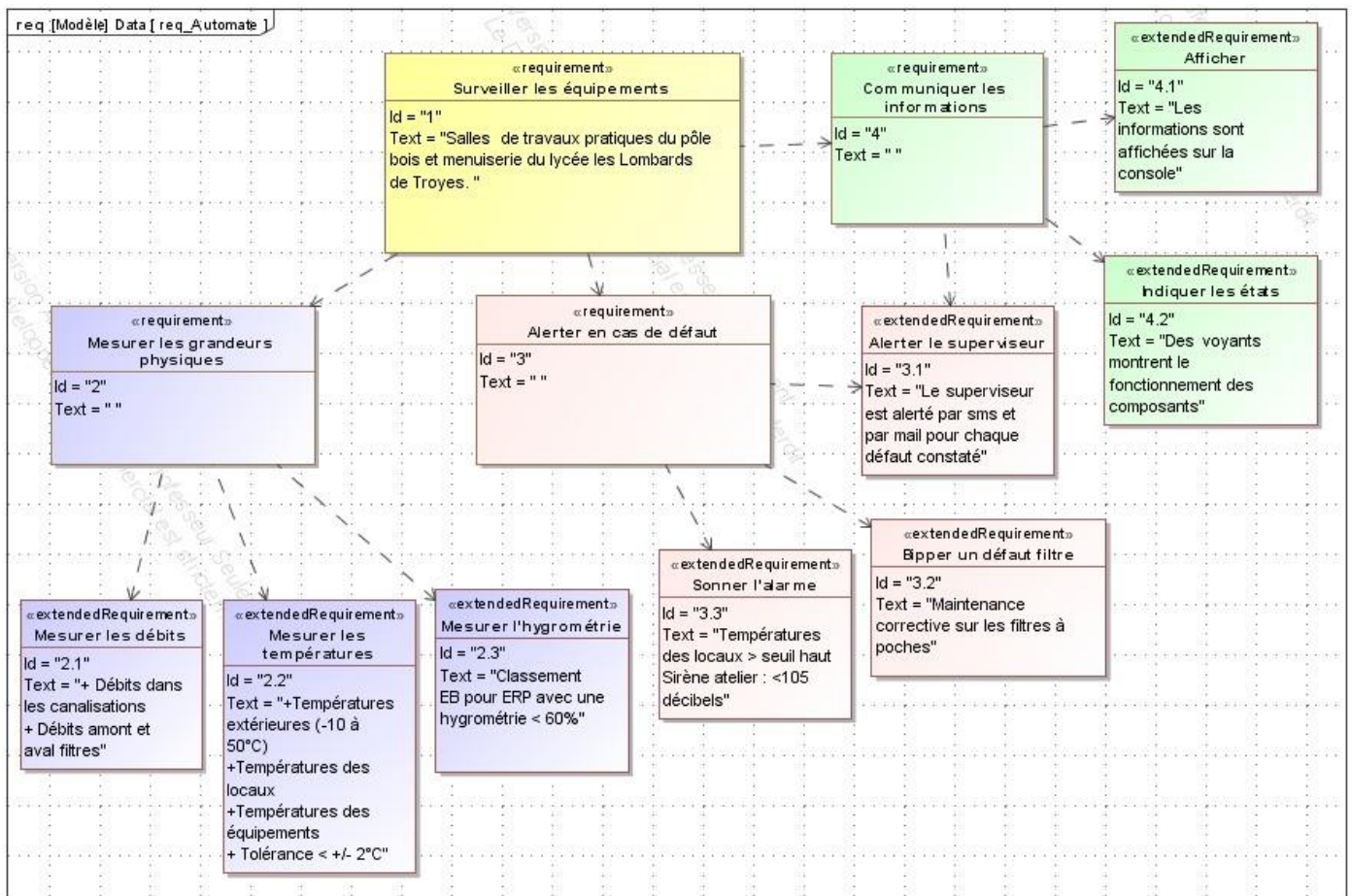


Figure 10 : diagramme des exigences

Le diagramme de définition des blocs de la figure 11, détaille les composants utilisés pour la surveillance de la température de l'armoire électrique contenant le variateur de vitesse de l'extracteur d'air.

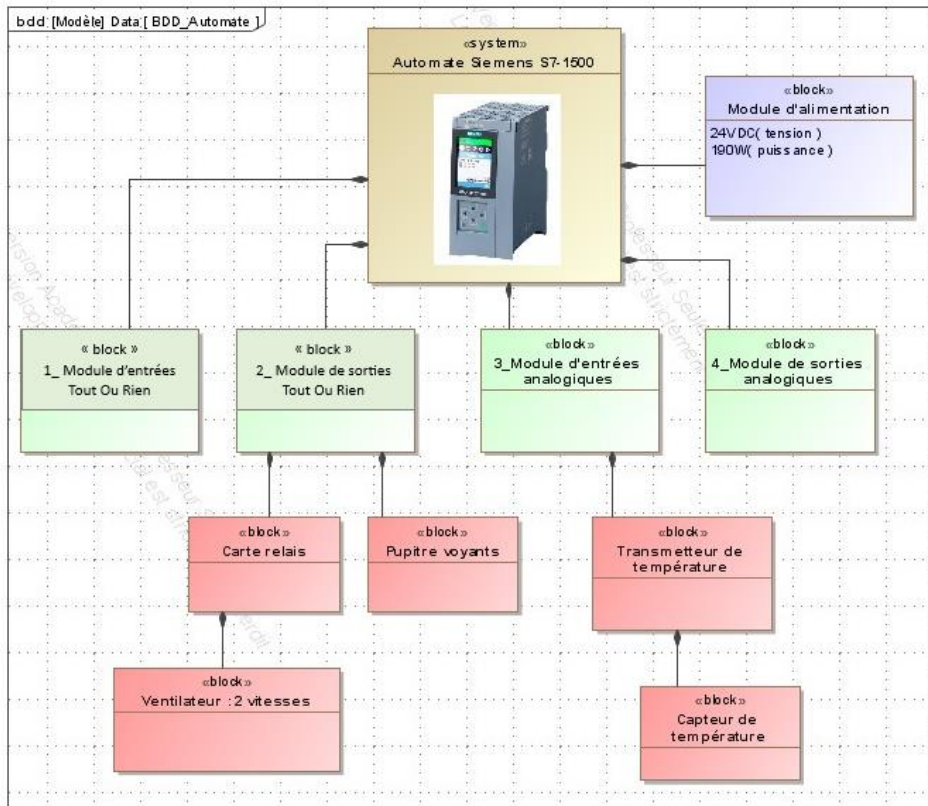


Figure 11 : diagramme de définition des blocs

1 - Typologie des capteurs de température

Les capteurs utilisés pour les mesures de l'ensemble des températures sont de type thermocouple.

Principe de fonctionnement : si on réunit à une extrémité (jonction) deux fils métalliques de natures différentes et que l'on élève la température de cette extrémité, il apparaît une tension e_{AB} aux extrémités restées libres (figure 12).

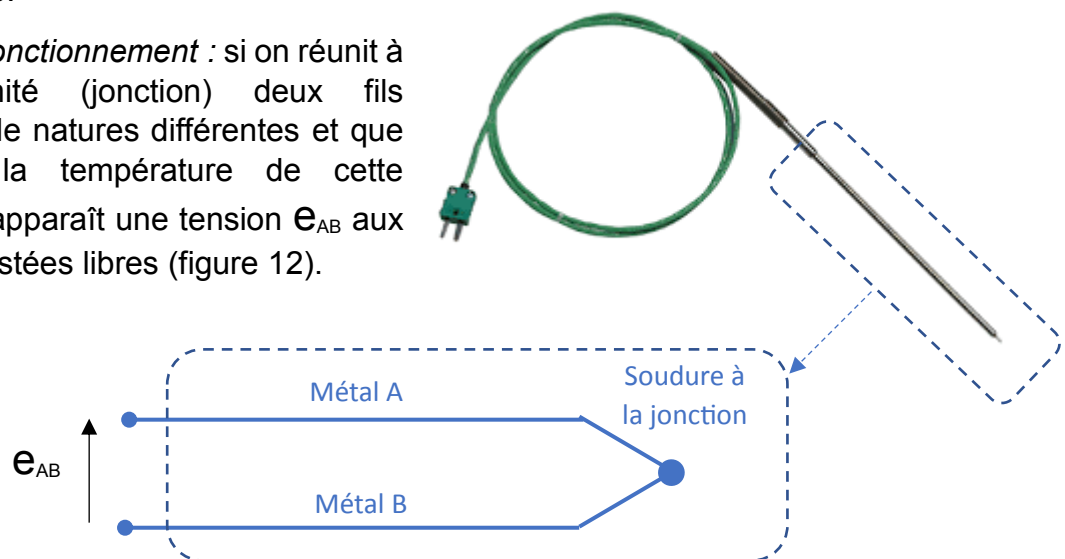


Figure 12 : principe de fonctionnement du thermocouple

Il est possible de déterminer la température de l'extrémité à partir de la mesure de la tension e_{AB} .

La figure 13 présente les caractéristiques en fonction du type de thermocouple :

Type	Plage de mesure conseillée en °C	Alliages	Tolérance (°C)	Comparaison qualitative des Prix	Fiabilité Durée de vie maintenance
T	-200 à 350	Cuivre et Constantan	+/-1	Très élevé	Répétabilité exceptionnelle de +/-0,1 °C de -200 à 200 °C
K	-10 à 1 100	Chromel et Alumel	+/- 2,5	Faible	Stabilité moins satisfaisante que d'autres thermocouples
N	0 à 1250	Nicrosil et Nisil	+/- 2,5	Très élevé	Stabilité supérieure aux autres thermocouples courants
J	-30 à 700	Fer et Constantan	+/- 1,5	Élevé	S'oxyde rapidement en milieu humide
E	0 à 800	Chromel et Constantan	+/- 2	Élevé	Thermocouple à la FEM ¹ la plus élevée

Figure 13 : caractéristiques en fonction du type de thermocouple

D1 À l'aide des figures 10 et 13, **justifier** le choix d'un type J pour les capteurs de température thermocouple.

2 – La chaîne d'acquisition

La figure 14 présente les composants qui constituent la chaîne d'acquisition de la température à l'intérieur de l'armoire électrique (T_{ARM}) vers l'automate programmable.

¹ FEM : Force Électro-Motrice

Température dans l'armoire
électrique : T_{ARM}

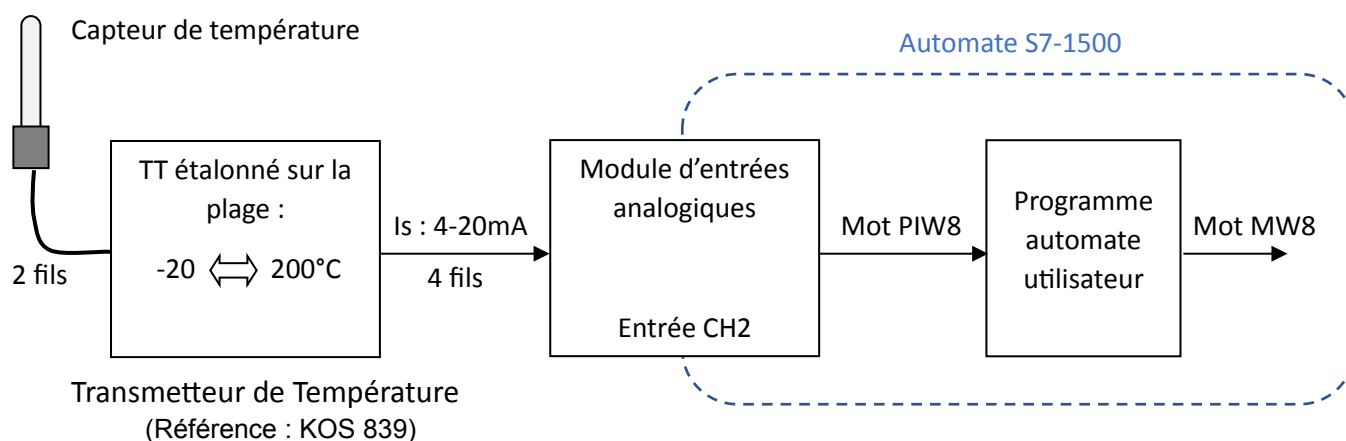


Figure 14 : chaîne d'acquisition de la température à l'intérieur de l'armoire électrique

Le transmetteur de température nommé « TT » convertit la tension (de l'ordre du millivolt) du capteur thermocouple en un signal de sortie normalisé, ici un courant 4 – 20 mA compatible avec le module d'entrée analogique de l'automate.

Le document technique DT6 présente la documentation du transmetteur de température de référence « KOS 839 ».

D2 À l'aide des documents techniques DT6, **compléter** le schéma de raccordement entre la sonde de température et le transmetteur de température TT, du document réponse DR3.

Les documents techniques DT7 et DT8 présentent le module d'entrée analogique de référence « AI 8xU/I/RTD/TC ST ».

D3 À l'aide des documents DT6 et DT7, **compléter** le schéma de raccordement entre le transmetteur de température TT et le module d'entrées analogiques sur le document réponse DR3.

D4 À l'aide de la figure 14, **compléter** le document réponse DR4 afin de caractériser les valeurs d'entrée/sortie de la fonction de transfert $I_s = f(T_{ARM})$ du transmetteur. **Préciser** l'unité employée.

D5 À l'aide du document technique DT6, **compléter** le tableau de configuration du switch S1 du transmetteur de température sur le document réponse DR4.

L'automate possède une mémoire interne lui permettant de stocker des variables. Une adresse mémoire codée sur 2 octets est allouée à chaque entrée, sortie et mot interne. Par exemple, MW8 est un mot interne permettant des traitements numériques via la programmation automate.

Toutes les entrées / sorties analogiques commencent par un « P » :

- PIWi pour les entrées
- PQWj pour les sorties

D6 À l'aide du document technique DT8, **indiquer** sur combien de bit est codée une entrée analogique, **préciser** le rôle du bit de poids fort.

D7 À l'aide de la figure 14, **compléter** le tableau du document réponse DR4 permettant de connaître la valeur décimale du mot PIW8 en fonction du courant Is mesuré.

D8 **Compléter** et **dessiner** la caractéristique $PIW8=f(I_s)$ dans la zone de fonctionnement du transmetteur de température du document réponse DR5.

MW8 est un mot interne à l'automate, il doit permettre de connaître la valeur de la température mesurée par le capteur de température en °C. Un calcul de « mise à l'échelle » entre les mots PIW8 et MW8 doit être élaboré dans le programme automate utilisateur.

La caractéristique de la valeur décimale du mot mémoire MW8 en fonction de la valeur décimale du mot PIW8 est donnée sur le document réponse DR5.

D9 **Compléter** le document réponse DR5 en indiquant les valeurs caractéristiques ($PIW8_{min}$, $PIW8_{max}$, $MW8_{min}$ et $MW8_{max}$) dans la zone de fonctionnement du transmetteur de température.

D10 En utilisant les noms des variables, **déterminer** l'équation de la droite traduisant l'évolution $MW8 = f(PIW8)$ du document réponse DR5. **Déterminer** la forme numérique de cette équation en remplaçant les variables par leurs valeurs numériques.

D11 **Montrer** que l'équation de « mise en forme » permettant de connaître la valeur de la température mesurée en °C, en fonction de la valeur du mot PIW8 et de l'étendue de mesure E s'écrit :

$$MW8 = f(E, PIW8) = \frac{E}{27\ 648} \cdot PIW8 - 20.$$

3 - Principe de fonctionnement du ventilateur au niveau du tableau électrique qui contient le variateur de vitesse

Un système de ventilation est enclenché si la température mesurée dans le tableau est supérieure aux consignes. Il fonctionne selon le principe suivant :

- si la température est inférieure à 35°C, pas de ventilation,
- si la température est supérieure à CB=35°C alors le ventilateur est enclenché en petite vitesse (PV),
- si la température est supérieure à CH=50°C alors le ventilateur est enclenché en grande vitesse (GV).

Un exemple de profil de température est donné figure 15. Il permet également de voir la vitesse du ventilateur en fonction du temps et de la température.

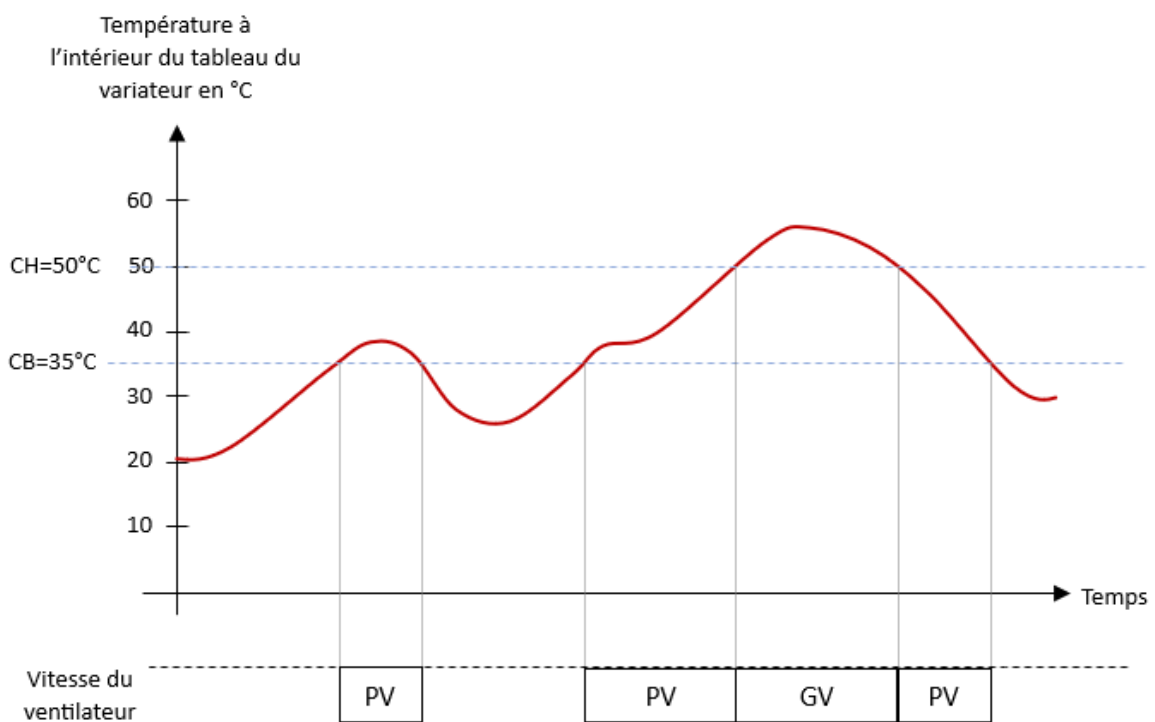


Figure 15 : exemple traduisant le fonctionnement du ventilateur

Deux voyants permettent de visualiser la vitesse de fonctionnement du ventilateur :

- VPV pour un fonctionnement du ventilateur en petite vitesse
- VGV pour un fonctionnement en grande vitesse

D12 En utilisant l'équation $MW8 = \frac{E}{27\,648} \cdot PIW8 - 20$, **isoler** la variable PIW8 et **déterminer** la valeur décimale du mot PIW8 pour les valeurs de température CB et CH.

D13 Sur le document réponse DR6, **compléter** le schéma en portes logiques traduisant le fonctionnement du ventilateur.

4 - Sous-programme de « mise à l'échelle »

Le sous-programme de « mise à l'échelle » est appelé par le programme principal de l'automate et gère la mise à l'échelle de l'entrée analogique en température (°C). Il s'agit de gérer le pilotage du ventilateur et de restituer une information à l'utilisateur par le biais d'un voyant.

Au départ, si l'entrée analogique envoie une valeur en dehors des valeurs limites alors un voyant de « défaut mesure » est enclenché et MW8 prend la valeur zéro. Dans le cas contraire, l'algorithme calcule la valeur de MW8 en degré Celsius (°C) en appliquant la formule :

$$MW8 = \frac{E}{27\ 648} \cdot PIW8 - 20$$

La figure 16 illustre les mnémoniques et adressages utilisés par l'automate programmable.

Adresses	Mnémoniques	Description
PW18	entree_ana	Valeur brute de la mesure sur l'entrée analogique correspondante
MW8	mesure	Valeur de la température en °C
MW12	def_mesure	Valeur binaire d'un défaut de mesure : 1 ⇒ Défaut, 0 ⇒ Pas de défaut
MW14	etendue	Valeur décimale de l'étendue de mesure en °C
MW16	CB	Valeur décimale de la consigne de température basse
MW18	CH	Valeur décimale de la consigne de température haute
Q0.1	PV	Sortie TOR utilisée pour alimenter le ventilateur en « Petite Vitesse »
Q0.2	GV	Sortie TOR utilisée pour alimenter le ventilateur en « Grande Vitesse »
Q0.3	VPV	Voyant ventilation en Petite Vitesse
Q0.4	VGv	Voyant ventilation en Grande Vitesse

Figure 16 : tableau des mnémoniques et adressages utilisés

Les mots MW16 et MW18 sont respectivement utilisés pour se laisser la possibilité de modifier les valeurs de CB et CH. De même, le mot MW14 permet de modifier l'étendue de mesure.

D14 Sur le document réponse DR7, **compléter** l'algorithme de fonctionnement du sous-programme de « mise à l'échelle » en utilisant les mnémoniques indiqués sur la figure 16.

5 – Gestion de la vitesse du ventilateur

La figure 17 illustre le schéma de câblage du moteur pilotant le ventilateur de refroidissement de l'armoire électrique.

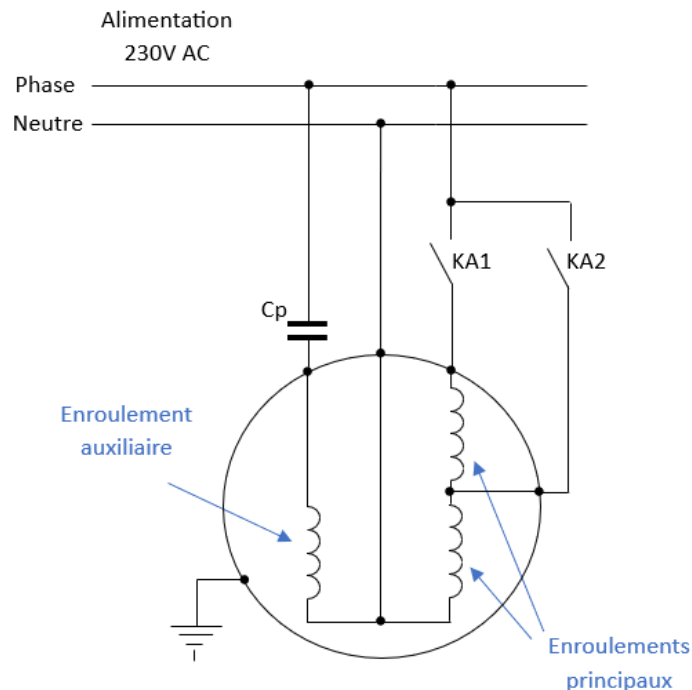


Figure 17 : schéma du moteur asynchrone monophasé à 2 vitesses pour la gestion PV (petite vitesse) et GV (grande vitesse) du ventilateur

Le condensateur Cp, en série avec l'enroulement auxiliaire, produit le déphasage nécessaire au lancement du moteur, il reste sous tension en permanence. Les deux enroulements principaux permettent de choisir la grande vitesse (GV) ou la petite vitesse (PV). Deux relais 24 V continu, KA1 et KA2 sont prévus pour l'alimentation du moteur du ventilateur.

D15 Dans le cas où le contact KA1 de la figure 17 est fermé (KA2 ouvert), **dessiner** le schéma équivalent de l'alimentation du moteur du ventilateur.

D16 Dans le cas où le contact KA2 de la figure 17 est fermé (KA1 ouvert), **dessiner** le schéma équivalent de l'alimentation du moteur du ventilateur.

D17 Indiquer, pour chaque cas, si le moteur est en grande vitesse ou en petite vitesse. **Justifier** la réponse.

Sur le document réponse DR8 sont donnés :

- le schéma partiel de la carte de sortie TOR de l'automate
- les relais 24 V continu de commande de vitesse du moteur du ventilateur
- les voyants de signalisation 24 V continu

La figure 18 illustre les affectations de la carte de sortie TOR de l'automate programmable.

Adresses	Mnémoniques	Descriptions
Q0.0	defaut_mesure	Voyant de « défaut mesure » hors étendue de mesure
Q0.1	PV	Sortie TOR utilisée pour alimenter le ventilateur en « Petite Vitesse »
Q0.2	GV	Sortie TOR utilisée pour alimenter le ventilateur en « Grande Vitesse »
Q0.3	VPV	Voyant ventilation en Petite Vitesse
Q0.4	VGW	Voyant ventilation en Grande Vitesse
Q0.5	NC	Non connecté
Q0.6	NC	Non connecté
Q0.7	NC	Non connecté

Figure 18 : affectations de la carte de sorties TOR

D18 Compléter le document réponse DR8 afin que le câblage des voyants de signalisation soit conforme aux affectations de la figure 18.

Un verrouillage électrique est à prévoir entre les relais KA1 et KA2 afin d'empêcher l'alimentation simultanée des deux relais.

D19 Compléter le document réponse DR8 afin de proposer un raccordement des relais de commande de la ventilation.

Le document technique DT9 présente les symboles utilisés pour la programmation de l'automate Siemens S7-1500.

D20 Compléter le document réponse DR9 permettant de programmer la commande des voyants VPV et VGW.

Les équations logiques qui permettent la commande en vitesse du moteur du ventilateur sont les suivantes :

- $\#PV = (\#CB < \#mesure) \cdot \overline{(\#mesure > \#CH)}$
- $\#GV = \#mesure > \#CH$

D21 Compléter le document réponse DR9 permettant de programmer la commande du ventilateur en petite et grande vitesse.

Partie E : comment mettre en forme le signal issu d'un capteur de température en vue de son traitement par un automate programmable ?

L'objectif est de vérifier la chaîne de conversion du transmetteur de température utilisé pour la régulation de la température au niveau de l'armoire électrique du variateur de vitesse.

La figure 19 présente un synoptique du transmetteur de température identifiant la nature des signaux en entrée et en sortie de celui-ci. Il s'agit de convertir une tension e_{AB} de quelques millivolts en entrée en un courant de sortie I_s compris entre 4 et 20 mA compatible avec l'entrée analogique de l'automate. La plage de mesure de température est comprise entre -20 à 200 °C.

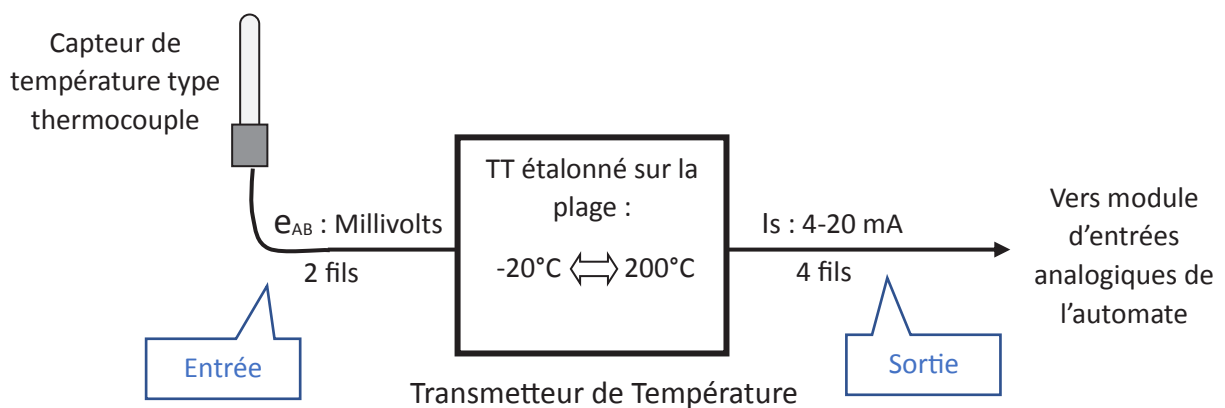


Figure 19 : synoptique du transmetteur de température

Les caractéristiques des grandeurs e_{AB} et I_s en fonction de la température sont présentés dans le document technique DT10. On considère que les profils sont linéaires.

La figure 20 présente le schéma fonctionnel interne du transmetteur de température. Il permet de distinguer 3 étages distincts permettant la résolution de la problématique de conversion.

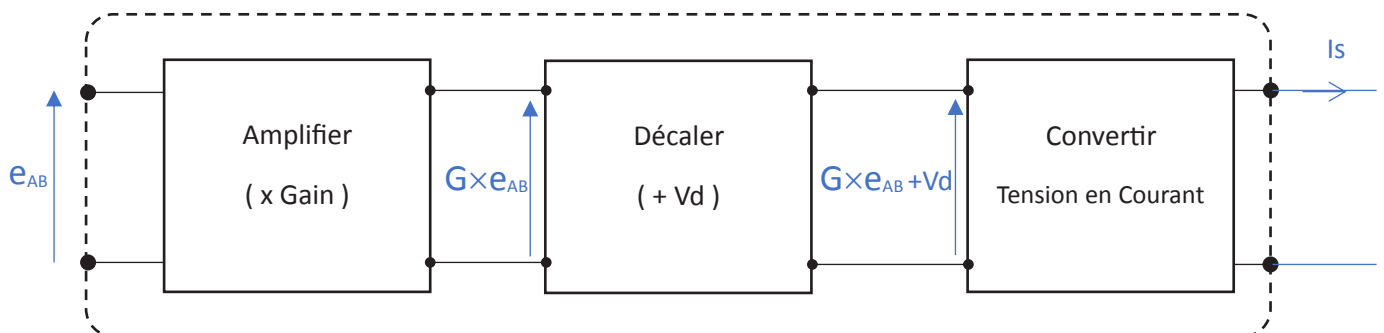


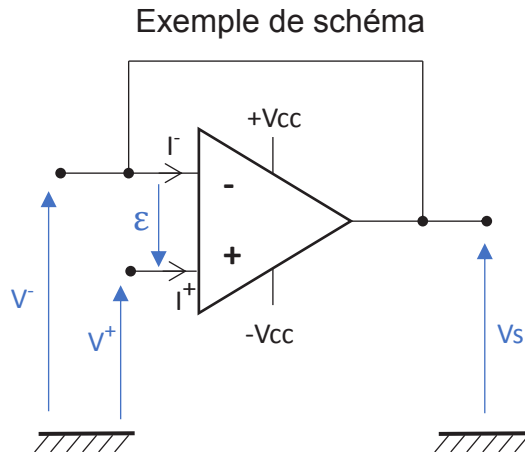
Figure 20 : schéma fonctionnel interne du transmetteur de température

On suppose que les amplificateurs opérationnels (AOP) sont parfaits et qu'ils fonctionnent en régime linéaire.

Rappel sur les amplificateurs opérationnels en régime linéaire :

Si la sortie de l'AOP est rebouclée sur l'entrée « - » alors on dit que l'AOP fonctionne en mode linéaire et on a :

- $I^+ = 0$
- $I^- = 0$
- $\varepsilon = 0 \text{ V}$ soit $V^+ = V^-$



+Vcc et -Vcc sont les tensions d'alimentation de l'AOP. Les alimentations, qui ne font pas partie de l'étude, ne sont pas représentées dans les schémas de montage représentés dans la suite de l'étude.

1. Étude de l'étage d'amplification

La figure 21 illustre les différents sous-étages constituant l'étage d'amplification du transmetteur de température.

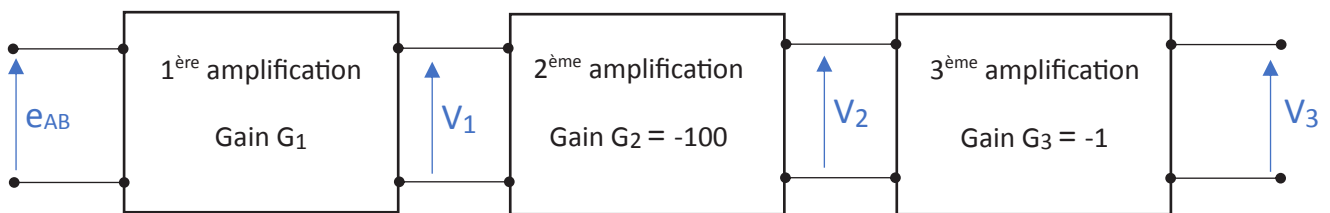


Figure 21 : constituants de l'étage d'amplification

Dans le premier sous-étage d'amplification, la tension e_{AB} issue du capteur de température est amplifiée pour aboutir à une tension V_1 . Le montage de ce sous-étage est illustré par la figure 22.

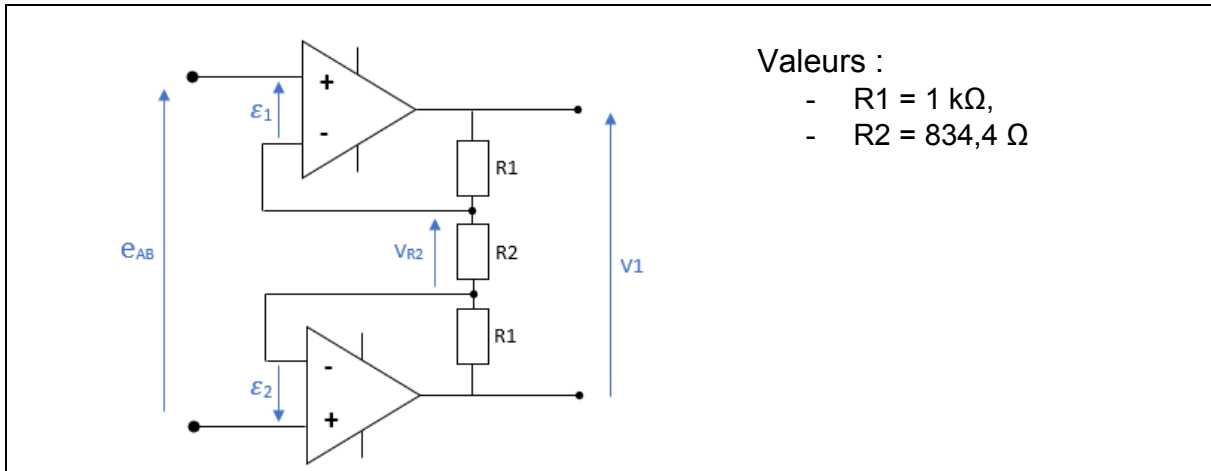


Figure 22 : schéma de montage de la première amplification

E1 À l'aide de la figure 22, **écrire** la loi des mailles impliquant e_{AB} , ε_1 , ε_2 et V_{R2} et **montrer** que $e_{AB} = V_{R2}$.

E2 Sachant que $V1 = \frac{V_{R2} \cdot (2 \cdot R1 + R2)}{R2}$, **calculer** numériquement le gain G_1 permettant d'écrire la tension $V1 = G_1 \cdot V_{R2} = G_1 \cdot e_{AB}$.

Conformément à la figure 21, la tension $V1$ est encore amplifiée par deux étages successifs.

E3 À l'aide de la figure 21, **exprimer** la relation entre e_{AB} , G_1 , G_2 , G_3 et $V3$ puis **exprimer** numériquement $V3$ en fonction de e_{AB} .

2. Étude de l'étage de décalage en tension

La tension $V3$ fait office d'entrée pour le montage illustré figure 23. La tension $V4$ produite par ce montage correspond à un décalage en tension de $V3$.

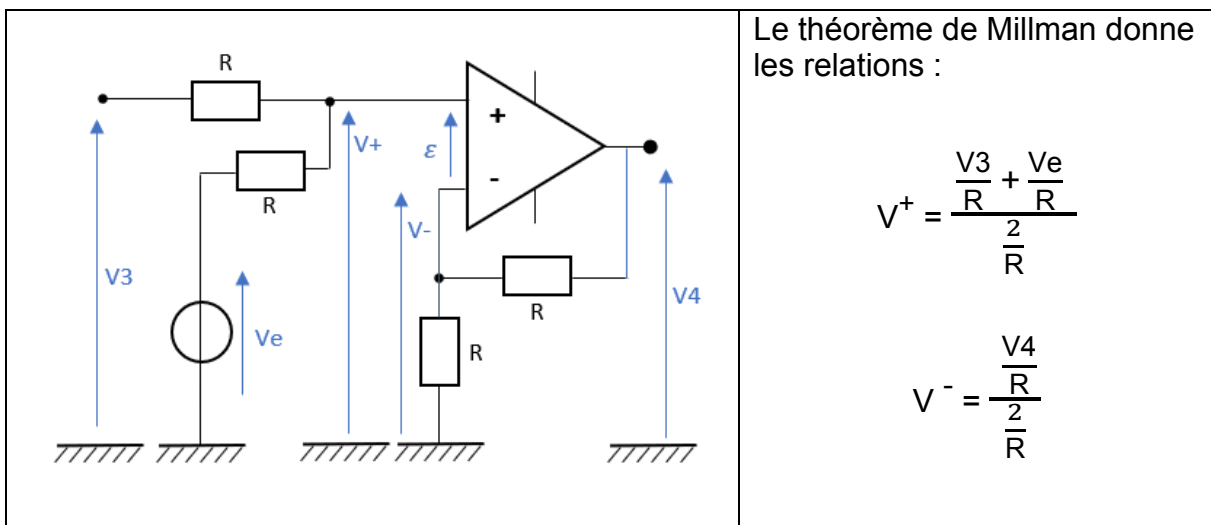


Figure 23 : schéma de montage de l'étage de décalage en tension

E4 À l'aide de la figure 23, **montrer** que, en régime linéaire, la tension V_4 vérifie la relation $V_4 = V_3 + V_e$. **En déduire** la relation entre V_4 et e_{AB} .

On donne $V_e = 1,34 \text{ V}$ ainsi que la relation $V_4 = 337,7 \cdot e_{AB} + 1,34$

E5 À l'aide du document technique DT10, **calculer** V_4 pour les deux tensions extrêmes de e_{AB} puis **compléter** le document réponse DR10.

3. Étude de l'étage de conversion tension en courant

La tension V_4 fait office d'entrée pour le montage illustré figure 24. Le courant I_s produit par ce montage est le résultat de la conversion de la tension V_4 .

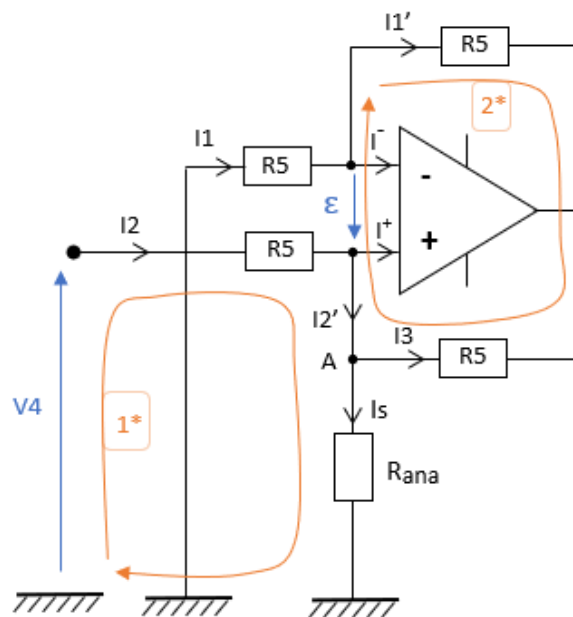


Figure 24 : schéma de montage pour la conversion de V_4 en un courant I_s

E6 À l'aide de la figure 24, **déterminer** les relations entre I_2 et I_2' puis entre I_1 et I_1' .

E7 En utilisant la loi des mailles dans la boucle 1^* illustrée figure 24, **déterminer** la relation liant V_4 , I_2 , R_5 , I_s et R_{ana} . **En déduire** l'expression de I_2 en fonction de V_4 , R_5 , I_s , R_{ana} .

E8 En utilisant la loi des mailles dans la boucle 2^* illustrée figure 24, **déterminer** la relation liant ε , I_1' , R_5 , I_3 puis **montrer** que $I_3 = I_1$.

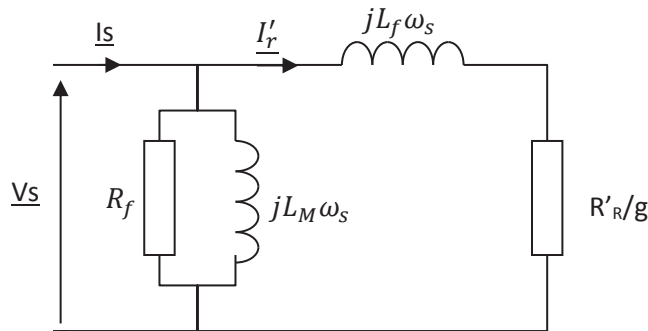
L'expression du courant I_1 est la suivante : $I_1 = -\frac{R_{ana} \cdot I_s}{R_5}$ avec $R_5 = 250 \Omega$.

E9 En utilisant la loi des nœuds au point A illustré figure 24, **exprimer** le courant I_s dans la résistance R_{ana} et **montrer** qu'il est indépendant de R_{ana} .

E10 **Calculer** I_s pour $V_4=1 \text{ V}$ puis pour $V_4=5 \text{ V}$ et **conclure** quant à la conformité du transmetteur de temp

DT1 : Modélisation de la machine asynchrone

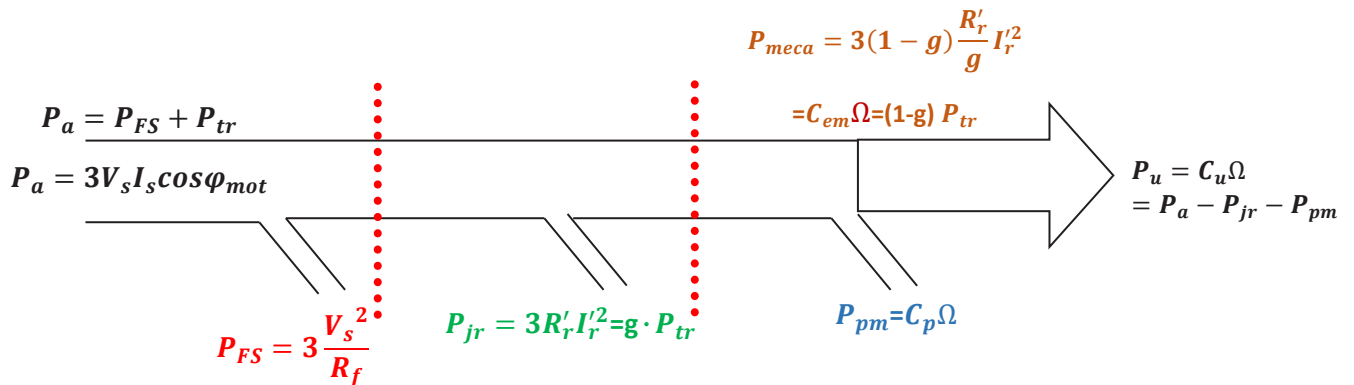
Modèle monophasé équivalent de la machine asynchrone



Où :

- R_f est la résistance équivalente aux pertes fer, on a $R_f = 420 \Omega$;
- R'_R est la résistance du rotor ramenée au stator, on a $R'_R = 0,1 \Omega$;
- L_M est l'inductance magnétisante ;
- L_f est la l'inductance rotorique vue du stator, on a $L_f = 3.6 \text{ mH}$;
- g est le glissement, on rappelle que $g = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$;
- V_s est la tension simple d'alimentation du stator ;
- I_s est le courant dans une phase du stator.

Le bilan de puissance de la machine asynchrone en convention moteur peut être illustré de la manière suivante :



Avec :

- Ω_s : vitesse de rotation du champ au stator
- Ω : vitesse nominale de rotation de la machine asynchrone
- $\cos \phi_{mot}$: facteur de puissance de l'installation
- C_{em} : Couple électromagnétique du moteur asynchrone
- C_u : couple utile de charge
- C_p : couple de pertes
- P_a : puissance absorbée
- P_{FS} : pertes fer au stator
- P_{jr} : pertes joules au rotor
- P_{meca} : puissance mécanique sur le rotor
- P_{pm} : pertes mécaniques

Équation 1 : Expression du couple C_{em} en fonction de C_{emax} et g_{max} :

$$C_{em} = \frac{2C_{emax}}{\frac{g}{g_{max}} + \frac{g_{max}}{g}}$$

Avec :

- $g_{max} = \frac{R'_R}{L_f \omega_s}$: représente le glissement maximal ;
- $C_{emax} = \frac{3p}{2L_f} \left(\frac{V_s}{\omega_s}\right)^2$: représente le couple maximal ;
- ω_s : pulsation des grandeurs électriques ;
- p : le nombre de paires de pôle.
- $N_s = \frac{60 \times f}{p}$: vitesse de rotation du champ statorique en $tr \cdot \min^{-1}$

Équation 2 : Expression de la pulsation des champs au rotor ω_r ,

$$\omega_r = \omega_s - \omega = \omega_s - p\Omega$$

Équation 3 : Principe fondamental de la dynamique en rotation

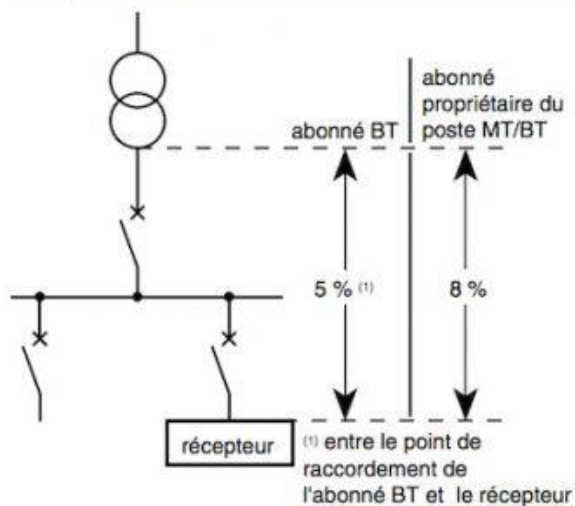
$$C_{em} - C_r = J \cdot \frac{d\Omega(t)}{dt} + f \cdot \Omega(t)$$

Avec :

- $f = 4 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$: coefficient de frottement ;
- $J = 0,035 \text{ m} \cdot \text{kg}^2$: moment d'inertie ramené à l'arbre du moteur.

Les normes limitent les chutes de tension en ligne

La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs du tableau ci-dessous. D'autre part la norme NF C 15-100 § 559-6-1 limite la puissance totale des moteurs installés chez l'abonné BT tarif bleu. Pour des puissances supérieures aux valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous, l'accord du distributeur d'énergie est nécessaire.

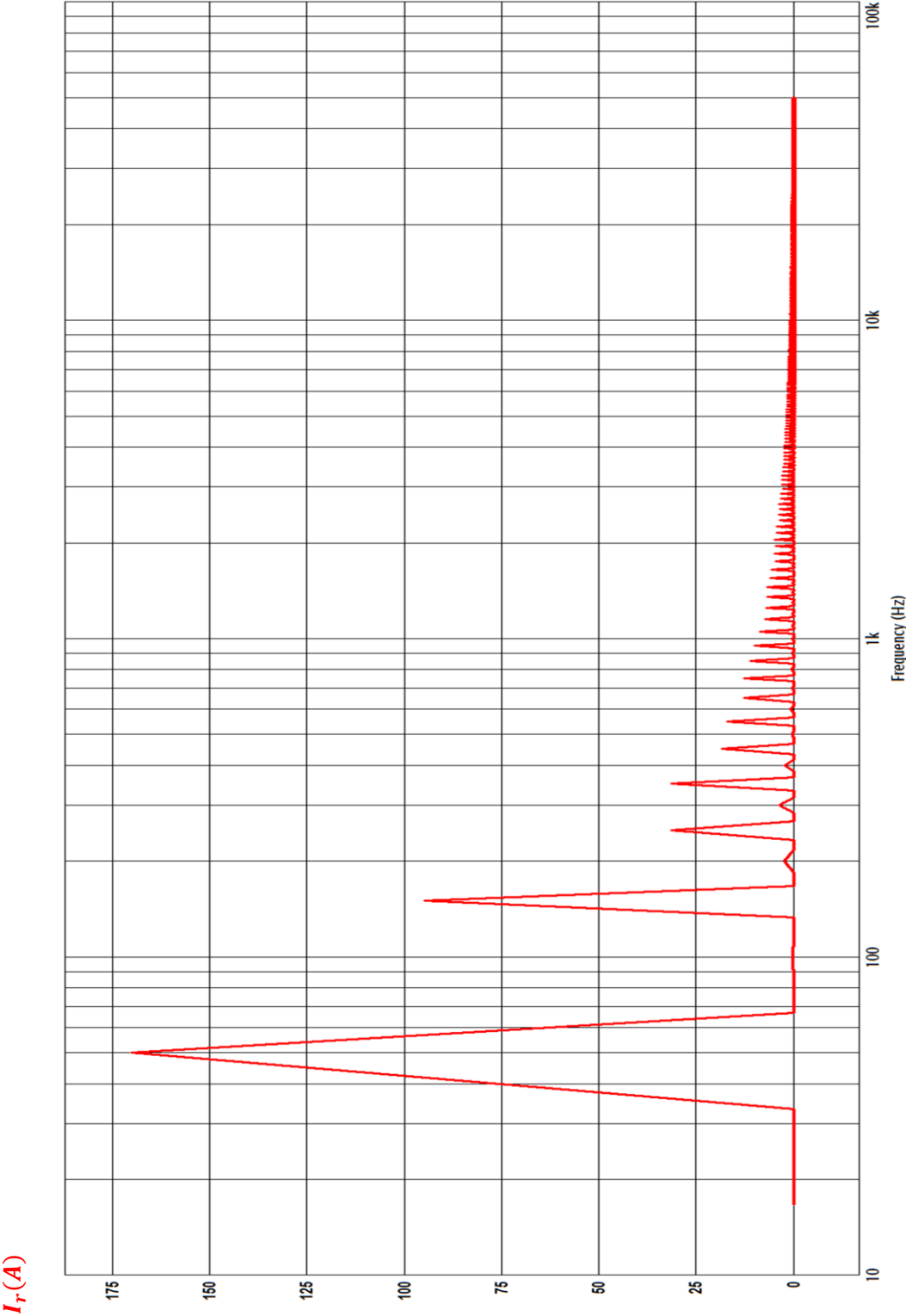


Chute de tension maximale entre l'origine de l'installation BT et l'utilisation

	éclairage	autres usages (force motrice)
abonné alimenté par le réseau BT de distribution publique	3%	5%
abonné propriétaire de son poste HT-A/BT	6%	8% (1)

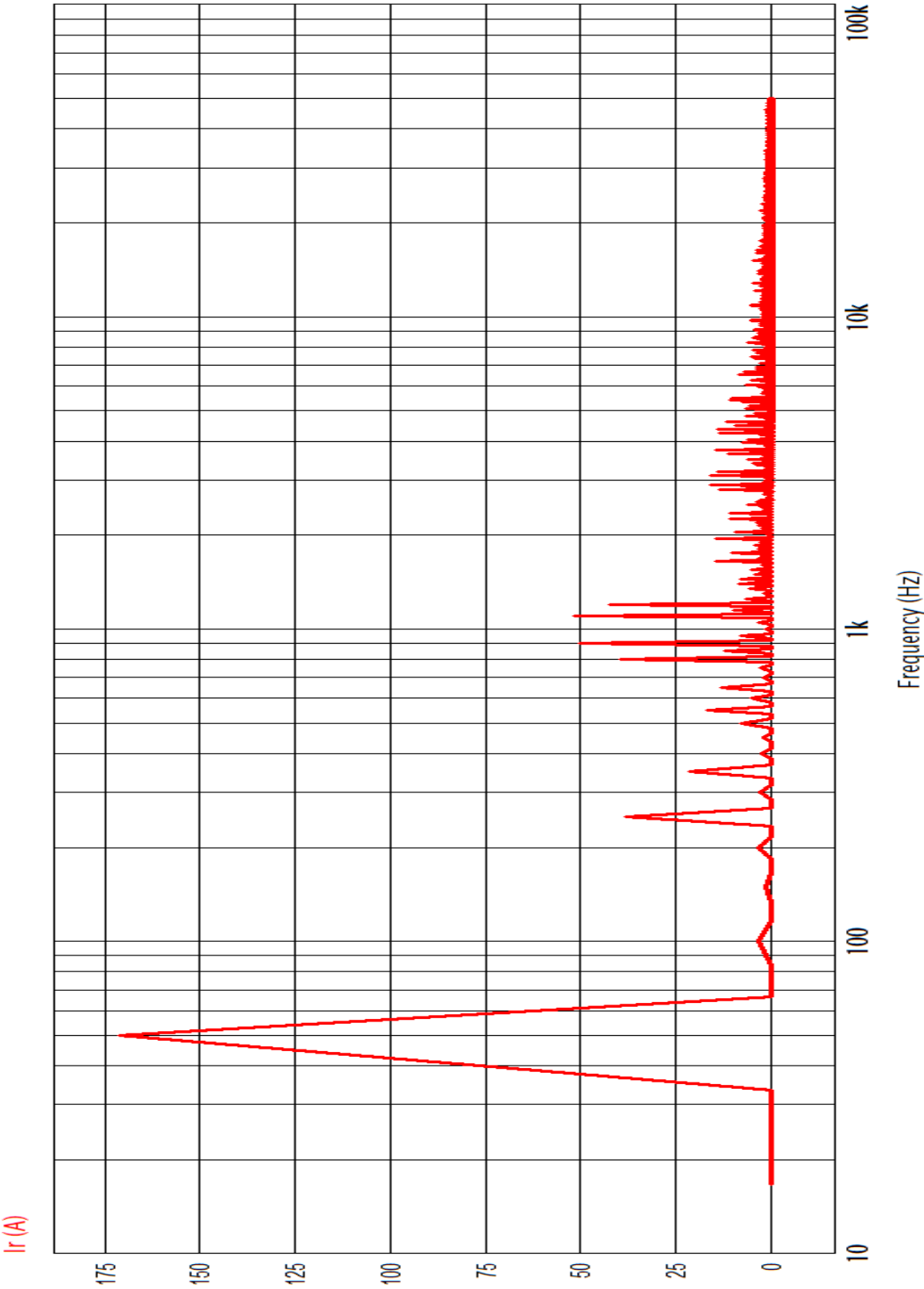
(1) Entre le point de raccordement de l'abonné BT et le moteur.

Cas 1 : Variateur de vitesse commandé en pleine onde.
Analyse spectrale de I_r pour une commande pleine onde

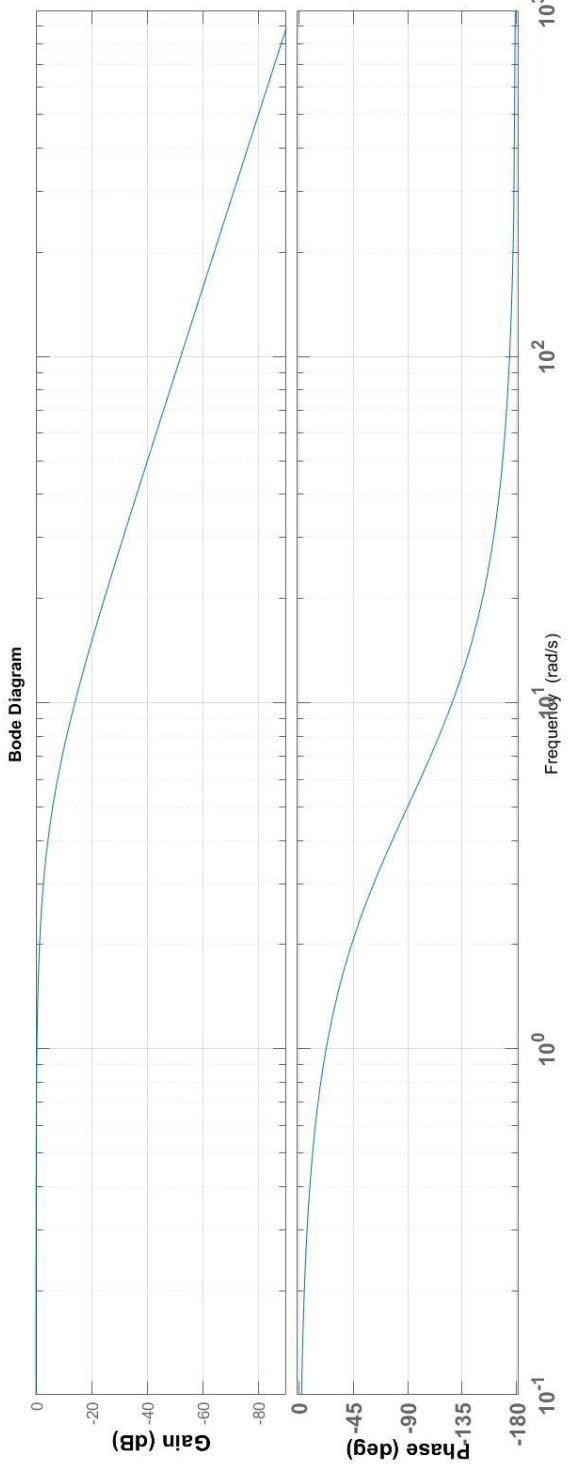
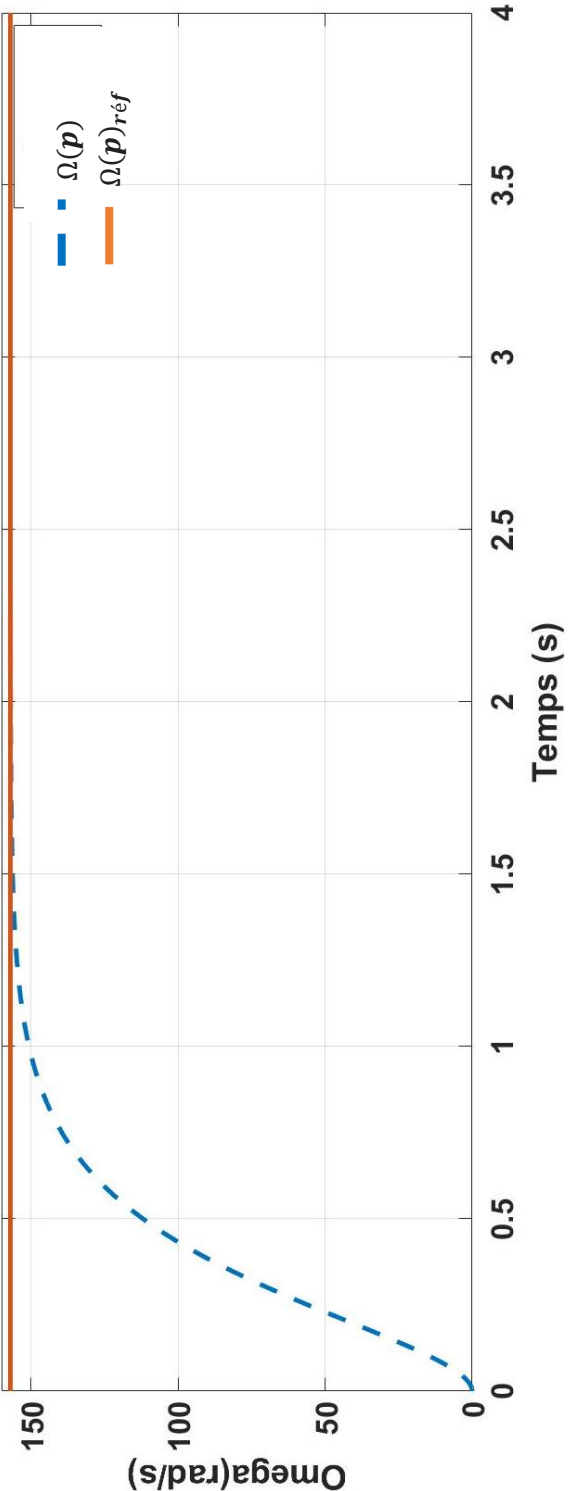


Cas 2 : Variateur de vitesse commandée par Modulation de largeur d'impulsion (MLI) avec une fréquence de la porteuse $f_p = 6\text{kHz}$

Analyse spectrale de I_r pour une commande MLI

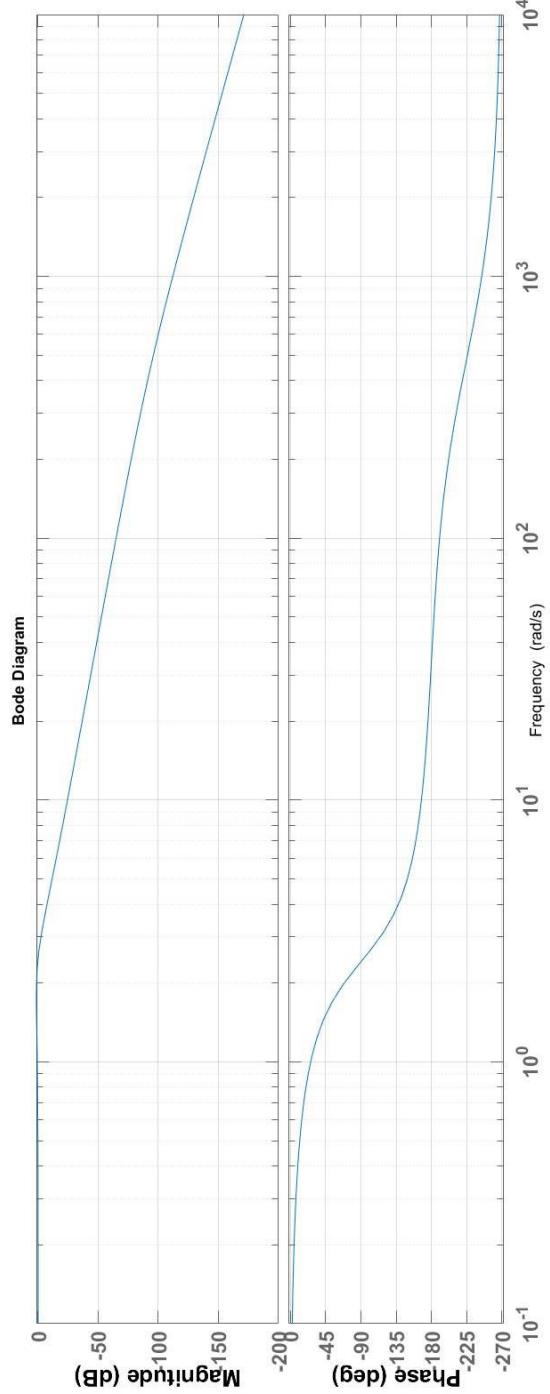
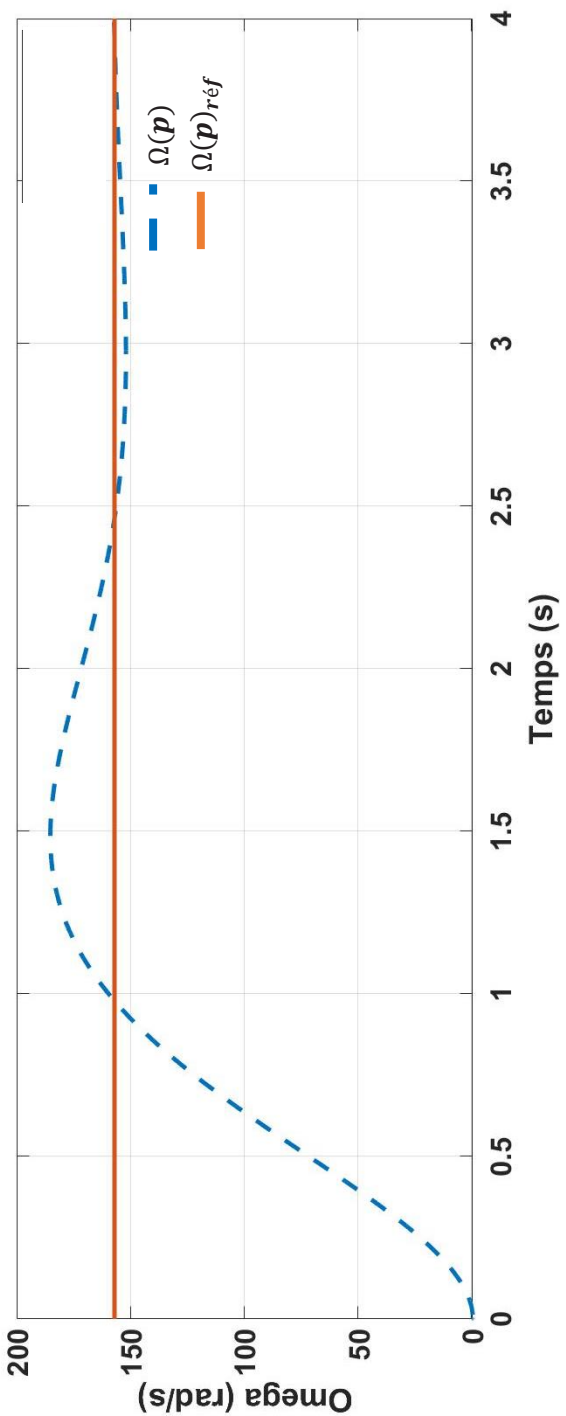


DT4 : Résultats de simulations pour l'autopilotage du moteur asynchrone pour le cas 1 : la génération de ω_s à partir de ω_{sref} se fait instantanément et sans erreur statique : $\omega_s = \omega_{sref}$



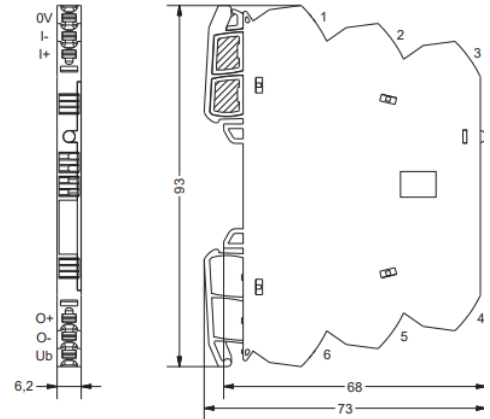
DT5 : Résultats de simulations pour l'autopilotage du moteur asynchrone pour

le cas 2 : $\omega_s = \frac{1}{1+\tau_{vv}p} \omega_{sref}$



DT6 : transmetteur de température KOS 839

Universal Temperature Transmitter KOS 839



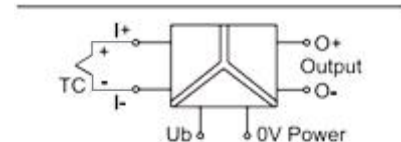
Identification	Type Code	LCIS-WTCA-1839-62-PI KOS 839
-----------------------	--------------	---------------------------------

Description	Entrée : Thermocouples J, K Sortie: 0-10 V / 0-20 mA / 4-20 mA Isolation: 2,5 kV, séparation 3 voies	
--------------------	--	--

Entrée		
Signal d'entrée	Thermocouples J ou K (DIN/CEI 584-1)	
Séparation galvanique Entrées/Sorties	séparation 3 voies	
Procédé de mesures	Mesure de la tension	
Plage de température	-20 °C-200 °C / -50 °C-350 °C / 0 °C-200 °C / 0 °C-400 °C / 0 °C-600 °C / 0 °C-800 °C / 0 °C-1000 °C / 0 °C-1200 °C	
Paramétrable	Commutateur DIP S1	
Zéro	Calibrage en production	
Résistance d'entrée	> 1 MΩ	
Compensation des points froids	sur toute la plage de températures	
Mode d'antiparasitage	Protection contre les surtensions	

Sortie		
Signal de sortie	0-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA	
Charge maximale pour sortie I	500 Ω	
Charge min. pour sortie U	2 kΩ	

Données générales		
Tension nominale	AC/DC 24 V	
Plage de tensions de travail	AC 19,2-26,4 V / DC 18,0-31,2 V	
Courant nominal	env. 22 mA @ AC 24 V / env. 13 mA @ DC 24 V	
Visualisation d'état	LED verte	
Temps de montée (10-90 %)	env. 30 ms @ 23 °C	
Tension d'isolement entrée / sortie	2,5 kV _{eff}	
Matière du boîtier	PA 6.6 (UL 94 V-0, NFF I2, F2)	
Couleur du boîtier	RAL 7012 gris basalte	
Montage	encliquetable sur profilé chapeau TS35 (EN 60715)	
Indice de protection	IP20	
Position de montage	au choix	
Raccordement	Push-In monofilaire 0,25 mm ² -2,5 mm ² / AWG 20-14 brins fins avec embout 0,25 mm ² -1,5 mm ² / AWG 20-16	
Plage de températures de travail	-25 °C ... +60 °C	
Plage de températures de stockage	-40 °C ... +85 °C	
Dimensions (l×h×p)	6,2 × 93,0 × 73,0 mm	
Poids	0,030 kg/pièce	
UE	1 Piece	
Homologation	cULus in preparation DNV GL in preparation	
Normes	EN 60947-5-1	



S1	Switch On	Output
0-10V	●	5 6
0-20mA	●	●
4-20mA	●	●

S1	Switch On	Input
TC J (Fe-CuNi)	●	1 2 3 4
TC K (Ni-CrNi)	●	●
-20 - 200 °C	●	●
-50 - 350 °C	●	●
0 - 200 °C	●	●
0 - 400 °C	●	●
0 - 600 °C	●	●
0 - 800 °C	●	●
0 - 1000 °C	●	●
0 - 1200 °C	●	●

DT7 : Module d'entrée analogique (partie 1)

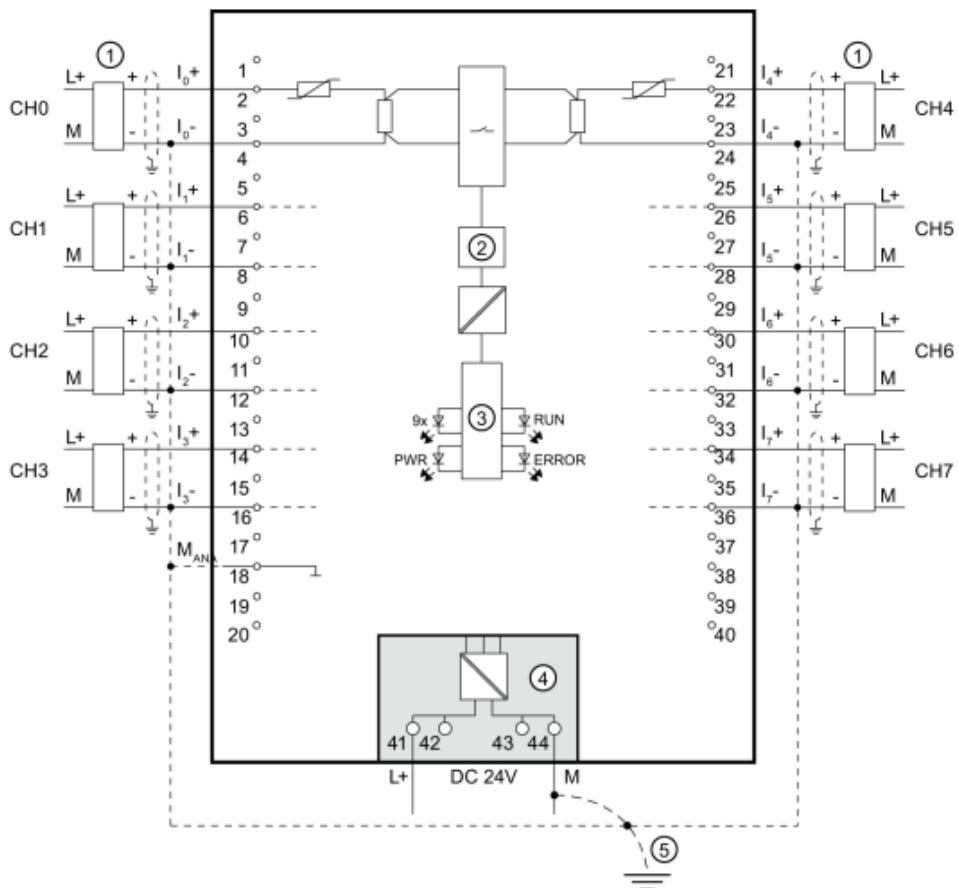
Module d'entrée analogique

Référence : Analog input module **AI 8xU//RTD/TC ST**



Connection: 4-wire transmitters for current measurement

The example in the following figure shows the pin assignment for current measurement with 4-wire transmitters.



- ① Wiring 4-wire transmitter
- ② Analog-to-Digital Converter (ADC)
- ③ Backplane bus interface
- ④ Supply voltage via power supply element
- ⑤ Equipotential bonding cable (optional)

DT8 : Module d'entrée analogique (partie 2)

Module d'entrée analogique suite

- Résolution of the analog values : PIWi

Resolution in bits including sign	Values		Analog value	
	Decimal	Hexadecimal	High byte	Low byte
16	1	1H	Sign 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1

- Représentation of analog values in the current measuring ranges

The following tables list the decimal and hexadecimal values (codes) of the possible current measuring ranges.

Table C- 7 Current measuring range ± 20 mA

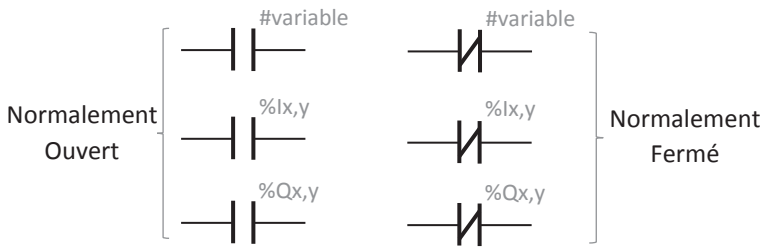
Values		Current measuring range	
dec	hex	± 20 mA	
32767	7FFF	>23.52 mA	Overflow
32511	7EFF	23.52 mA	Overshoot range
27649	6C01		
27648	6C00	20 mA	Rated range
20736	5100	15 mA	
1	1	723.4 nA	
0	0	0 mA	
-1	FFFF		
-20736	AF00	-15 mA	
-27648	9400	-20 mA	Undershoot range
-27649	93FF		
-32512	8100	-23.52 mA	
-32768	8000	< -23.52 mA	Underflow

Table C- 8 Current measuring ranges 0 to 20 mA and 4 to 20 mA

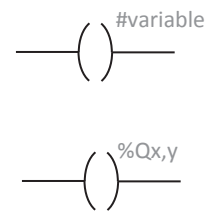
Values		Current measuring range		
dec	hex	0 to 20 mA	4 to 20 mA	
32767	7FFF	>23.52 mA	>22.81 mA	Overflow
32511	7EFF	23.52 mA	22.81 mA	Overshoot range
27649	6C01			
27648	6C00	20 mA	20 mA	Rated range
20736	5100	15 mA	16 mA	
1	1	723.4 nA	4 mA + 578.7 nA	
0	0	0 mA	4 mA	
-1	FFFF			Undershoot range
-4864	ED00	-3.52 mA	1.185 mA	
-32768	8000	<- 3.52 mA	< 1.185 mA	Underflow

DT9 : symboles utilisés par l'automate Siemens S7-1500

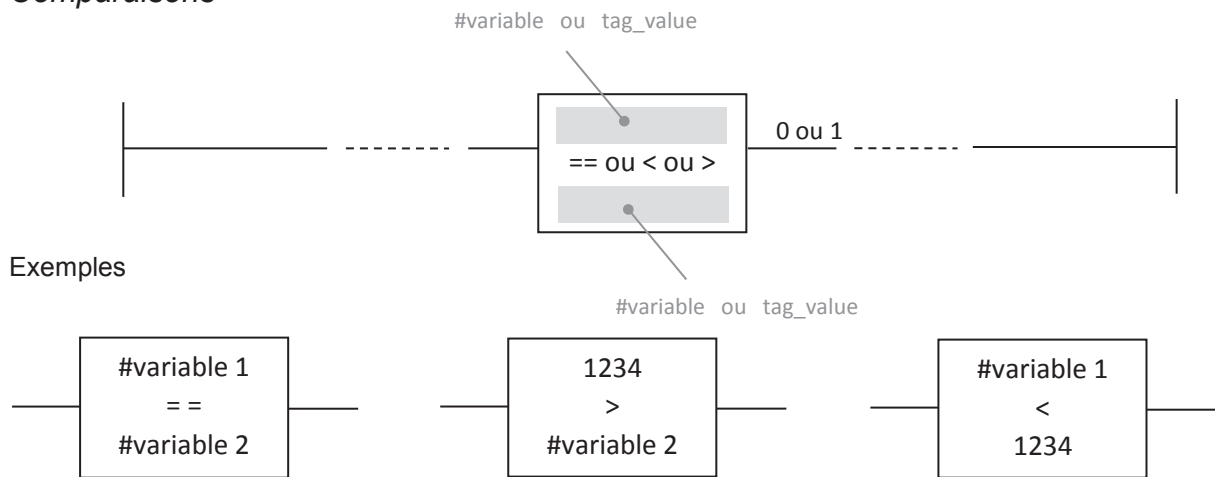
Contacts



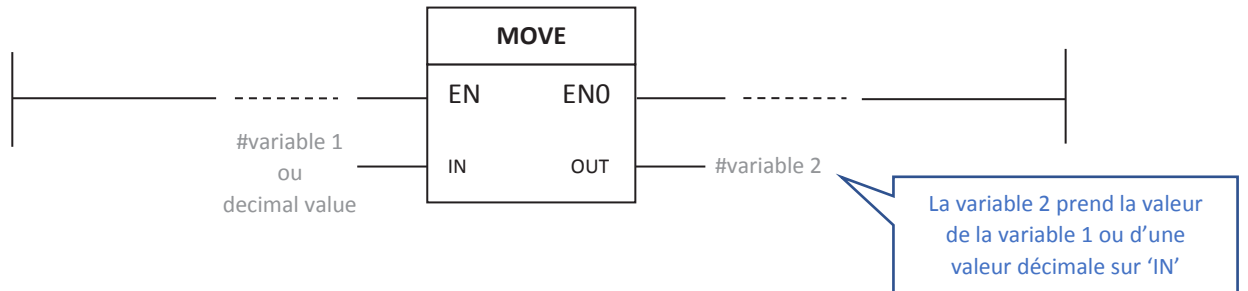
Bobines TOR



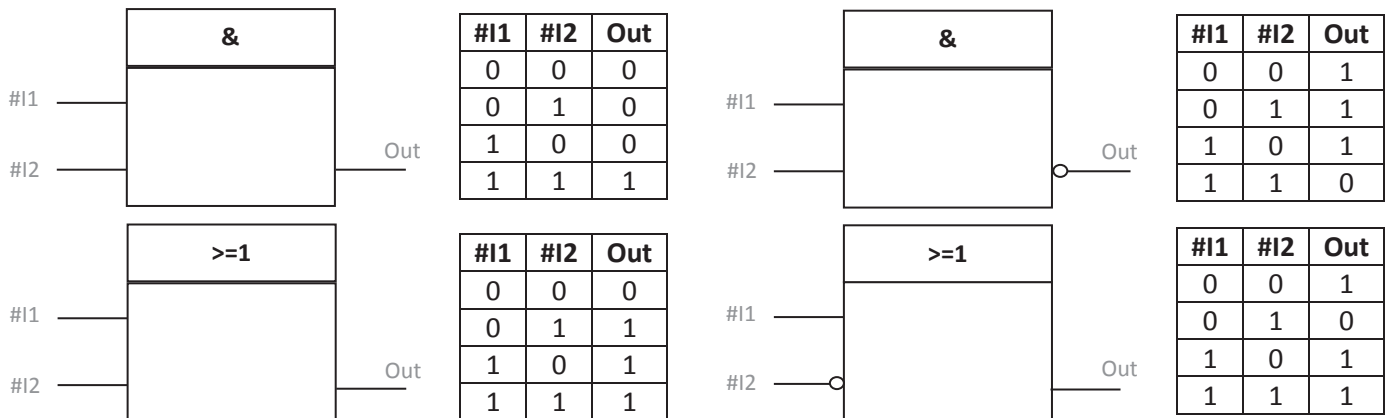
Comparaisons



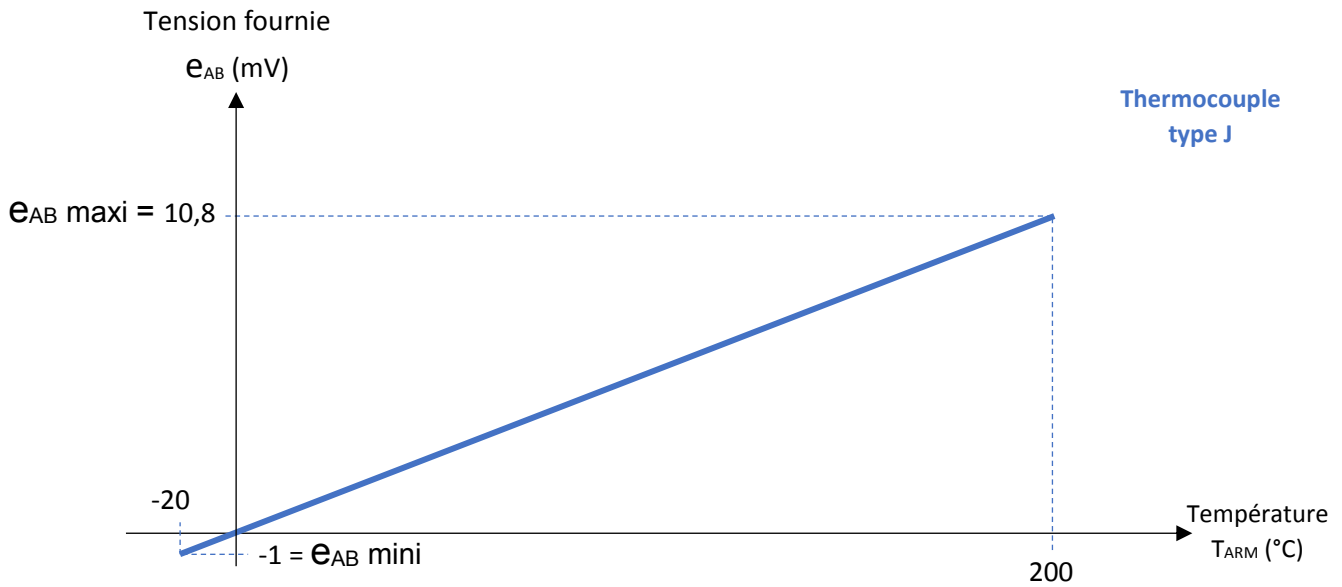
Affectation : permet d'affecter une valeur quelconque (IN) à un mot en mémoire (OUT).



Fonctions logiques : #I1 et #I2 binary variables



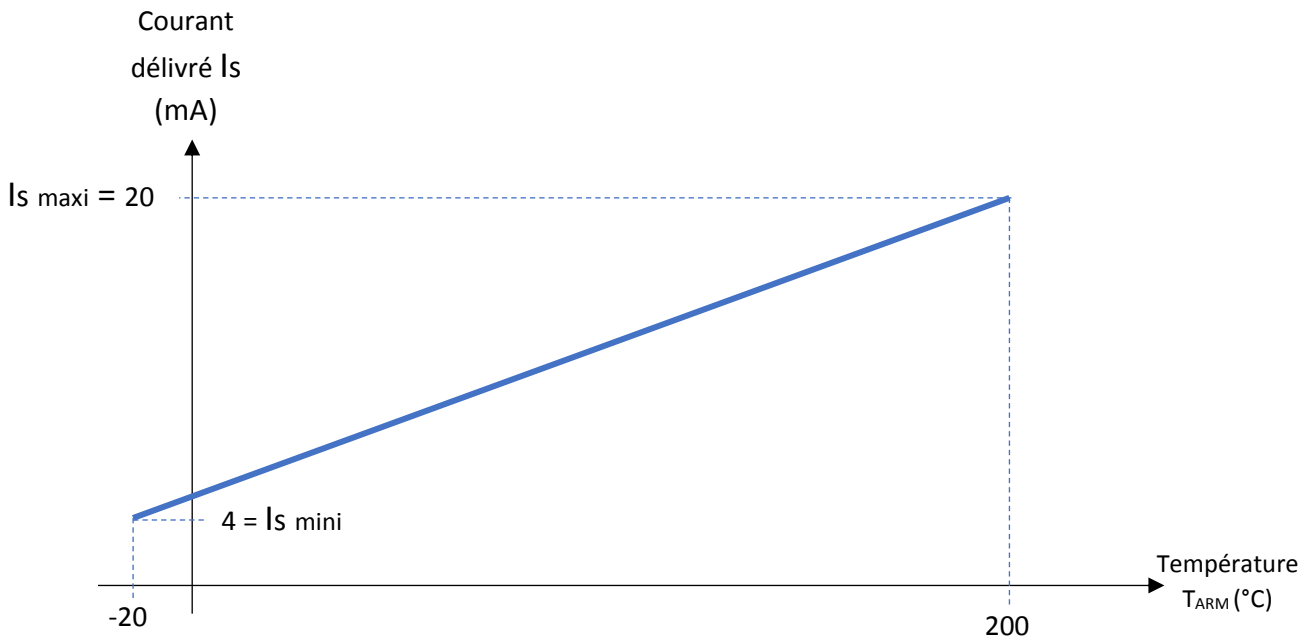
DT10 : Profil de la tension fournie par le capteur de température



Points caractéristiques maximaux :

Température mesurée (°C)	-20	200
Tension délivrée par le capteur (mV)	$e_{AB} \text{ mini} = -1$	$e_{AB} \text{ maxi} = 10,8$

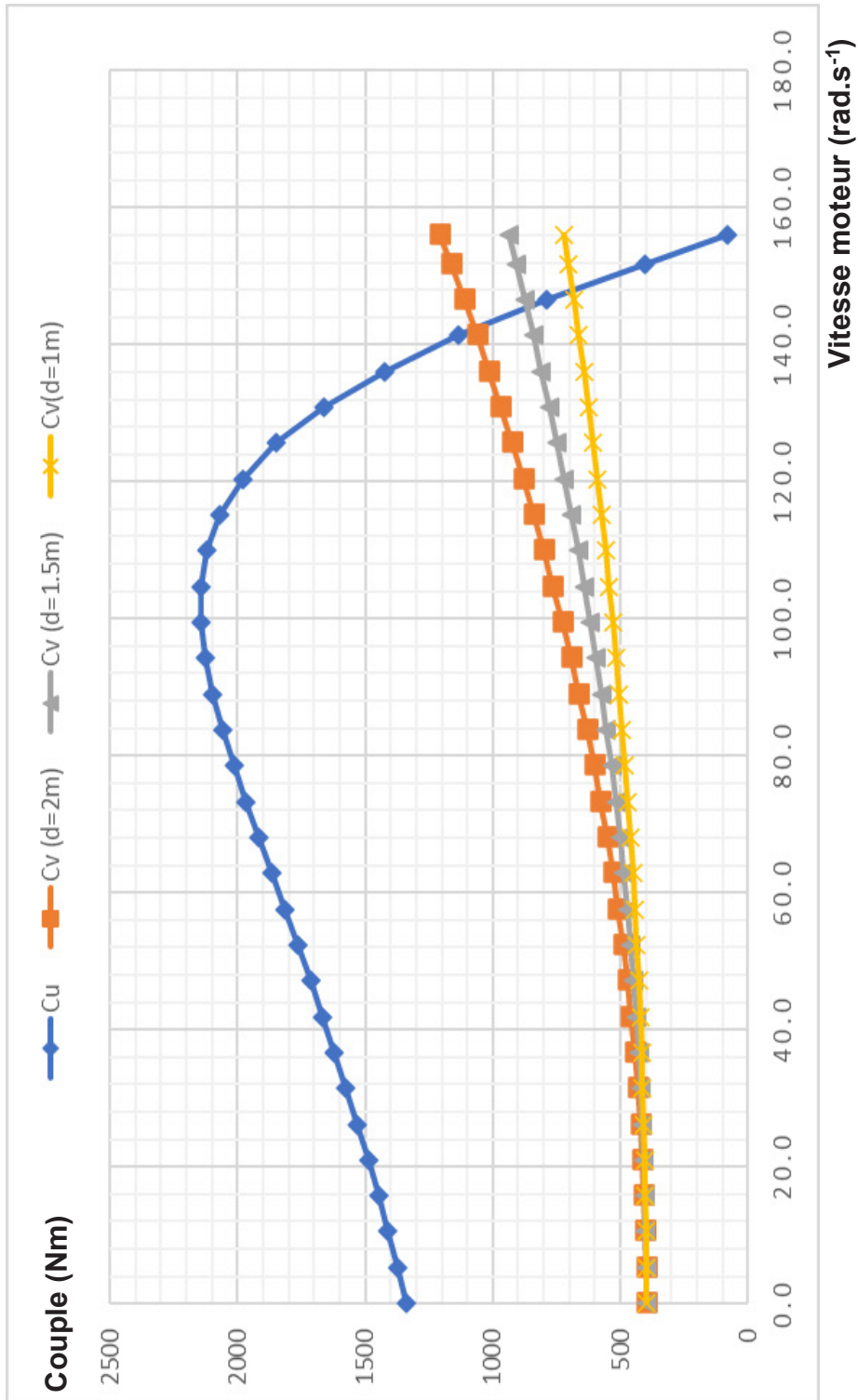
Profil du courant délivré par le transmetteur de température TT

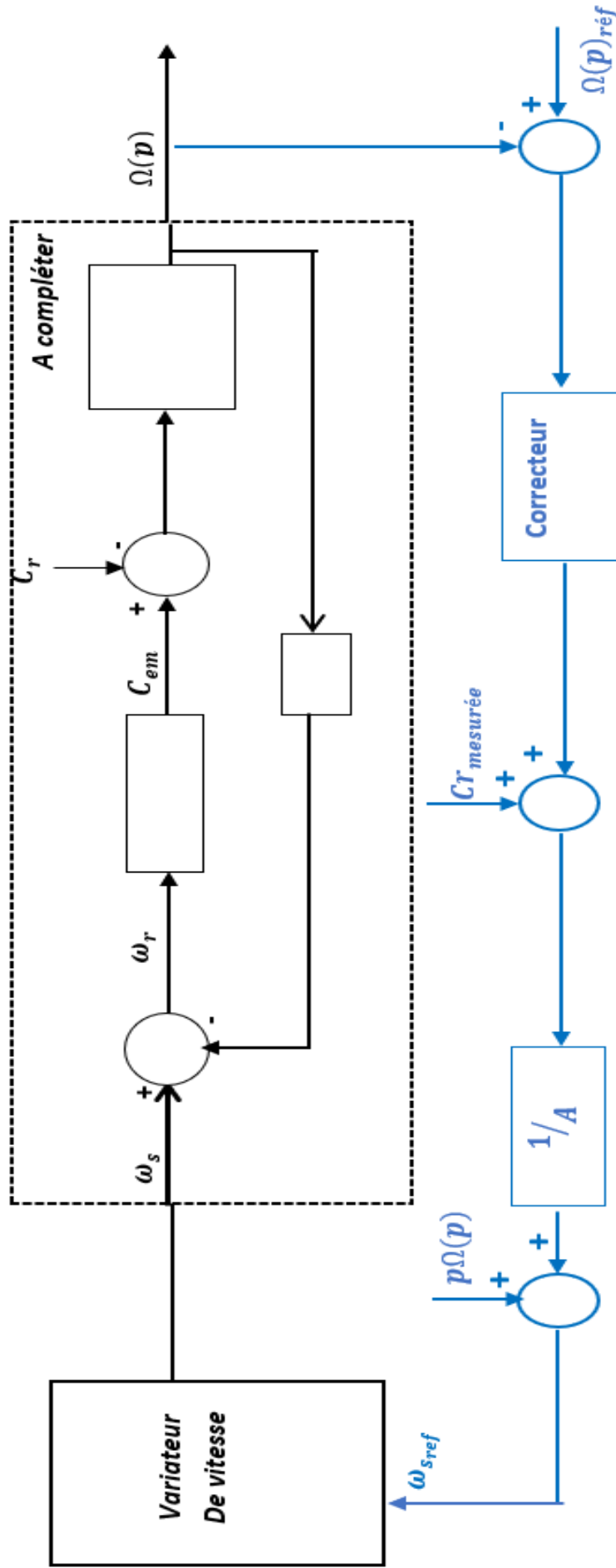


NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document réponse DR1 : question A8

Caractéristiques mécaniques du moteur asynchrone et de la charge





Rappel :

ω_s : pulsation des grandeurs électriques

ω_{sref} : consigne de la pulsation des grandeurs électriques

ω_r : pulsation du champs rotoriques

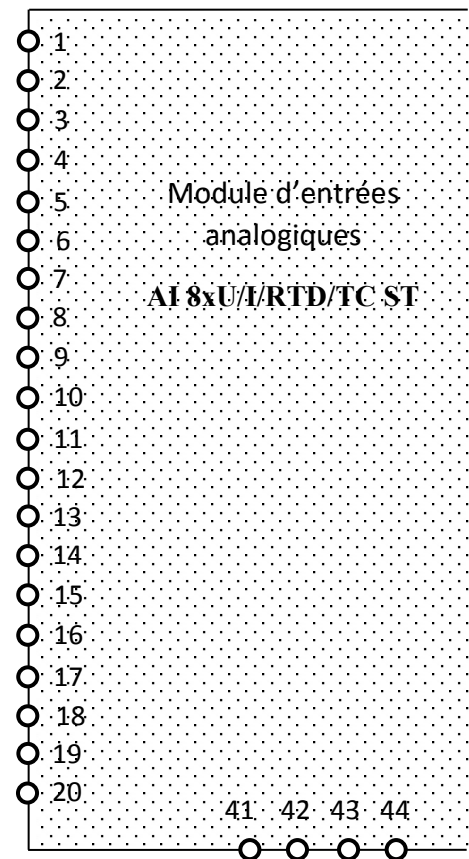
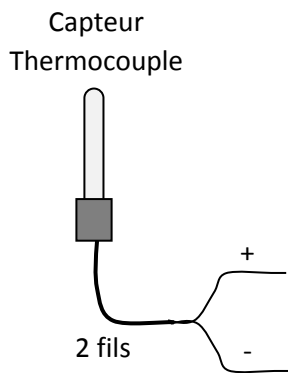
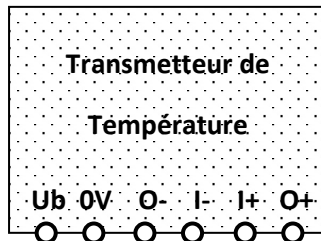
$\Omega(p)$: vitesse de rotation en sortie de l'arbre moteur

$\Omega(p)_{ref}$: consigne de vitesse de rotation en sortie de l'arbre moteur

$C_{r_{mesurée}}$: Couple résistif mesuré sur la charge mécanique (le ventilateur)

Document réponse DR3 : questions D2 et D3


Schéma de raccordement :



Modèle CMEN v3

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

 **Prénom(s) :**

Numéro Candidat :

Né(e) le : / /

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : **Option / Section :** **N° d'inscription :**

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :
 externe 3^e externe externe spécial interne ou 1^{er} interne 2nd interne 2nd interne spécial

Cocher public OU privé UNIQUEMENT pour les concours enseignants : public privé

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : **Série / Spécialité :**

Epreuve - Matière : **Session :**

EDE ENE 1

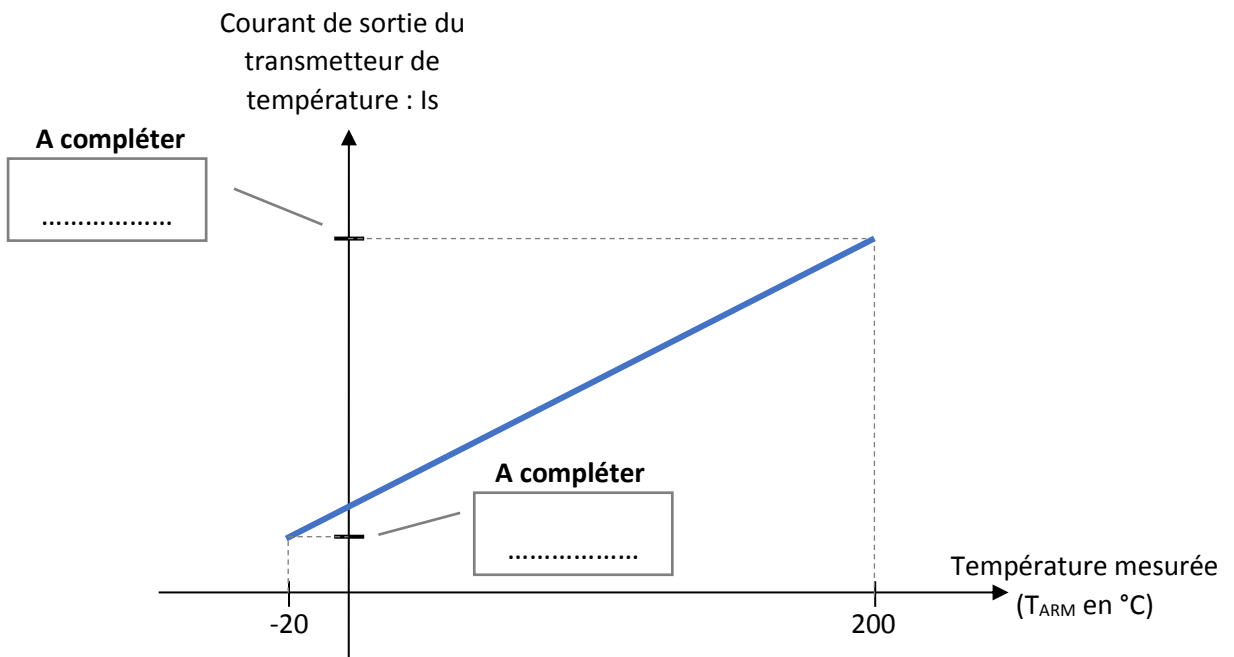
DR 4 - DR 5 - DR 6 - DR 7

Tous les documents réponses sont à rendre, même non complétés.

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document réponse DR4 : questions D4 à D7

D4 - Caractérisation des valeurs d'entrée/sortie de la fonction de transfert
 $I_s = f(T_{ARM})$ du transmetteur.



D5 - Configuration du switch S1 du transmetteur de température TT :

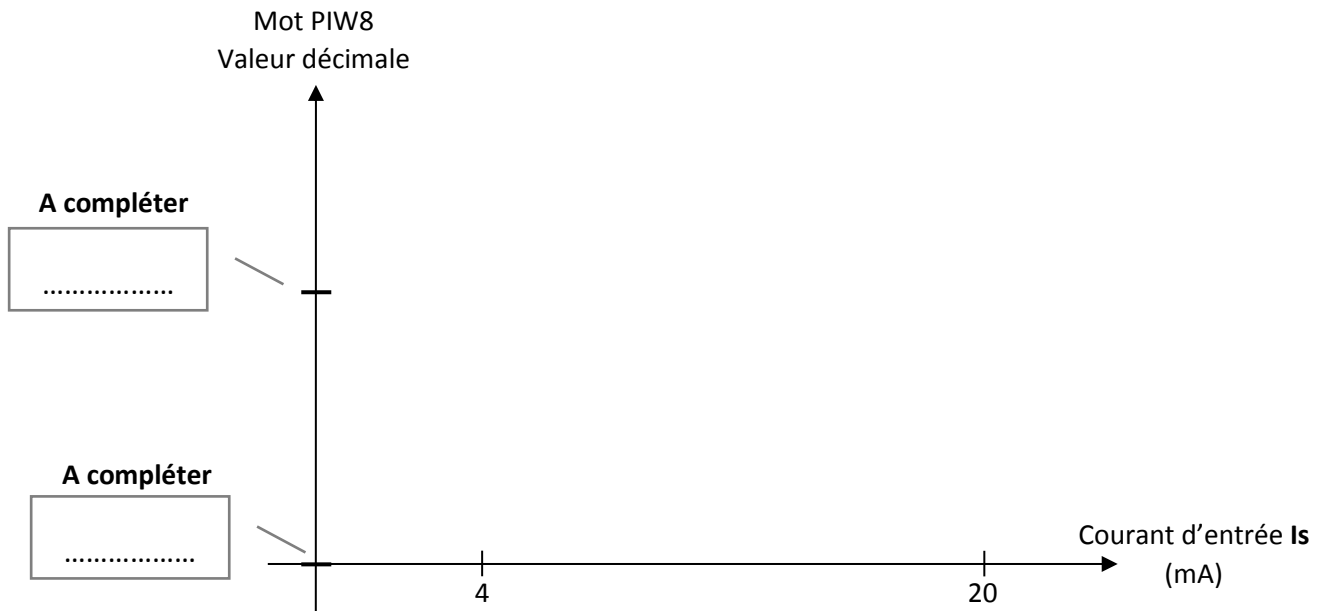
S1	1	2	3	4	5	6
ON						
OFF						

D7 - Tableau des valeurs décimales du mot PIW8 en fonction du courant mesuré :

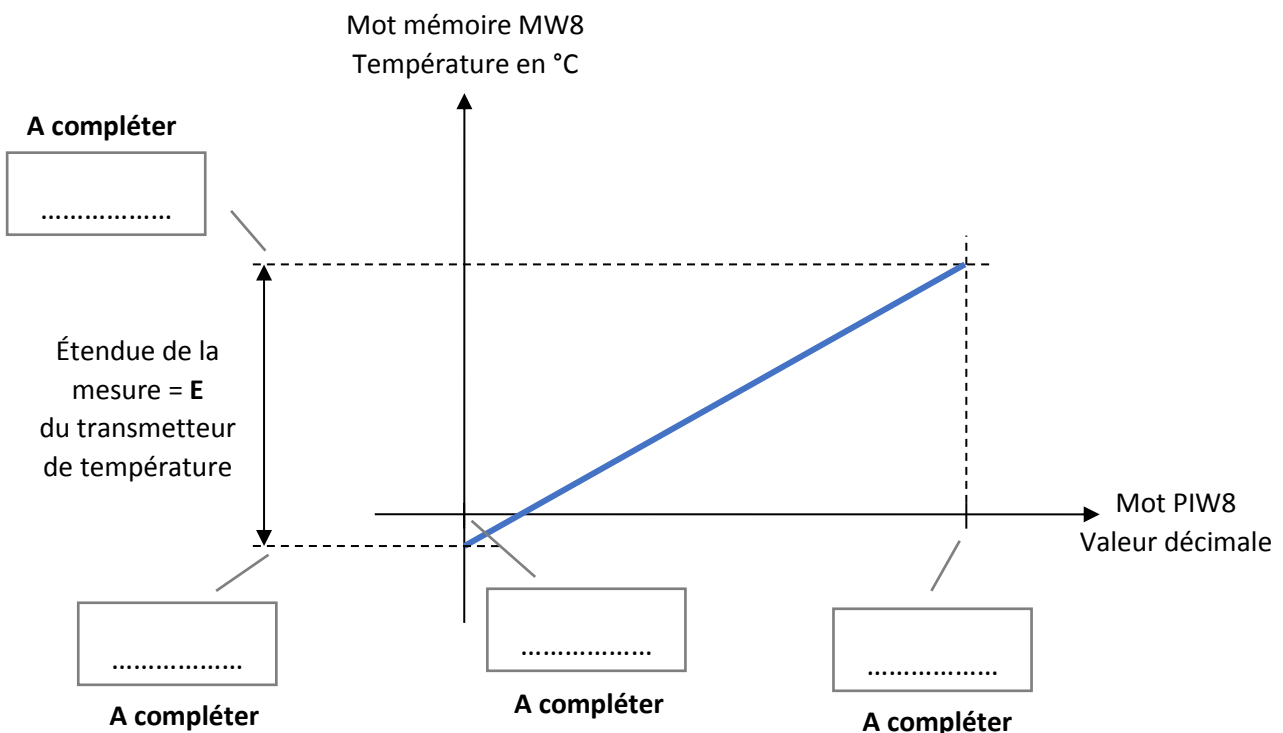
Courant mesuré en mA	1,185	4	20	22,81
Valeur décimale du mot PIW8				

Document réponse DR5 : questions D8 et D9

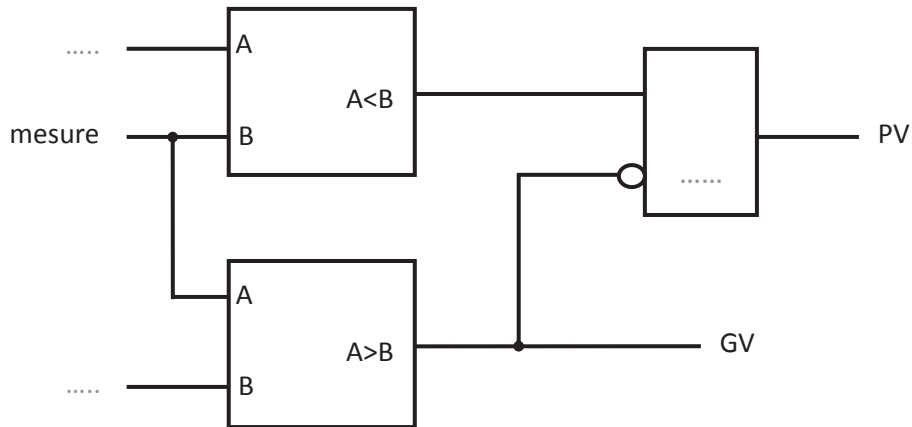
D8 - Caractéristique de la valeur décimale du mot PIW8 en fonction du courant d'entrée du module d'entrées analogiques : $PIW8 = f(I_s)$



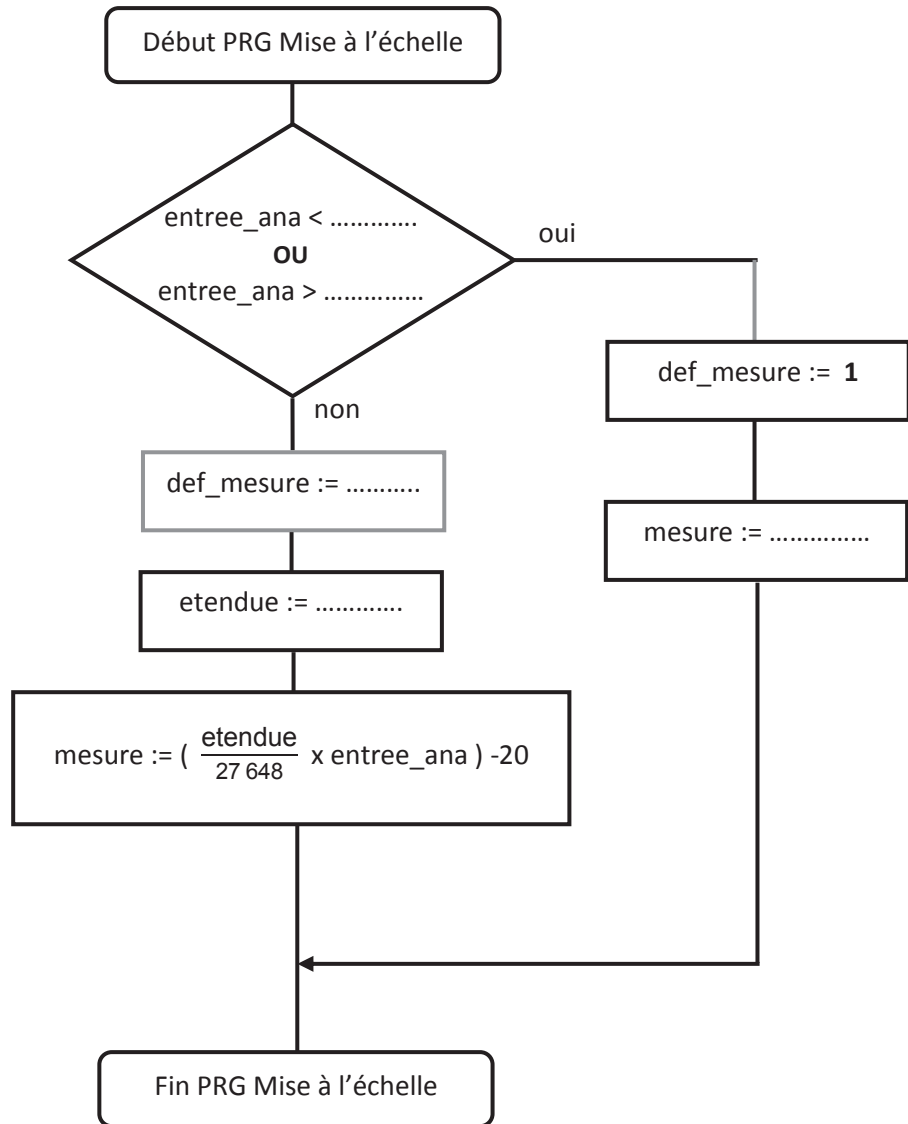
D9 - Caractéristique de la valeur décimale du mot mémoire MW8 en fonction de la valeur décimale du mot PIW8 : $MW8 = f(PIW8)$



Document réponse DR6 : question D13



Document réponse DR7 : question D14



Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



Prénom(s) :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Numéro
Candidat :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Né(e)
le :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : Option / Section :

N° d'inscription :

--	--	--

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

- externe 3^e externe externe spécial interne ou 1^{er} interne 2nd interne 2nd interne spécial

Cocher public OU privé
UNIQUEMENT pour les
concours enseignants : public privé

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : Série / Spécialité :

Epreuve - Matière : Session :

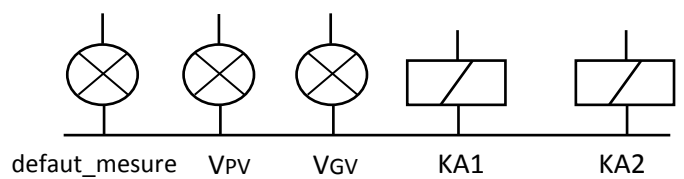
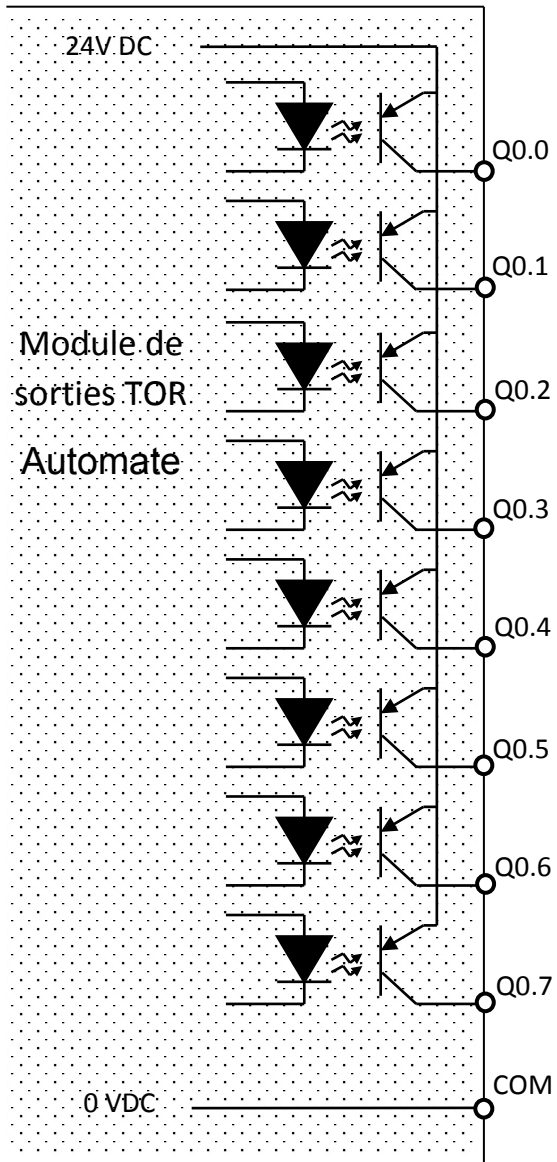
EDE ENE 1

DR 8 - DR 9 - DR 10


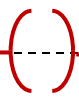
**Tous les documents réponses sont à rendre,
même non complétés.**

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document réponse DR8 : questions D18 et D19



Document Réponse DR9 : D20 et D21

1		<p>%Q0.0 ou # defaut_mesure</p> 
2		
3		
Question D20		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
Question D21		

Document Réponse DR10 : question E5

Tableau de valeurs :

Température mesurée (°C)	-20	200
Tension délivrée par le capteur (mV)	$e_{AB} \text{ mini} = -1$	$e_{AB} \text{ maxi} = 10,8$
Tension V4 (V)		

Profil de la tension délivrée en sortie de l'étage de décalage :

