

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

## SÉRIE SCIENTIFIQUE

### ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

**Session 2018**

---

**Durée de l'épreuve : 4 heures**

**Coefficient 4,5** pour les candidats ayant choisi un enseignement de spécialité autre que sciences de l'ingénieur.

**Coefficient 6** pour les candidats ayant choisi l'enseignement de sciences de l'ingénieur comme enseignement de spécialité.

Aucun document autorisé.

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Ce sujet comporte 28 pages numérotées de 1 sur 28 à 28 sur 28.

**Les pages 26 à 28 sont à rendre avec la copie.**

## Agrandissement d'une piste de ski en intérieur



### Constitution du sujet

- 1 Texte.....Page 3
- 2 Documents techniques.....Page 21
- 3 Documents réponses.....Page 25

Le sujet comporte 35 questions.

Les documents réponses DR1 à DR3 pages 26 à 28  
sont à rendre avec la copie.

## 1. Présentation du système

Le snowhall est une installation qui permet la pratique des sports de glisse sur neige artificielle, en intérieur et toute l'année. À son ouverture, en 2005, la longueur de la piste était d'environ 400 m. Le bâtiment, de 35 m de large (vue intérieure en figure 1), est réfrigéré à une température inférieure à 0°C afin de maintenir une neige de qualité.



Figure 1 : vue de la piste

La neige est produite au moyen de canons à neige selon un système dit « haute pression ». Les canons sont alimentés en eau glacée, à une température proche de 0°, et en air comprimé.

La température dans le bâtiment est contrôlée par des frigorifères qui sont des dispositifs de ventilation et de refroidissement de l'air (figure 2). À chaque canon à neige est associé un frigorifère.

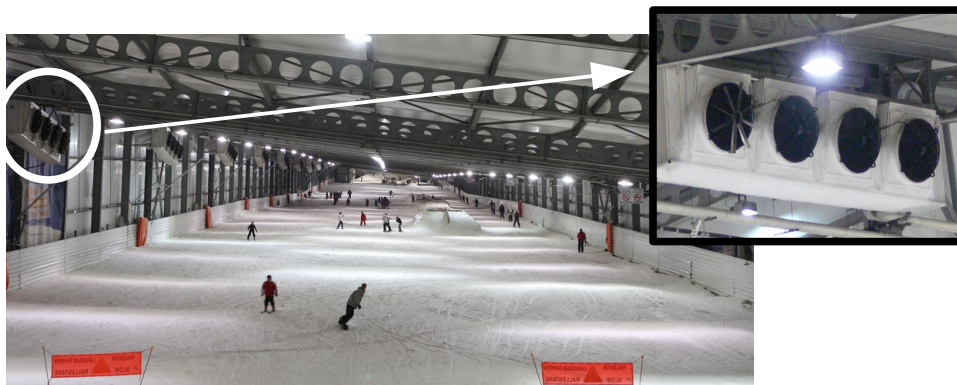


Figure 2 : vue d'un frigorifère

Le site est équipé d'une remontée mécanique de type télési. Elle permet aux skieurs de remonter la piste à partir de la zone de chargement située en bas de la piste jusqu'à la zone de lâché en haut de la piste. Le télési est constitué d'un câble tracteur et d'agès à enrouleurs. Le câble tracteur est entraîné par une poulie motrice et parcourt la piste dans sa longueur. Il est guidé par des poulies montées sur des potences espacées régulièrement le long de la piste.

Les agrès sont des dispositifs tractés par le câble que le skieur place entre ses jambes afin de remonter la piste. Les figures 3 et 4 présentent les aires de départ et d'arrivée du télési.

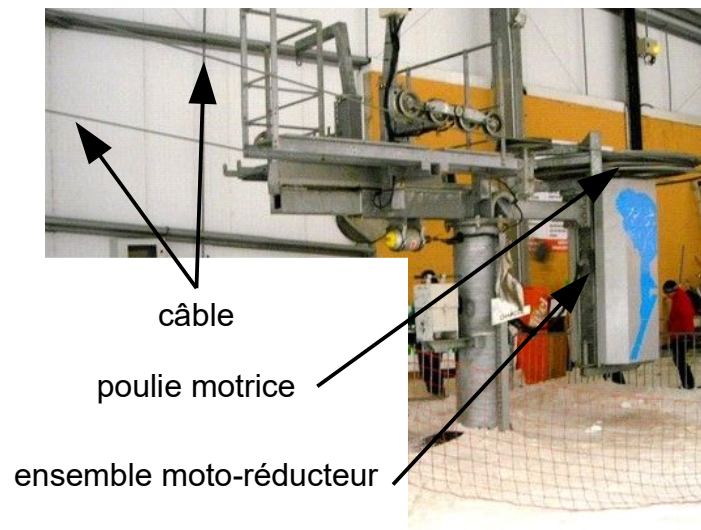


Figure 3 : zone de chargement au niveau de la poulie motrice (côté arrivée de piste)



Figure 4 : zone de lâché en haut de la piste (côté départ piste)

Afin d'accueillir dans de bonnes conditions des événements sportifs, il a été décidé d'allonger la piste de 86 mètres et d'augmenter le débit de la remontée mécanique de 800 à 900 personnes par heure.

Cet agrandissement modifie les trois éléments clefs de l'installation : la piste, la remontée mécanique et le système de refroidissement.

Les transformations sont réalisées en maintenant un espace skiable le plus important possible.

Le sujet propose de déterminer ou de valider les solutions liées à ces modifications.

## 2. Évolution de l'installation

**Objectif(s) de cette partie :** **valider** le classement de la piste et **identifier** les principaux paramètres à respecter afin de maintenir des conditions optimales pour la pratique des sports de glisse.

Afin de conserver de bonnes conditions de ski, l'équipement doit vérifier les exigences suivantes :

- maintien du classement en piste bleue ;
- augmentation du débit horaire de la remontée mécanique à 900 personnes par heures avec la possibilité de moduler ce débit ;
- maintien des conditions garantissant une neige de qualité.

De plus, afin d'optimiser l'espace skiable, aucun pylône ne doit être présent le long de la remontée.

### Exigence 1 : classement de la piste

Le niveau de difficulté de la piste est classé selon un code couleur (figure 5). Ce classement dépend de différents facteurs dont la pente totale. La pente totale est définie par le rapport du dénivelé (variation d'altitude) de la piste par sa longueur projetée dans un plan horizontal.

code couleur associé à la piste	difficulté de la piste	
piste verte	piste facile	pente : 0 à 15 %
piste bleue	piste moyenne	pente : 15-25 %
piste rouge	piste difficile	pente : 25-35 %
piste noire	piste très difficile	pente : >35 %

Figure 5 : tableau des classements des pistes en fonction de leur pente totale

**Q1.** À l'aide du profil de la piste (document technique DT1), **vérifier** que la pente totale de la piste du snowhall d'Amnéville (en pourcent) permet toujours un classement en catégorie « piste bleue ».

### Exigence 2 : débit horaire

**Q2.** **Citer** la grandeur mécanique du moteur à adapter afin de permettre de moduler le débit horaire et d'obtenir le débit maximal souhaité.

### Exigence 3 : qualité de la neige

Les paramètres qui influencent la fabrication de la neige sont principalement la température ambiante, la pression d'injection de l'air, le taux d'hygrométrie de l'air et la température de l'eau. L'obtention de la température ambiante à l'intérieur du bâtiment, qui conditionne en grande partie la qualité de la neige, dépend des paramètres climatiques

extérieurs et principalement de la température de l'air extérieur. Pour cette raison la production de neige s'effectue toujours de nuit.

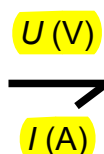
L'abaissement de la température de l'air intérieur s'effectue durant l'après-midi qui précède le début de la production de neige. Lors de cette production, on observe une hausse de la température dans le bâtiment due notamment à l'énergie utilisée par le dispositif de refroidissement pendant la transformation de l'eau en glace.

**Q3. Préciser** le paramètre qu'il est indispensable de contrôler afin d'assurer la production et le maintien d'une neige de qualité.

### 3. Évolution du système d'entraînement

**Objectif(s) de cette partie :** analyser la solution retenue pour entraîner le téléski et valider le dimensionnement et le paramétrage de la nouvelle chaîne d'énergie.

Une vue synoptique de la chaîne d'énergie du dispositif d'entraînement du téléski est proposée sur le document réponse DR1. Les constituants de la chaîne d'énergie sont reliés entre eux par un lien de puissance (demi-flèche) transportant les grandeurs d'effort et de flux comme montré dans l'exemple ci-dessous :



**Q4. Compléter** sur le document réponse DR1 les deux grandeurs effort et flux, avec leur unité, sur chacun des liens de puissance.

### Évolution de la motorisation

Les caractéristiques suivantes, de fonctionnement du téléski, sont déterminées à partir du débit maximal de personnes et de la distance entre deux agrès (document technique DT1) :

- le temps de montée d'un skieur,  $\Delta T = 175 \text{ s}$  ;
- la charge maximale, nombre maximal de skieurs remontés simultanément,  $N = 44$  skieurs.

La distance d'entraînement du skieur par l'agrès est supposée égale à la longueur de la piste.

On prendra  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

**Q5. Déterminer** la vitesse de déplacement d'un skieur lorsqu'il est tracté par le téléski.

La masse moyenne d'un skieur est  $M = 84 \text{ kg}$ . Le dénivelé est noté  $h$ .

La puissance nécessaire pour remonter un skieur en haut de la piste s'écrit :

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$



où  $W$  désigne le travail nécessaire pour remonter un skieur et  $\Delta t$  la durée de remontée.

**Q6. Exprimer** le travail à fournir en joules pour remonter un skieur si on néglige les forces de frottement des skis sur la neige. En **déduire** l'expression littérale et numérique de la puissance nécessaire pour déplacer les 44 skieurs lorsque la remontée est chargée à 100 %.

La figure 6 représente les actions mécaniques s'exerçant sur l'ensemble skieur et skis.

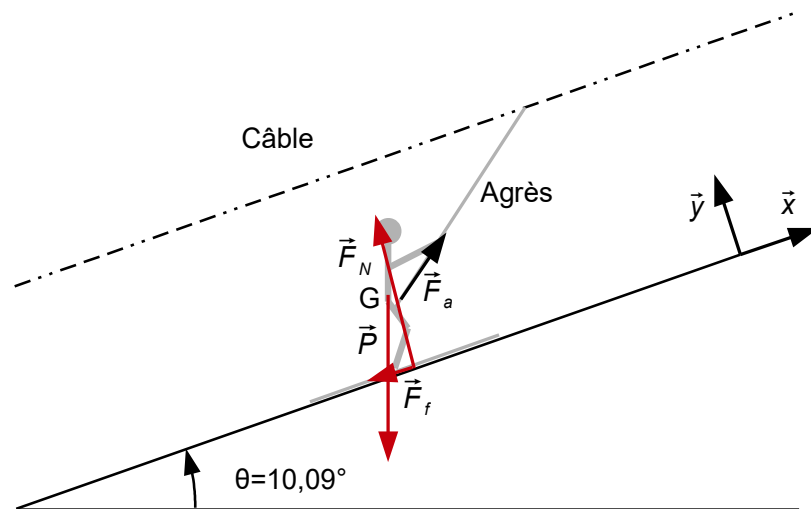


Figure 6 : modélisation des actions sur un skieur avec ses skis

L'inventaire des actions mécaniques est :

- $\vec{P}$ , poids de l'ensemble isolé ;
- $\vec{F}_f$ , force de frottement de la piste sur les skis ;
- $\vec{F}_N$ , force normale de la piste sur les skis ;
- $\vec{F}_a = F_{ax}\vec{x} + F_{ay}\vec{y}$ , force de l'agrès sur le skieur ;  $F_{ax} = 184\text{ N}$  et  $F_{ay} = 154\text{ N}$ .

Les frottements sont modélisés par le modèle de Coulomb :  $f_c = \tan \alpha = \frac{F_f}{F_N}$

avec  $f_c = 0,06$  le coefficient de frottement.

Le skieur tracté par le téléski se déplace à vitesse constante par rapport à la piste.

**Q7. À partir du modèle de la figure 6, calculer** l'intensité de la force de frottement  $\vec{F}_f$  pour un skieur. En **déduire** la puissance dissipée par les frottements entre la neige et les skis pour l'ensemble des 44 skieurs.

**Q8. À partir des résultats des questions précédentes, calculer** la puissance nécessaire au niveau de la poulie motrice pour entraîner les 44 skieurs et **compléter** le document réponse DR1.

Afin de tenir compte des frottements dus au câble, on considère dans la suite de l'étude que la puissance maximale nécessaire en sortie de réducteur est de 25,2 kW.

**Q9.** À partir des informations de la chaîne d'énergie du document réponse DR1 et du document technique DT1, **calculer**, pour le débit maximal de personnes, la puissance nécessaire en sortie du moteur ainsi que la vitesse de rotation de l'arbre moteur. En **déduire** le couple que doit fournir le moteur asynchrone. **Compléter** le document réponse DR1.

Le choix du constructeur s'est porté sur un moteur de référence LS 200 LT (figure 7).

	Puissance nominale $P_N$ (kW)	Vitesse nominale $N_N$ (tr/min)	Couple nominal $C_N$ (N·m)	Intensité nominale $I_{N(400\text{ V})}$ (A)
Moteur 1 : 2 pôles	30	2 946	97,2	52,1
Moteur 2 : 4 pôles	30	1 460	196	56,3

	Courant de démarrage / Courant nominal $I_d / I_N$	Couple démarrage / Moment nominal $C_d / C_N$	Couple maximal / Moment nominal $C_M / C_N$	Bruit $LP$ (dB)
Moteur 1 : 2 pôles	8,6	2,7	3,4	73
Moteur 2 : 4 pôles	6,6	2,9	2,9	64

Figure 7 : caractéristiques constructeur des moteurs de référence LS 200 LT

**Q10.** À l'aide de la figure 7 et des éléments précédents, **choisir** entre le moteur 1 et le moteur 2. **Justifier** ce choix.

Afin de valider la chaîne d'énergie et d'étudier la phase de démarrage, un modèle multi-physique a été réalisé, document réponse DR1.

Les composants et phénomènes pris en compte sont :

- la poulie réceptrice en haut de piste (voir aussi figure 4) ;
- la poulie motrice (voir aussi figure 3) ;
- le vérin de tension des câbles qui permet d'éviter le glissement entre les câbles et la poulie motrice ;
- les câbles et le battement des câbles qui induit des à-coups de vitesse et d'efforts sur les skieurs ;
- le frottement entre les skieurs et la neige ainsi que l'action du poids sur les skieurs ;
- le réducteur.



Le vérin de tension est modélisé par une force variable.

L'entraînement par le moteur est modélisé par une loi de mouvement qui impose l'accélération de l'arbre d'entrée du réducteur.

Le chargement est réalisé ainsi : mise en charge progressive du vérin de tension puis entraînement de l'arbre d'entrée du réducteur.

**Q11. Compléter** la figure 21 du document réponse DR1 en identifiant la poulie motrice et la poulie réceptrice.

Les grandeurs associées aux puissances d'entrée et de sortie du réducteur sont notées :

- $\omega_e$  ( $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ) et  $C_e$  ( $\text{N}\cdot\text{m}$ ) en entrée ;
- $\omega_s$  ( $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ) et  $C_s$  ( $\text{N}\cdot\text{m}$ ) en sortie.

**Q12. Déterminer** les paramètres du modèle associé au composant réducteur. **Établir** les équations liant  $\omega_e$  à  $\omega_s$  et  $C_e$  à  $C_s$ . On suppose un fonctionnement en régime permanent.

**Q13. Déterminer** le paramètre associé au composant poulie. On suppose un fonctionnement en régime permanent.

**Q14. Compléter** le modèle, figure 21 du document réponse DR1, en indiquant par des flèches les points de mesure de la vitesse de rotation du moteur et du couple fourni par le moteur.

**Q15. À partir des courbes obtenues par simulation (document technique DT2), déterminer** le couple moteur en régime permanent et le surcouple nécessaire au démarrage. **Valider** le choix du moteur compte tenu des performances attendues au démarrage.

### Paramétrage du variateur

Le variateur permet de contrôler la vitesse de rotation du moteur selon les besoins de l'exploitant. Trois réglages distincts sont enregistrés, notés vitesse 1, vitesse 2 et vitesse 3.

Suite à de trop nombreuses chutes de skieurs, l'exploitant de la salle souhaite limiter la vitesse maximale d'un agrès à  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (vitesse 3) et fixer la vitesse intermédiaire à  $2,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (vitesse 2).

Un réglage correspond à une fréquence d'alimentation du moteur asynchrone,  $f$  en Hz. Cette fréquence impose la vitesse de rotation du champ magnétique statorique  $N_s$  en  $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$  avec, pour le moteur choisi :  $N_s = 30 \times f$ .

En régime permanent, la vitesse de l'arbre moteur est légèrement plus faible que la vitesse de rotation du champ statorique comme le montre la figure 8 : pour un couple résistant  $C_r$  positif, la vitesse de rotation  $N_m$  est inférieure à  $N_s$ .

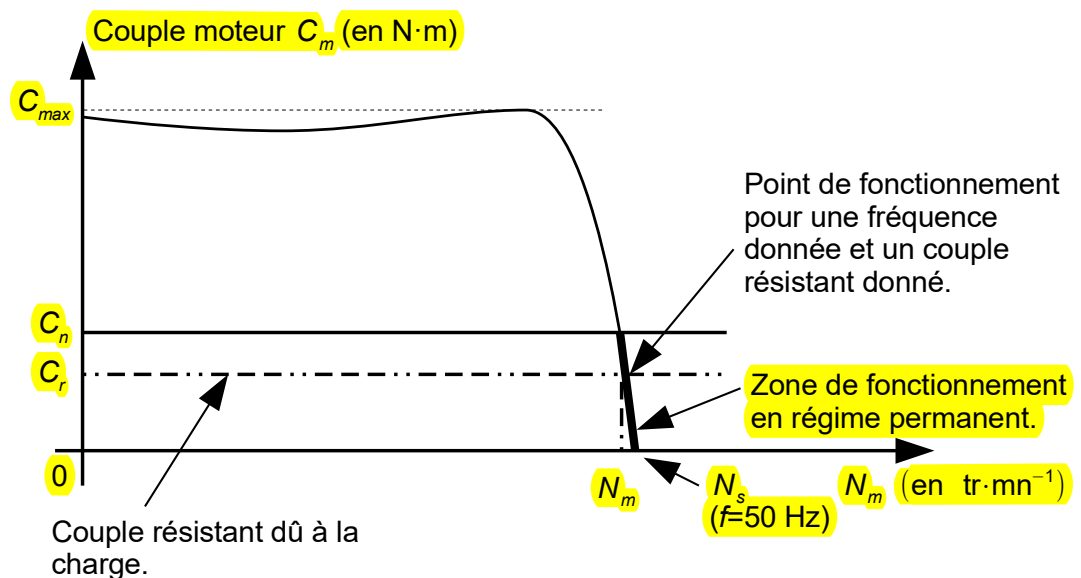


Figure 8 : caractéristique de couple du moteur asynchrone et point de fonctionnement

La courbe, en régime permanent, reliant le couple fourni par le moteur avec sa vitesse de rotation, figure 8, a la caractéristique suivante :

$$\frac{N_s - N_m}{N_s} = 0,03 = 3\% \text{ pour } C_m = C_n \text{ avec } C_n \text{ le couple nominal.}$$

Le couple résistant est estimé à :

- $0,7 \times C_n$  pour une charge de 100 % (44 skieurs sont présents sur la remontée) ;
- $0,2 \times C_n$  pour une charge de 0 % (aucun skieur sur la remontée).

**Q16. Estimer**, en pourcentage, la variation de la vitesse de déplacement du câble induite par une variation de charge du télésiégi de 100 %. Le constructeur a choisi d'utiliser une commande sans régulation de vitesse. **Commenter** ce choix.

À partir des caractéristiques des différents composants de la chaîne d'énergie, une simulation a été réalisée. Elle donne la vitesse du câble en régime stabilisé, figure 9, en fonction de la fréquence  $f$  de la tension d'alimentation du moteur lors d'un fonctionnement à pleine charge et lors d'un fonctionnement à vide.

**Q17. Déterminer**, en justifiant votre réponse, à partir des courbes obtenues en simulation (figure 9) les fréquences d'alimentation qui permettront d'obtenir les vitesses maximales 2 et 3.

Vitesse de déplacement d'un agrès ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

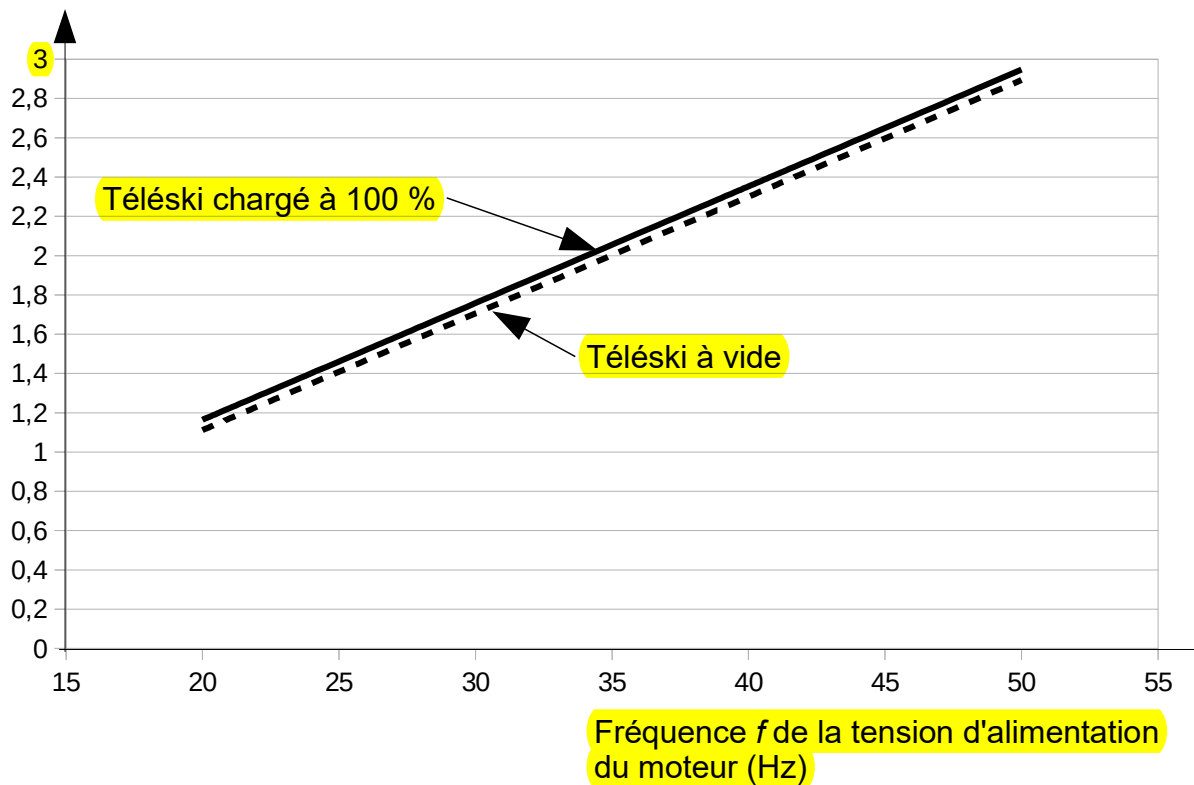


Figure 9 : relevés de simulation de la vitesse de déplacement d'un agrès

### Validation des performances de vitesse

Une mesure de la vitesse en l'absence de skieur a été réalisée : il faut 122,8 s pour que 26 agrès passent la ligne d'arrivée pour une consigne de vitesse 2. La mesure est déclenchée au passage du premier agrès, et est arrêtée au passage du 26<sup>e</sup> agrès. La distance entre deux agrès est de 11,2 m.

**Q18. Calculer** la vitesse réelle de déplacement d'un agrès en vitesse 2. **Conclure** en analysant et en justifiant les écarts entre la vitesse mesurée sur site et la vitesse souhaitée (consigne vitesse 2).

**Q19. Conclure** en précisant si le dimensionnement de la chaîne d'énergie et le paramétrage du variateur permettent de respecter l'exigence 2 (disposer d'une remontée avec un débit horaire modulable).

#### 4. Évolution du dispositif de refroidissement

**Objectif(s) de cette partie :** adapter la commande du groupe froid pour respecter les contraintes liées à l'alimentation électrique. Analyser la solution qui permet de maintenir une température ambiante adéquate sur l'extension de piste et valider les performances de la solution mise en place.

La source de froid utilisée pour produire la neige artificielle et maintenir la température dans l'enceinte du bâtiment est centralisée. Un unique groupe froid fournit une eau glycolée à faible température (figure 10).

Par une pompe P1, ce fluide caloporteur est transmis à un échangeur thermique afin de préconditionner l'eau utilisée par les canons à neige.

Par une pompe P2, il est distribué dans un circuit général alimentant les frigorigères.

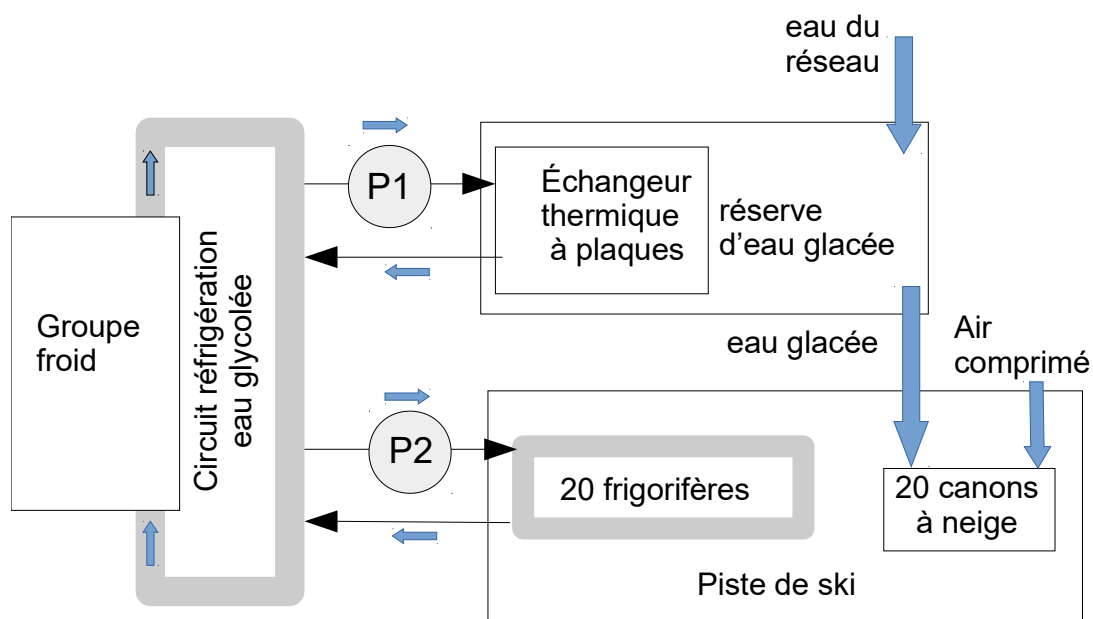


Figure 10 : synoptique de l'installation de production de froid

L'agrandissement du bâtiment a nécessité l'ajout de cinq frigorigères, l'adaptation des programmes de commande du groupe froid et la validation des performances de régulation de la température ambiante.

##### Régulation de la température de l'eau glycolée

Un dispositif de régulation permet de maintenir l'eau glycolée à une température fixée par l'exploitant en modulant la puissance du groupe froid.

Les variables globales utilisées et l'algorithme initial de commande du groupe froid sont donnés sur le document technique DT3.

**Q20. Déterminer** la plage de valeurs de la température de l'eau, en fonction de  $T_{\text{consigne}}$ , pour laquelle la commande du groupe n'est pas modifiée ?

**Q21. Justifier** le choix d'insérer une temporisation (fixée dans l'algorithme à 30 s) dans la mesure de la température de l'air.

Les performances du groupe froid et l'ajout des cinq frigorifères peuvent conduire le système à absorber une intensité électrique supérieure à celle disponible sur l'installation de façon continue.

La commande a donc été modifiée en ajoutant un second programme de contrôle de l'intensité du courant absorbé exécuté en parallèle du premier. Si l'intensité s'approche de l'intensité limite, l'augmentation de puissance du groupe froid est interdite. Si l'intensité dépasse la valeur limite, la diminution de la puissance est forcée.

L'algorithme de contrôle de l'intensité est proposé sur le document technique DT3. Il est appelé toutes les 10 s et définit deux variables booléennes globales :

- interdictionAugmentation, vaut VRAI si la puissance du groupe froid ne doit plus être augmentée ;
- forçageDiminution, vaut VRAI si la puissance consommée par le groupe doit être diminuée.

**Q22. Compléter** les chronogrammes du document réponse DR2 à partir de l'algorithme de contrôle de l'intensité.

Pour tenir compte du contrôle de l'intensité absorbée, l'algorithme de commande du groupe froid doit être modifié.

**Q23. Compléter** l'algorithme modifié de commande du groupe froid, document réponse DR2, afin de tenir compte des variables interdictionAugmentation et forçageDiminution.

### Acquisition de la température de la salle

Chaque frigorifère est muni d'une sonde de température ambiante et d'un dispositif de régulation indépendant des autres frigorifères.

Le schéma de principe de la chaîne d'acquisition de la température ambiante est proposé figure 11.

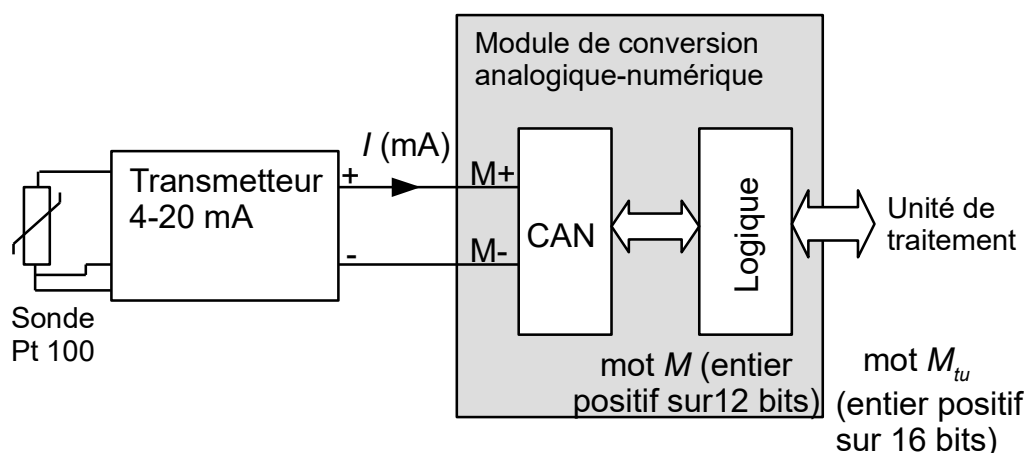


Figure 11 : chaîne d'acquisition de la température ambiante

La sonde Pt100 utilise comme principe physique la variation de la résistance électrique des matériaux en fonction de la température. La résistance est de  $100\ \Omega$  à  $0^\circ\text{C}$ .

La caractéristique proposée figure 12 donne la valeur du courant  $I$  (mA) en fonction de la température ambiante.

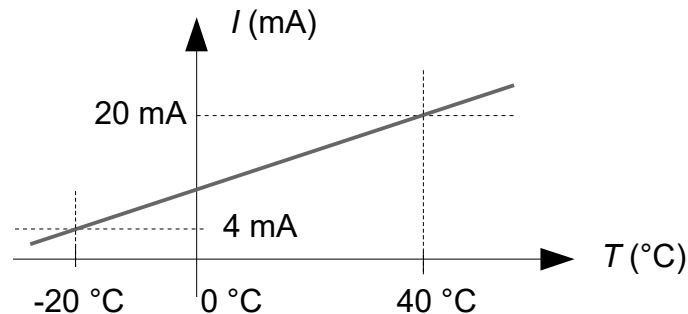


Figure 12 : caractéristique de l'ensemble sonde et transmetteur,  $I = S \times T + I_0$  en mA

**Q24. Calculer** la sensibilité  $S$  et l'offset  $I_0$  de l'ensemble sonde et transmetteur. **Préciser** les unités.

La résolution (en bits) du module qui assure la conversion analogique numérique est de 12 bits. Le résultat de la conversion analogique-numérique est disponible dans le mot  $M$ .

La caractéristique de la figure 13 indique la valeur disponible dans le mot  $M$  en fonction de la valeur du courant  $I$  (mA).

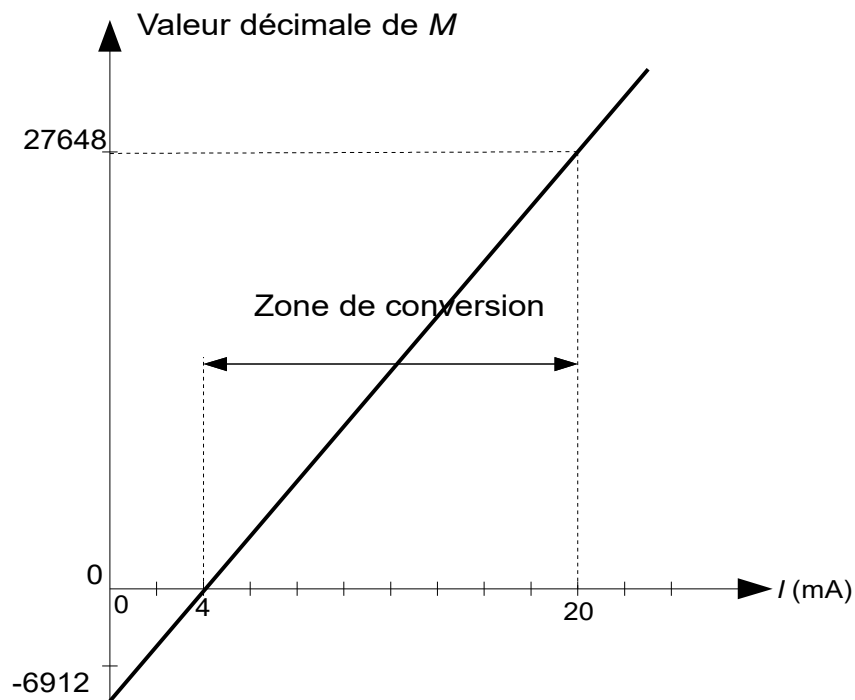


Figure 13 : caractéristiques du CAN, valeur du mot  $M$  (12 bits) en fonction du courant  $I$  (mA)



**Q25. Donner** la relation qui permet de calculer la valeur du mot  $M$  à partir de la valeur du courant  $I$  (en mA) en utilisant la figure 13.

**Q26. Compléter** le tableau du document réponse DR1 en précisant la valeur  $I$  du courant en mA ainsi que la valeur du mot  $M$  exprimée en décimal.

Le résultat de la conversion analogique numérique est transmis à l'unité de traitement sous forme d'un mot de 16 bits noté  $M_{TU}$ .

Ainsi le résultat de la conversion, mot  $M$  codé sur 12 bits, est placé dans les bits de poids fort. Les bits restants sont complétés avec des 0.

**Q27. Exprimer**  $M_{TU}$  en fonction de  $M$ , puis **compléter** le tableau du document réponse DR1 en précisant la valeur du mot  $M_{TU}$ .

On souhaite disposer dans l'unité de traitement qui gère le fonctionnement d'un frigorigère d'une variable *température* de type réel qui contient la valeur de la température en °C.

**Q28. Calculer** la variation de température nécessaire pour que le mot  $M$  augmente d'une unité et **conclure** sur la précision de la mesure.

### Régulation de la température ambiante

La régulation de la température ambiante est réalisée en contrôlant, par l'intermédiaire d'une électrovanne, l'alimentation du frigorigère en eau glycolée prélevée sur le circuit général.

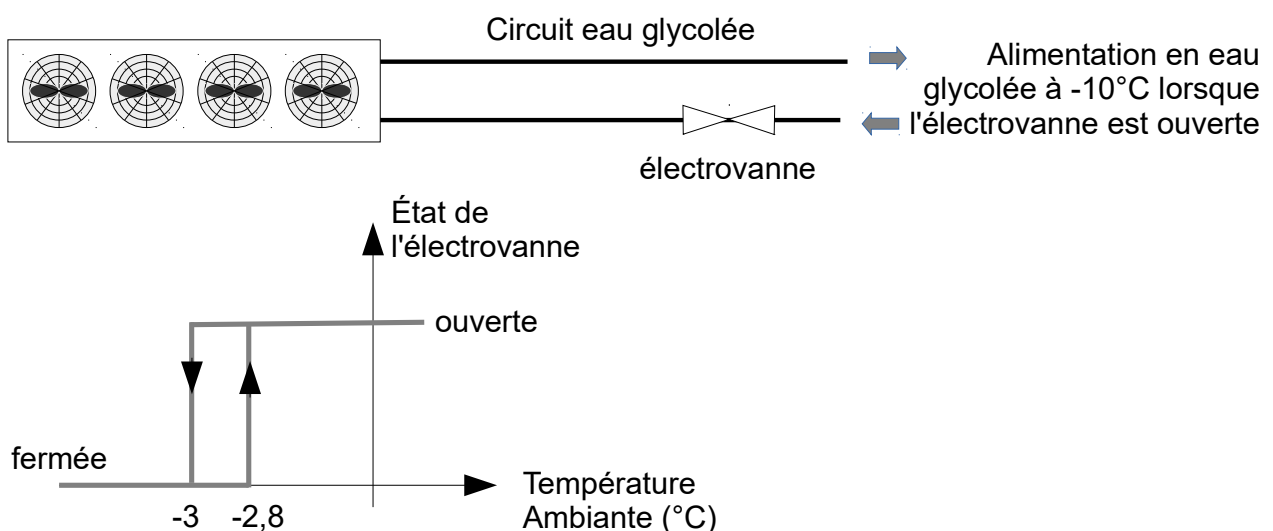


Figure 14 : principe de régulation d'un frigorigère pour une consigne de -3°C

Les commandes d'ouverture et de fermeture sont définies en fonction de la température ambiante mesurée et de la température de consigne (figure 14).

La température de consigne est de  $-8^{\circ}\text{C}$  lors de la production de neige et de  $-3^{\circ}\text{C}$  sinon.

**Q29. Compléter**, sur le document réponse DR3, le graphique avec la température de consigne. **Entourer** les zones du graphique pendant lesquelles les frigorifères sont alimentés en eau glycolée.

### Validation des performances

Un relevé de la température ambiante réalisé sur une période de 36 h est proposé en figure 23 document réponse DR3. On suppose que la température est homogène dans le bâtiment.

Ce relevé est réalisé en février. Le public a accédé aux pistes de 9h à 18h.

La consigne de température ambiante est abaissée de  $-3^{\circ}\text{C}$  à  $-8^{\circ}\text{C}$ , à partir de 18 h afin de préparer la production de la neige, jusqu'à la fin de la production de la neige. La production débute à 20 h et se termine à 8 h.

**Q30. Conclure** quant aux performances de régulation sur cette plage horaire.

**Q31. Indiquer**, en justifiant votre réponse, si le relevé effectué permet de garantir une bonne qualité de neige (exigence 3).

## 5. Fixation de la remontée mécanique sur la structure de l'extension

**Objectif(s) de cette partie :** valider la solution qui permet de fixer la remontée mécanique sur la structure de l'extension afin de maintenir un espace skiable optimum.

Afin d'optimiser la superficie de l'espace skiable, les potences qui guident le câble sont fixées au toit du bâtiment, sur les fermes principales de l'extension comme cela a déjà été réalisé sur la structure existante. Ces fermes sont des profilés en I.

La figure 15 présente un schéma de la solution retenue.

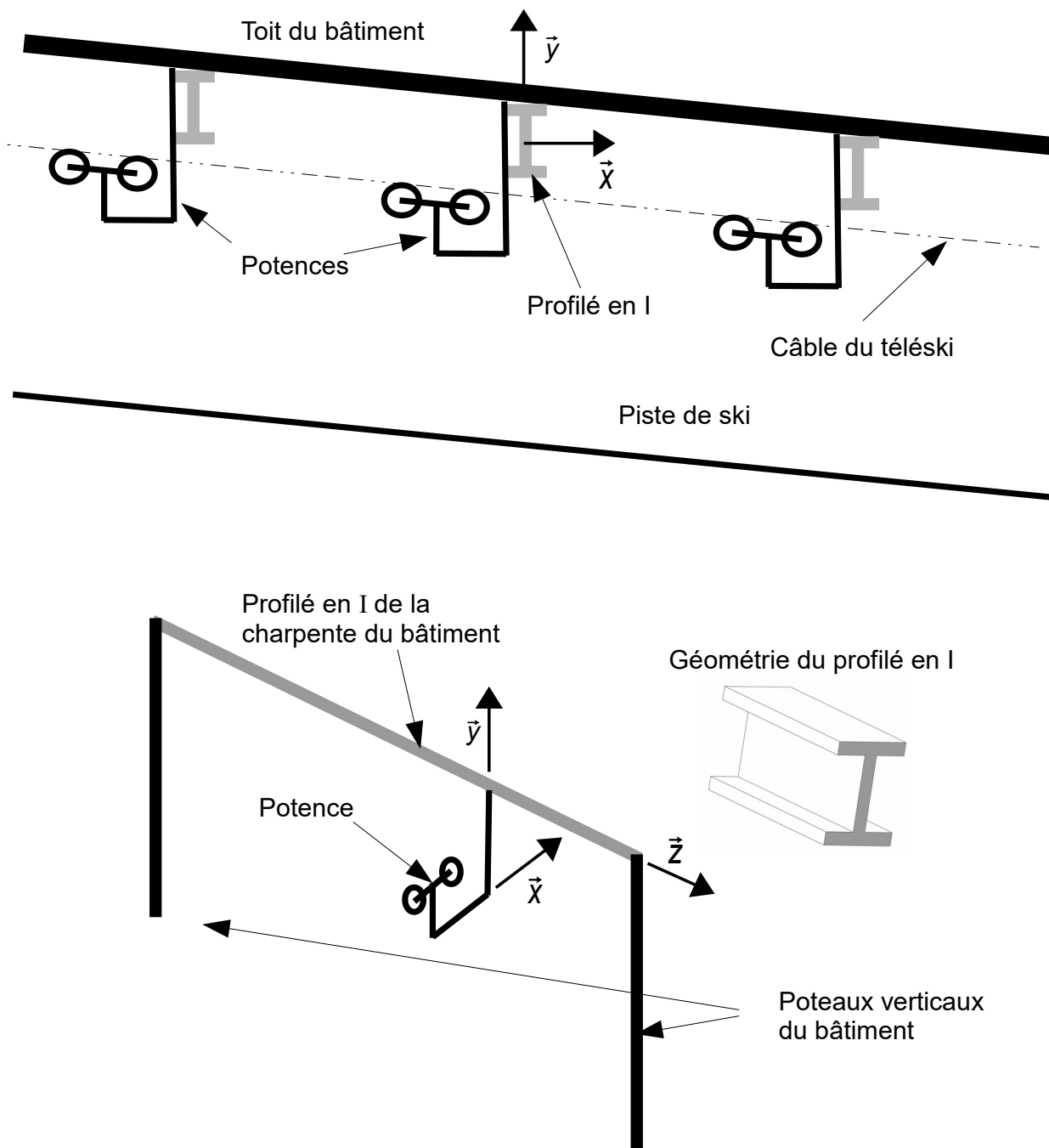


Figure 15 : montage des potences sur les profilés en I

Cette solution a pour inconvénient de solliciter la charpente avec des actions mécaniques spécifiques.

La potence est encastrée sur le profilé en I de la charpente du bâtiment.

La figure 16 représente les actions mécaniques exercées sur l'ensemble  $S_1 = \{\text{potence} + \text{galets}\}$ . L'action du profilé sur la potence n'est pas représentée.

La composante horizontale de l'action  $\vec{R}_A$  est négligée.

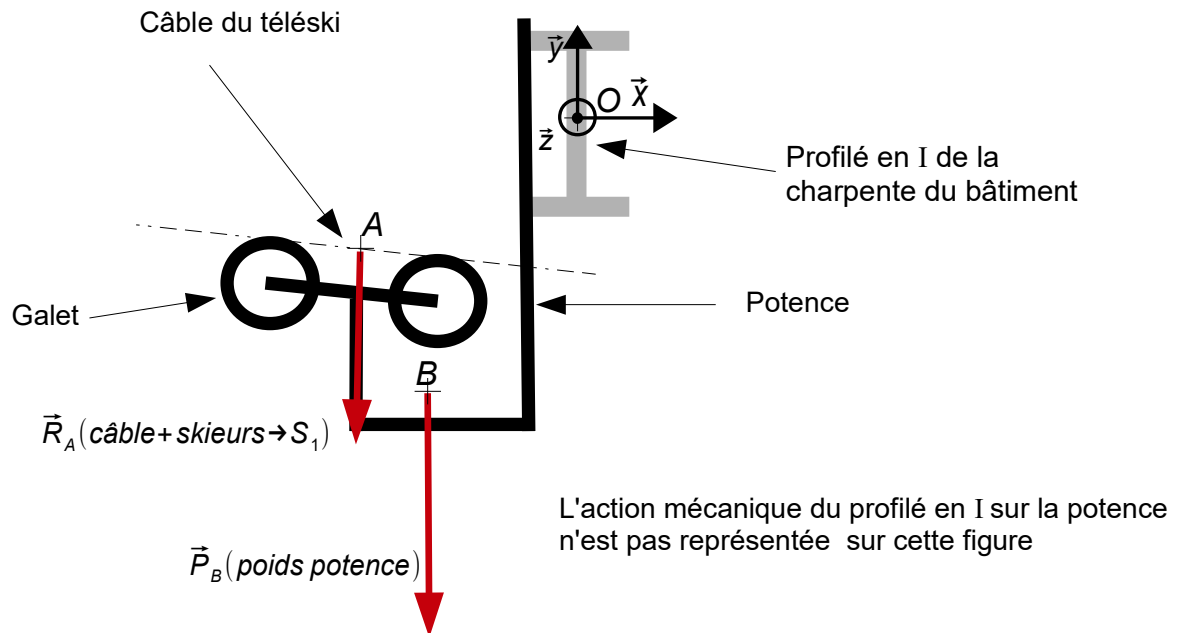


Figure 16 : actions mécaniques exercées sur l'ensemble  $S_1 = \{\text{potence} + \text{galets}\}$ , hors encastrement avec le profilé

Le profilé est considéré comme une poutre de ligne médiane  $(O, \vec{z})$ .

**Q32. Identifier** parmi les propositions ci-dessous, les sollicitations auxquelles est soumis le profilé en I : traction, compression, cisaillement, flexion, torsion.

Afin d'éviter une déformation de la structure du bâtiment, le constructeur a décidé de mettre en place un contrepoids sur le profilé en I. Ce contrepoids est fixé à un support lui-même fixé au profilé de la charpente (voir figure 17).

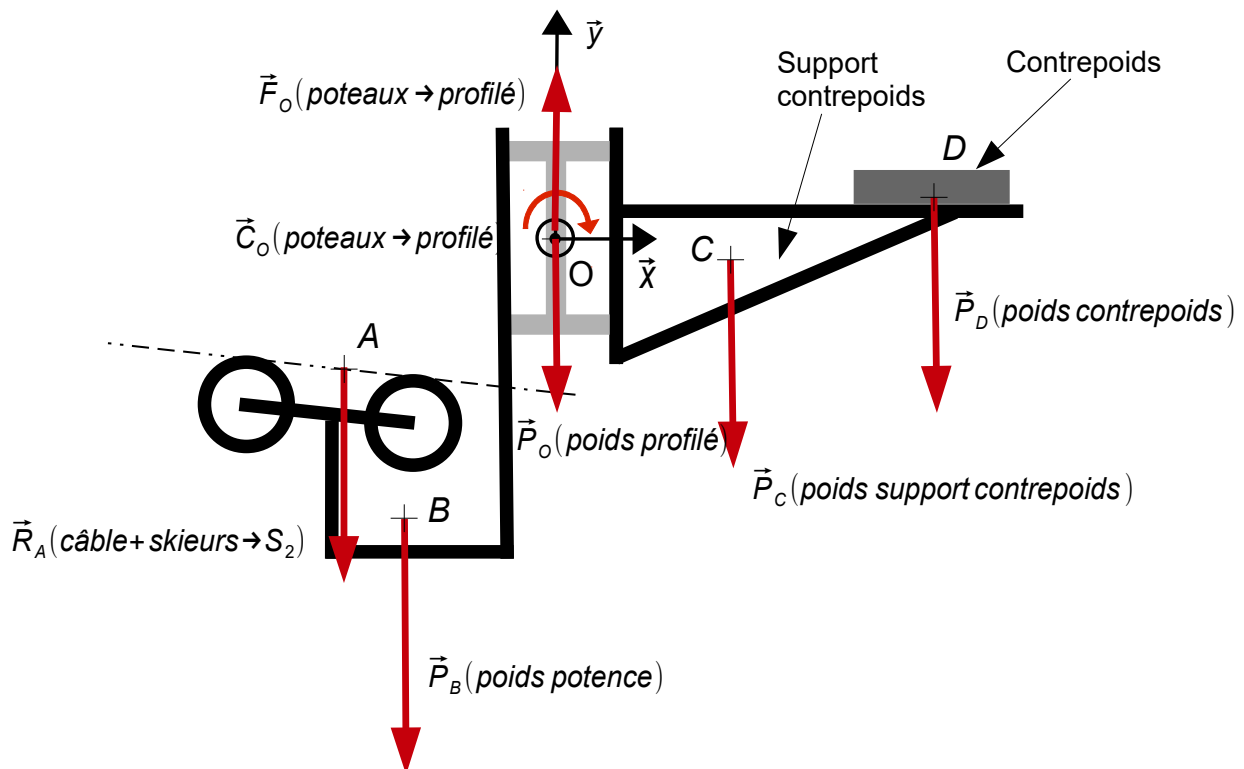


Figure 17 : actions mécaniques exercées sur l'ensemble  $S_2$

On propose dans cette étude de déterminer la masse  $M$  du contrepoids. On étudie l'équilibre de l'ensemble  $S_2 = \{\text{potence} + \text{profilé} + \text{galets} + \text{support du contrepoids} + \text{contrepoids}\}$ . On considère que le problème se ramène à un problème de statique dans le plan  $(O, \vec{x}, \vec{y})$  de la figure 17.

Lorsque la remontée mécanique est à pleine charge, l'ensemble  $S_2$  est soumis aux actions mécaniques suivantes :

- en  $A$ , action de l'ensemble  $\{\text{câble} + \text{skieurs}\}$  sur  $S_2$  avec  $\|\vec{R}_A\| = 3\,254 \text{ N}$  ;
- en  $B$ , poids de la potence,  $\|\vec{P}_B\| = 4\,400 \text{ N}$  ;
- en  $C$ , poids du support de contrepoids,  $\|\vec{P}_C\| = 1\,471 \text{ N}$  ;
- en  $D$ , poids du contrepoids de masse  $M$ ,  $\|\vec{P}_D\|$  ;
- en  $O$ , poids du profilé ramené au point  $O$ ,  $\|\vec{P}_O\|$  ;
- en  $O$ , résultante des efforts exercés par les poteaux sur le profilé ramenée au point  $O$ ,  $\|\vec{F}_O\|$  ;
- en  $O$ , couple exercé par les poteaux sur le profilé,  $\vec{C}_O$ .

Les coordonnées des points sont :

$$\begin{aligned} \vec{OA} &= -714 \cdot \vec{x} - 450 \cdot \vec{y} & \vec{OB} &= -457 \cdot \vec{x} - 841 \cdot \vec{y} & \vec{OC} &= 595 \cdot \vec{x} - 146 \cdot \vec{y} \\ \vec{OD} &= 1\,280 \cdot \vec{x} + 128 \cdot \vec{y} \end{aligned}$$

Les longueurs sont exprimées en mm.

**Q33.** **Écrire** le théorème du moment statique au point  $O$ . **Calculer**, en ce point, le couple exercé par les poteaux sur le profilé noté  $\vec{C}_O = C_O \cdot \vec{z}$ .

**Q34.** En **déduire** la masse  $M$  à mettre en place sur le contrepoids afin d'annuler ce couple lorsque le téléski est en pleine charge. **Conclure**, sachant que le constructeur a placé une masse de 276 kg.

## 6. Conclusion

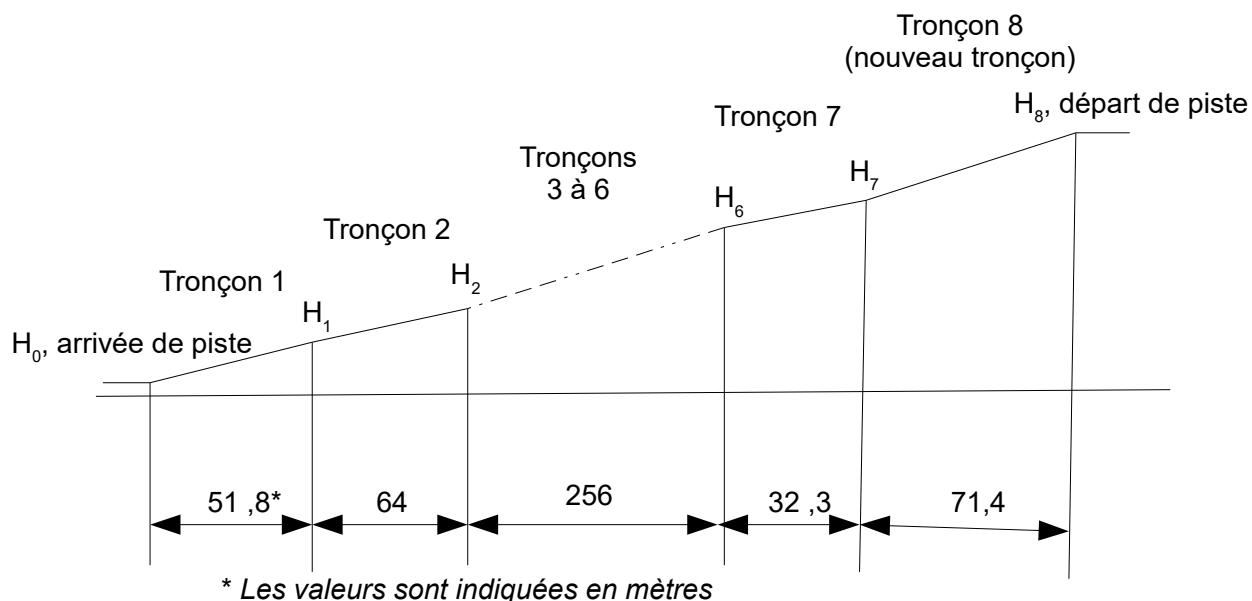
**Q35.** Au regard des différents points abordés tout au long de ce sujet, **montrer** que l'installation du snowhall est bien en mesure d'offrir les conditions qui permettent la pratique du ski en intérieur toute l'année.



## **Documents techniques**

## Document technique DT1.

## Profil de piste

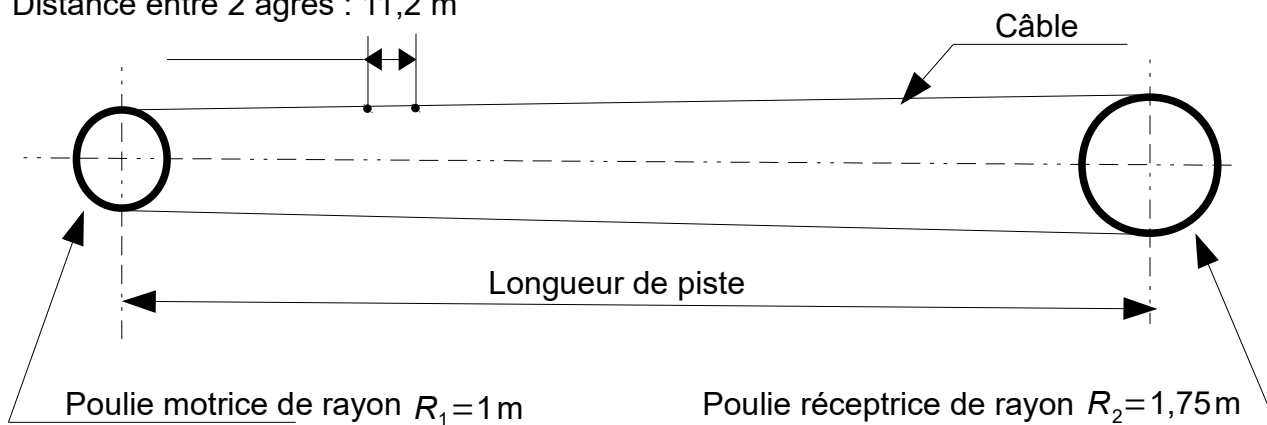


## Caractéristiques du profil de la piste

Extrémité de tronçon	$H_0$ , arrivée	$H_1$	$H_2$	$H_6$	$H_7$	$H_8$ , départ
Altitude de $H_i$ (m)	0,1	6	17,4	63,6	66,3	84,5
Distances <b>horizontales</b> entre $H_i$ et $H_0$ (m)	0	51,8	115,8	371,8	404,1	475,5
Longueurs de piste entre $H_i$ et $H_0$ (m)	0	52,2	117,2	377,3	409,7	490,5

## Vue de dessus du téléski avec les 2 poulies

Distance entre 2 agrès : 11,2 m



## Document technique DT2.

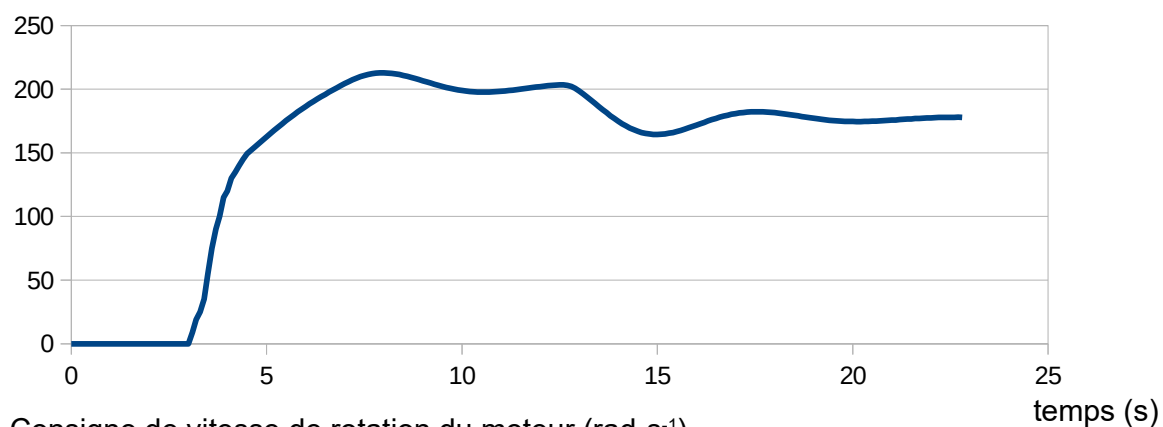
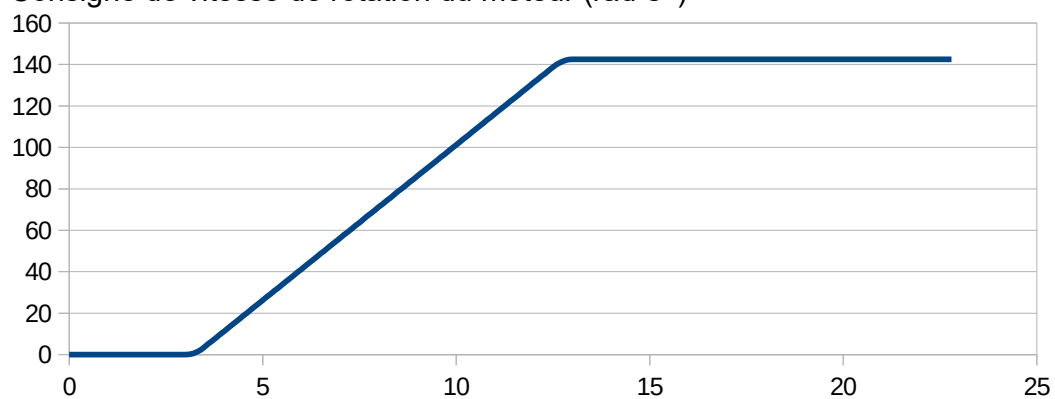
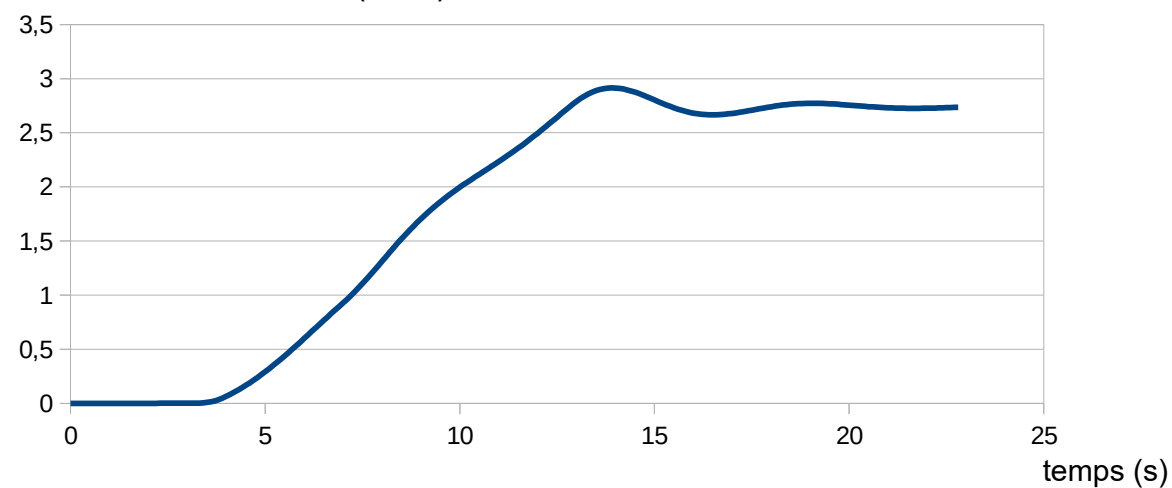
Couple moteur simulé ( $\text{N}\cdot\text{m}$ )Consigne de vitesse de rotation du moteur ( $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ )Vitesse du skieur simulée ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

Figure 18 : simulation du démarrage du télésiégi chargé

### Document technique DT3.

#### Algorithme initial de commande du groupe froid

Variables globales :

- Tconsigne, température de consigne de l'eau glycolée ;
- commandeGroupe, puissance de fonctionnement du groupe froid en pourcentage de la puissance maximale.

#### Toutes les 30 s Faire

T ← acquérirTempératureEau()

**Si** T < (Tconsigne – 0,2) **Alors**

**Si** commandeGroupe ≥ 10 **Alors**

commandeGroupe ← commandeGroupe - 10

**Sinon**

commandeGroupe ← 0

**Fin Si**

**Si** T > (Tconsigne + 0,2) **Alors**

**Si** commandeGroupe ≤ 90 **Alors**

commandeGroupe ← commandeGroupe + 10

**Sinon**

commandeGroupe ← 100

**Fin Si**

**Fin**

#### Algorithme de contrôle de l'intensité du courant absorbé

#### Toutes les 10 s Faire

intensité ← acquérirIntensité()

**Si** ((intensité > intensitéLimite – 20) **Alors**

interdictionAugmentation ← **VRAI**

**Si** (intensité > intensitéLimite) **Alors**

forçageDiminution ← **VRAI**

**Sinon Si** (intensité ≤ limite – 10) **Alors**

forçageDiminution ← **FAUX**

**Fin Si**

**Sinon**

interdictionAugmentation ← **FAUX**

forçageDiminution ← **FAUX**

**Fin Si**

**Fin**

Variables globales :

- intensitéLimite, valeur de l'intensité à ne pas dépasser ;
- interdictionAugmentation ;
- forçageDiminution.

## **Documents réponses**

## Document réponse DR1.

Q4

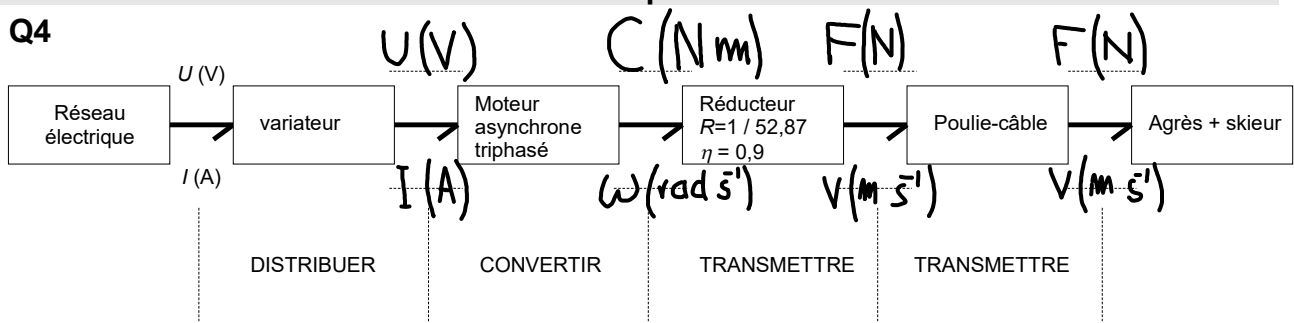


Figure 19 : chaîne d'énergie du télési

Q8-Q9

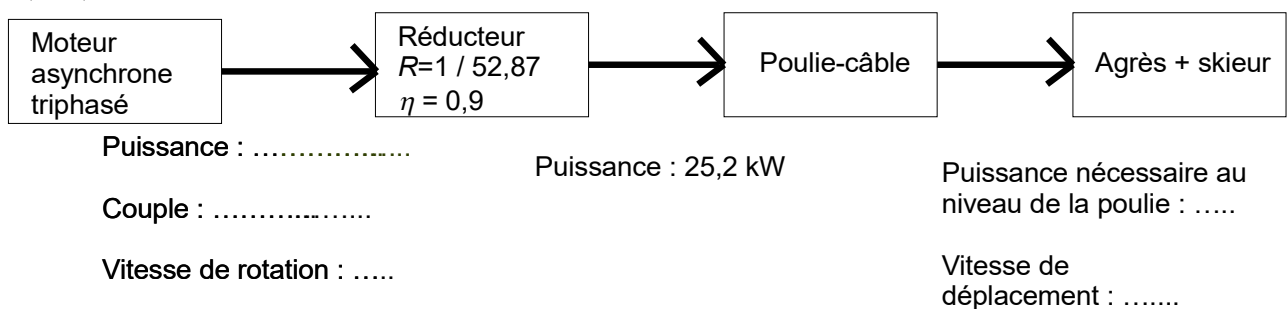


Figure 20 : synthèse des valeurs caractéristiques de la chaîne d'énergie

Q11-Q14

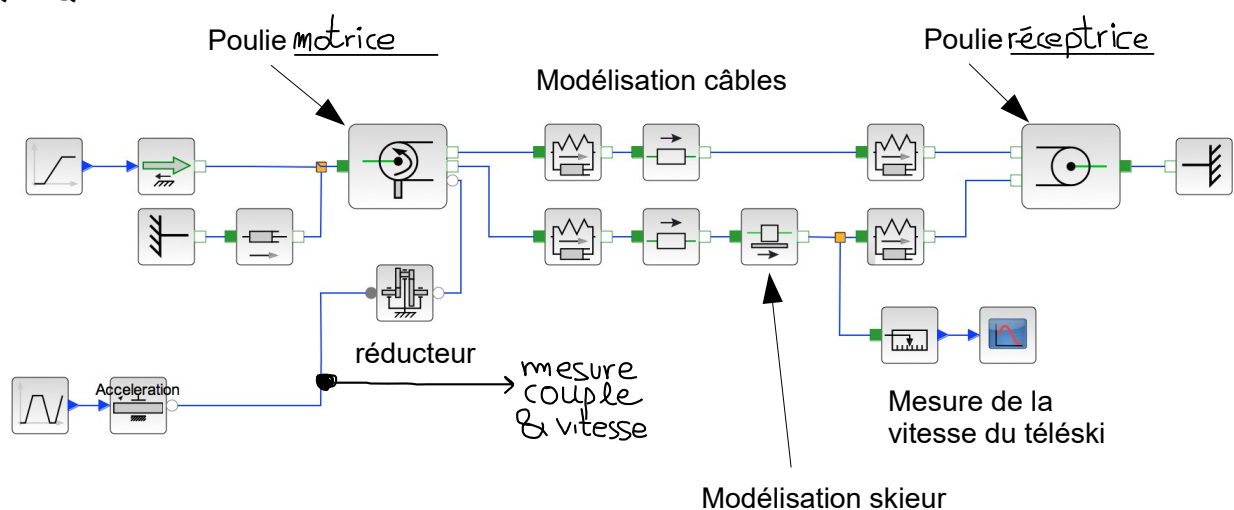


Figure 21 : modèle multi-physique d'analyse du démarrage

Q26-Q27

température (en °C)	I (en mA)	Mot M	Mot $M_{TU}$
		valeur décimale	valeur décimale
0 °C			
-3 °C			
-8 °C			



## Document réponse DR2.

Q22

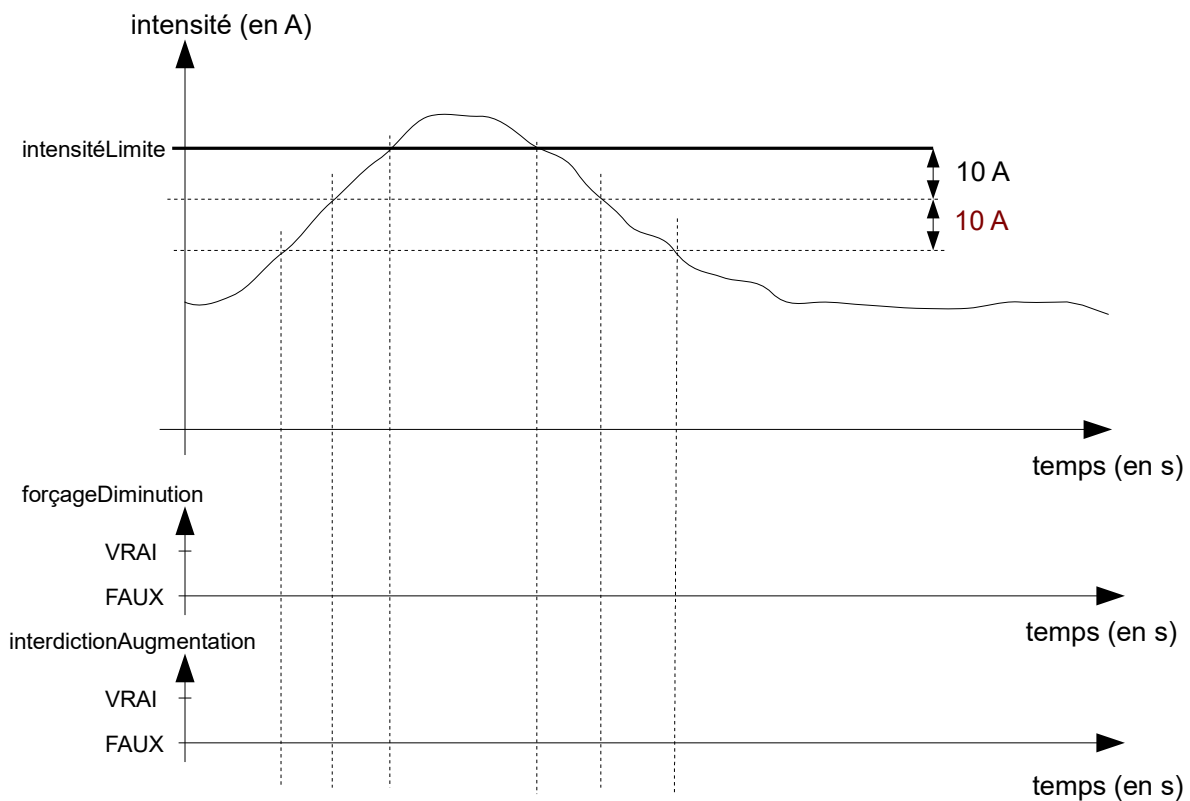


Figure 22 : limitation intensité moteur compresseur

Q23 : Algorithme modifié de commande du groupe froid

**Toutes les 30 s Faire**

T ← acquérirTempératureEau()

**Si** T < (Tconsigne – 0,2) .....**Si** commandeGroupe ≥ 10 **Alors**

commandeGroupe ← commandeGroupe - 10

**Sinon**

commandeGroupe ← 0

**Fin Si****Si** T > (Tconsigne + 0,2) .....**Si** commandeGroupe ≤ 90 **Alors**

commandeGroupe ← commandeGroupe + 10

**Sinon**

commandeGroupe ← 100

**Fin Si****Fin**

## Document réponse DR3.

Q29

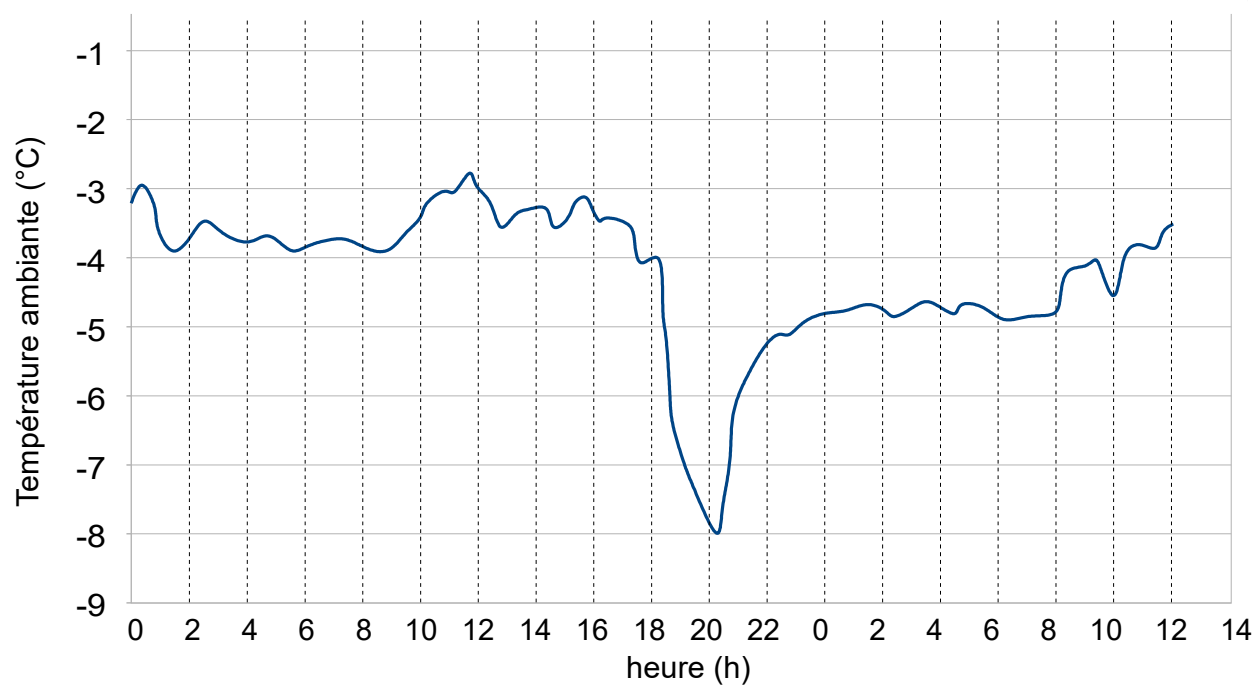


Figure 23 : relevé de température au mois de février sur une période de 36h à partir de minuit.