

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

Conception et Industrialisation
en Microtechniques

ÉPREUVE E3

Mathématiques
et
Sciences physiques appliquées

UNITÉ U32

SCIENCES PHYSIQUES APPLIQUÉES

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

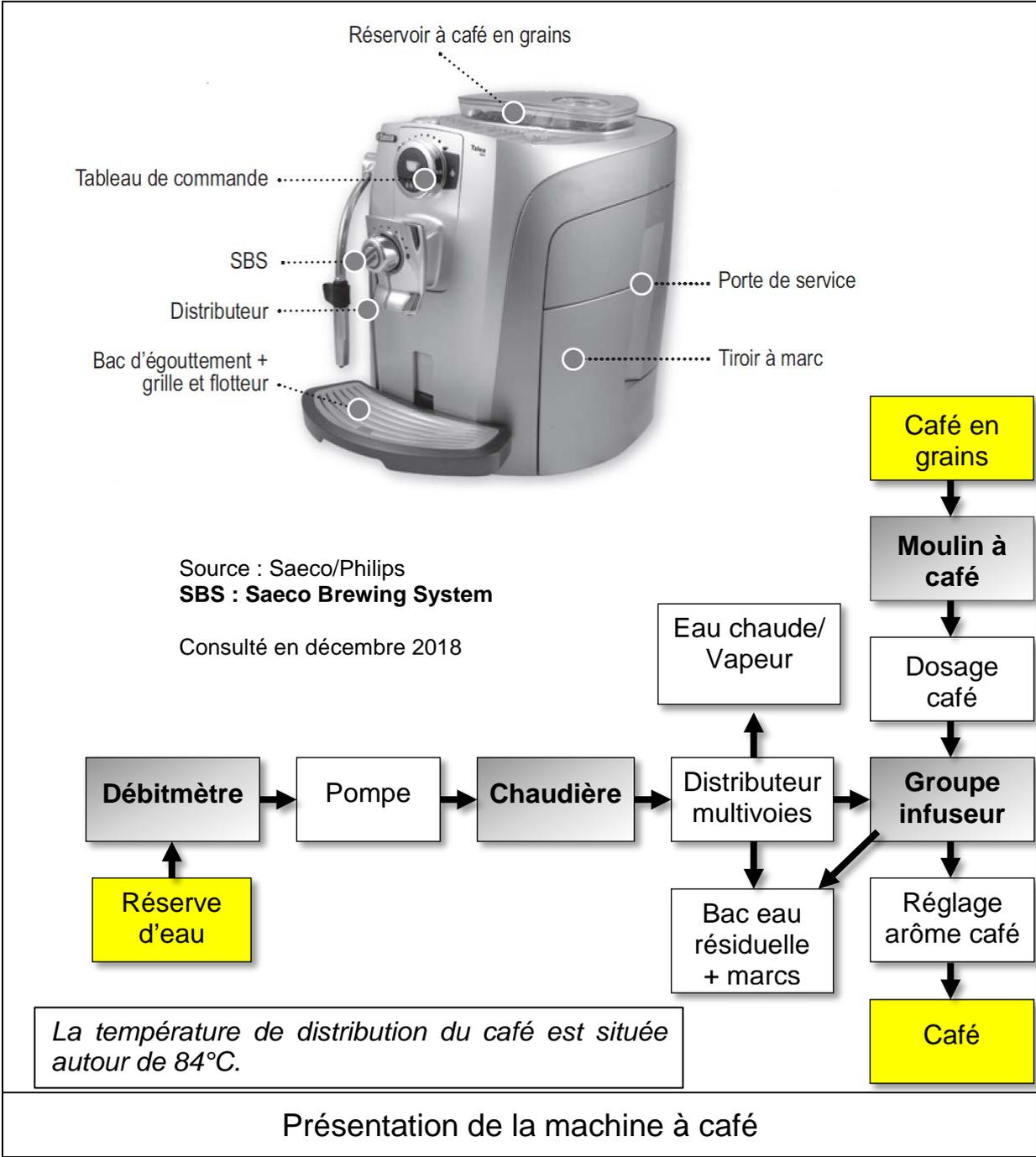
Documents à rendre avec la copie :

- DOCUMENT RÉPONSE DR1 page 14/16
- DOCUMENT RÉPONSE DR2 page 15/16
- DOCUMENT RÉPONSE DR3 page 16/16

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet et comporte 16 pages numérotées de 1/16 à 16/16.

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 1 sur 16

MACHINE À EXPRESSO AVEC BROYEUR



BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 2 sur 16

Le sujet comporte quatre parties indépendantes :

Partie A : comment mesurer le volume d'eau pour le café ? (6,5 points) ;

Partie B : comment assurer la bonne température pour faire le café ? (6 points) ;

Partie C : comment actionner le groupe infuseur ? (5,5 points) ;

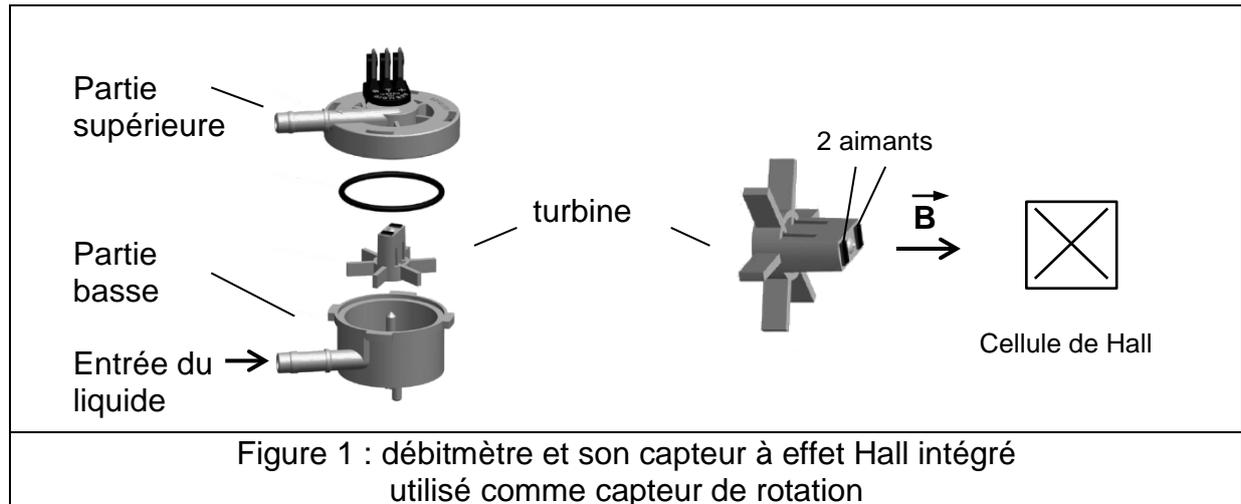
Partie D : comment gérer la dose et l'absence de café en grains ? (2 points).

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 3 sur 16

**Partie A : comment mesurer le volume d'eau pour le café ?
(6,5 points)**

Le volume d'eau est contrôlé par un débitmètre à effet Hall à turbine (figure 1) : le liquide entraîne une turbine dotée de deux aimants. Un capteur à effet Hall, logé dans la partie supérieure et sensible au champ magnétique \vec{B} , détecte alors le passage des aimants lors de la rotation.

L'électronique délivre des impulsions de fréquence proportionnelle au débit.



Principe de l'effet Hall : exploitation de l'ANNEXE, *Hall Effect Principles*

- Q1.** Citer la force à l'origine de l'effet Hall.
- Q2.** Donner le signe de la tension de Hall V_H dans le cas de la figure (a) de l'annexe (page 13/16).

La tension de Hall est donnée par :

$$V_H = \frac{R_H \cdot I \cdot B}{a}$$

Avec : I : intensité du courant (en A),
 B : valeur du champ magnétique (en teslas, symbole T),
 a : épaisseur de la cellule (en m),

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 4 sur 16

$$R_H = \left| \frac{1}{n \cdot q} \right| : \text{constante de Hall en unités du système international}$$

(dépend de la nature des porteurs de charge et de leur densité n).

Les électrons dont la charge, notée q , vaut $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C, sont les porteurs de charge mobiles.

L'effet Hall est particulièrement sensible si la cellule de Hall est réalisée en matériau semi-conducteur. Dans le cas du silicium dopé N, la densité de porteurs de charge n vaut $2,5 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$.

Q3. Vérifier par le calcul que $R_H = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{C}^{-1}$.

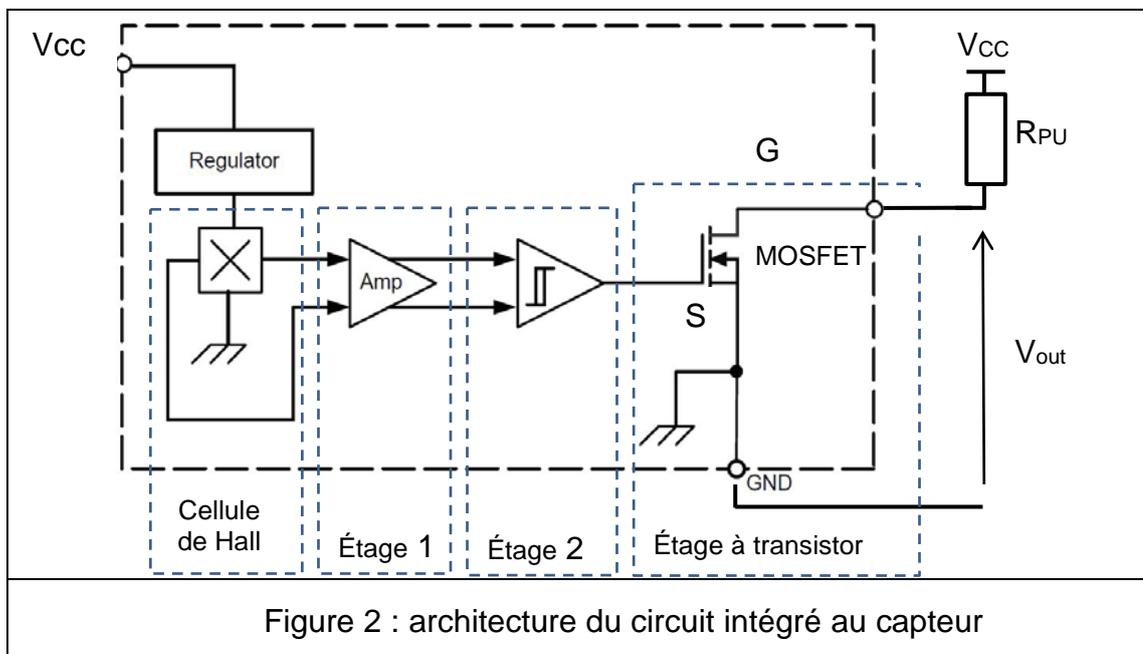
On donne : $I = 1 \text{ mA}$; $B = 10 \text{ mT}$; $a = 1 \text{ }\mu\text{m}$.

Q4. Calculer la tension V_H (en volts) avec la valeur précédente de R_H .

Mise en forme du signal par le circuit intégré au capteur

La tension de sortie d'une cellule de Hall est plutôt faible et nécessite une mise en forme du signal.

Le capteur à effet Hall intégré au débitmètre possède l'architecture suivante (figure 2). Une résistance de pull-up, notée R_{PU} , extérieure est ajoutée en sortie, V_{CC} valant 5 V.



BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 5 sur 16

Q5. Préciser la fonction des étages 1 et 2 dans le traitement du signal (figure 2).

Le transistor de la figure 2, un MOSFET canal N, (sa connaissance n'est pas requise) est supposé fonctionner en commutation comme un interrupteur idéal entre G et S.

Quand l'aimant de la turbine s'approche du capteur, alors la valeur du champ magnétique B qui agit sur la cellule de Hall est telle que $B > B_{OP}$ (OP : operate point) et le transistor est commandé à la fermeture.

Q6. Donner la valeur de V_{out} dans ce cas.

Quand l'aimant s'éloigne du capteur et que $B < B_{RP}$ (RP : release point) alors le transistor est commandé à l'ouverture.

Q7. Donner la valeur de V_{out} dans ce cas.

La caractéristique de transfert du capteur $V_{out} = f(B)$ est donnée sur la figure (a) du DOCUMENT RÉPONSE DR1.

Q8. Préciser les valeurs de B_{RP} et B_{OP} sur le DOCUMENT RÉPONSE DR1.

Q9. Représenter la tension V_{out} en sortie du capteur sur la figure (b) du DOCUMENT RÉPONSE DR1.

Q10. Préciser l'intérêt d'un comparateur à deux seuils.

Comptage des impulsions pour la gestion de l'eau

Le capteur intégré au débitmètre délivre un nombre d'impulsions proportionnel au volume.

La valeur spécifiée pour le débitmètre par le constructeur est :

$$K = 1\,934 \text{ impulsions / litre}$$

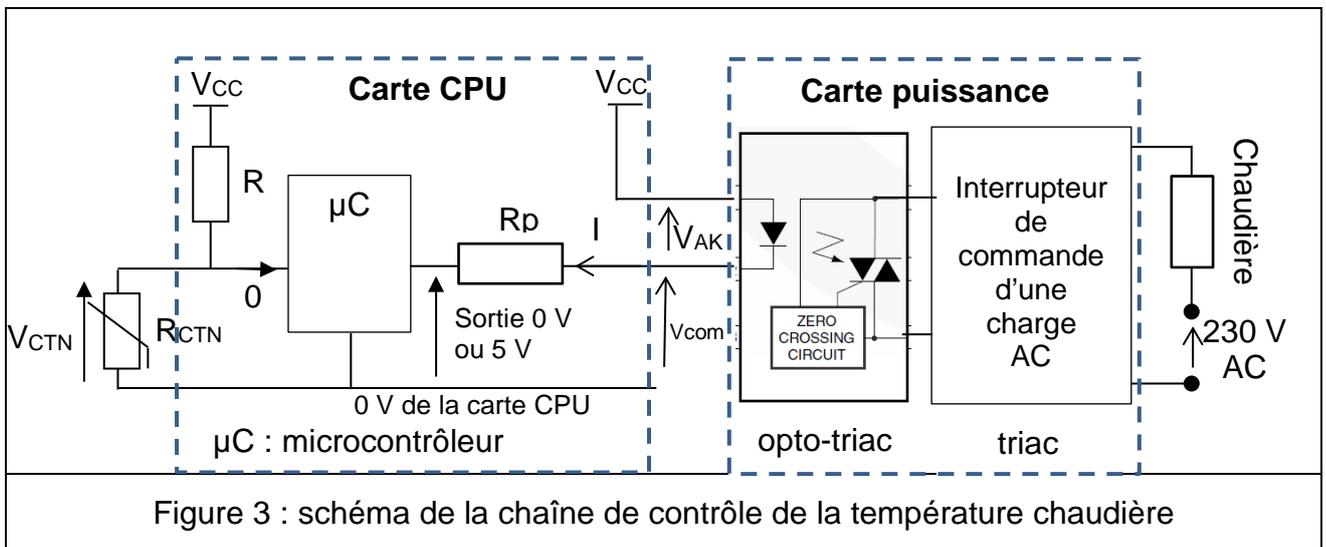
Q11. Montrer qu'une impulsion en sortie du débitmètre correspond à un volume d'eau d'environ 0,517 mL.

Lors de la distribution d'un « café court », la pompe assure la circulation de l'eau dans le circuit hydraulique et 88 impulsions sont décomptées en sortie du débitmètre. Un café est dit « court » quand son volume est compris en 45 et 50 mL.

Q12. Déterminer le volume correspondant mesuré par le débitmètre. Justifier que le café ainsi produit est bien un café « court ».

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 6 sur 16

**Partie B : comment assurer la bonne température pour faire le café ?
(6 points)**



Pour contrôler la température de chauffe de l'eau, un capteur de température de type thermistance CTN (coefficient de température négatif) est fixé sur la chaudière et délivre l'information « température chaudière ».

La CTN se comporte comme une résistance qui varie selon la température, elle est notée R_{CTN} .

Capteur de température chaudière

Q13. Donner l'expression de V_{CTN} en fonction de R , R_{CTN} et V_{CC} .

À la mise en route de la machine, pour une « température chaudière », notée θ , de 20 °C, on a relevé pour V_{CTN} la valeur de 4,8 V. Par ailleurs, R_{CTN} vaut 61 k Ω à 20 °C. On rappelle que V_{CC} vaut 5,0 V.

Q14. Calculer R à l'aide de la relation $R = R_{CTN} \cdot \left(\frac{V_{CC}}{V_{CTN}} - 1 \right)$

En fin de préchauffage la tension V_{CTN} mesurée vaut 2,5 V et R_{CTN} vaut 2,5 k Ω .

Q15. Déterminer graphiquement « la température chaudière » θ sur le DOCUMENT RÉPONSE DR2 et l'y inscrire.

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 7 sur 16

Acquisition de la température chaudière par le microcontrôleur (μC)

La tension V_{CTN} est appliquée sur l'entrée analogique d'un CAN intégré au microcontrôleur. Ce convertisseur 10 bits, supposé idéal, fonctionne sous une tension stabilisée de + 5,00 V.

Q16. Calculer la résolution analogique ou quantum q du CAN.

Q17. Déterminer le nombre binaire en sortie du CAN pour une tension V_{CTN} de 2,50 V.

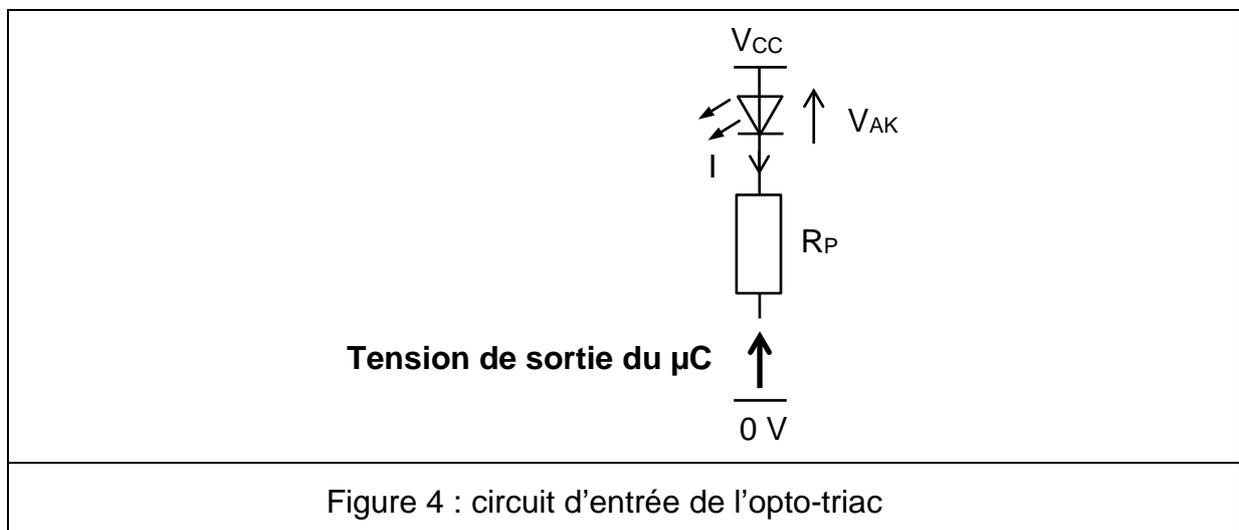
Chauffage de la chaudière

Le signal de commande de chauffe est généré en sortie du microcontrôleur et active l'interrupteur commandé (triac) qui met la chaudière sous tension du secteur.

Les cartes de commande (carte CPU 0 V - 5,0 V) et de puissance (230 V ; 6 A) sont reliées par un opto-triac, composant de la famille des opto-coupleurs (voir figure 3).

L'avantage de l'utilisation de l'opto-triac est de réaliser une isolation galvanique.

Quand la sortie du microcontrôleur est au niveau bas, soit 0 V, la LED infrarouge de l'opto-triac est passante et on a $V_{\text{AK}} = 1,4$ V pour une intensité du courant $I = 15$ mA.



Q18. Calculer alors la valeur de la résistance de protection R_P .

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 8 sur 16

La chaudière a une puissance électrique, notée P , de 1,3 kW et est alimentée par la tension sinusoïdale du secteur de valeur efficace, notée U_{eff} , de 230 V. Son modèle électrique est celui d'une résistance R .

Q19. Préciser sous quelle forme la puissance électrique reçue par la résistance R est dissipée.

Q20. Calculer l'intensité efficace I_{eff} du courant dans la chaudière.

À la mise en route de la machine, une mesure, notée Δt , a montré que la chaudière est en fonctionnement durant 41,5 s au cours de la première minute.

Q21. Vérifier que l'énergie électrique E consommée par cette chaudière durant la mise en route est d'environ 54 kJ.

Pour le maintien de la température chaudière, un contrôle de température est assuré par programmation du microcontrôleur.

Une mesure a montré que l'énergie électrique E consommée par cette chaudière durant une heure vaut 17 W·h.

Une comparaison de l'énergie consommée à la mise en route et celle consommée durant la phase de maintien en température est souhaitée.

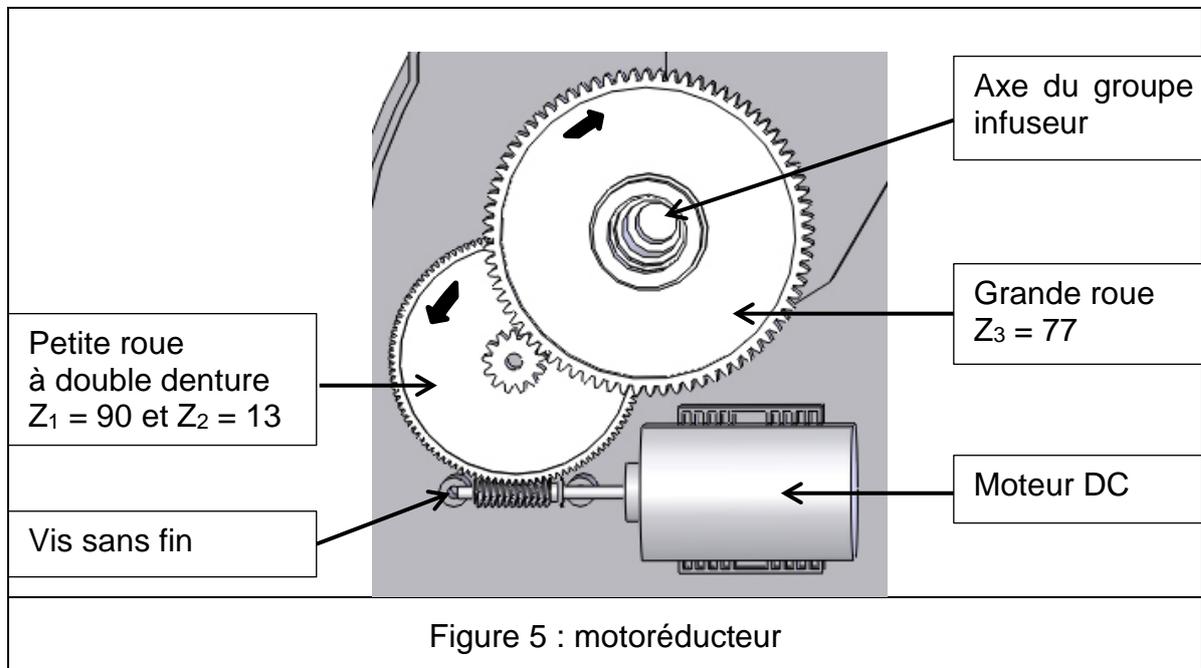
Q22. Convertir en W·h l'énergie consommée lors de la mise en route.

Q23. Préciser s'il est plus économique d'éteindre la machine après chaque utilisation ou de la laisser en température si on refait du café une heure après.

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 9 sur 16

Partie C : comment actionner le groupe infuseur ? (5,5 points)

En position de repos, le groupe infuseur recueille le café moulu. Puis le groupe passe en position de distribution du café par la mise en rotation de son axe au moyen d'un motoréducteur (figure 5).



Détermination du rapport de réduction des vitesses

On rappelle que le rapport de réduction des vitesses r dans un système d'engrenages peut aussi s'exprimer par :

$$r = \frac{Z_{\text{menante}}}{Z_{\text{menée}}}$$

où Z est le nombre de dents de la roue **ou** le nombre de filets de la vis.

La vis sans fin ne comporte qu'un seul filet.

Q24. Calculer le rapport de réduction $r_{\text{vis/pr1}}$ obtenu par le système vis sans fin/petite roue.

Il est démontré que le rapport de réduction obtenu par le système petite roue/grande roue vaut : $r_{\text{pr2/gr3}} = \frac{13}{77}$.

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 10 sur 16

Q25. Dédurre que le réducteur a pour rapport total de réduction des vitesses $r_{\text{total}} \approx \frac{1}{533}$

Couple à fournir au groupe infuseur et couple fourni par le moteur

Le couple minimum, noté T , nécessaire à l'entraînement du groupe infuseur a été mesuré sur l'axe du groupe et vaut 2,1 N·m.

Q26. Calculer la puissance mécanique P_{gr} pour que la rotation du groupe infuseur s'effectue à la vitesse angulaire Ω_{gr} de 0,7 rad·s⁻¹.

Q27. Calculer la puissance utile P_{mot} que doit fournir le moteur si le rendement du réducteur, noté η , est égal à 0,65.

Q28. Montrer qu'avec ce même rendement la valeur du couple fourni par le moteur, noté T_{mot} vaut 6,1 mN·m.

Justification du choix des éléments du motoréducteur

Q29. Expliquer pourquoi la solution d'un réducteur avec vis sans fin a été privilégiée en dépit d'un mauvais rendement.

On donne un extrait de la documentation constructeur du moteur :

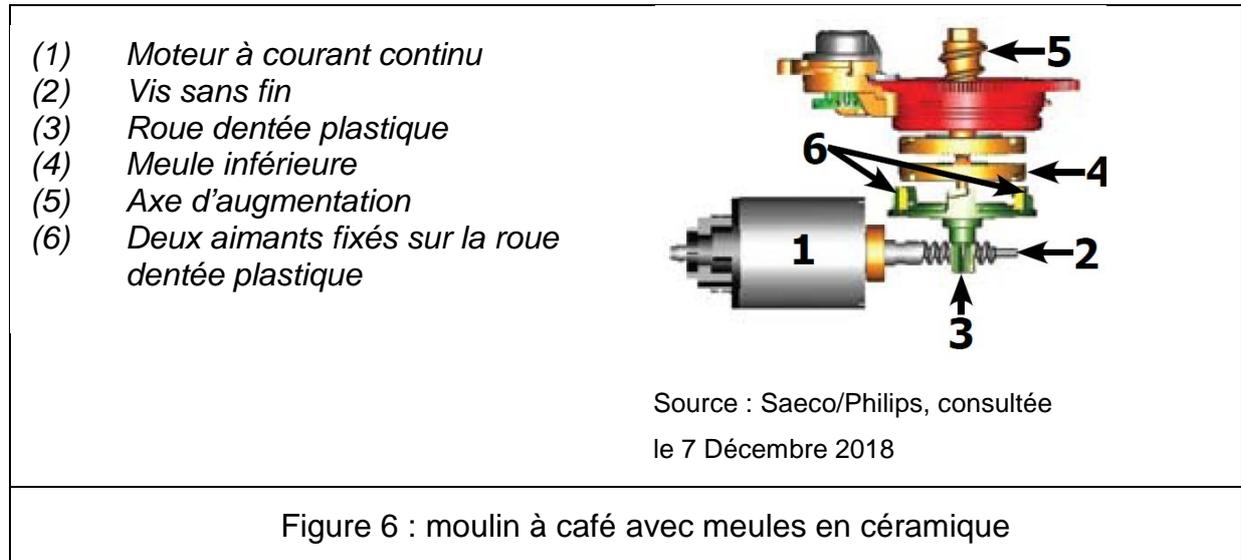
Model	Voltage		No Load		At Maximum Efficiency					Stall	
	Operating Voltage	Nominal (Constant)	Speed rpm	Current A.	Speed rpm	Current A.	Torque g-cm	Output W	Eff. %	Torque g-cm	Current A.
KFC545S-2861	6.0-30.0	12.0	6100	0.200	5178	1.122	166.35	8.830	65.6	1100	6.30
KFC545S-2486	9.0-30.0	12.0	4550	0.150	3689	0.642	119.28	4.510	58.5	630	2.75
KFC545S-2486	9.0-30.0	24.0	9200	0.170	7814	0.958	195.90	15.700	68.3	1300	5.30
KFC545S-2295	9.0-30.0	24.0	8350	0.150	7096	0.849	180.27	13.120	64.4	1200	4.80
KFC545S-20150	12.0-30.0	24.0	5000	0.090	4216	0.484	172.55	7.460	64.3	1100	1.80
KFC545S-16205	18.0-33.0	24.0	3600	0.055	2976	0.262	121.37	3.700	58.9	700	1.25
KFC545S-16200	18.0-33.0	33.0	5000	0.060	4228	0.329	154.39	6.690	61.7	1000	1.80
KFC545S-15220	15.0-35.0	28.0	4250	0.050	3564	0.260	129.11	4.720	64.9	800	1.25

D'après cette documentation, le couple du moteur choisi est égal à 129 g·cm soit 12,6 mN·m.

Q30. Justifier la compatibilité du moteur.

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 11 sur 16

**Partie D : comment gérer la dose et l'absence de café en grains ?
(2 points)**



Les grains de café sont broyés par le moulin à café qui comporte deux meules en céramique dont l'une est mise en rotation par un moteur électrique. Un capteur à effet Hall permet de délivrer deux impulsions par tour de meule sur le principe décrit à la partie A pour le débitmètre.

Un comptage des impulsions est réalisé par le microcontrôleur afin de régler la quantité de grains broyés, donc la force de l'arôme choisi (léger, moyen ou fort). On a relevé sur le DOCUMENT RÉPONSE DR3 les impulsions au cours d'un cycle « café » interrompu par manque de café en grains. La mesure de la période des impulsions, T_1 , a donné, en début de rotation de la meule, 72 ms.

Q31. Déterminer la vitesse de rotation n_1 de la meule en $\text{tr}\cdot\text{s}^{-1}$. On rappelle que le capteur délivre deux impulsions par tour.

Q32. Indiquer sur le relevé du DOCUMENT RÉPONSE DR3 le détail de la mesure de la période T_2 des impulsions en cours de rotation.

En l'absence de café en grains, le moteur tourne à vide un court instant puis le microcontrôleur commande son arrêt.

Q33. Proposer une méthode simple pour la détection de l'absence de café en grains par le microcontrôleur.

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 12 sur 16

ANNEXE

Hall Effect Principles

The Hall effect is named after Edwin Hall, who in 1879 discovered that a voltage potential develops across a current-carrying conductive plate when a magnetic field passes through the plate in a direction perpendicular to the plane of the plate, as illustrated in the figure (a).

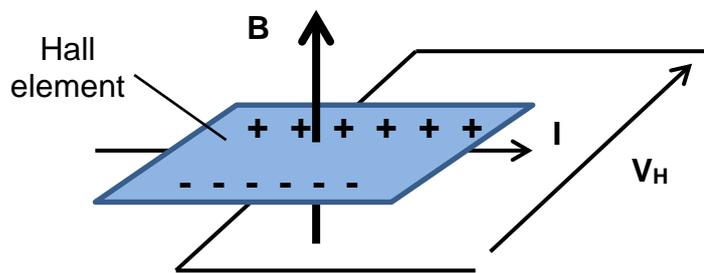


figure (a)

The fundamental physical principle behind the Hall effect is the Lorentz force, which is illustrated in the figure (b). When an electron moves along a direction, \mathbf{v} , perpendicular to the applied magnetic field, \mathbf{B} , it experiences a force, \mathbf{F} , the Lorentz force, that is normal to both the applied field and the current flow.

$$\text{Lorentz Force} \\ \vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

The diagram shows three vectors originating from a common point. Vector \mathbf{B} points vertically upwards. Vector \mathbf{v} points horizontally to the left. Vector \mathbf{F} points diagonally downwards and to the right, perpendicular to both \mathbf{v} and \mathbf{B} .

figure (b)

In response to this force, the electrons move in a curved path along the conductor and a net charge, and therefore a voltage, develops across the plate.

Extrait documentation constructeur

Source : www.allegromicro.com consultée le 5 décembre 2018

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 13 sur 16

DOCUMENT RÉPONSE DR1 À rendre avec votre copie

RÉPONSES aux Q8 et Q9

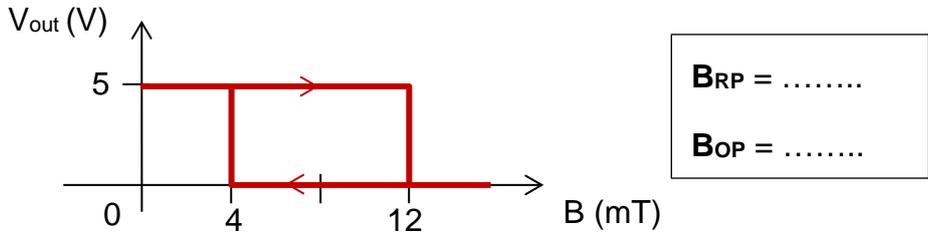


Figure (a) : caractéristique de transfert $V_{out} = f(B)$ du capteur à effet Hall

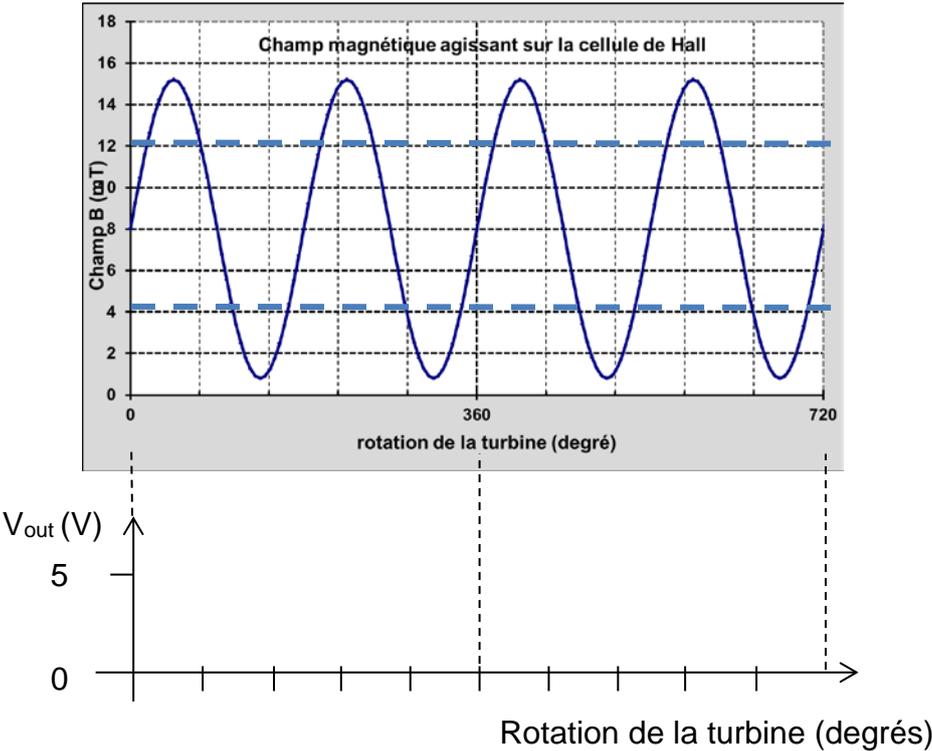
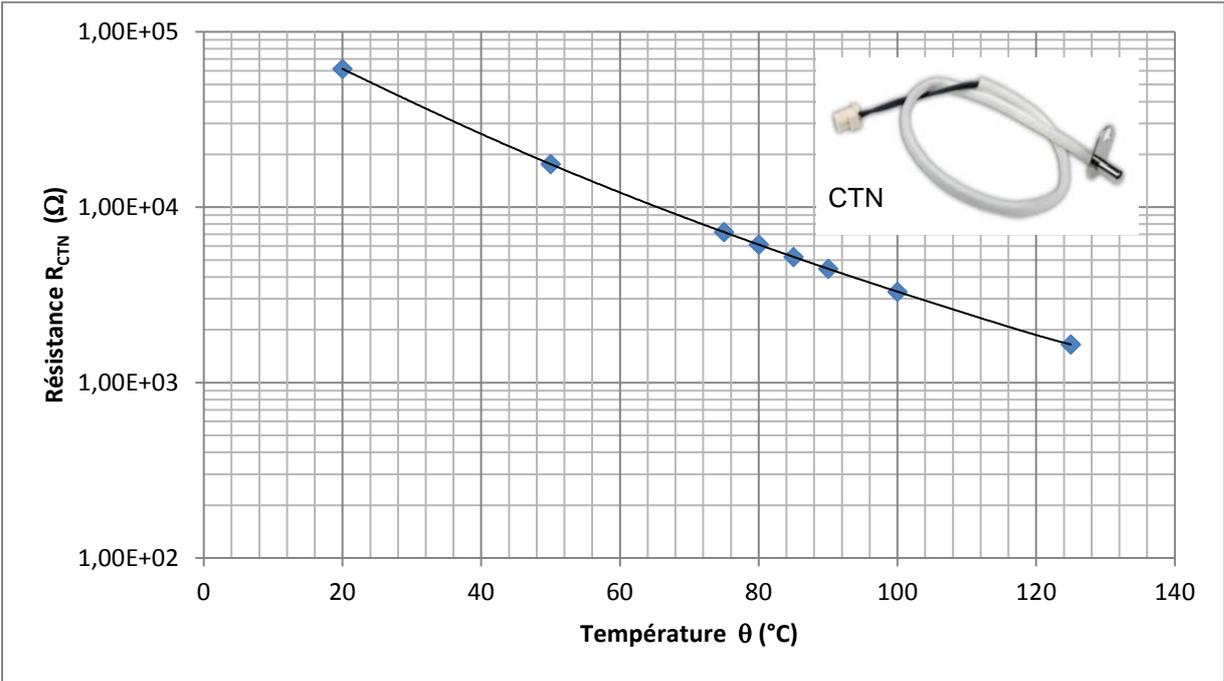


Figure (b) : influence de B sur la tension V_{out} en sortie du capteur à effet Hall

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 14 sur 16

DOCUMENT RÉPONSE DR2 À rendre avec votre copie

RÉPONSE à la Q15



Variation de la résistance de la thermistance CTN
en fonction de la température

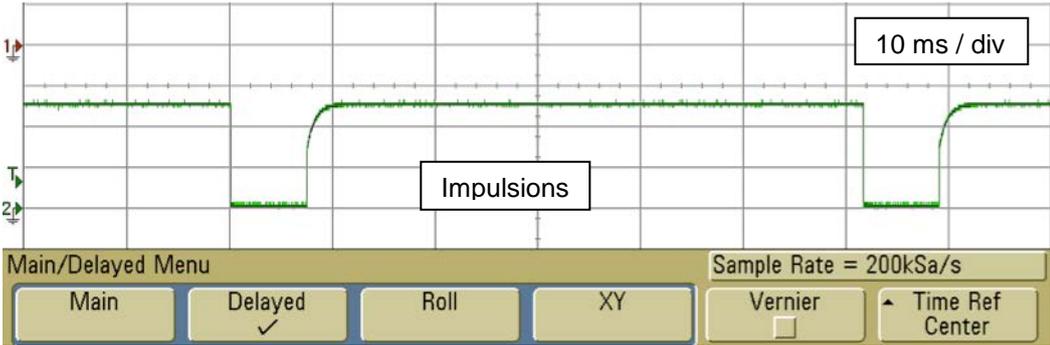
Température θ de la chaudière en fin de préchauffage :

$\theta = \dots\dots\dots$

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 15 sur 16

DOCUMENT RÉPONSE DR3
À rendre avec votre copie

RÉPONSE à la Q32



Acquisition du signal « Impulsions »

Période T_2 des impulsions :

$T_2 = \dots\dots\dots$

BTS CIM Unité U32 : Sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2020
CODE SUJET : 20 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 16 sur 16