

NOM :

PRENOM :

Ce sujet de 7 pages est un unique problème qui traite de la conception et de la réalisation d'une ruche connectée. Le barème est donné à titre indicatif. Répondez directement sur les feuilles de l'énoncé dans les espaces laissés à cet effet. Pensez bien à justifier vos réponses. La calculatrice ainsi que tous les documents sont autorisés.

Afin de pouvoir estimer la santé des abeilles ou la quantité de miel, à distance, une ruche connectée est équipée de différents capteurs : poids, température, hygrométrie, vibration. . . . Nous nous intéresserons dans la suite uniquement à la mesure de la masse de la ruche. Cette dernière peut être comprise entre 10kg (pas de miel) et 100kg (production abondante de miel). Cette masse est mesurée à l'aide de plusieurs capteurs de type CZL635 dont la *datasheet* est donnée en annexe.

1 Capteur CZL635 - $\approx 40\%$

Cette première partie aborde la structure interne du capteur CZL635, structure interne qui n'est que partiellement décrite dans la *datasheet*.

Le capteur CZL635 est constitué de 4 jauges de contrainte **identiques** montées en Pont de Wheatstone (cf. figure 1). Les jauges sont disposées de telle manière que, lors d'un effort, 2 jauges subissent une compression et les 2 autres une extension.

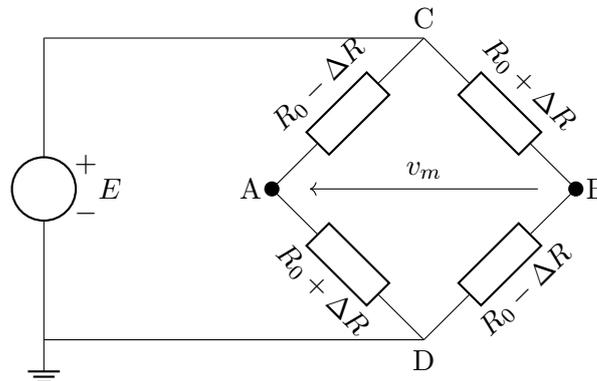


FIGURE 1 – Conditionnement en pont de Wheatstone - capteur CZL635.

Une jauge de contrainte est un fil conducteur monté en zig-zag sur un support souple très fin et possédant une résistance $R = \frac{\rho L}{S}$, avec ρ , la résistivité du fil ($\Omega.m$), L , la longueur du fil (m) et S , la section du fil (m^2). Ce support souple est ensuite collé sur la pièce pour connaître les efforts exercés sur celle-ci. Une déformation mécanique de la pièce provoque une modification géométrique de la jauge en faisant varier sa longueur L principalement. La variation relative de résistance de la jauge est liée à la variation relative de longueur de cette dernière par un facteur de jauge k (proche de 2 pour les jauges métalliques) :

$$\boxed{\frac{\Delta R}{R_0} = k \frac{\Delta L}{L_0}}$$

« Au repos », la résistance de la jauge est R_0 (Ω) et sa longueur L_0 (m).

1. Donner 2 différences entre un « capteur actif » et un « capteur passif ».

De quel type est le capteur CZL635 ?

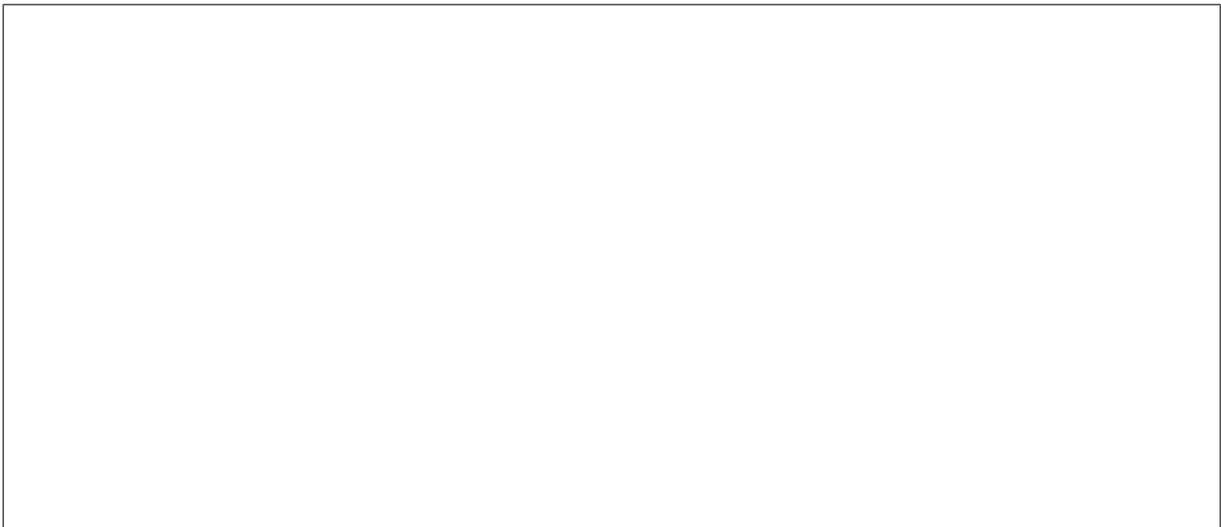
Définir la notion de « capteur composite », à l'aide d'un schéma clair.

Le capteur CZL635 est-il un capteur composite ? (Justifier votre réponse.)



2. On s'intéresse ici à différentes caractéristiques du capteur CZL635, explicitées dans sa *datasheet*.

- (a) Quelle est la masse maximale que le capteur peut mesurer, tout en gardant ses caractéristiques métrologiques ?
- (b) Quelle différence existe-t-il entre la plage *Safe Overload* et la plage *Ultimate Overload* ?
- (c) Quelle différence existe-t-il entre la plage *Compensated Temperature Range* et la plage *Operating Temperature Range* ?
- (d) Quelle est la tension d'alimentation nominale du capteur CZL635 ?



3. On supposera dans la suite, que le capteur est alimenté sous une tension de 5V.

- (a) Montrer que pour une masse de 20kg, la tension de sortie du capteur vaut : $v_{out} = 5mV$;
- (b) En faisant apparaître les valeurs numériques importantes, tracer la caractéristique métrologique idéale du capteur pour m variant de 0 à 20kg ;
- (c) Montrer alors la tension de sortie v_{out} (V) peut s'exprimer par :

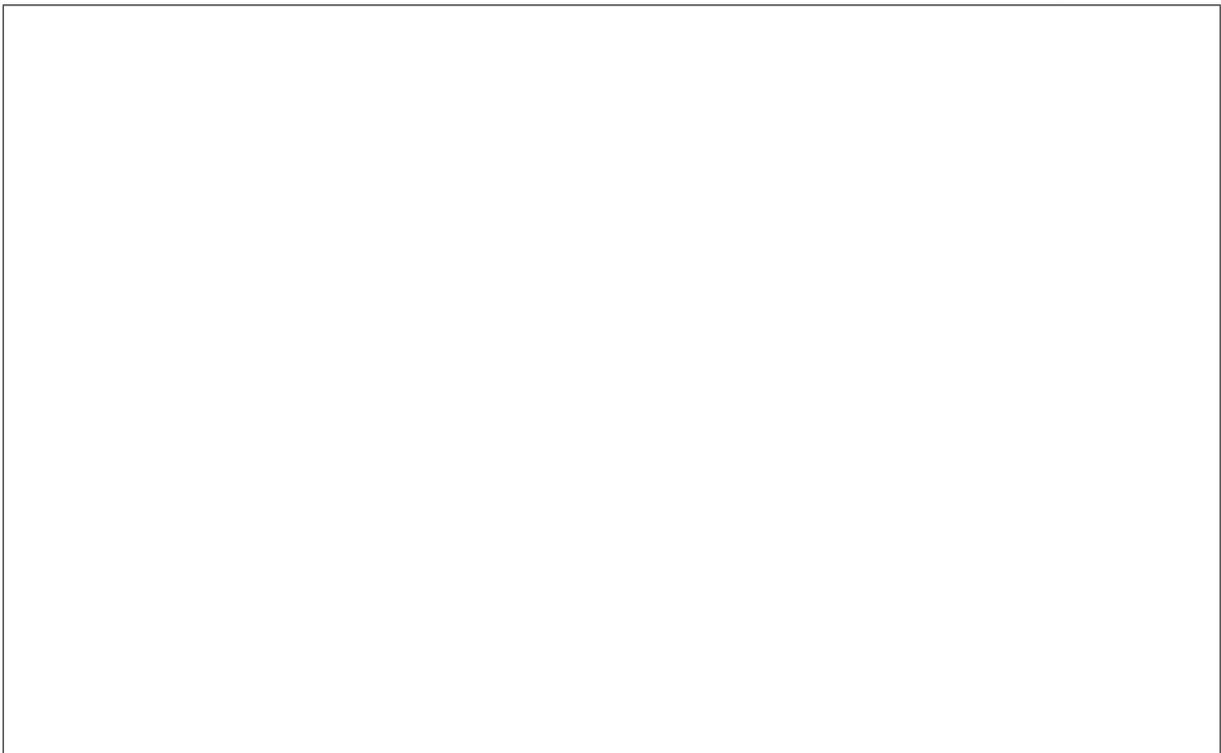
$$v_{out} = 25.10^{-5}m \quad (1)$$

où m (kg) est la masse à mesurer.



4. Quelle est la tension de pleine échelle (*Full Scale*) de ce capteur ?

Sans prendre en compte les effets de la température, faire un bilan des erreurs pouvant affecter la mesure. En déduire l'intervalle de confiance pour la mesure d'une masse de 20kg.



5. On s'intéresse à présent à la modélisation électrique du capteur, représentée sur la figure 1.

(a) Calculer l'expression de la tension de sortie du pont $v_m = v_A - v_B$ et montrer que :

$$v_m = k \frac{\Delta L}{L_0} \cdot E \quad (2)$$

(b) A quelle condition cette équation est-elle cohérente avec l'équation 1 trouvée à la Q3 ?

(c) Exprimer la tension de mode commun v_{mc} , en sortie du pont, en fonction de E .

(d) Calculer la valeur numérique de cette tension.

2 Conditionnement du capteur CZL635 - solution 1 - $\approx 35\%$

Pour conditionner la tension de sortie v_m de notre capteur, on choisit comme amplificateur un INA125 de chez *Burr-Brown* dont la *datasheet* est donnée en annexe.

1. Donner 2 différences entre un amplificateur d'instrumentation (AI) et un amplificateur opérationnel (AOp).

L'INA 125 est-il un AI ou un AOp ?

Définir la notion « d'amplificateur d'isolement ».

L'INA 125 peut-il être classé comme amplificateur d'isolement ?

2. Sur les différents schémas du composant (pages 1 ou 4) apparaissent plusieurs sorties V_{ref} .
Quelle est l'utilité de ces sorties ? Pourra-t-on les utiliser dans le cadre des mesures effectuées sur notre ruche ?

Détailler l'utilité de la broche 2 : \overline{SLEEP} .

3. Quelle différence principale existe-t-il entre l'INA 125P et l'INA 125U ?
Dans le cadre d'une solution industrielle, quel composant (parmi ces 2) choisiriez-vous ?
Donner 2 raisons pour ce choix.

4. Pour la mesure d'un poids de 20kg, on souhaite en sortie de l'INA 125 une tension de 5V.
(a) Quel gain différentiel A_d faut-il donc choisir ?
(b) Comment peut-on régler ce gain sur l'INA 125 ?

On rappelle que la tension de mode commun en sortie du pont de Wheatstone vaut : $v_{mc} = 2,5V$.
On souhaite en sortie de l'INA 125 une erreur due au mode commun inférieure ou égale à $5mV$.

- (a) Quel gain de mode commun A_{mc} faut-il donc choisir ?
(b) Faire le calcul du TRMC correspondant.
(c) L'amplificateur INA 125 est-il un bon choix ?



3 Conditionnement du capteur CZL635 - solution 2 - $\approx 25\%$

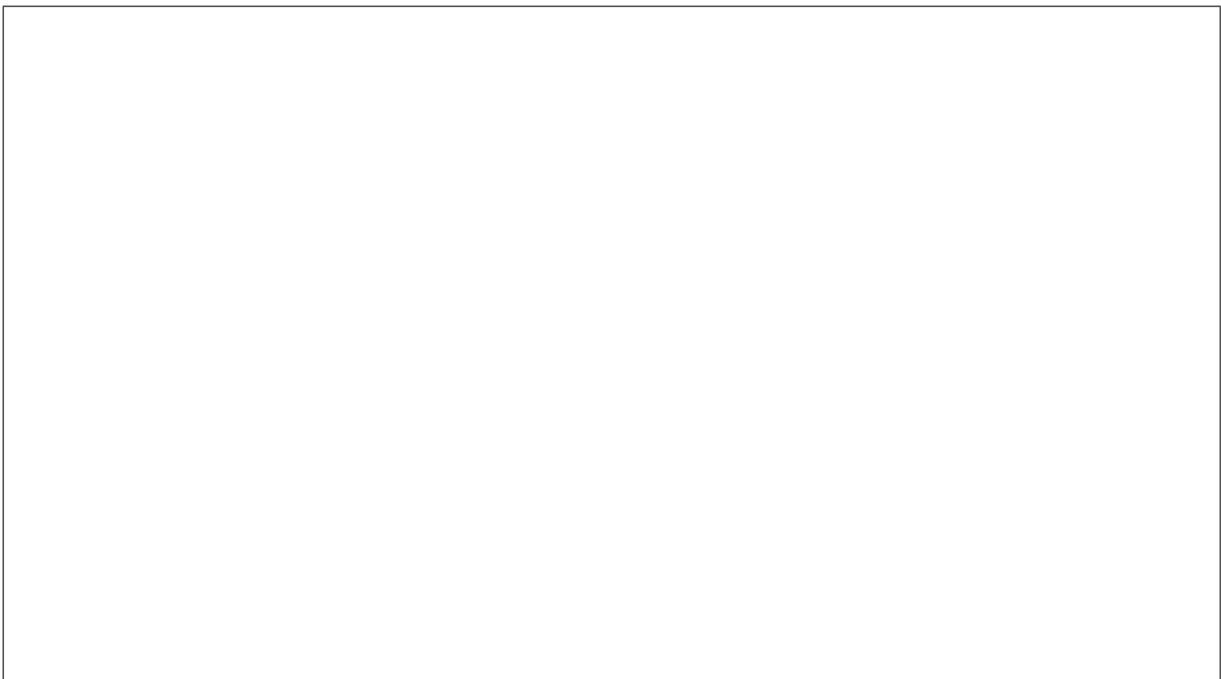
Plutôt que d'utiliser l'INA 125 qui nécessite une numérisation *a posteriori* du signal, on choisit d'étudier le composant HX711 (*datasheet* en annexe), proposé avec le capteur lors de l'achat.

1. Le composant HX711 est construit autour d'un convertisseur analogique-numérique de type sigma-delta, de 24 bits.

Quelle est la résolution de ce convertisseur, quand il est alimenté sous une tension de 5V ?

Calculer alors la résolution de la chaîne d'acquisition, exprimée en mg/LSB, en supposant que le gain du composant HX711 est $G = 1$.

Cette valeur pour paraît-elle cohérente avec les spécifications du projet de ruche connectée ? Justifier votre réponse.



2. Quelle est l'utilité du multiplexeur situé en entrée du composant HX711 ?
Comment est effectué le choix de l'entrée *A* ou *B* et du gain correspondant ?

3. Dans les caractéristiques électriques du composant, que signifie le terme « output data rate » ?
Quelles sont les valeurs minimales et maximales de ce paramètre dans le cas d'un oscillateur interne ? Même question pour un oscillateur externe.
Comment indique-t-on au composant l'utilisation de l'oscillateur interne ?

4. Sur quelle broche du composant faut-il récupérer les données numériques ? Sous quel format ces données se présentent-elles ?
Quelle procédure faut-il respecter pour récupérer ces données ?
Que se passe-t-il si l'on applique 35 impulsions sur l'entrée *PD_SCK*, alors que la broche *DOUT* est à l'état haut ?