

**La plus grande attention sera donnée à la présentation.**

Vous donnerez impérativement dans un premier temps les formules littérales puis vous ferez les applications numériques. **Documents et téléphone portables interdits**

## Contexte

On souhaite alimenter un datalogger prévu pour réaliser des mesures dans un environnement hostile à l'intérieur d'une enceinte close - structure similaire à un four-. La récupération d'énergie par gradients thermiques devra couvrir l'ensemble des besoins en énergie.

*Objectif* : dimensionner l'étage de récupération et de stockage de l'énergie pour cette application.

### 1. Consommation du datalogger

Le fournisseur fournit les données de consommation électrique de son datalogger. Celui-ci possède 3 principaux modes de fonctionnement : le mode « mesure », le mode « veille » et le mode « transmission radio ». Celles-ci sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Grandeur	Valeur
Tension nominale (V)	3,6
Plage de tension d'alimentation (V)	Entre 2,8 et 4 volts
Consommation mode "veille" (mA)	0,1
Consommation mode "mesure" (mA)	2
Durée mesure (s)	4
Consommation mode "radio" (mAh@3,6V) X est le nombre de trames à transmettre Il y a une trame pour transmettre une mesure.	$0,0001 * X + 0,012$

Tableau 1 : Caractéristiques électriques du datalogger

Les mesures sont effectuées durant la manipulation et stockées dans la mémoire du datalogger. Puis, à la fin de la campagne de mesure, les données sont immédiatement transmises par radio.

On donne : durée de la campagne de mesure : **D** = 2h,  
fréquence de mesures : **Fech** = 0,01 Hz

Q1 : Quelle est la période des acquisitions (notée : **Tech**)?

Q2 : faire un chronogramme du déroulement des opérations.

Q3 : Combien d'énergie (**E<sub>1</sub>**) faut-il durant Tech? (en J)

Q4 : Combien de mesures (**N**) vont-elles être réalisées?

Q5 : Combien d'énergie **E<sub>radio</sub>** (en J) est nécessaire pour pouvoir transmettre à la fin le contenu de la mémoire?

Q6 : en supposant un rendement de 100% sur la partie stockage, quelle devrait être la puissance moyenne (**P<sub>moy</sub>**) fournie en permanence par le TEG et son électronique associé.

## 2. Environnement thermique et thermogénérateur (TEG)

L'environnement thermique a été partiellement caractérisé par des mesures préalables et on peut compter sur un gradient de température  $\Delta T$  de l'ordre de  $60^\circ\text{C}$  en permanence entre la plaque de métal de la structure où est fixée le thermogénérateur (côté froid  $T_F$ ) et l'air dans lequel baigne le dissipateur thermique (radiateur) fixé au thermogénérateur (côté chaud  $T_C$ ).

Les données techniques du thermogénérateur et du dissipateur sont donnée en annexe.

On note  $T_1$  (côté froid) et  $T_2$  (côté chaud) les température aux bornes du TEG.

On note  $\Delta T_{\text{TEG}} = T_2 - T_1$

On note  $R_{\text{thTEG}}$  la résistance thermique du TEG,  $R_{\text{thHS}}$  celle du radiateur.

Q7 : Que vaut  $T_1$ ? (aucun calcul!)

Q8 : faire un dessin du système ou figure la plaque (source froide), le TEG, le radiateur et l'air (source chaude),  $T_F$ ,  $T_C$ ,  $T_2$ ,  $\Delta T_{\text{TEG}}$ ,  $\Delta T$

Q9 : Représentez le modèle thermique du système. Précisez sur ce dessin le sens du flux thermique  $Q$  (Watts),  $T_F$ ,  $T_C$ ,  $T_2$ .

Q10 : A partir du schéma thermique, déterminez l'expression de  $T_2$  en fonction de  $\Delta T$ ,  $R_{\text{thTEG}}$ ,  $R_{\text{thHS}}$  et faites l'application numérique.

Q12 : Donnez le modèle électrique du TEG.

Q13 : Quelle est la puissance électrique qui sort du TEG s'il débite sur une résistance de charge  $r$ ?

On montre que la puissance récupérable est maximale pour  $r = r_{\text{opt}} = R$

Q14 : Donnez l'expression de la puissance maximale (notée  $P_{\text{opt}}$ ) en fonction de  $S$ ,  $\Delta T_{\text{TEG}}$ ,  $R$ .

Q15 : Application numérique.

Q16 : le thermogénérateur convient-il?

Q17 : quelle sera la valeur de la tension maximale  $V_{\text{oc}}$  disponible aux bornes du TEG?

L'expérience a donnée :  $V_{\text{oc}} = 1,2$  volts

Q18 : quelle température  $T_2$  peut-on en déduire? Est-ce cohérent?

Q19 : quelle sera la valeur de la tension  $V_{\text{opt}}$  aux bornes du TEG quand il travaille à  $P_{\text{opt}}$ ?

## 3. Stockage

On choisit un stockage composé d'une ou plusieurs supercapacités (l'ensemble est noté Scap). Le datalogger est relié directement à Scap.

Q20 : Quelle est la tension maximale  $V_{\text{max}}$  de Scap?

Q21 : Quelle est la tension minimale  $V_{\text{min}}$  de Scap pour que le datalogger soit encore opérationnel après la phase de communication radio?

Q22 : exprimez l'énergie fournie quand Scap passe de  $V_{\text{max}}$  à  $V_{\text{min}}$  en fonction de  $C$  valeur de capacité de Scap. (on néglige la résistance série)

Q23 : En déduire la valeur minimale de  $C$ .

Le modèle choisi est un supercondensateur de  $0,47\text{F}$  avec une tension maximum de  $5,0\text{V}$ , un courant de fuite de  $7\mu\text{A}$  et une résistance série (ESR) de  $2\Omega$ .

Q24 : Ce choix est-il cohérent?

## Circuit de gestion de l'énergie

Le circuit de gestion de l'énergie est articulé comme suit :



Figure 3 : schéma bloc du circuit de gestion de l'énergie

Le circuit comprend :

- Le TEG
- un convertisseur DC/DC (LTC3105)
- un élément de stockage d'énergie (Scap),
- un circuit UVLO.

### LTC3105 :

Ce circuit est un convertisseur DC/DC élévateur mais il fonctionne aussi si  $V_{in} > V_{out}$ .

Q25 : Le choix d'un DC/DC abaisseur aurait-il été pertinent?

Il démarre avec une tension d'entrée de 250mV. Tension entrée maximum : 5.0 Volts

Q26 : Quelles niveaux de tension pense-t-on avoir aux bornes du TEG?

Q27 : Est-ce cohérent avec le choix du LT3105?

Il peut délivrer jusqu'à 400 mA,

Q28 : quel courant maximum pourra-t-on avoir en sortie du TEG?

Q29 : Est-ce cohérent avec le choix du LT3105?

Il est configuré pour délivrer une tension régulée **Vout** entre 1,5V et 5.25 V.

Q30: Quelle valeur de Vout faut-il choisir?

Il comprend également une fonctionnalité pour régler la tension d'entrée et ainsi optimiser le transfert d'énergie.

Q31 : quelle valeur de tension faut-il choisir pour forcer le TEG à travailler au point de puissance maximum?

### UVLO -undervoltage lockout-

Ce circuit est chargé de connecter le datalogger a l'élément de stockage. C'est un interrupteur MOS qui ne doit se fermer que lorsque la tension au bornes de Scap est suffisante.

Q32 : Quelle est la valeur minimale de cette tension?

On met le système en place. On suppose que le gradient est immédiatement présent.

Q33: Tracer l'allure des tensions  $V_{TEG}$ ,  $V_{capa}$  sur les deux heures

Q34 : sur le même dessin, indiquez la mise en fonctionnement du datalogger et la fin de mission.

## ANNEXE : Caractéristiques du TEG et du dissipateur thermique

On utilise un module déjà assemblé comprenant :

- un TEG Eureka Messtechnik TEG1-30-30-8.5/200,
- un dissipateur thermique Cool Innovations 3-202020G,
- une pièce d'assemblage réalisée en téflon.

Les principales caractéristiques de cet assemblage sont listées ci-dessous

### Caractéristiques du TEG :

coefficient Seebeck $S$ (V/K)	0.0537
résistance électrique $R$ ( $\Omega$ )	3.41
résistance thermique $R_{th_{TEG}}$ (K/W)	3.205
température max ( $^{\circ}C$ )	225
facteur de mérite $ZT$ à 300K	0.74
dimensions (L x l x h) (mm)	30.0 x 30.0 x 3.60
masse (g)	15

Tableau 1 : Caractéristiques du module TEG1-30-30-8.5/200

### Caractéristiques du dissipateur thermique :

résistance thermique $R_{th_{HS}}$ en convection naturelle (K/W)	2.60
dimensions (L x l x h) (mm)	50.8 x 50.8 x 50.8
masse (g)	93

Tableau 2 : Caractéristiques du dissipateur thermique 3-202020G