

## La porte des étoiles, le retour

*Ceci est une fiction, toute ressemblance avec des faits réels ne serait que pure et fortuite coïncidence.*

Dans une école très lointaine, des élèves ont décidé de trouver une solution radicale pour sortir de la grisaille de leur quotidien. Cette solution consiste à construire une réplique de la porte des étoiles de Stargate. Pour les non-connaisseurs, ce genre de dispositif permettrait, en tout cas dans l'univers de Stargate, de faire des voyages instantanés grâce à la création d'un trou de ver qui déformerait l'espace temps. Bien évidemment, ce genre de dispositif n'a aucun fondement scientifique mais on est là pour aider pas pour juger. Donc, fidèles à notre tradition, nous allons assister les élèves dans leur projet.

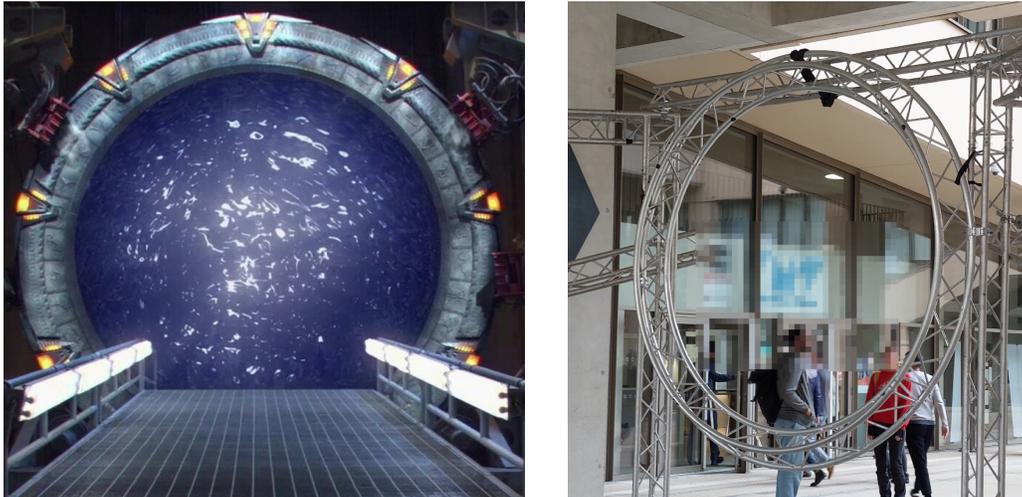


FIGURE 1 – La porte des étoile gauche) originale droite) réplique

### 1 Acquisition

La première brique du système est de réaliser la détection du point de passage dans la porte. Pour cela, nous allons installer sept capteurs infra-rouge pour reconstituer les 7 chevrons de la porte originale (les petits triangles rouges sur la figure 1 gauche). A l'aide d'une triangulation, nous trouverons la position de passage dans le cercle de la porte.

Afin de réduire la complexité de notre système, nous utiliserons le même convertisseur analogique numérique (CAN) pour l'acquisition des signaux de sortie des sept capteurs. Le CAN fonctionnera en entrelacement temporel entre les sept capteurs, il fera ainsi l'acquisition du signal du premier capteur pendant la première période de conversion, le deuxième capteur pendant la deuxième période et ainsi de suite. Au bout de la 7ème période, il revient sur le premier capteur. Le CAN a un fréquence d'échantillonnage de 7 kHz et une Pleine Échelle de 4 V.

**Question 1.1** Le signal issu du capteur a une bande utile de 100 Hz, quel est le facteur de sur-échantillonnage qu'on aura sur chaque capteur ?

**Question 1.2** Sachant que le signal utile a une puissance minimale de  $3 \cdot 10^{-5} \text{ V}^2$  et qu'on supposera que le seul bruit présent est le bruit de quantification, calculer le pas de quantification  $q$  nécessaire pour obtenir un rapport signal à bruit (SNR) supérieur à 20 dB dans la bande 0-100 Hz.

**Question 1.3** En déduire le nombre de bits du CAN.

## 2 Détection des contours

La deuxième brique du système est une caméra de détection déclenchée par les capteurs infra-rouge. Cette caméra prendra une vidéo du "voyageur" et la transmettra à une intelligence artificielle (StarTPT<sup>1</sup>) qui recréera "le voyageur" à l'identique à la destination. Afin d'améliorer la qualité de la détection de la caméra, nous utiliserons un filtrage numérique des images qui permettra d'améliorer la détection des contours. Nous nous appuyerons sur une version très simplifiée du filtre de Deriche dont la fonction de transfert est donnée par :

$$H(z) = \frac{(1 - g^2)(1 - z^{-2})}{(1 - gz^{-1})^2},$$

avec  $g$  une constante réelle.

**Question 2.1** Calculer l'expression temporelle de la sortie  $y[n]$  du filtre.

**Question 2.2** Calculer la réponse impulsionnelle du filtre sur 10 cycles pour  $g = 0.5$ .

**Question 2.3** Quelles sont les conditions sur  $g$  pour garantir la stabilité du filtre ?

**Question 2.4** En étudiant les positions des pôles et des zéros, tracer à main levée le module de la fonction  $H(j\omega)$ , quel est le filtrage réalisé ? A quoi sert le paramètre  $g$  ?

**Question 2.5** Donner un schéma de réalisation possible pour ce filtre.

## 3 Gestion de l'alimentation

La structure de la porte est équipée de diodes électroluminescentes (DEL ou LED en anglais), qui nécessitent une alimentation indépendante. L'allumage de ces DEL étant absolument critique pour le bon fonctionnement de la porte, il est nécessaire de s'assurer que l'alimentation de ces LED est toujours disponible.

Pour cela, nous choisissons d'utiliser une batterie dédiée chargée par un panneau solaire. Le système est composé de manière assez standard :

- un panneau solaire
- un contrôleur de charge (incluant *maximum power point tracking (MPPT)* et commutation *use/store-use*)
- un régulateur de tension
- une "batterie" (accumulateur rechargeable, 6 V, 7 Ah)
- les charges (les DEL)

La figure 2 illustre le système en question.

---

1. Nom trouvé par ChatGPT

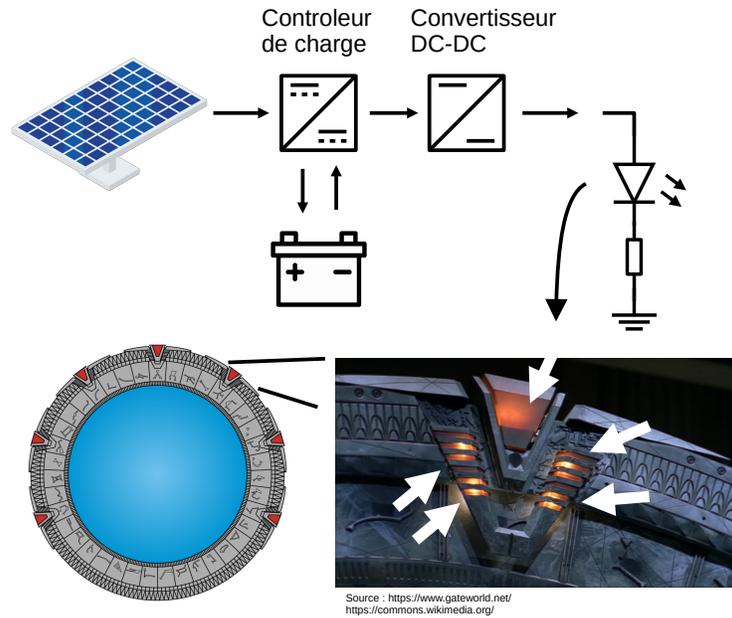


FIGURE 2 – Schéma de principe de l'alimentation des DEL des chevrons

### 3.1 DEL

La porte des étoiles est équipée de sept chevrons, chacun équipé de cinq DEL. Chaque DEL supporte un courant maximum de 20 mA avec une tension de seuil (*forward voltage*) 3 V.

**Question 3.1** Quelle résistance doit-on placer en série avec chaque DEL pour respecter les spécifications de la DEL ? (On négligera les pertes de conversion du contrôleur et du régulateur de tension, autrement dit, on considérera que la tension d'alimentation est exactement la tension nominale de la batterie)

### 3.2 Batterie

Les conditions d'utilisation de la batterie (vitesse de charge/décharge, encombrement acceptable) nous amènent à sélectionner une batterie plomb-acide. Pour ce type de batterie, le courant de charge doit être limité à environ  $0.15 C^2$ .

**Question 3.2** Combien de temps peut-on alimenter les DEL avec une batterie pleine ?

**Question 3.3** Combien de temps faut-il pour recharger la batterie ?

### 3.3 Régulateur de tension

Les DEL fonctionnent sous une alimentation VDD de 6 V avec une tolérance de 10%. On décide d'utiliser un régulateur linéaire pour stabiliser la tension de la batterie 6 V.

**Question 3.4** Quelle est la chute de tension maximale (Dropout voltage) qu'on peut accepter pour le régulateur ?

Pour prendre de la marge par rapport aux tolérances des résistances, on décide de choisir un régulateur avec chute de tension de 150 mV. La tension de sortie nominale du régulateur est alors égale à 5.85 V. L'implémentation de ce régulateur est illustrée par la figure 3. La résistance  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  et la tension de référence du régulateur  $V_{ref} = 1.5 \text{ V}$ . On négligera le courant  $I_{adj}$ .

2. On rappelle que l'indice C d'une batterie correspond au courant qu'elle peut délivrer pendant une heure.

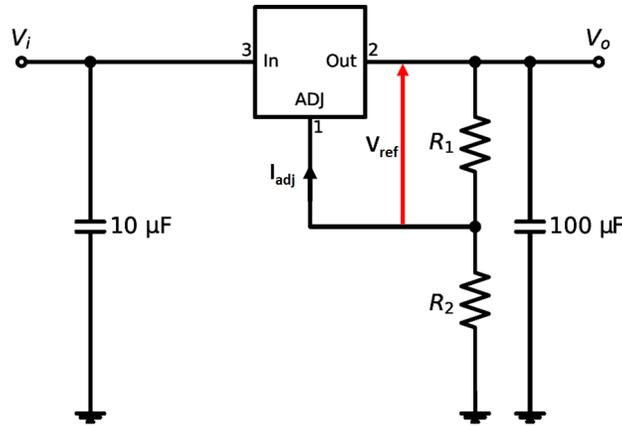


FIGURE 3 – Implémentation du régulateur de tension

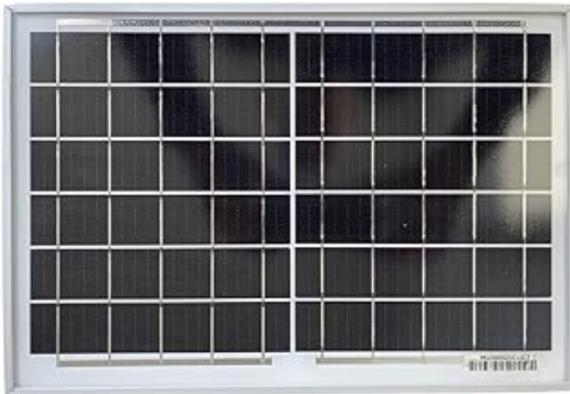
**Question 3.5** Quelle est l'expression de la tension de sortie en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $V_{ref}$ ? Et quelle la valeur  $R_2$  pour avoir une tension de sortie de 5.85 V?

Pour le choix des résistances, on dispose de quatre valeurs de tolérance 0.1%, 1%, 5% et 10%. On choisira la tolérance maximale qui garantit la tension de sortie dans l'intervalle [5.7 V – 6.3 V]. On prendra la même tolérance pour les deux résistances.

**Question 3.6** Donner l'expression de l'erreur relative de la tension de sortie  $\frac{\Delta V_s}{V_s}$  en fonction l'erreur relative des résistances  $\frac{\Delta R}{R}$ ? Quelle tolérance faut-il prendre pour les résistances?

### 3.4 Panneau solaire

Le panneau solaire est montré sur les photos de la figure 4. Les données techniques du panneau solaire



a) Vue de face



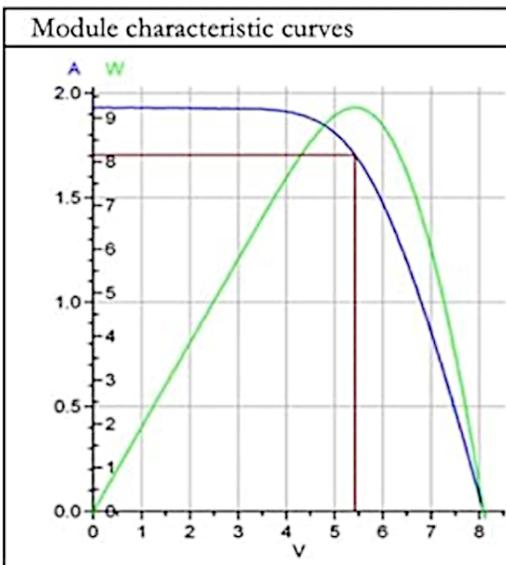
b) Vue arrière

FIGURE 4 – Panneau solaire

sont fournies dans les images suivantes (figure 5).

**Question 3.7** Quel est le rendement énergétique du panneau solaire sous conditions de test?

## 10 Watt, 6 Volt Solar Panel



a) Caractéristique IV

VILLAGEBOOM A Social Enterprise		Villageboom GmbH, Mendelstr. 11 48149 Munster, Germany	
Model No.	VB-010P		
Rated Maximum Power ( $P_m$ )	10W		
Open circuit voltage/ $V_{oc}$ (V)	7.2V		
Voltage at $P_{max}$ ( $V_m$ )	6.00V		
Short- Circuit Current( $I_{sc}$ )	1.89A		
Current at $P_{max}$ ( $I_m$ )	1.68A		
Dimension(mm)	240-350 -18MM		
Weight(KG)	1.2KG		
Cell Types	Mono		
Above specification In Standard test conditions (STC):1000W/m <sup>2</sup> ,Cell			
 			
Temperature 25°C,AM1.5			
 <b>Warning</b>			
solar modules generate electricity as soon as they are exposed to light,one module on its own is safe under low level voltage, but multiple modules connected in series represents a danger.			
Made In China		www.villageboom.com	

b) Spécifications fournisseur

FIGURE 5 – Spécifications du panneau solaire

## 4 Intégration sur PCB

Le système complet est à présent prêt pour être intégré sur un circuit imprimé (PCB). Les élèves vont voir le responsable du laboratoire des fers à souder pour réaliser leur carte. Il décide d'abord d'évaluer leurs connaissances dans la matière.

*Dans ce questionnaire à choix multiple, pour chaque question, des réponses sont proposées. Il peut y avoir plusieurs propositions exactes.*

**Attention : 1 point pour une bonne réponse, -1 point pour une mauvaise réponse et 0 point pour une absence de réponse**

**Question 4.1** Quel est l'avantage d'une platine d'expérimentation (Breadboard) par rapport à une PCB ?

1. Nécessité d'un logiciel de CAO pour réaliser la platine d'essai
2. Le prototypage rapide
3. La précision
4. Les deux solutions sont équivalentes

**Question 4.2** Pourquoi dans la phase du routage, il faut obligatoirement respecter les règles de dessin (DRC) ?

1. Pour être sûr que le circuit routé réalise la même fonction que la version sur le schéma
2. Pour se conformer aux capacités de fabrication
3. Pour vérifier le comportement électrique du circuit
4. Pour réduire la surface du PCB

**Question 4.3** Sur un PCB mixte (analogique, numérique et alimentation), pourquoi est-il nécessaire d'avoir une bonne séparation des différentes zones les unes des autres (zone alimentation, zone numérique et zone analogique) ?

1. La séparation des différentes zones fonctionnelles permet d'éviter toute interférence néfaste
2. Pour s'assurer d'un espacement suffisant pour les pistes
3. Pour utiliser un substrat avec le minimum de couches
4. Pour pouvoir utiliser les composants montés en surface

**Question 4.4** Le nombre de couches lors de la réalisation d'un PCB

1. Est optimisé pour qu'il soit le plus faible possible
2. Augmente avec la complexité du circuit
3. Augmente avec la fréquence
4. Est Choisi pour éviter d'utiliser des VIA

**Question 4.5** Qu'est ce qu'il y a de commun entre la vue *schéma* et la vue *routage* dans la conception d'un PCB ?

1. La liste des empreintes
2. L'emplacement exacte des composants
3. La liste des composants
4. Rien