

Centres d'intérêt abordés	Énergie électrique
Objectifs pédagogiques	2.1.1 Organisation fonctionnelle d'une chaîne d'énergie
Connaissances	Production et stockage de l'énergie électrique
Activités (2 H)	Simuler la production d'énergie par panneau solaire et le stockage par une batterie
Ressources documentaires	Cours : Énergie électrique
Ressources matérielles	Ordinateur avec logiciel Matlab + Simulink

Ce TD met en œuvre la simulation des panneaux solaires et d'une batterie d'accumulateurs d'un lampadaire hybride à l'aide des logiciels Matlab et Simulink. Il a pour objectifs :

- de simuler le fonctionnement du dispositif de stockage de l'énergie dans une batterie d'accumulateurs au plomb ;
- de simuler la production locale d'énergie électrique par un panneau solaire.

1. DESCRIPTIF DE LA CHAÎNE D'ÉNERGIE

Identifier sur le synoptique de la chaîne d'énergie du lampadaire autonome les éléments qui réalisent les fonctions :

- Produire localement ;
- Stocker.

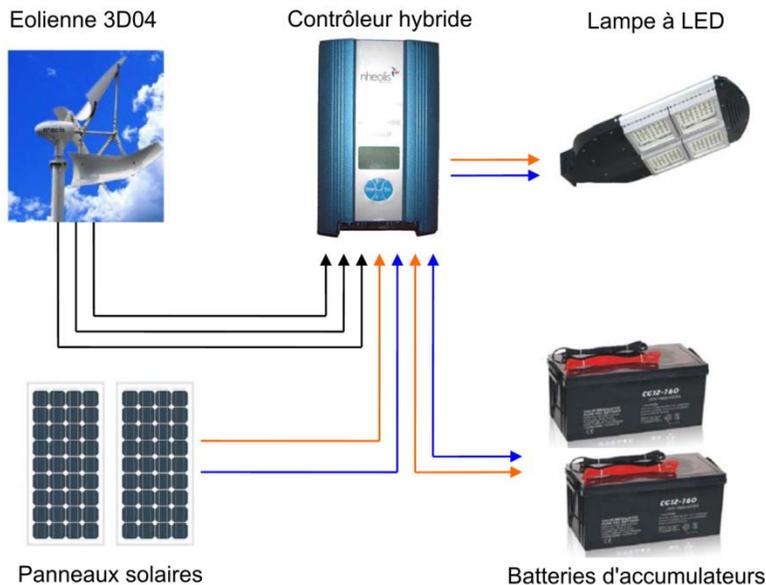


Figure 1 : Synoptique de la chaîne d'énergie

2. STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE PRODUITE PAR LE PANNEAU SOLAIRE

2.1. DÉTERMINATION DE L'AUTONOMIE DU LAMPADAIRE HYBRIDE.

Le dossier technique fourni indique que le système peut fournir à la lampe l'énergie pour une consommation de 10 heures par nuit (5 heures à pleine puissance + 5 heures à puissance réduite de moitié) avec une autonomie de 3 à 4 jours. La lampe à LED consomme 72 W à pleine puissance sous une tension de 24 V. Les deux batteries de 12 V disposent d'une capacité de 80 Ah.

✍ Calculer le courant I_{max} consommé par la lampe lorsqu'elle fonctionne à pleine puissance :

✍ Quelle est la valeur du courant consommé par la lampe lorsqu'elle fonctionne à puissance réduite de moitié :

✍ Calculer le courant moyen I_{bat} consommé par la lampe pendant la nuit :

La quantité d'électricité Q stockée dans la batterie est définie par la relation :

$$Q = I \times t ; \text{ avec } Q \text{ en ampères-heures (Ah), } I \text{ en Ampère et } t \text{ en heures.}$$

✍ Calculer le nombre d'heures de fonctionnement qu'autorise la batterie chargée :

✍ Convertir cette durée en secondes :

2.2. SIMULATION DE LA DÉCHARGE DE LA BATTERIE

On utilise le logiciel *Simulink* (intégré à *Matlab*) pour modéliser la batterie d'accumulateurs et simuler sa décharge. Pour cette simulation, la lampe à led est remplacée par une résistance (resistor) qui dissipe la même puissance. Le modèle de simulation est présenté à la figure 2.

Ouvrir le fichier *batterie_lampe.slx*.

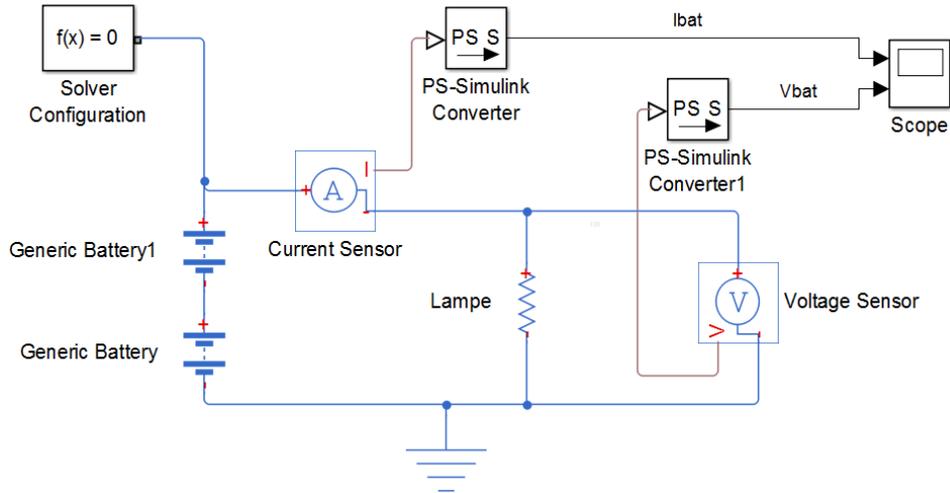


Figure 2 : Modèle de simulation pour la décharge de la batterie

2.2.1. PARAMÉTRAGE DE LA BATTERIE

La figure 3 donne les caractéristiques des batteries d'accumulateurs utilisées.

Model	CG12-80Z-TA
Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	80Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @ 25°C
Weight	24kg
Max. Discharge Current	750A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 5.5mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: -10°C~60°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C ± 5°C
Self Discharge	less than 3% per month at 25°C
Dimension(mm)	L350xW167xH179

Figure 3 : Caractéristiques des batteries

La figure 4 présente les paramètres du modèle de la batterie d'accumulateurs utilisés pour la simulation.

À l'aide de la notice technique de la batterie, donnée figure 3, relever la valeur de la tension aux bornes de la batterie et la résistance interne de la batterie. Reporter ces paramètres dans les champs numérotés 1et 2 de la figure 4.

Reporter la valeur de la capacité de la batterie dans les champs 3 et 4 qui désignent respectivement la capacité nominale et la charge initiale de la batterie

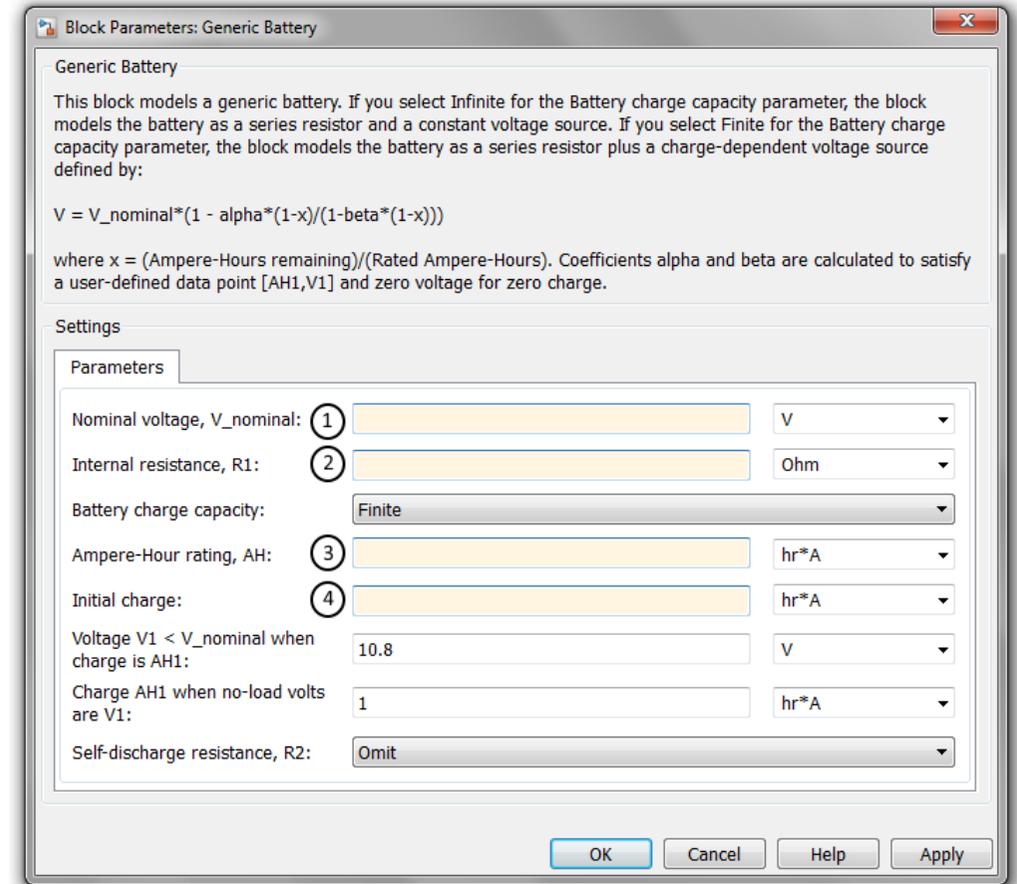


Figure 4 : paramètres du modèle de simulation de la batterie

☞ Reporter les valeurs des paramètres dans les blocs *Generic Battery* et *Generic Battery1*.

2.2.2. SIMULATION DU FONCTIONNEMENT

☞ Fixer la durée de simulation (en secondes) pour visualiser la décharge complète de la batterie (calculée au paragraphe 2.1) :



Lancer la simulation en cliquant sur le bouton *Run*

☞ Visualiser les courbes de tension et courant en double cliquant sur l'élément *Scope*.

☞ À l'aide de l'outil *Cursor Measurements*, mesurer la valeur du courant de décharge de la batterie (au début de la simulation) :

☞ Cette valeur correspond-elle à celle calculée ?

Les batteries sont caractérisées par une variation de la tension à leurs bornes en fonction de l'état de charge : la tension V_{bat} diminue lorsque la charge stockée décroît.
Compte tenu des conditions de fonctionnement du lampadaire, nous considérons la tension de fin de décharge égale à 10,8 V

☞ Mesurer le temps nécessaire à la décharge complète de la batterie (en secondes et en heures) :

☞ Calculer l'écart relatif entre la valeur mesurée et la valeur calculée :

3. SIMULATION DES PANNEAUX SOLAIRE DU LAMPADAIRE HYBRIDE

3.1. DÉFINITION DE L'ÉCLAIREMENT ÉNERGÉTIQUE (IRRADIATION)

Le panneau solaire est constitué de cellules photovoltaïques qui convertissent l'éclairement énergétique (ou irradiation) du soleil en courant continu.

L'éclairement énergétique est la puissance du rayonnement solaire reçue sur terre sur une surface de 1 m². Il s'exprime en W·m⁻².

Les fabricants de panneaux solaires spécifient les performances de leurs panneaux dans les conditions standards de qualification suivantes :

- éclairement énergétique = 1000 W·m⁻² ;
- température 25 °C.

La puissance P_{nom} des deux panneaux solaires est choisie pour garantir le fonctionnement autonome du lampadaire. La fiche technique du panneau solaire M60 utilisé est donnée dans le dossier technique.

3.2. SIMULATION DU FONCTIONNEMENT DU PANNEAU SOLAIRE SUR CHARGE RÉSISTIVE

☞ Relever dans la documentation technique du panneau solaire la valeur maximale de la puissance et celle du courant de court-circuit du panneau solaire :

☞ Indiquer la valeur de l'irradiation et de la température pour lesquelles sont définies les caractéristiques du panneau solaire :

Ouvrir le fichier *Panneau_solaire.slx*.

☞ Double cliquer sur le bloc *Panneau solaire* et compléter la valeur des paramètres définis. Reporter dans le bloc *Irradiation* la valeur trouvée.

Lancer la simulation. Coller la caractéristique $P = f(V_p)$ du panneau sur la figure 5.

Figure 5 : Courbe puissance tension du panneau solaire

☞ Relever la valeur de la puissance maximale P_m produite par le panneau. Indiquer pour quelle valeur de la tension V_p cette puissance est produite :

☞ Calculer l'écart relatif entre la valeur de la puissance maximale simulée et la valeur attendue :

Refaire la simulation en réglant l'éclairement énergétique à $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

☞ Décrire l'influence de l'éclairement énergétique sur la puissance produite par le panneau solaire:

Refaire la simulation en réglant la température du panneau à 50°C .

☞ Décrire l'influence de la température du panneau sur son efficacité :

4. RECHARGE DES BATTERIES AVEC LES PANNEAUX SOLAIRES

Pour alimenter la lampe sous une tension de 24 V, deux batteries sont utilisées. Leur charge est assurée par deux panneaux associés en série conformément au schéma de la figure 6.

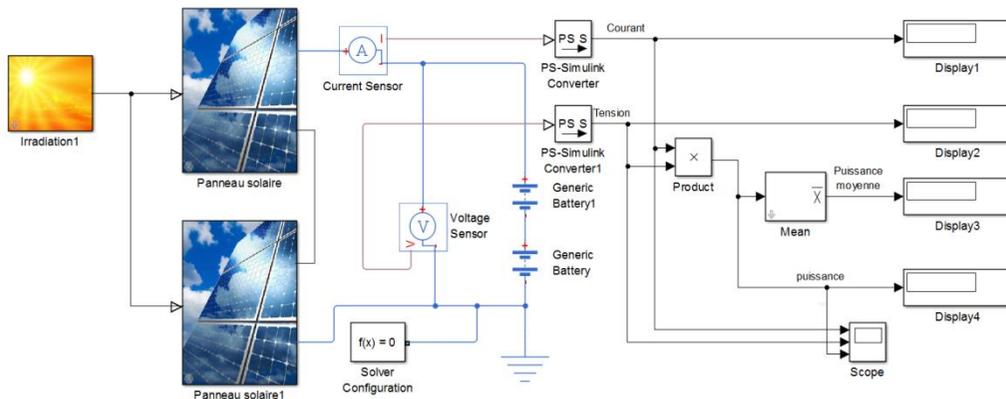


Figure 6 : Recharge des batteries par les panneaux solaires

☞ Quelle est la valeur théorique de la puissance électrique que peuvent fournir les deux panneaux solaires :

Ouvrir le fichier *panneau_solaire_charge_batterie.slx*. Lancer la simulation.

☞ Relever la puissance moyenne produite par le panneau solaire pendant la charge de la batterie :

☞ Mesurer la valeur de la tension V_p aux bornes des panneaux solaires au début et à la fin de la charge de la batterie :

5. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

☞ Quelle est la nature de l'énergie fournie par un panneau solaire photovoltaïque

☞ De quels paramètres externes dépend la puissance produite par un panneau solaires :

☞ Calculer le pourcentage de la puissance maximale du panneau transmis à la batterie lorsque celle-ci est directement connectée au panneau :

☞ Que faut-il faire pour que les panneaux produisent leur puissance maximale ?
