

SY80 – Finale – Automne 2025

Daniela CHRENKO

13 janvier 2026

Prénom		Nom	
--------	--	-----	--

Information générale

Merci de répondre sur cette feuille, de manière bien lisible.

Les différentes parties du final sont autonomes, il n'est pas nécessaire de répondre en ordre chronologique.

Il est possible de répondre en mot de clé, tant que la réponse est claire.

Chaque valeur numérique doit être un résultat d'un calcul présenté et complété par son unité.

Matériel

Tout document interdit, calculatrice autorisée.

Toute coopération et utilisation d'équipement numérique (ordinateur, téléphone, tablette ...) est interdite.

Partie 1 – Questions sur les projets

Questions courtes sur les projets. Merci de fournir une réponse courte pour chaque question. **(1/6 points par question = 5 points au total)**

Questions sur les projets (5 points)

<i>1. Station de recharge mobile (électrique)</i>	
1.1.1 Combien de véhicules peuvent être rechargés en même temps ?	
1.1.2 Sur quel type de véhicule la station a recharge mobile est installé ?	
1.1.3 Citer au moins 2 applications pour cette solution.	
<i>3. Atelier Mobile</i>	
1.3.1 Pour quel type de chantier l'atelier est prévu ?	
1.3.2 D'où vient le nom du projet Nexus ?	
1.3.3 Quelle est la durée d'autonomie de l'atelier mobile ?	
<i>4. Monorail Individuel</i>	
1.4.1 Où est-ce que la télécabine étudiée sera installé ?	

1.4.2 Comment fournir l'énergie aux télécabines ?	
1.4.3 Quel est le plus grand utilisateur d'énergie dans la télécabine ?	
5. Voiture débout	
1.5.1 Dans quel contexte la voiture débout sera utilisé ?	
1.5.2 Quels logiciels spécifiques ont été utilisés ?	
1.5.3 De quelle application le moteur était emprunté ?	
6. Food-bike	
1.6.1 Quel type d'aliment est prévu et quel équipement est associé ?	
1.6.2 Pourquoi le food bike ne pourra pas rouler sur des pistes cyclables ?	
1.6.3 Nommez les trois (ou quatre) phases d'utilisation du food bike.	
7. Party box	
1.7.1 Combien heures d'autonomie a la party box ?	
1.7.2 Comment est-ce que la party box est alimenté ?	
1.7.3 Quelle est le plus grand utilisateur de puissance dans la party box ?	
8. Tente paddock	
1.8.1 Comment l'énergie est produite pour une tente paddock ?	
1.8.2 Quel type de fête est envisagé pour la tente paddock ?	
1.8.3 Quel est l'objectif d'un BMS ?	
9. Drone de maintenance	
1.9.1 Quelle tâche de maintenance industriel doit effectuer le drone ?	
1.9.2 De combien de batteries dépose le drone ?	
1.9.3 Quel était le problème de dimensionnement de la batterie ?	
10. Camping-car tout solaire	
1.10.1 D'où vient l'énergie nécessaire pour le camping-car ?	
1.10.2 Comment l'autonomie du camping-car est évaluée ?	
1.10.3 Quel type de PV a été identifié ?	

11. <i>Auxiliaires pour un voilier</i>	
1.11.1 Quel trajet va faire le bateau ?	
1.11.2 Combien de passagers peuvent être transportés ?	
1.11.3 De quelles sources d'énergie dispose le voilier ?	

Partie 2- Chalet de ski autonome en énergie

L'objectif de cet exercice en vue des prochaines vacances est de rendre un chalet de ski autonome en énergie électrique et thermique. Durant l'été l'énergie sera produite par des panneaux photovoltaïques et transformée en hydrogène grâce à un électrolyseur. En hiver de l'énergie est générée grâce à un système pile à combustible. Une batterie assure un stockage journalier.



Figure 1 : Chalet de ski (image symbolique)

Saison Hiver

Au total le chalet sera utilisé pendant six semaines en hiver. Les besoins de puissance électrique par heure sont présentés en Figure 2.

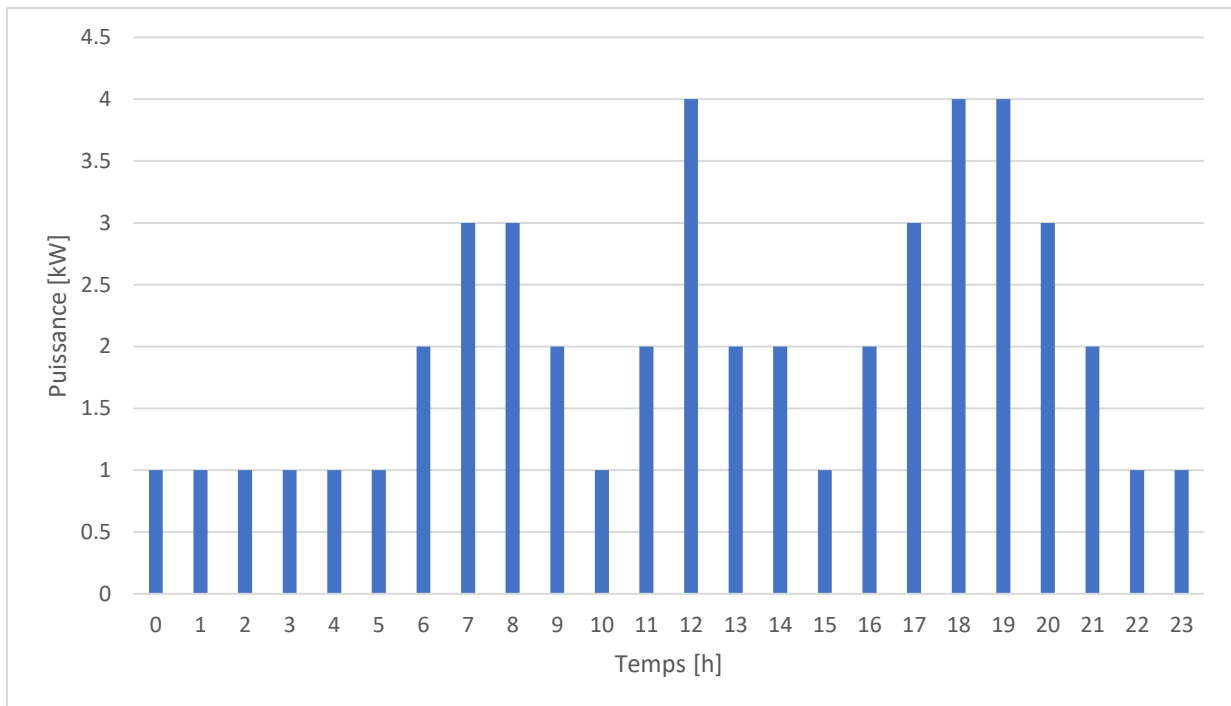


Figure 2 : Consommation d'énergie électrique du chalet en hiver

Section 1 : Préparation (1 point)

Question 2.1.1 (1 point) :

Calculez la puissance moyenne nécessaire dans le chalet. Détaillez votre approche en liant énergie et puissance.

Section 2 : Système pile à combustible (5 points)

Le système pile à combustible va fonctionner à régime constant.

Question 2.2.1 (0.5 point) :

Est-ce que le système pile à combustible peut être utilisé à d'autres fins que la production d'électricité ?

La courbe de polarisation d'une cellule peut être calculée à l'aide des équations (1) à (4)

$V_{1c}(j) = V_{OC1c} - V_{act}(j) - V_{ohm}(j) - V_{conc}(j)$	(1)
$V_{act} = A \cdot \ln\left(\frac{j + j_n}{j_0}\right)$	(2)

avec $j_n = 3\text{mA/cm}^2$, $j_0 = 0.04\text{mA/cm}^2$ et $A = 2 \cdot 10^{-2}\text{V}$.

$V_{ohm}(j) = R \cdot j$	(3)
--------------------------	-----

avec $R = 2 \cdot 10^{-4}\Omega \text{ cm}^2$

$V_{conc}(j) = m \cdot \exp^{n \cdot j}$	(4)
--	-----

avec $m = 1 \cdot 10^{-5}V$ et $n = 8 \cdot 10^{-3}cm^2/mA$.

La cellule à une surface de $70 cm^2$, le stack comporte 48 cellules et a une tension à circuit ouvert de 50 V.

Question 2.2.2 (1.5 points) :

Calculer les points de la courbe de polarisation pour une cellule de la pile à combustible. Vous pouvez utiliser le Tableau 1 et le graphique Figure 3 en les complétant pour vous aider.

Tableau 1 : Densité de courant et tensions pour une cellule

j [mA/cm ²]	VOC [V]	Vact [V]	Vohm [V]	Vcon [V]	Vcellule [V]
0					
200					
400					
600					
800					
1000					
1200					

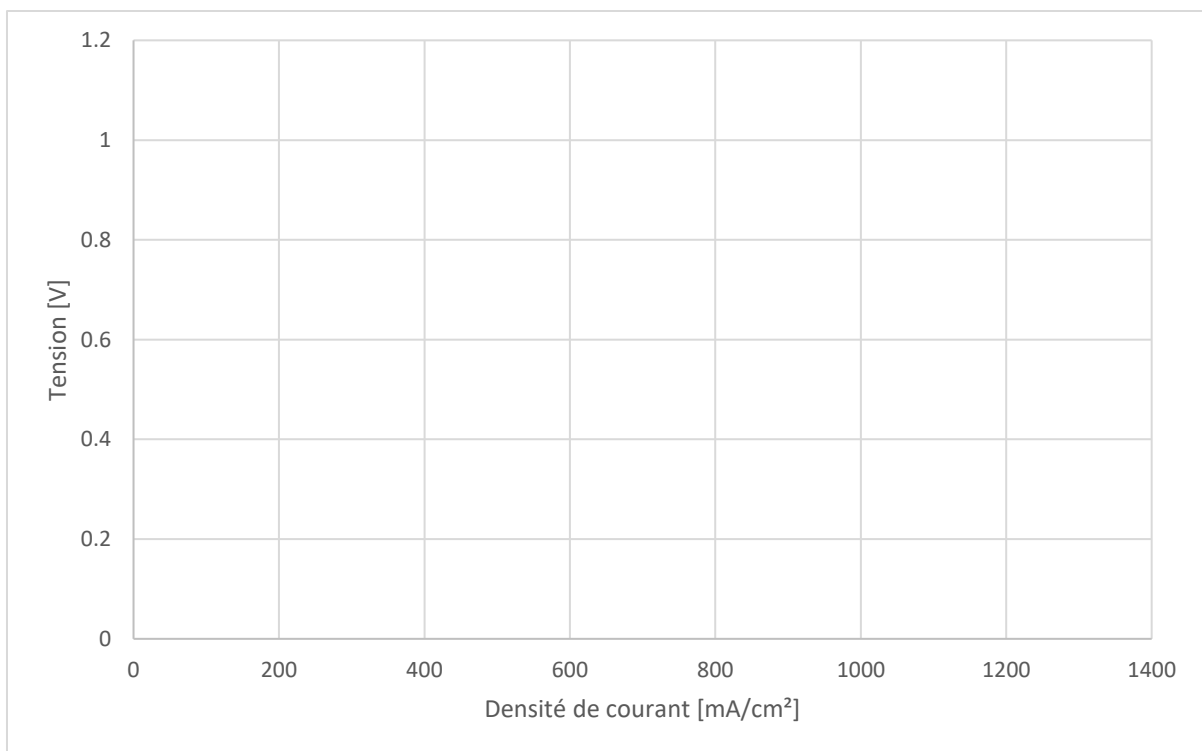


Figure 3 : Courbe de polarisation pour une cellule

Question 2.2.3 (1 points) :

Comment extrapoler la courbe de polarisation d'une cellule vers une courbe de polarisation d'un stack ? Présenter la courbe de polarisation et la courbe de puissance dans la Figure 4. Vous pouvez vous aider du Tableau 2.

Tableau 2 : Courbe de polarisation et puissance d'un stack

j [mA/cm ²]	Vcellule [V]	Istack [A]	Vstack [V]	Pstack [W]
0				
200				
400				
600				
800				
1000				
1200				

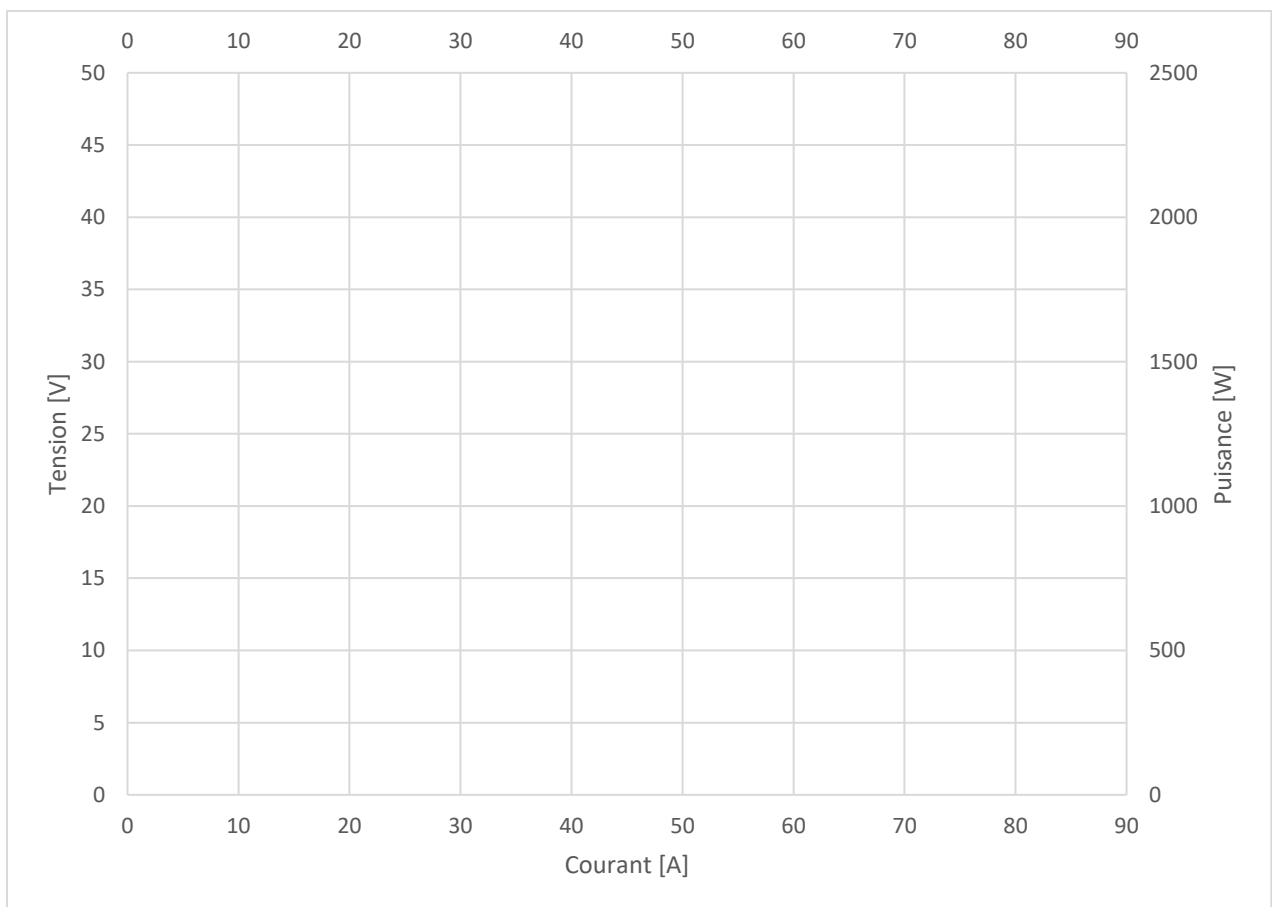


Figure 4 : Courbe de polarisation et courbe de puissance d'un stack

Question 2.2.4 (0.5 point) :

Choisissez approximativement le point de fonctionnement qui vous donne le maximum de puissance et donnez le courant, la tension et la puissance. Indique ce point également en figure 4.

La quantité d'hydrogène consommé se calcule en utilisant l'équation (2)

$\dot{n}_{H_2} = \frac{I \cdot n}{2 \cdot F}$	(2)
---	-----

avec \dot{n}_{H_2} le débit de l'hydrogène en mol/s, I le courant en Ampère, n le nombre des cellules dans le stack, F la constante de Faraday de $9.649 \cdot 10^4$ C/mol et la masse molaire d'hydrogène $M_{H_2} = 2$ g/mol.

Question 2.2.5 (0.5 point) :

Calculez le débit d'hydrogène en mol/s et g/s pour le point de fonctionnement identifié en question 2.2.4 (Puissance maximale). Si vous n'avez pas trouvé le résultat précédent, vous pouvez faire la suite des calculs avec un courant de 70A.

Question 2.2.6 (0.5 point) :

Calculez la quantité d'hydrogène qui doit être stocké en kg afin de faire fonctionner le système pile à combustible en continue pendant 6 semaines.

Question 2.2.7 (0.5 point) :

Quel type de stockage d'hydrogène choisissez-vous (une phrase) ?

Section 3 : Dimensionnement batterie tampon (4 points)

Comme le système pile à combustible fonctionne en régime constant durant les six semaines d'utilisation durant la saison d'hiver il faut une batterie tampon. Dans les prochaines étapes vous allez dimensionner la batterie tampon.

Question 2.3.1 (1 points) :

Calculez la variation de quantité d'énergie tampon requise pour assurer le besoin d'énergie du chalet durant une journée. Le système pile à combustible fournit une puissance constante de 2kW. Vous pouvez vous servir des Tableau 3, Figure 5 et Figure 6 pour vous aider.

Tableau 3 : Puissance et énergie pour la batterie tampon

Heure [h]	Puissance consommée [kW]	P_PàC [kW]	ΔP_{bat} [kW]	E_bat [kWh]
0	1	2		
1	1	2		
2	1	2		
3	1	2		
4	1	2		
5	1	2		
6	2	2		
7	3	2		
8	3	2		
9	2	2		
10	1	2		
11	2	2		
12	4	2		
13	2	2		
14	2	2		
15	1	2		
16	2	2		
17	3	2		
18	4	2		
19	4	2		
20	3	2		
21	2	2		
22	1	2		
23	1	2		

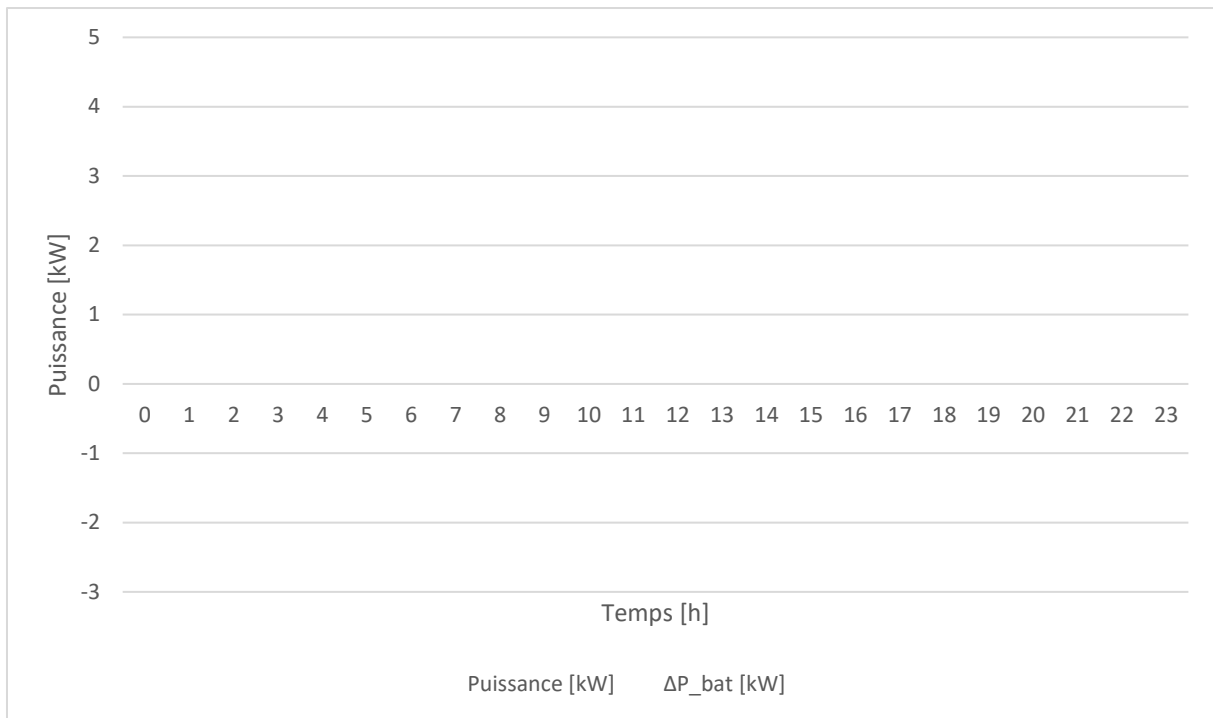


Figure 5 : Histogramme de la puissance consommée par le chalet et celle fournie par la batterie tampon

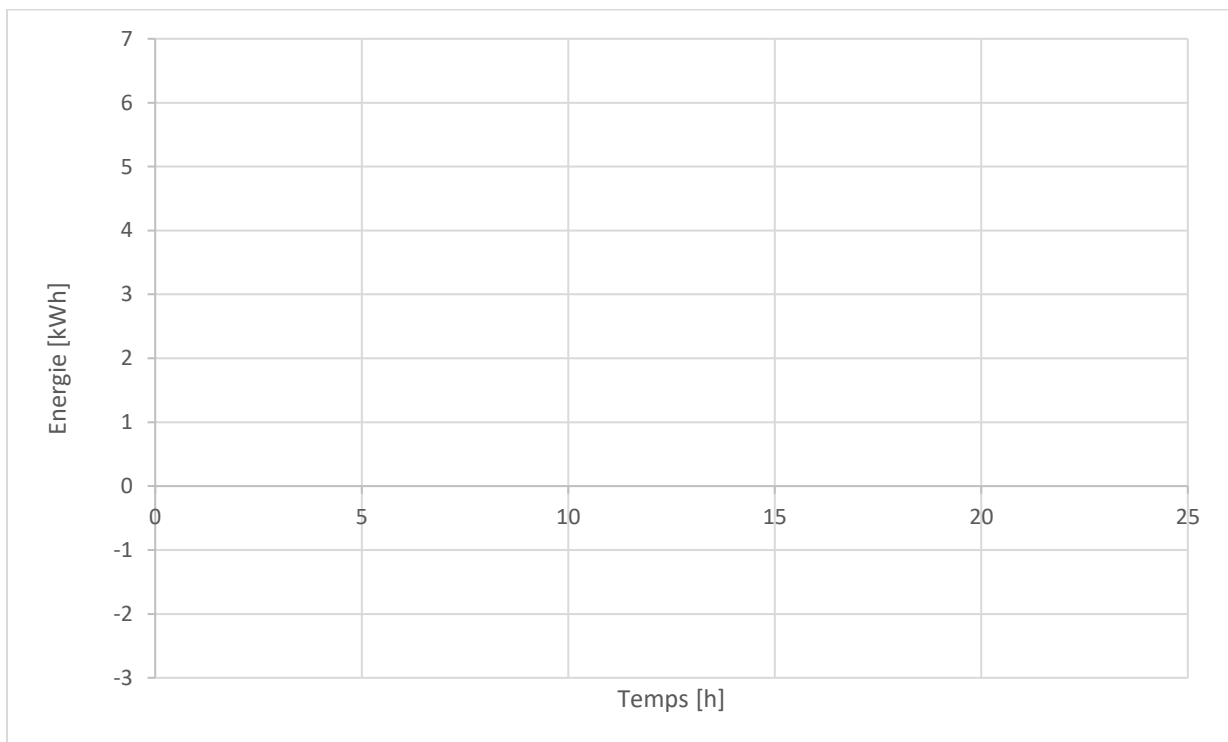


Figure 6 : Variation d'énergie dans la batterie tampon

Question 2.3.2 (0.5 point) :

Quelle énergie stockable par la batterie (nominale) choisissez-vous, si une variation d'énergie de 80% de l'énergie nominale est autorisée. Indice : il faut regarder la plus grande différence d'énergie.

Question 2.3.3 (1 point) :

Quel type de batterie choisissez-vous pour cette application. Justifiez votre choix en 2 phrases maximum.

Pour une batterie tampon de 10kWh vous avez à disposition des cellules de batterie lithium NMC 811 avec une capacité nominale de 40Ah et une tension nominale de 3.7V.

Question 2.3.4 (0.5 point) :

Combien de cellules sont nécessaires ?

Question 2.3.5 (1 point) :

Comment organiser les cellules si une tension nominale de batterie entre 60V et 65V est requise ?

Section 4 : Dimensionnement électrolyseur (3 points)

L'énergie pour le chalet est produite par un système photovoltaïque lié à un système électrolyseur.

Question 2.4.1 (1 point) :

Calculez l'énergie électrique nécessaire si on admet qu'il faut produire 130kg hydrogène avec un pouvoir calorifique inférieur de 119.96MJ/kg et un rendement d'électrolyseur de 60%.

On peut admettre que le système photovoltaïque fonctionne durant quatre mois. De plus pour chaque kWp installé 4,8kWh peuvent être produits par jour (Figure 7 pour illustration uniquement).

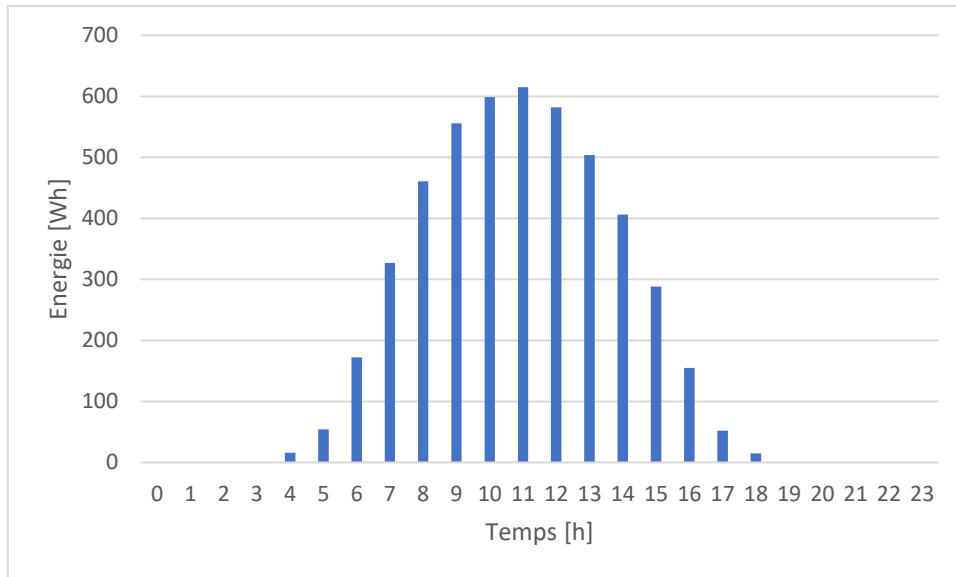


Figure 7 : Production d'énergie par jour par un panneau de 1kW_{peak}

Question 2.4.2 (1 point) :

Combien de kWp doivent être installée afin de produire l'énergie électrique nécessaire ?

Question 2.4.3 (1 points) :

Dans le cas de l'utilisation d'un électrolyseur qui fonctionne durant 4 mois à un régime constant, quelle est la puissance nominale que doit être fourni à l'électrolyseur ?

Question 2.4.4 (1 points) :

Présentez graphiquement le schéma de principe d'installation de production, stockage et consommation d'énergie y inclus composants, connexions, types de transfert, etc.

Question 2.4.5 (1 points) :

Donner une conclusion concernant l'intérêt de rendre un chalet de ski autonome. (Paragraphe court de 10 lignes maximum.)