

Devoir Maison n° 3

Installation photovoltaïque d'un site isolé

A rendre pour le jeudi 12 janvier.



Refuge de l'Arpont, 2309 m, Massif de la Vanoise - Savoie (France).

La grande majorité des refuges alpins sont éloignés des réseaux de distribution d'énergie. Les besoins en énergie sont répartis en deux catégories : électricité et chaleur. L'absence de réseau électrique implique l'utilisation d'équipements spécifiques pour produire de l'électricité tels que groupes électrogènes, panneaux solaires ou encore turbines hydroélectriques. La demande et la production d'énergie est très variable, elle dépend des conditions d'accessibilité, de la localisation du refuge et de son orientation.

Parce que les périodes de consommation ne correspondent pas toujours aux heures de production, un parc de batteries est installé pour stocker l'énergie produite. Les batteries sont chargées durant les périodes de jour afin de pouvoir alimenter le site la nuit ou les jours de très mauvais temps. Les besoins en énergie d'un refuge varient au cours de l'année, la demande énergétique a principalement lieu durant la période estivale. En saison hivernale, les besoins énergétiques sont beaucoup moins importants mais l'eau étant gelée, les panneaux photovoltaïques assurent à eux seuls la production d'énergie électrique nécessaire au bon fonctionnement du site.

1) Besoins énergétiques en basse saison

L'hiver, le refuge étudié sert uniquement d'abri. Pour le confort des utilisateurs un circuit d'éclairage en 24 V a été installé. Il comporte 4 ampoules de 20 W. Cet éclairage est utilisé en moyenne 6 h par jour. Le téléphone et son équipement sont alimentés en 24 V continu et consomment 1 A en veille et 5 A en fonctionnement. L'appareil est utilisé en moyenne 2 heures par jour et est en veille le reste du temps.

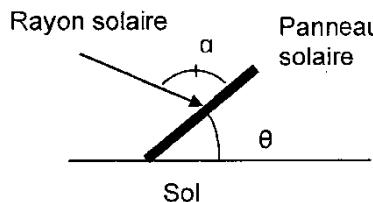
Faire le bilan journalier de l'énergie E_{totale} nécessaire pour un fonctionnement de l'ensemble, en J puis en Wh.

2) Etude de l'installation photovoltaïque

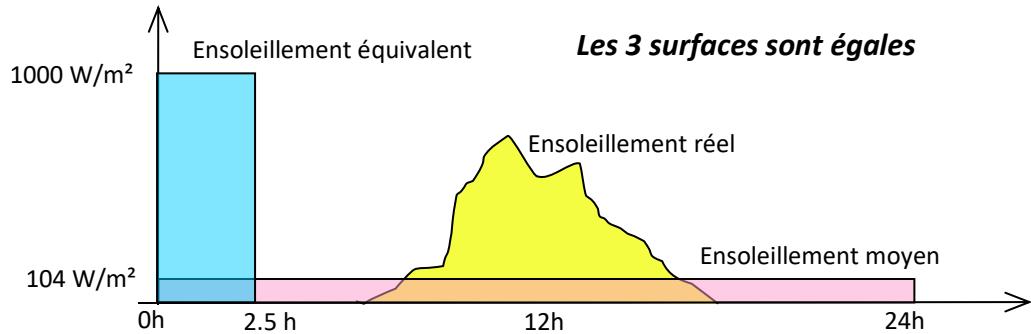
Une cellule photovoltaïque est capable de produire de l'électricité à partir de l'énergie lumineuse reçue. Typiquement une cellule produit moins de 2 Watts sous approximativement 0,5 Volt. Une association série de plusieurs cellules donne un module et une association série et/ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau photovoltaïque.

La puissance électrique P produite par un panneau solaire est proportionnelle au flux d'énergie Φ reçu du Soleil et dépend de son inclinaison θ par rapport au sol. On appelle α l'angle d'incidence, angle entre la direction des rayons solaires et la surface du panneau.

Le flux Φ reçu par la surface d'un panneau se calcule en fonction de son inclinaison par rapport aux rayons solaires : $\Phi = \Phi_M \sin \alpha$, où Φ_M est le flux maximal lié au niveau d'ensoleillement.



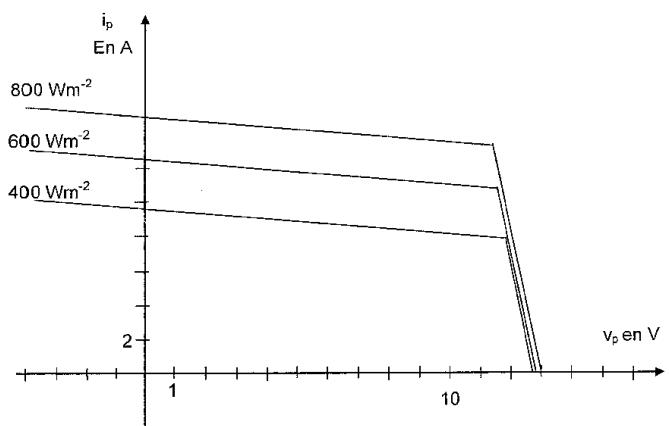
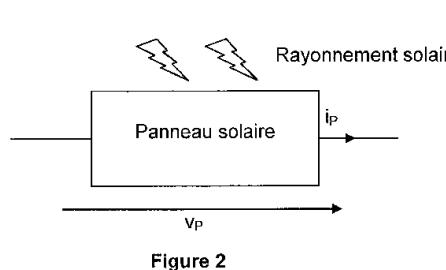
Le graphique ci-dessous montre l'évolution de l'ensoleillement au cours d'une journée d'hiver type sur le site étudié :



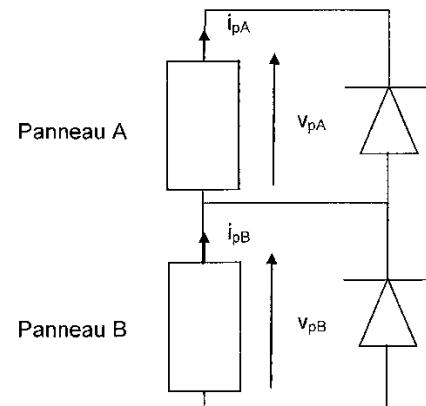
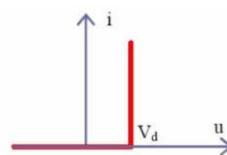
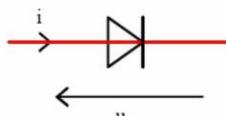
On suppose que le refuge possède 10 panneaux solaires de puissance 130Wc et que compte tenu de la saison, un rayon solaire est incliné de 45° par rapport au sol.

- En vous aidant des documents fournis en annexe, calculer l'énergie $E_{produite}$ en J puis en Wh que peut produire quotidiennement en saison hivernale l'installation photovoltaïque.
- En hiver, le mauvais temps peut persister pendant plusieurs jours. Déterminer le nombre de jours d'autonomie de fonctionnement minimum. Commenter.
- Quels sont les avantages et les inconvénients du positionnement vertical des panneaux ?

La caractéristique courant-tension simplifiée d'un panneau solaire est donnée ci-dessous. Le point de fonctionnement dépend à la fois de la puissance lumineuse reçue par m^2 et du récepteur électrique.



- d) Indiquer les points de fonctionnement M d'un panneau solaire dans les cas suivants :
- M_1 : courant débité 10 A, éclairement 800 Wm^{-2}
 M_2 : courant débité 10 A, éclairement 400 Wm^{-2}
- e) Calculer les puissances fournies par le panneau dans chaque cas.
- f) Comment se comporte le panneau au point M_2 et quelle est la conséquence de ce fonctionnement par rapport à la production d'énergie attendue ?
- g) Expliquer à l'aide de la caractéristique fournie le rôle des diodes dans le schéma ci-dessous.

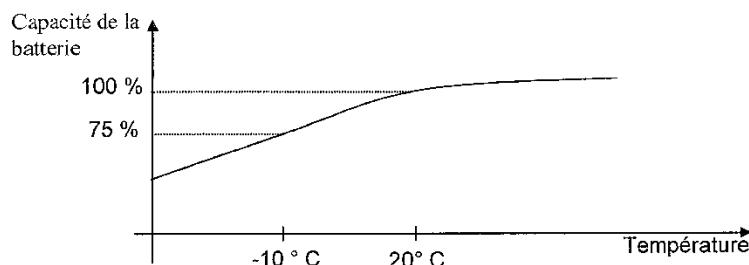


3) Stockage de l'énergie dans des batteries.

L'énergie nécessaire est stockée dans un parc de batteries, assemblées de telle façon que la tension disponible soit de 24 V continu et que le site puisse fonctionner 4 jours sur la réserve.

Pour des raisons liées à la technologie des accumulateurs, l'énergie emmagasinée dans une batterie ne peut être utilisée entièrement. Le parc de batteries est constitué d'éléments de 12 V - 100 Ah, caractérisé par une profondeur de décharge de 70%.

Les caractéristiques des batteries sont données pour une température de 20 °C. La courbe suivante donne la variation de la capacité de la batterie en fonction de la température.



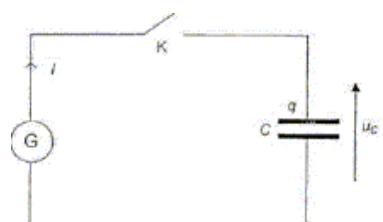
Calculer le nombre d'éléments nécessaires au fonctionnement souhaité pour une température de -10°C et représenter le schéma de câblage de leur association.

4) Stockage de l'énergie dans un condensateur.

Dans cette partie on se propose d'étudier une autre forme de stockage : le stockage de l'énergie électrique dans un condensateur de grande capacité. La tension maximale d'un tel élément est assez faible, de l'ordre de 2.5 à 3 V.

a) Charge du condensateur à courant constant.

On suppose dans cette partie qu'une cellule photovoltaïque se comporte comme un générateur idéal de courant G débitant un courant d'intensité constante $I = 0.27 \text{ A}$. La tension maximale que peut supporter le condensateur est $U_{\max} = 2.25 \text{ V}$.



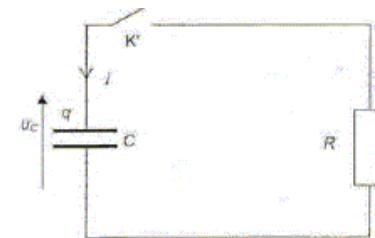
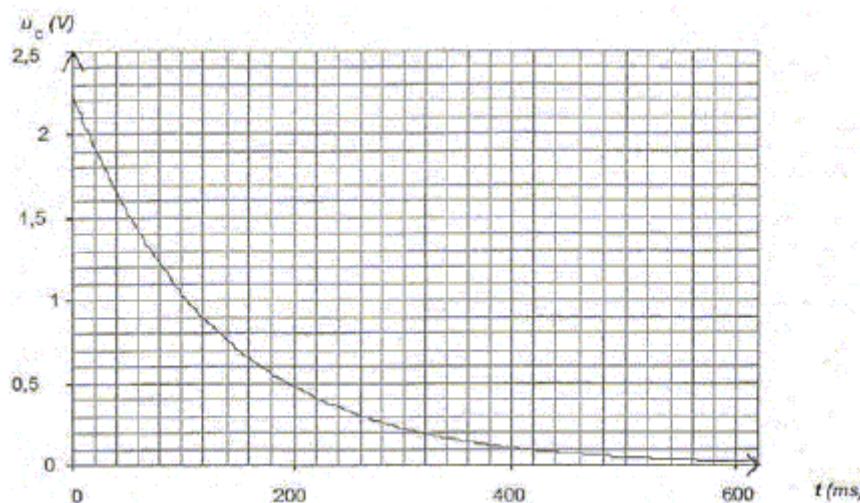
La cellule est branchée aux bornes d'un condensateur de capacité $C = 0.1 \text{ F}$, initialement déchargé. A la date $t = 0 \text{ s}$, on ferme l'interrupteur K.

- Donner l'équation de la courbe $u_c(t)$ et tracer l'allure de $u_c(t)$.
- Calculer la quantité d'énergie électrique stockée dans le condensateur lorsque la charge est terminée. Commenter.

b) Décharge du condensateur dans un conducteur ohmique.

L'énergie stockée dans le condensateur peut être utilisée pour faire fonctionner une ampoule que l'on assimile à un conducteur ohmique de résistance R. On branche en série le condensateur et le conducteur ohmique.

A l'instant de date $t = 0$, le condensateur a une tension à ses bornes égale à U_{\max} et on ferme l'interrupteur K'. Le graphe donnant $u_c = f(t)$ est le suivant :



- Quelle est l'expression de la constante de temps τ du circuit. Justifier.
- La déterminer graphiquement et en déduire la valeur de la résistance R.
- On considère que la lampe (L) fonctionne correctement si la tension imposée par le condensateur entre ses bornes est supérieure à 1,0 V. On rappelle que l'on assimile la lampe au conducteur ohmique de résistance R. Déterminer, en utilisant la figure la durée Δt durant laquelle le condensateur fournit une quantité de lumière suffisante. Conclure.

Extrait de : <http://www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/lyon-caen/guide-energie.pdf>

3.2 L'installation photovoltaïque

3.2.1 Le principe de fonctionnement

Le schéma ci dessous présente les différents éléments d'une installation photovoltaïque

Les capteurs, ou **photopiles**, sont constitués de matériaux **semi-conducteurs**, généralement du silicium, qui transforment directement la lumière du rayonnement solaire en énergie électrique. Les rendements se situent entre 8 et 15 % selon le type de silicium (6-7% en amorphe, 11-14% en polycristallin, 12-16% en monocristallin).

La puissance s'exprime en Watt crête (Wc) qui est la puissance maximale que fournit le panneau sous l'ensoleillement standard de 1000 W/m² (soleil à midi). Le module classique (1 m par 0,5 m) développe une puissance maximale théorique d'environ 50 Wc.

Les particules de lumière, les photons, viennent heurter les électrons sur le silicium et lui communiquent leur énergie. Une tension apparaît en présence de lumière aux bornes de la photopile. Le courant obtenu est proportionnel à la lumière reçue.

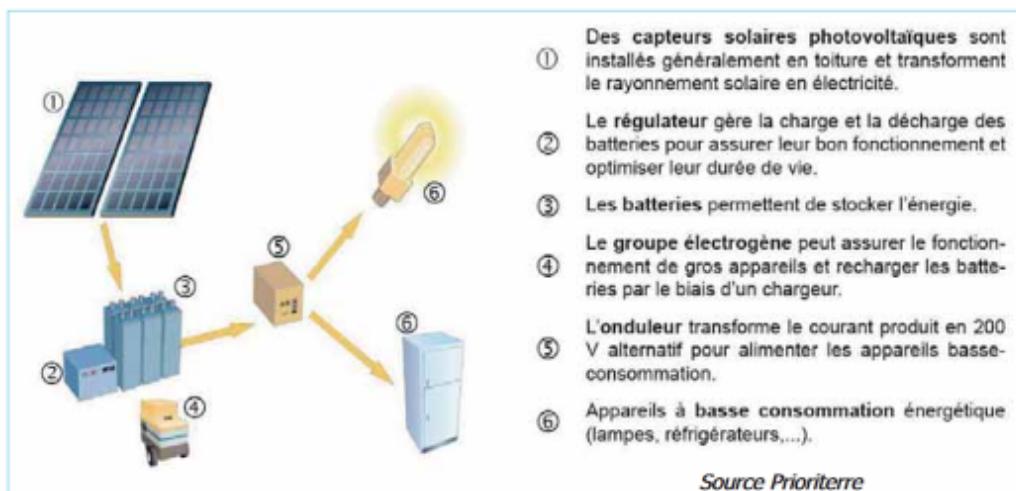
L'électricité est produite en courant **continu** par les capteurs, puis transformée si besoin en courant **alternatif** par un appareil électronique appelé **onduleur**.

Il faut également prévoir de stocker l'électricité. Le stockage se fait dans des **batteries ou accumulateurs**. Les batteries utilisées sont normalement des batteries fixes au plomb. Ces batteries ont une longévité de **5 à 8 ans**. Leur durée de vie est affectée en altitude par les basses températures. Leur remplacement représente une part importante des frais de maintenance. L'idéal est d'utiliser un parc de batteries au plomb ouvert à plaques positives tubulaires. Chaque élément a une tension de 2 volts. Ce type de batteries est réputé pour sa résistance à la surcharge et sa tenue inégalée au cyclage.

La capacité de stockage utile est calculée en fonction du nombre de jours d'autonomie nécessaire. Un appoint peut être nécessaire si le soleil fait défaut pendant un certain temps.

Un **groupe électrogène** peut alors servir à recharger les batteries via un chargeur. Il peut aussi délivrer directement du courant.

Un **régulateur** est indispensable pour prolonger la durée de vie des batteries en évitant les décharges profondes et les surcharges. Il est indispensable de maintenir un courant d'entretien pour conserver les batteries en charge pendant la fermeture du refuge. Cette réserve peut être utilisée pour l'éclairage du refuge d'hiver (refuge de Crête Sèche – Vallée d'Aoste). Cette contrainte oblige à laisser en service au moins une partie des panneaux solaires. La décharge totale d'une batterie plomb divise sa durée de vie par deux.



La durée de vie des panneaux photovoltaïques, est garantie pour des périodes de 20 et 30 ans, mais peut en principe aller au-delà.

Dans l'ensemble des refuges alpins, l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque est d'un usage courant. On rencontre fréquemment de petites installations d'une puissance crête de quelques centaines de watts. Dans les cas extrêmes, il s'agit d'un ou deux panneaux en série qui alimentent directement en 12 ou 24 volts le dispositif concerné. A ce titre, l'installation de deux panneaux de 200 Wc au refuge Bertone – Vallée d'Aoste, alimente la pompe de circulation de l'installation solaire thermique. Pour les téléphones de secours, par exemple, un panneau de 30 Wc fixé sur l'antenne est suffisant.

Dans d'autres cas (Refuge Oratorio di Cuney et Quintino sella al Félik par exemple), ces installations sont de puissances plus importantes, supérieures à 2000 Wc.

La préservation de la durée de vie du parc de batteries nécessite l'utilisation d'un groupe électrogène dès que de fortes puissances sont appelées, même sur un temps court.

3.2.2 L'implantation des panneaux photovoltaïques

L'implantation des capteurs dépend de plusieurs paramètres :

- l'ensoleillement : le plein Sud sera privilégié, tout en vérifiant l'absence de masque (arbre, montagne, bâtiment...),
- l'inclinaison : pour un usage uniquement estival, une inclinaison comprise entre 15 et 45° est intéressante. Pour un usage hivernal, une position verticale sera plus favorable pour utiliser l'albédo de la neige,
- la protection vis-à-vis des aléas climatiques : les panneaux devront être implantés sur des zones vite dégagées de la neige et devront également être protégés du vent,
- la configuration du bâtiment : le bâtiment n'offre pas toujours une implantation optimale,
- la localisation sur le bâtiment : dans certains cas

de figure, les Architectes des Bâtiments de France doivent être consultés avant toute implantation,

- les éventuelles dégradations (volontaires ou non) ou les vols.

Tous ces paramètres doivent donc être étudiés avant d'installer les capteurs. Généralement, les capteurs sont implantés en toiture Sud (si elle existe et possède une inclinaison adaptée) et au plus proche du faîte pour éviter les surcharges de neige.

Il est parfois utile d'installer des panneaux orientés à l'Est. Car, fréquemment en montagne, le beau temps est précoce le matin et la détérioration apparaît en milieu de matinée. L'installation de panneaux à l'Est permet ainsi de capter ces premiers rayons de soleil.

Cependant, des implantations en façade, ou avant-toit peuvent avoir leur intérêt.



Figure 8 a : Refuge Quintino Sella al Félik – Aoste ; 35m², 48 modules, 3800Wc.