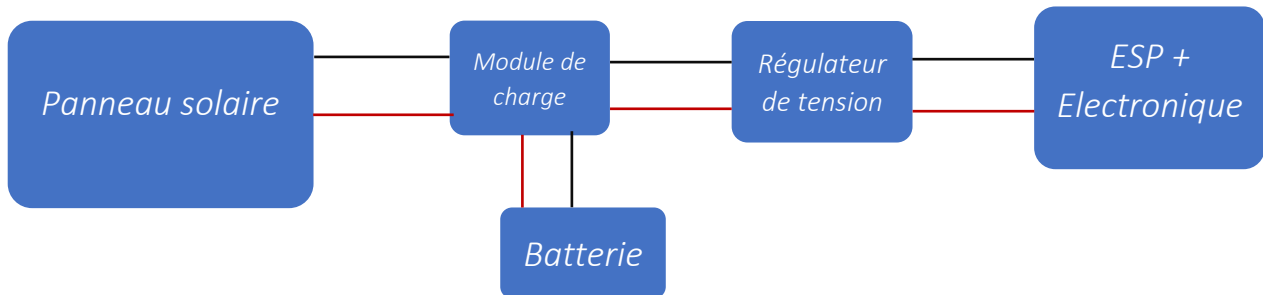


Choix des composants concernant l'aspect énergétique.

Contexte :

Nous avons pour missions de créer un objet connecté. Mais celui-ci doit être alimenté par une batterie qui se recharge grâce à un panneau solaire. En voici un schéma :



Besoins :

- **Le panneau solaire doit fournir assez d'Energie durant toute l'année.**
- **La batterie doit assurer une autonomie suffisante durant les nuits ou lorsque le panneau solaire ne peut pas assumer l'entièreté de sa fonction.**

Nous allons répondre aux questions :

- Quelle est la surface minimale du panneau solaire pour que l'alimentation de l'objet soit assurée ? Dans quelles conditions ?
- Quelle est la capacité minimale de la batterie pour que l'autonomie soit suffisante ? Dans quelles conditions ?

Pour cela nous allons suivre cette démarche :

- Etude de l'aspect énergétique du système
- Etude de l'environnement du système/ Détermination du cas où le système reçoit le moins d'Energie solaire
- Calcul de la surface minimale nécessaire du panneau solaire dans ces conditions
- Calcul de la capacité minimal nécessaire de la batterie dans ces conditions

Etude de l'aspect énergétique du système

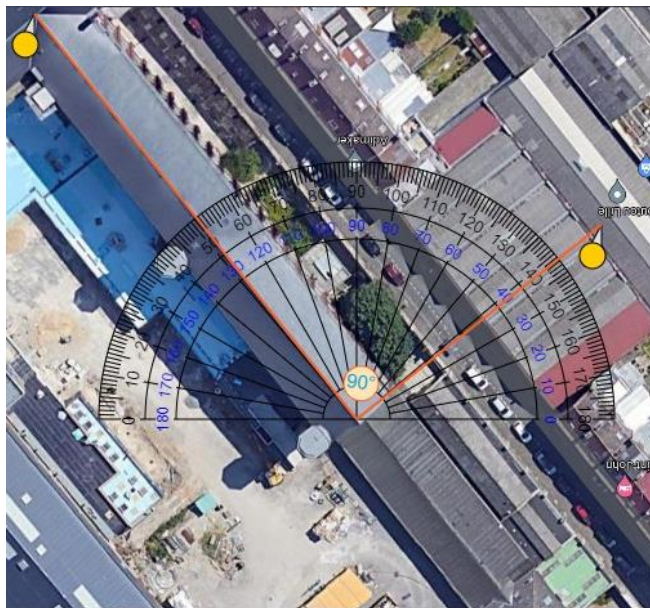
Tout d'abord nous pouvons déterminer avec plus de précision quelques un de ces composants :

- Les panneaux le plus utilisés pour ce genre d'application sont **les panneau polycristallin** dont le rendement se rapproche souvent (c'est notre cas) de **0.12**.
- **Une batterie lipo** est une bonne solution. Elle est compacte et a un bon rendement de charge décharge (0.9). Celle qui sera utilisé sera du 1S (**3.7v**). On trouve facilement des modules adaptés pour charger ce type de batterie. La capacité reste à déterminer.
- Le **module de charge** trouvé est **celui-ci**. Il a l'avantage de pouvoir charger la batterie via un port USB en plus d'un panneau solaire. Cependant, aucun rendement n'a été trouvé. Je l'ai donc estimé **à 0.8**.
- La tension d'une batterie lipo varie de 4.2v à 3v. Pour alimenter l'esp, il faut une tension comprise entre 3v et 3.6v. On ne peut donc pas se passer **d'un régulateur de tension**. Après quelques recherches, la meilleure solutions semble être ce **LDO regulator**. D'après certain utilisateurs, le rendement serait aux alentours de **0.8**.
- **L'ESP et les capteurs** consomment **1.69 wh/jour**

Voici des données utiles :

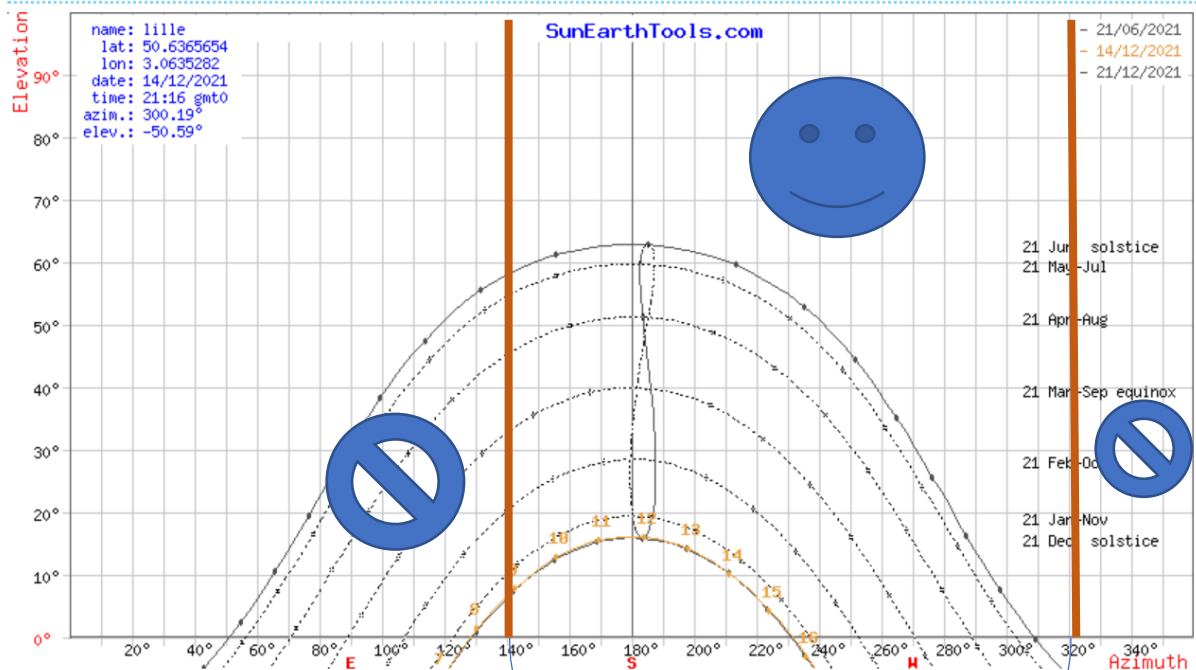
description	notation	valeur
Surface minimale du panneau solaire (en cm ²)	S _p	A déterminer
Rendement de conversion du panneau solaire	r _p	0.12
Rendement énergétique du module de charge	r _c	0.8
Rendement de charge/décharge de la batterie	r _b	0.9
Rendement énergétique du régulateur de tension	r _r	0.8
Rendement équivalent	r _e	=0.12*0.8*0.9*0.8=~0,069
Capacité minimale de la batterie (en mAh)	C _b	A déterminer
Autonomie voulue	T _a	96 h (soit 4 jours)
Consommation de l'électronique	E _c	1.69 wh/jour

Etude de l'environnement de l'objet :



L'objet sera situé au niveau des fenêtre **face Sud-Ouest**. Plus précisément : les fenêtres sont orientées à **51.5°** dans le sens trigonométrique en partant de la direction du sud. La vue de la fenêtre est donc **restreinte aux azimuts compris entre 141.5° et 321.5°**. Cette information est importante car elle veut dire que l'objet ne recevra pas la lumière du soleil tout le long de la journée. De cette vue, les autres bâtiments ne nous gênent pas car nous sommes assez haut.

Diagramme solaire (trajectoire du soleil dans le ciel) à Lille :



Le soleil est visible depuis la fenêtre

Détermination du cas où le système reçoit le moins d'Energie solaire

Comparaison de l'irradiation en Provence Alpes Côte d'Azur et Nord-Pas-de-Calais par rapport aux moyennes nationales (moyennes sur la période 2004-2012, IGH mensuelle en kWh/m²)

	Nord Pas de Calais (kWh/m²)	Ecart / Réf.	Provence Alpes Côte d'Azur (kWh/m²)	Ecart / Réf.	France (kWh/m²) (Réf.)
Janvier	24,0	-31%	55,1	58%	34,9
Février	37,8	-29%	79,1	48%	53,3
Mars	81,8	-17%	126,5	28%	98,6
Avril	132,6	-5%	161,9	16%	139,2
Mai	153,4	-8%	202,3	21%	167,5
Juin	163,9	-10%	223,3	22%	183,0
Juillet	163,0	-11%	236,5	29%	183,9
Août	126,9	-18%	202,8	31%	154,6
Septembre	99,7	-15%	147,7	26%	117,2
Octobre	61,0	-17%	100,8	37%	73,7
Novembre	26,8	-31%	61,4	58%	38,8
Décembre	18,3	-38%	47,3	61%	29,4
Total	1089,2	-15%	1644,8	29%	1274,1

Source : Centre Observation, Impacts, Energie - O.I.E – MINES ParisTech & ACOFI

D'après ce documents,

Le mois de l'année le plus difficile pour alimenter l'objet avec le panneau solaire est le mois de décembre. C'est le moment où les jours sont les plus court et où la météo est la moins bonne. Durant cette période, le nord n'est pas une région très ensoleillée : une surface horizontale ne reçoit que 693 wh/jour en moyenne. C'est donc dans ces conditions que la suite des calculs seront réalisés.

Calcul de la surface minimale nécessaire du panneau solaire dans ces conditions

- 1-la trajectoire du soleil dans le ciel
- 2-la puissance lumineuse reçue par une surface toujours perpendiculaire au rayons solaire
- 3-la puissance lumineuse reçue par une surface fixe inclinée à un certain angle
- 4-la quantité d'Energie reçu au court d'une journée
- 5-la surface nécessaire du panneau

1-la trajectoire du soleil dans le ciel

Exprimer son **azimut** (« position horizontale ») et son **élévation** angulaire en fonction du temps.

La position du soleil peut se calculer avec 3 informations : La localisation de l'observateur, le numéro du jour de l'année et l'heure d'observation.

La trajectoire du soleil n'est pas la même tous les jours, elle varie en fonction de la déclinaison solaire qui est défini par le jour (j) dans l'année. Le 1^{er} janvier étant j=1. La déclinaison solaire en radian se calcul comme ceci :

$$\delta(j) = -\frac{23.44 \pi}{180} \cos\left(\frac{2 \pi}{365} (j - 10)\right)$$

Seul 21 Décembre nous intéresse car c'est le jour le plus court de l'année. Dans notre cas, La déclinaison est donc fixe.

La position du soleil évolue au fur et à mesure que la terre tourne sur son axe. Cet angle peut se calculer en fonction de l'heure solaire ou l'heure de la journée (ça ne fait pas de différences dans notre cas).

$$\omega(h) = \pi \left(1 - \frac{h}{12}\right)$$

La trajectoire du soleil n'est pas la même partout. Elle varie en fonction de la localisation (surtout la latitude) de l'observateur.

L'élévation angulaire du soleil se calcul comme ceci :

$$\gamma(h) = \sin^{-1}(\sin(\delta(0)) \sin(\text{lat}) + \cos(\text{lat}) \cos(\delta(0)) \cos(\omega(h)))$$

L'azimut du soleil se calcul comme ceci :

$$\alpha(h) = \sin^{-1}\left(\frac{\cos(\delta(h)) \sin(\omega(h))}{\cos(\gamma(h))}\right)$$

2-la puissance lumineuse reçue par une surface toujours perpendiculaire au rayons solaire

La lumière traverse une couche plus ou moins épaisse d'atmosphère avant de taper le sol. L'épaisseur varie en fonction de l'élévation du soleil dans le ciel. Les rayons sont diffusés et réfléchis, et cela change beaucoup au fil des heures. A tel point que cela n'est pas négligeable. La quantité d'air équivalente à traversée peut être exprimée en fonction de l'élévation du soleil :

$$MA(\theta) = \sqrt{\left(708 \cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)\right)^2 + 708 \cdot 2 + 1 - 708 \cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)}$$

Il faut ensuite l'exprimer en fonction de l'heure : $MA_h(h) = MA(\gamma(h))$

Puis la puissance reçue sur la surface perpendiculaire aux rayons

se calcule ainsi : $P_{sp}(h) = 1.1 \cdot 1353 \cdot 0.7^{(MA_h(h))^{0.678}}$

Pour être plus proche de la réalité, introduisons des coefficients qui vont simuler les obstacles (les murs qui bloquent le soleil) et la météo qui bloque constamment une partie des rayons :

$$C_o(h) = \underbrace{\text{Si}(\gamma(h) > 0^\circ, 1, 0)}_{\text{La luminosité passe à 0\% quand le soleil est sous l'horizon}} \underbrace{\text{Si}(39.5^\circ - 180^\circ < \alpha(h) < 39.5^\circ, 1, 0.20)}_{\text{La luminosité passe à 20\% quand le soleil est bloqué. C'est la part de rayonnement indirect.}}$$

La luminosité passe à 0% quand le soleil est sous l'horizon

La luminosité passe à 20% quand le soleil est bloqué. C'est la part de rayonnement indirect.

Concernant la part de lumière bloquée par la mauvaise météo :

Calculons l'énergie reçue sur une surface horizontale en cas de météo parfaite :

$$E_{21} = \text{Intégrale}(P_{sh}(h), 0, 24)$$

$$\rightarrow 745.56$$

Comparons-la avec les données réelles (693 wh/jour) Prenons 500wh/jour au solstice d'hivers, pour prendre de la marge.

$$C_m(h) = \frac{500}{E_{21}}$$

$$\rightarrow \frac{500}{745.56}$$

$$P_{rsp}(h) = P_{sp}(h) C_m(h) C_o(h)$$

3-la puissance lumineuse reçue par une surface fixe inclinée à un certain angle

Notre panneau sera fixe. Il ne suit pas le soleil. Il y a donc une perte d'Energie supplémentaire car le panneau ne sera pas tourné vers les rayons. La puissance sur cette surface immobile est liée à la déclinaison entre la perpendiculaire du panneau, et les rayons du soleil. Cet angle de déclinaison est :

Avec θ l'angle d'élévation du panneau solaire :

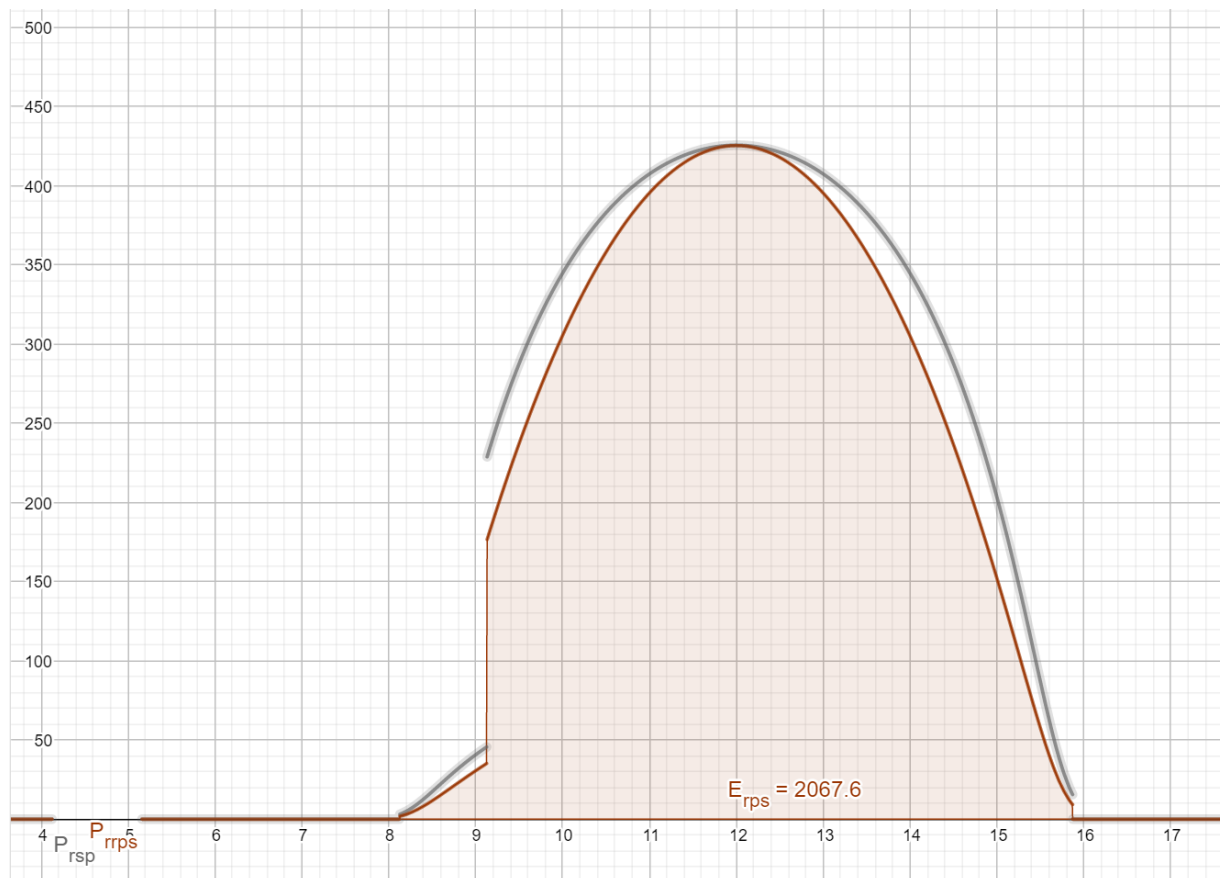
$$\phi(h) = \cos^{-1}(\cos(\gamma(h)) \cos(\alpha(h)) \cos(\theta) + \sin(\theta) \sin(\gamma(h)))$$

Il faut donc affecter un coefficient à la puissance solaire. Cela donnera la puissance que reçoit réellement le panneau solaire :

$$P_{rrps}(h) = C(h) P_{rsp}(h)$$

4-la quantité d'Energie reçue par le panneau au court d'une journée

Il suffit de faire l'intégrale de la puissance. On peut comparer ici la puissance reçue par une surface qui s'oriente vers le soleil vs une surface fixe inclinée à 14° :



5-la surface nécessaire du panneau

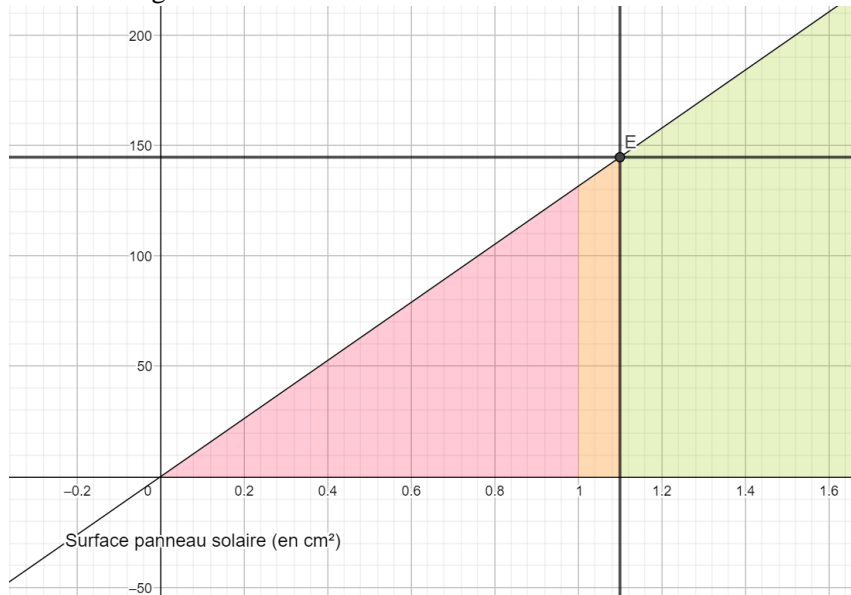
Nous avons enfin évalué l'énergie de surface journalière d'une surface dans le pire des cas :

$$E_s = 2067.6 \text{ wh/m}^2/\text{jour}$$

Le rendement équivalent du système est de 0,069. C'est-à-dire que seul 6.9% de l'énergie solaire peut être convertie et utilisé.

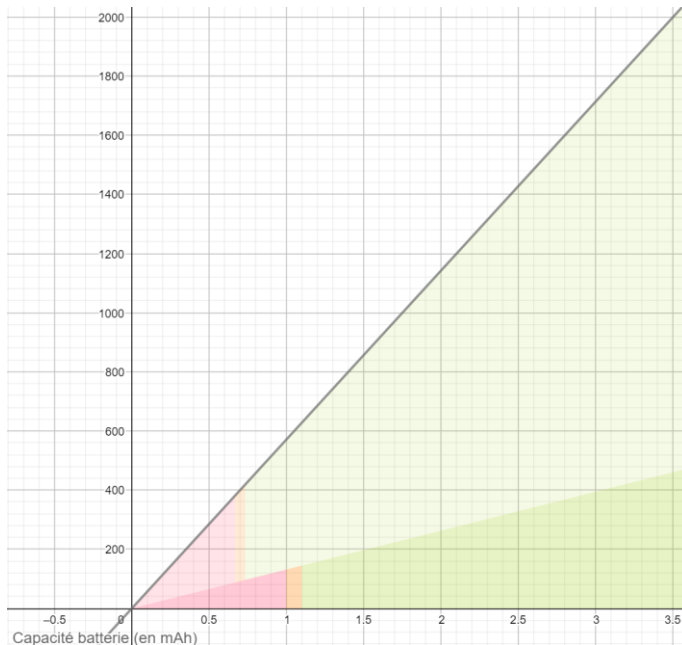
Il faut que l'énergie solaire reçue sur la surface du panneau $E_p \geq E_c / r_e$

Un panneau de 145 cm^2 suffirait puisqu'il procurerait 110% de l'énergie minimale nécessaire, soit 10% de marge :



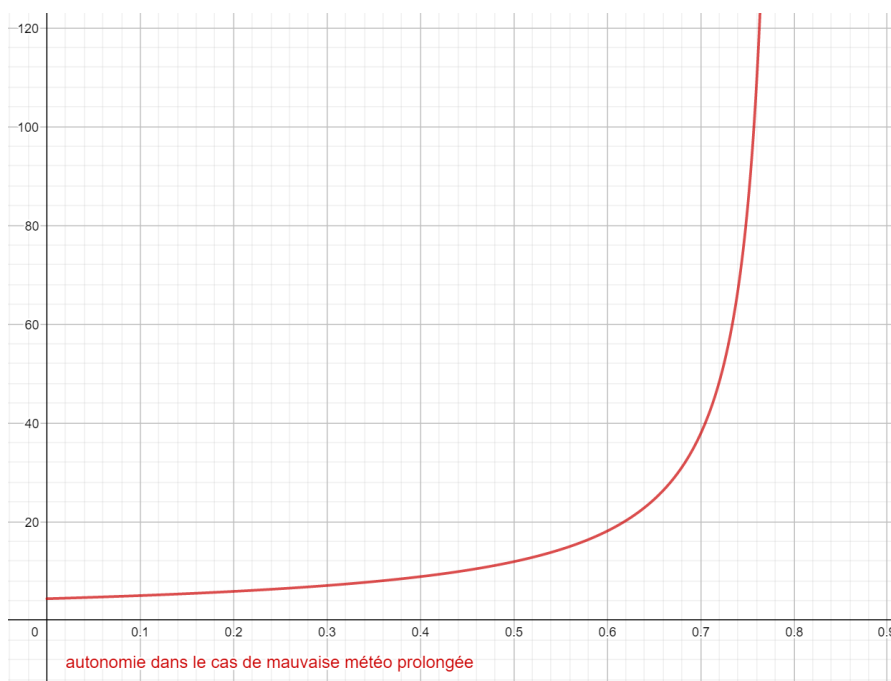
Calcul de la capacité minimale nécessaire de la batterie dans ces conditions

Capacité minimale en fonction de l'autonomie en jour :



Une batterie de 400 mAh pourrait être suffisante pour tenir la nuit. Mais les mesures sur lesquelles sont basées ces calculs, sont des moyennes. L'Energie des rayonnements solaires peuvent être insuffisant pendant plusieurs jours à cause du mauvais temps. C'est pour cela qu'il faut impérativement choisir une batterie plus grosse. Cela ajoutera de « l'inertie » au modèle énergétique de l'objet.

Dans le cas d'une batterie 2000mAh, voici l'autonomie en jour en fonction du coefficient d'exposition :



Lorsque l'énergie du panneau solaire ne suffit pas, le bilan énergétique du système est décroissant. La batterie se décharge peu à peu.

$X=0.6$ signifie que seulement 60% des rayons attendu ont été capté.

Ainsi, si les mauvaises conditions météo ne laissent passer en moyenne que 50% de l'énergie solaire pendant une durée prolongée, l'autonomie de l'objet sera de 15 jours.

Une batterie lipo 3.7v 2000mAh est suffisante.

CONCLUSION

En conclusion, plusieurs choses qui influencent le choix des composants ont été déterminées :

- La surface minimale conseillée du panneau solaire est de 145 cm^2
- La capacité conseillée de la batterie est de 2000 mAh (flexible de 30%)

Dans quelles mesures l'autonomie est garantie ?

- Le panneau est orienté plein sud (+ou- 15°)
- Le panneau est inclinée de 14° par rapport à la verticale (+ou- 15°)
- Les rayons lumineux ne sont pas trop ou trop longtemps bloqués

Commentaire :

Des mesures ont été prises pour que l'Energie reçue soit suffisante. Mais il n'est pas exclu qu'une météo mauvaise durant longtemps amène la batterie vers une décharge totale.