

Dimensionner une installation solaire

Contents

1	Rayonnement Incident sur les Panneaux Solaires	2
1.1	Expression du vecteur "rayon solaire" dans le repère des panneaux	2
1.2	Angle entre le rayon solaire et la normale aux panneaux solaires .	4
2	Efficacité d'une installation solaire	6
2.1	Pertes "Naturelles"	7
2.1.1	Absorption atmosphérique	7
2.1.2	Incidence non-optimale	9
2.2	Pertes du système hydraulique	9
2.2.1	Dissipation dans les tuyaux	9
2.2.2	Ballon d'eau chaude	10
2.2.3	Puissance du circulateur	10
2.2.4	Radiateurs	11
2.2.5	Chauffe-eau	12
3	Divers	12
3.1	Température	12
3.2	Calcul de la durée du jour	13
3.3	Logique de chauffe	13
3.4	Les sorties graphiques du programme	14

Le Soleil fait l'objet de bien des débats, parfois éclairés, souvent passionnés. Ce document, et le programme associé, ont pour but d'évaluer les opportunités d'une installation solaire en s'appuyant sur des ordres de grandeur, notamment de l'énergie récupérable en fonction de l'heure et de la saison. L'énergie qui nous vient du Soleil est donc la source d'énergie qui nous intéresse dans ce document, qu'elle soit ensuite transformée en chaleur ou en énergie électrique. Qui dit "transformation d'énergie" dit "pertes" et l'un des buts de ce document (et du programme) est d'évaluer le rendement d'une installation solaire, que ce soit pour produire de l'électricité ou pour chauffer de l'eau sanitaire.

1 Rayonnement Incident sur les Panneaux Solaires

L'énergie récupérée par un panneau est proportionnelle à la quantité de rayonnement qu'il capte. Elle est donc proportionnelle à la surface de panneaux vue par les rayons. Cette surface "efficace" est égale à la surface projetée dans le plan perpendiculaire aux rayons solaire et va donc dépendre de :

1. l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre θ_0 , aussi appelée **obliquité** (voir Figure 1). Cette obliquité est à l'origine des saisons.
2. la **date** d , qui détermine la position de la Terre autour du soleil, et donc son passage au travers des saisons
3. l'**heure** h , qui va déterminer la trajectoire du soleil
4. les coordonnées géographiques (**latitude** λ et **longitude**) de la localisation des panneaux. Ici, seule la latitude sera exploitée, puisque la longitude n'apporte qu'un déphasage par rapport à l'horaire de référence. On peut aussi considérer que l'heure h mentionnée ci-dessus est l'horaire dans le fuseau local. Notons qu'une latitude positive est située dans l'hémisphère Nord et que la France est situé à une latitude proche de $\lambda = -45^\circ$
5. l'**orientation** des panneaux solaires

1.1 Expression du vecteur "rayon solaire" dans le repère des panneaux

Le calcul de la surface des panneaux S_{eff} projetée dans le plan perpendiculaire au rayonnement nécessite de connaître le vecteur du rayonnement solaire exprimé dans le repère local des panneaux. Plusieurs changements de repères successifs vont être appliquées pour trouver cette expression.

1. Le repère solaire fixe \mathcal{R}_{Sf} . Il est centré sur le Soleil et est invariable en fonction du temps. Le vecteur \vec{x}_{Sf} point depuis le Soleil vers la position de la Terre au 21 décembre.

2. Le repère solaire tournant \mathcal{R}_{St} . Il est centré sur le Soleil et tourne avec la Terre autour du Soleil : l'axe \vec{x}_{St} pointe depuis le Soleil vers la Terre.
3. Le repère terrestre \mathcal{R}_1 . Il est centré sur la Terre et est incliné de l'obliquité. Notons que l'obliquité est définie par rapport au repère \mathcal{R}_{Sf} .
4. Le repère horaire local \mathcal{R}_2 . Il est centré sur la Terre et tourne au fil de la journée.
5. Le repère géographique local \mathcal{R}_3 . Il est centré sur les panneaux solaires, et l'axe \vec{x}_3 pointe vers le ciel, \vec{z}_3 vers le Nord et \vec{y}_3 vers l'Ouest.
6. Le repère intermédiaire du panneau \mathcal{R}_4 . Il est centré sur les panneaux et a suivi le mouvement de *lacet* β_p appliqué aux panneaux.
7. Le repère final du panneau \mathcal{R}_5 . Il est centré sur les panneaux et a suivi le mouvement de *tangage* θ_p appliqué aux panneaux.

La surface des panneaux S_{eff} effectivement vue par les rayons solaires dépend de l'angle α entre la normale¹ \vec{z}_5 aux panneaux et le vecteur des rayons solaires \vec{ST} :

$$S_{eff} = S_{panneaux} \cdot \cos(\alpha) \quad (1)$$

On définit ainsi le rendement "surface" η_{surf} comme étant égal au ratio de la surface de panneaux vue par les rayons solaires sur la surface réelle des panneaux :

$$\eta_{surf} = \cos(\alpha) \quad (2)$$

Pour déterminer cet angle, on commence par exprimer le vecteur \vec{ST} dans le repère \mathcal{R}_5 des panneaux solaires où : (\vec{x}_5, \vec{y}_5) donne le plan des panneaux et \vec{z}_5 donne la normale. Le vecteur \vec{ST} s'exprime simplement dans le repère centré sur le Soleil et tournant avec la Terre \mathcal{R}_{St} :

$$\vec{ST} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}_{\mathcal{R}_{St}} \quad (3)$$

On passe du repère Soleil tournant \mathcal{R}_{St} au repère Soleil fixe \mathcal{R}_{Sf} par une rotation d'angle d autour de \vec{z}_{St} :

$$L_{St \rightarrow Sf} = L_{\vec{z}_{St}}(d) \quad (4)$$

Puis on passe du repère Soleil fixe \mathcal{R}_{Sf} au repère terrestre incliné de l'obliquité \mathcal{R}_1 par une rotation d'angle θ_0 autour de \vec{y}_{Sf} :

$$L_{Sf \rightarrow 1} = L_{\vec{y}_{Sf}}(\theta_0) \quad (5)$$

¹Normale \approx perpendiculaire

Puis on passe du repère terrestre incliné de l'obliquité \mathcal{R}_1 au repère horaire \mathcal{R}_2 par une rotation d'angle h autour de \vec{z}_1 :

$$L_{1 \rightarrow 2} = L_{\vec{z}_1}(h) \quad (6)$$

Puis on passe du repère horaire \mathcal{R}_2 au repère géographique local \mathcal{R}_3 par une rotation d'angle λ autour de \vec{y}_2 :

$$L_{2 \rightarrow 3} = L_{\vec{y}_2}(\lambda) \quad (7)$$

Puis on passe du repère géographique local \mathcal{R}_3 au repère intermédiaire du panneau \mathcal{R}_4 par une rotation d'angle β_p autour de \vec{x}_3 :

$$L_{3 \rightarrow 4} = L_{\vec{x}_3}(\beta_p) \quad (8)$$

Et enfin on passe du repère intermédiaire du panneau \mathcal{R}_4 au repère final du panneau \mathcal{R}_5 par une rotation d'angle θ_p autour de \vec{y}_4 :

$$L_{4 \rightarrow 5} = L_{\vec{y}_4}(\theta_p) \quad (9)$$

On peut maintenant exprimer le vecteur des rayons solaires dans le repère du final des panneaux:

$$\vec{ST}_5 = L_{4 \rightarrow 5} \cdot \left(L_{3 \rightarrow 4} \cdot \left(L_{2 \rightarrow 3} \cdot \left(L_{1 \rightarrow 2} \cdot \left(L_{Sf \rightarrow 1} \cdot \left(L_{St \rightarrow Sf} \cdot \vec{ST}_{St} \right) \right) \right) \right) \right) \quad (10)$$

Qui peut aussi s'écrire, en utilisant les descriptions d'angles et d'axes de rotation:

$$\boxed{\vec{ST}_5 = L_{\vec{y}_4}(\theta_p) \cdot \left(L_{\vec{x}_3}(\beta_p) \cdot \left(L_{\vec{y}_2}(\lambda) \cdot \left(L_{\vec{z}_1}(h) \cdot \left(L_{\vec{y}_{Sf}}(\theta_0) \cdot \left(L_{\vec{z}_{St}}(d) \cdot \vec{ST}_{St} \right) \right) \right) \right) \right)} \quad (11)$$

L'expression précédente nous permet désormais d'exprimer \vec{ST} dans le repère \mathcal{R}_5 des panneaux.

1.2 Angle entre le rayon solaire et la normale aux panneaux solaires

L'angle entre le rayon solaire \vec{ST} et le panneau est donné par l'angle entre \vec{ST} et la projection \vec{ST}_{\parallel} de ce vecteur dans le plan (\vec{y}_5, \vec{z}_5) .

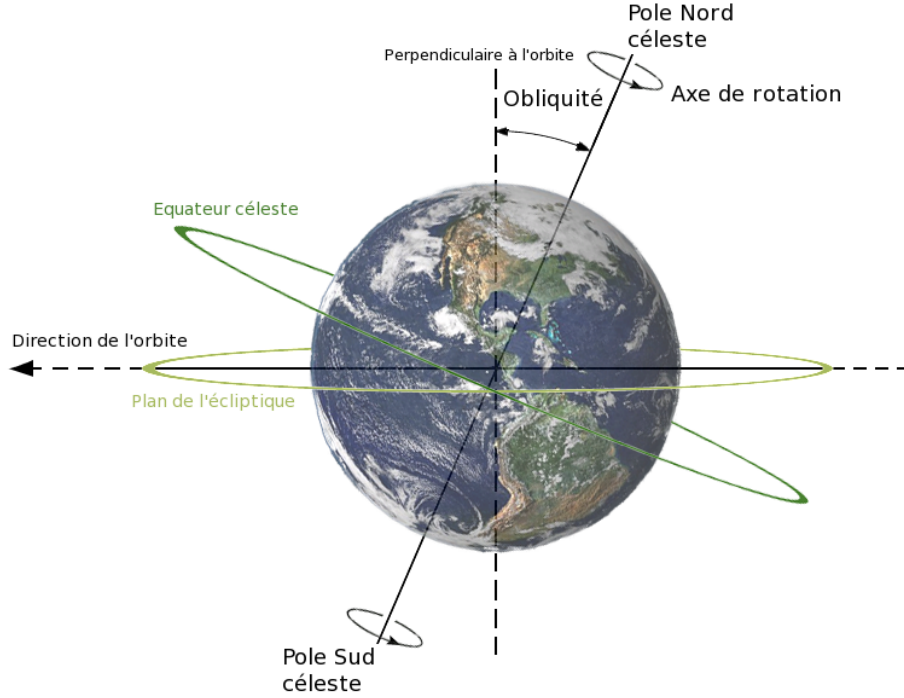


Figure 1: Visualisation de l'obliquité terrestre, égale à l'inclinaison de l'axe de rotation par rapport à la normale au plan orbital.

Sachant que $\vec{ST} \cdot \vec{ST}_{\parallel} = |\vec{ST}| \cdot |\vec{ST}_{\parallel}| \cdot \cos(\alpha)$, on trouve (à condition que $\vec{ST}_{\parallel} \neq \vec{0}$):

$$\alpha = \arccos \left(\frac{\vec{ST} \cdot \vec{ST}_{\parallel}}{|\vec{ST}| \cdot |\vec{ST}_{\parallel}|} \right) \quad (12)$$

Le rendement "de surface" η_{surf} des panneaux, en fonction de l'heure et de la saison est ainsi donné par l'expression suivante:

$$\boxed{\eta_{surf} = \frac{\vec{ST} \cdot \vec{ST}_{\parallel}}{|\vec{ST}| \cdot |\vec{ST}_{\parallel}|}} \quad (13)$$

La même approche permet aussi de déterminer la durée du jour, qui correspond à la période pendant laquelle le soleil est au dessus de l'horizon. On utilisera donc le vecteur \vec{ST} exprimé dans le repère local \mathcal{R}_3 pour calculer la durée du jour. On suppose qu'il fait jour tant que le Soleil est au dessus de l'horizon (voir 3.2).

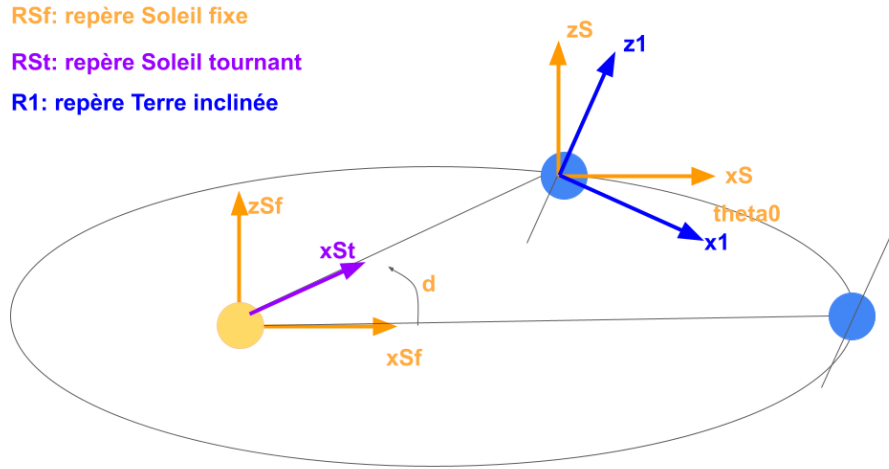


Figure 2: Visualisation des repères solaires (tournant et fixe) et terrestre.

2 Efficacité d'une installation solaire

Le rendement d'un panneau solaire thermique (pour produire de l'eau chaude) est supposé être de 80% tandis que celui d'un panneau photovoltaïque (pour générer de l'électricité) est supposé être de 25%.

L'énergie récupérée en aval de l'installation résulte de l'énergie solaire à laquelle il faut retirer des pertes, dans les deux cas (solaire thermique ou photovoltaïque):

- Les pertes d'absorption des rayons solaires qui traversent l'atmosphère
- Les pertes liées à l'angle entre le rayon solaire et le panneau

A ces pertes "naturelles" il convient de rajouter des pertes d'installation qui sont spécifiques à l'installation solaire thermique.

- La dissipation de chaleur des tuyaux hydrauliques
- La dissipation de chaleur des ballons d'eau chaude (ballon tampon et cumulus)²
- Les pertes liées au fonctionnement du circulateur pendant les heures de chauffe. Le circulateur requiert en effet de l'énergie électrique pour fonctionner.

²A noter que lors du calcul du rendement de l'installation, les pertes du cumulus ne sont pas comptées. Il est en effet supposé que ces pertes sont présentes avec ou sans l'installation solaire.

R1: repère Terre inclinée

R2: repère heure h

R3: repère latitude

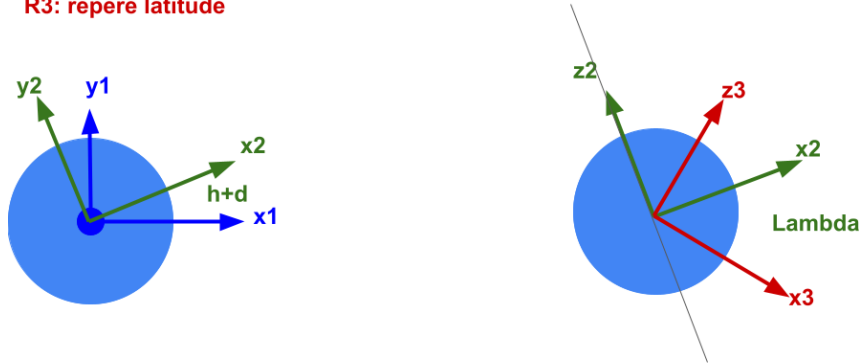


Figure 3: Visualisation des repères solaires (tournant et fixe) et terrestre.

2.1 Pertes "Naturelles"

Cette section décrit deux éléments naturels qui sont pris en compte dans le calcul de l'efficacité d'une installation solaire: l'effet d'absorption atmosphérique et l'effet d'incidence.

2.1.1 Absorption atmosphérique

L'atmosphère terrestre protège notamment notre civilisation de gros écarts de température ou de rayonnements nocifs pour la santé. Mais qui dit atmosphère dit aussi qu'une partie de l'énergie solaire qui impacte le haut de l'atmosphère n'atteint pas la surface terrestre.

En effet, les rayons lumineux, dans leur trajet depuis le Soleil vers les panneaux solaires, traversent l'atmosphère qui n'est pas un gaz totalement transparent. Les molécules qui la composent, les nuages qui s'y trouvent, absorbent ou reflètent une partie des rayonnements solaires. Seule l'absorption est prise en considération dans ce document en faisant l'hypothèse qu'elle est proportionnelle à l'épaisseur de l'atmosphère traversée par les rayons solaires.

L'atmosphère est supposée avoir une épaisseur fixe de 500km tout autour du globe (valeur récupérée sur le site de l'académie de Nantes³, le 21 Mars à l'équateur). La figure 8 montre graphiquement comment la méthode de calcul de l'épaisseur d'atmosphère traversée par un rayon solaire.

L'angle du soleil au dessus de l'horizon est noté γ , et on note β l'angle entre

³<https://www.pedagogie.ac-nantes.fr/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/laboratoire/logiciels-et-tutoriels/simuler-le-rayonnement-solaire-237424.kjsp>

R3: repère latitude
R4: repère panneau
R5: repère panneau

La plan du panneau est le plan (y5,z5)
Si betap et thetap = 0, alors le panneau est orienté face au sud, et vers le ciel: le panneau est horizontal.

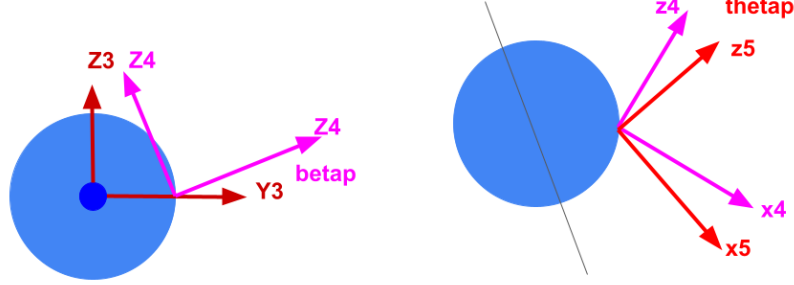


Figure 4: Visualisation des repères solaires (tournant et fixe) et terrestre.

la verticale locale et le rayon solaire $\beta = \frac{\pi}{2} + \gamma$. Ainsi la loi d'Al-Kashi s'écrit:

$$(R + H)^2 = R^2 + e_{atm}^2 - 2.e_{atm}.R.cos(\beta) \quad (14)$$

En développant on trouve ainsi l'équation suivante, du second degré en e :

$$e_{atm}^2 - 2Rcos(\beta).e_{atm} + (R^2 - (R + H)) = 0 \quad (15)$$

La solution positive à cette équation du second degré est:

$$e_{atm} = Rcos(\beta) + R\sqrt{cos^2(\beta) + h^2 + 2h} \quad (16)$$

Nous pouvons désormais calculer le taux d'absorption η_{atm} des rayonnements solaires par l'atmosphère comme une fonction de l'épaisseur de l'atmosphère:
 $\eta_{atm} = \eta_{atm}(e_{atm})$

La puissance solaire P_{aval} par unité de surface en aval de l'atmosphère est calculée par interpolation dans les tables du site de l'académie de Nantes.

$$P_{aval} = P_{amont} \cdot \eta_{atm} \quad (17)$$

Un panneau solaire n'absorbe pas l'ensemble du rayonnement solaire sur la totalité de son spectre. Ainsi la puissance P_{dispo} du panneau solaire est alors égale à la puissance P_{aval} du rayonnement solaire qui l'impacte modulée par le rendement $\eta_{panneau}$ du panneau solaire.

$$P_{dispo} = P_{aval} \cdot \eta_{panneau} \quad (18)$$

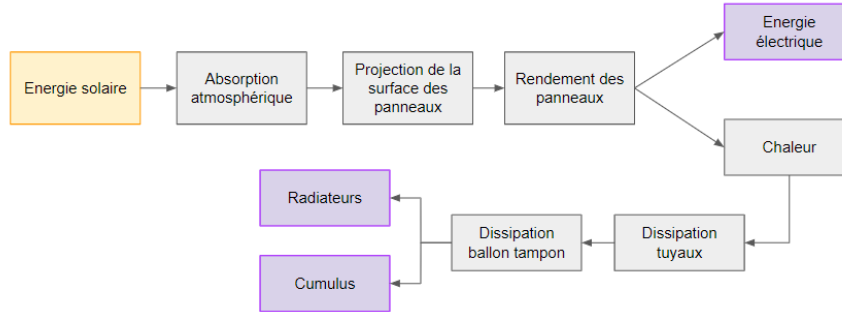


Figure 5: Schéma de principe d'une installation solaire avec identification des différentes "pertes".

2.1.2 Incidence non-optimale

Le rendement des panneaux est directement lié à la surface de panneaux "vue" par le rayonnement solaire. Ainsi, le rendement est maximal quand les rayons solaires (définis par le vecteur allant du Soleil au point où les panneaux sont installés) sont perpendiculaires au plan du panneau.

Le Soleil décrit une trajectoire dans le ciel qui varie tout au long d'une journée et des saisons, ainsi son incidence par rapport à un panneau solaire fixe (on suppose qu'il n'y a pas de trackeur) est non constante et le panneau opère la plupart du temps à une incidence différente de l'incidence optimale de 90° .

2.2 Pertes du système hydraulique

Un échange d'énergie a nécessairement lieu entre deux systèmes dès qu'il existe un écart de température entre eux. Il est donc à prévoir qu'un flux de chaleur aura lieu depuis les tuyaux (transportant de l'eau chaude) vers l'air des combles, et depuis les ballons d'eau chaude (tampon ou cumulus) vers l'air de la maison. A ces pertes de chaleur, il faudra aussi considérer l'investissement d'énergie sous forme électrique pour faire circuler les liquides entre les panneaux et le ballon tampon, ainsi qu'entre le ballon tampon et les radiateurs.

2.2.1 Dissipation dans les tuyaux

La conductivité thermique d'un isolant (notamment ceux de Solaire diffusion) est de l'ordre de $\lambda = 4.2 \cdot 10^{-2} \text{ W/(m.K)}$. Cette conductivité thermique indique la puissance dissipée par unité de surface (liée à la surface du tuyau) et par unité de gradient thermique (lié à l'épaisseur de l'isolant). On peut donc écrire $\lambda = 4.2 \cdot 10^{-2} \text{ W/(m}^2) \cdot 1/(K/m)$.

Ainsi, un tuyau de 20m de long, de diamètre 16mm a une surface de

$$s = 20 \cdot (\pi \cdot 1.6 \cdot 10^{-2})^2 = 0.2 \text{ m}^2$$

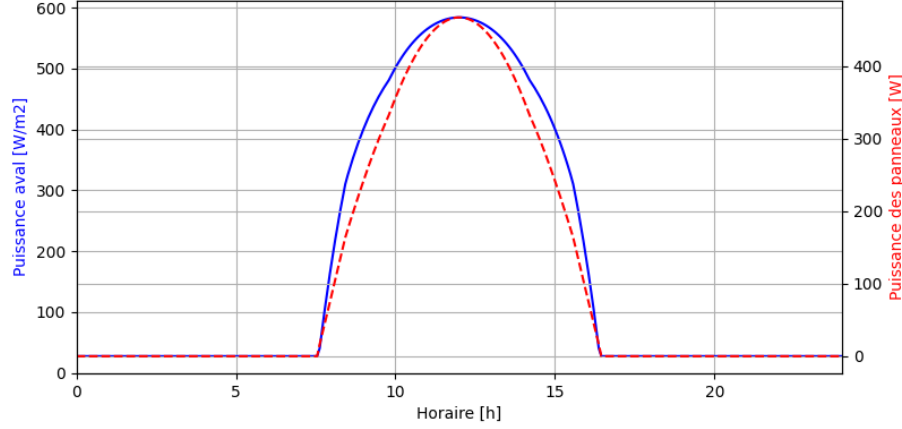


Figure 6: Puissance solaire impactant la surface de la Terre, et puissance disponible sur le panneau après prise en compte des effets d'incidence.

Supposons que l'écart de température soit de $\Delta T = 40C$ entre l'intérieur du tuyau et l'extérieur, et que l'épaisseur d'isolant soit e .

La puissance dissipée dans ce tuyau est alors

$$P = \lambda \cdot S \cdot (\Delta T / e) \quad (19)$$

Soit de l'ordre de $P = 4.2 \cdot 10^{-2} \cdot 0.2 \cdot (40/15 \cdot 10^{-3}) = 23W$

2.2.2 Ballon d'eau chaude

De même que précédemment, la puissance perdue par dissipation de chaleur au travers du ballon tampon est

$$P_{ballon} = \lambda \cdot S \cdot \frac{\Delta T}{e} \quad (20)$$

Le chauffe-eau a un volume d'eau de 150L, et un volume extérieur de 200L. On peut donc déterminer l'épaisseur de l'isolation de la cuve du ballon:

$$\frac{\pi R^2 \cdot L}{\pi(R - e)^2 \cdot (L - e)} \approx \frac{200}{150}$$

On trouve ainsi $(1 - \frac{e}{R})^2 \approx 3/4$, soit $e = 6cm$.

L'ordre de grandeur de la puissance dissipée au travers d'un cumulus est de:
 $P = (4.2 \cdot 10^{-2} W/(m.K)) \cdot (1.7m^2) \cdot (\frac{30K}{6cm}) = 35W$

2.2.3 Puissance du circulateur

On suppose qu'il y a deux circulateurs dans l'installation, qui fonctionnent de manière indépendante:

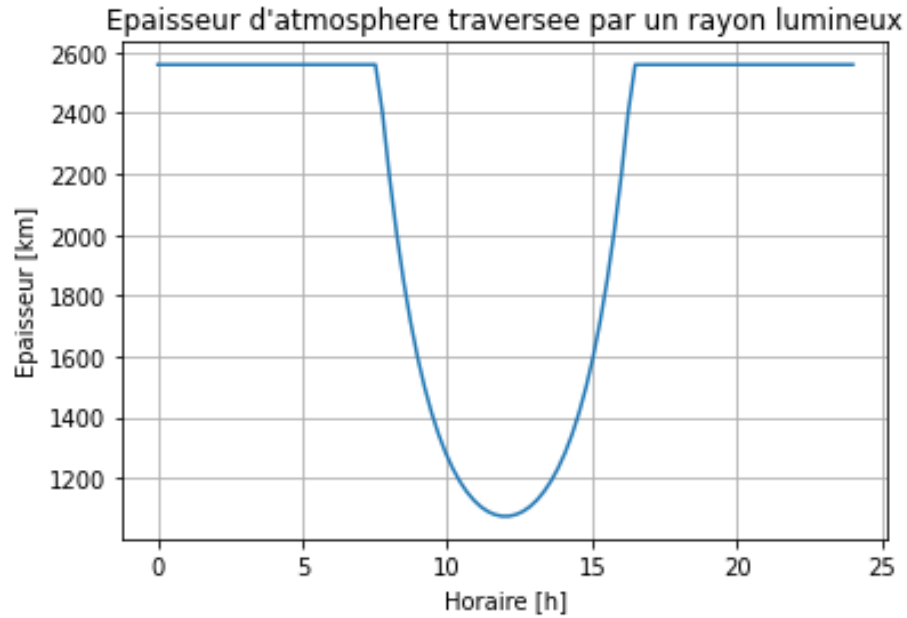


Figure 7: Epaisseur d'atmosphere traversee par un rayon solaire, le 21 decembre à la latitude 43° Nord.

1. Un pour faire circuler le liquide caloporteur entre les panneaux et le ballon tampon
2. Un entre le ballon tampon et les radiateurs

Les fabricants indiquent une puissance nécessaire comprise entre 6 et 45W pour un circulateur (Solaire Diffusion)

2.2.4 Radiateurs

La puissance d'un radiateur peut s'écrire comme une fonction de :

- La puissance nominale du radiateur P_0 pour un écart de température de référence ΔT_0
- L'écart de température observé ΔT
- La "pente de la courbe" $\gamma = 1.3$

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{\Delta T}{\Delta T_0} \right)^\gamma \quad (21)$$

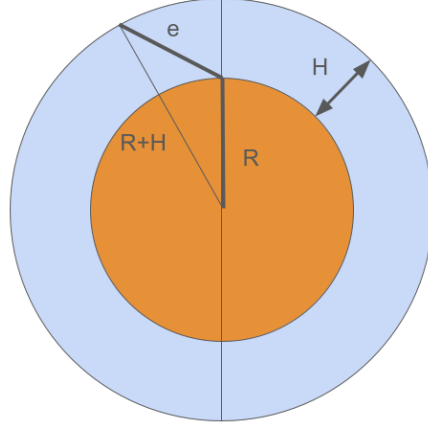


Figure 8: Visualisation de l'épaisseur d'atmosphère traversée par un rayon solaire.

2.2.5 Chauffe-eau

Il est supposé que toute la consommation d'eau chaude intervient le soir entre 19h et 20h (au moment des douches/repas). Ainsi une masse M_{ECS} d'eau froide entre dans le ballon tampon, et une masse M_{ECS} d'eau à température "tampon" entre dans le cumulus. L'écart d'énergie pour le ballon tampon est alors $\Delta E_{tampon} = C_p \cdot M_{ECS}(T_{froide} - T_{tampon})$ et pour le cumulus: $\Delta E_{cumulus} = C_p \cdot M_{ECS}(T_{tampon} - T_{cumulus})$

La puissance échangée entre le ballon tampon et le cumulus vaut:

$$P = C_p \cdot \Delta T \cdot d \quad (22)$$

Où d est le débit d'eau entre les deux cumulus : $d \approx 10kg/min$, soit en unité SI : $d \approx 0.15kg/s$

3 Divers

3.1 Température

La hausse de température dans le ballon est calculée par l'incrément d'énergie apportée.

$$\Delta E = P \Delta t = C_p \cdot \Delta T \cdot \mathcal{V}$$

$$\text{Ainsi, } \Delta T = \frac{P \cdot \Delta t}{C_p \cdot \mathcal{V}}$$

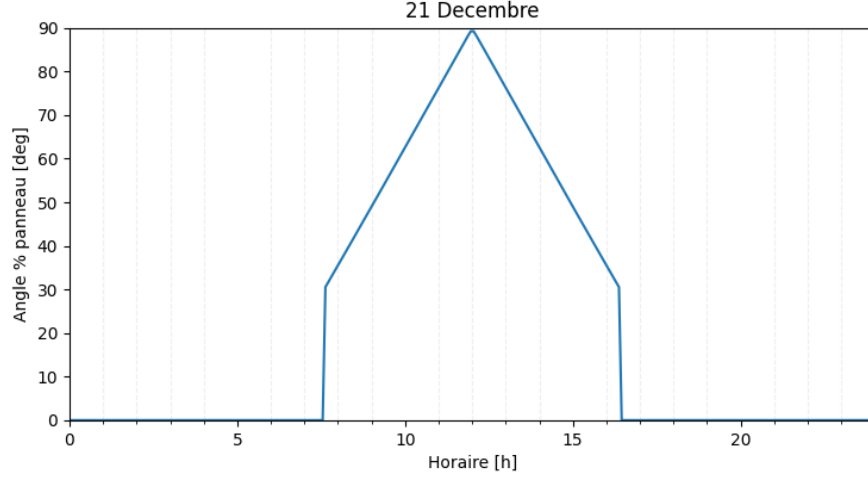


Figure 9: Angle entre le rayonnement solaire et le panneau, au 21 décembre pour un panneau orienté Sud incliné à 67° .

La puissance utilisée ci-dessus est donnée par:

$$P = P_{soleil} - P_{ballon} - P_{tuyaux} \quad (23)$$

3.2 Calcul de la durée du jour

La durée du jour est calculée à partir des horaires de levé et de couché du soleil. Ces horaires sont définis respectivement comme le premier et le dernier instant de la journée auquel l'angle $\alpha(S - H)$ du rayon Soleil-Terre \overrightarrow{ST} au dessus de l'horizon (\vec{y}_3, \vec{z}_3) est positif.

La valeur de l'angle $\alpha(S - H)$ est calculé par la même approche que celle décrite dans l'équation 12.

3.3 Logique de chauffe

Il est supposé que le système panneau solaire + ballon + radiateur est équipé de deux circulateurs indépendants: un qui permet les échanges de chaleur entre le panneau et la ballon tampon, et un second qui permet un échange d'énergie entre la ballon tampon et les radiateurs.

Le circulateur des panneaux solaires est supposé être en fonctionnement dès lors que la puissance disponible sur la panneau solaire est supérieure à la puissance du circulateur. En réalité il faudrait calculer la température du fluide dans les panneaux⁴.

⁴Non calculée dans le programme par manque de connaissance du volume de fluide dans les panneaux ainsi que des propriétés d'isolation thermique des panneaux.

Le circulateur des radiateurs est supposé être en route en hiver seulement et uniquement si la température du ballon tampon est supérieure à la température intérieure. Les radiateurs peuvent ainsi continuer de fonctionner même si le soleil est couché, tant que le ballon tampon est plus chaud que la température intérieure (supposée constante à 19°).

A 19h, et pendant une heure, une masse M_{ECS} d'eau chaude est tirée (vaisselle et douche notamment), ce qui fait entrer de l'eau froide dans la ballon tampon et de l'eau "tampon" dans le cumulus.

3.4 Les sorties graphiques du programme

Sur les graphiques d'analyse annuelle (voir fig 10):

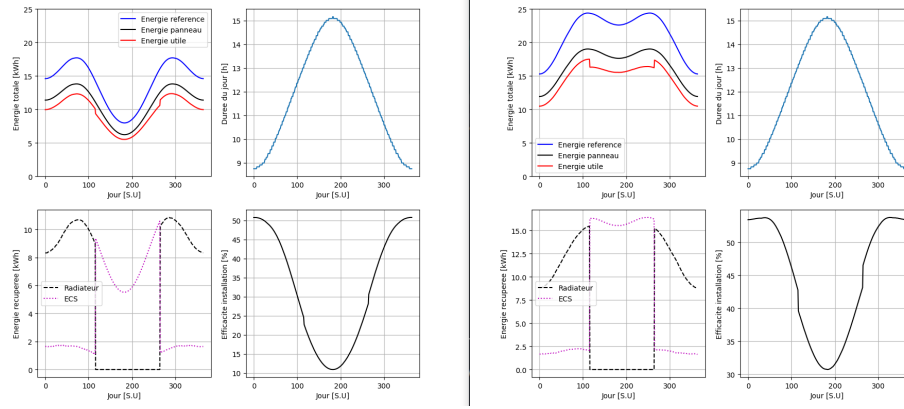


Figure 10: Comparaison de deux installations, une inclinée à 60° (droite), l'autre à 90° (gauche), avec du chauffage par radiateur .

- **Energie référence:** c'est l'énergie solaire, après avoir traversé l'atmosphère, qui peut être captée par les panneaux. Les pertes liés à l'absorption et à l'inclinaison des panneaux est donc prise en considération.
- **Energie panneau :** c'est l'énergie récupérée par le panneau, en prenant en compte l'efficacité des panneaux.
- **Energie utile :** c'est l'énergie récupérée à laquelle on retranche les pertes d'installation du système (la dissipation dans les tuyaux et dans la ballon tampon). Les pertes du cumulus ne sont pas considérées puisqu'elles ont lieu avec ou sans installation solaire.

Sur la diagramme en bas à gauche, on voit la distribution d'énergie récupérable dans le cas d'une installation solaire thermique:

- L'énergie utilisée pour faire fonctionner les radiateurs
- L'énergie restante pour chauffer de l'eau chaude sanitaire

Le diagramme en bas à droite représente l'efficacité totale de l'installation : c'est le rapport entre la quantité d'énergie utile et l'énergie solaire qui arrive à la surface de la terre (les effets de "surface projetée", de rendement du panneau et des dissipations dans le système de tuyauterie/ballon sont pris en compte).

Sur les graphiques d'analyse journalière (voir fig 11):

1. En haut à gauche: le graphe représente l'angle du rayon solaire par rapport au plan des panneaux.
2. En haut à droite: en bleu trait plein, on représente la puissance solaire qui impact le sol de la Terre, après qu'une partie de l'énergie est absorbée par l'atmosphère. En trait pointillés rouges, on représente la puissance des panneaux, après prise en compte de la surface projetée des panneaux (perpendiculaire au rayonnement solaire) et du rendement des panneaux.
3. En bas à gauche: on représente la température à l'intérieur du ballon tampon et du cumulus.
4. En bas à droite: on représente la puissance instantanée : La puissance "efficace" est la puissance utile (on retranchant la puissance dissipée par l'installation, et la puissance des circulateurs). La puissance "tampon" est la puissance accumulée/dissipée dans le ballon tampon. La puissance "cumulus" est la puissance accumulée/dissipée dans le cumulus. La puissance "radiateur" est la puissance utilisée pour chauffer la maison. La puissance "ECS" est la puissance utile à laquelle on retranche la puissance des radiateurs. La puissance "tuyaux" est la puissance dissipée par les tuyaux qui cheminent entre les panneaux et le ballon tampon.

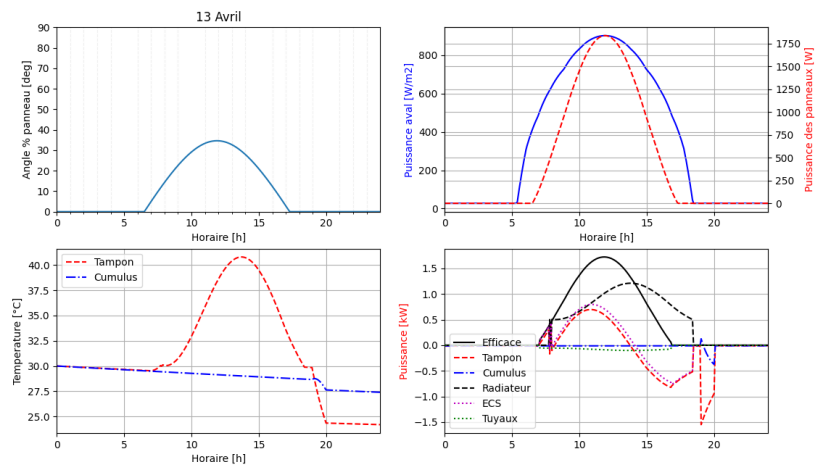


Figure 11: Analyse pour une journee donnee .