CHAPITRE 1 :

Estimation des besoins énergétiques et paramètres climatiques

1.1. Besoins énergétiques

1.1.1. Estimation des besoins énergétiques :

les besoins énergétiques (consommation journalière) sont calculés à partir des consommations (énergie) des charges DC et AC à alimenter (en Wh ou kWh)

$$E_{DC} = \sum P_{DC}^{(i)} \cdot t^{(i)}$$

et

$$E_{AC} = \sum P_{AC}^{(i)} \cdot t^{(i)}$$

où E_{DC} et E_{AC} sont les énergies consommées par les charges DC et AC respectivement (en Wh ou en kWh)

$P_{DC}^{(i)}$ et $P_{AC}^{(i)}$ sont les puissances nominales des différentes charges DC et AC respectivement (en W ou en kW)

$t^{(i)}$: les durées d'utilisation en heure

1.1.2. Exemple : Bensoins énergétiques d'une maison
(Besoins énergétiques journaliers)

	Description de l'équipement	Puissance $P_{DC}^{(i)}$	Nombre	Nombre d'utilisation $t^{(i)}$	Energie (Wh)
charges DC	Lampes chambres	20	4	2	160
	" Salons	40	2	4	320
	" Cuisine	40	1	3	120
	" SDB+WC	40	2	2	120
	" Exterieur	30	2	2	160
	Télephone	20	1	5	100
	Pompe d'eau	743	1	0,7	520,1
	$P_{DC}(W) = 933$; $E_{DC}^{(Wh)} = 1500$				
charges AC	Machine à laver	380	1	0,5	190
	Démo	30	1	5	150
	TV	100	1	2	200
	Chaîne stereo	5	1	2	10
	Refrigérateur	90	1	3	270
	Congelateur	110	1	4	440
	Ordinateur	80	1	3	240
	$P_{AC}(W) = 795$; $E_{AC}(Wh) = 1500$				

1.1.3. Applications Photovoltaïques

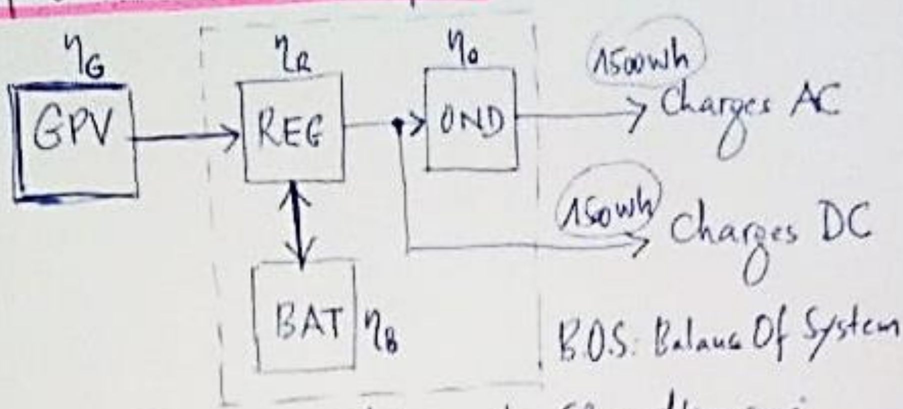


Figure : schéma du flux d'énergie dans un SPV autonome

Dans le cas, pour calculer l'énergie totale consommée E_U, on doit ramener le tout au générateur photovoltaïque

C'est à dire :

$$E_U = \frac{\frac{E_{AC}}{\eta_o} + E_{DC}}{\eta_R \cdot \eta_B} = \frac{E_{AC}}{\eta_o \eta_R \eta_B} + \frac{E_{DC}}{\eta_R \cdot \eta_B}$$

Si on considère que $\eta_B = 95\%$, $\eta_o = 90\%$

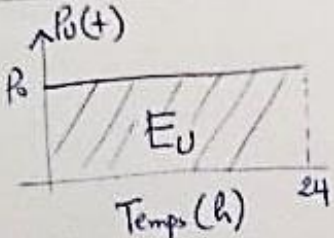
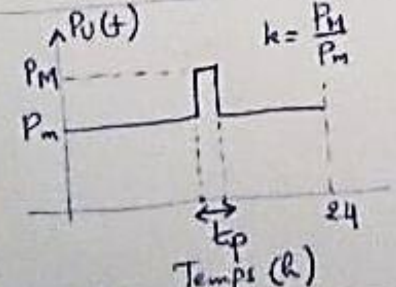
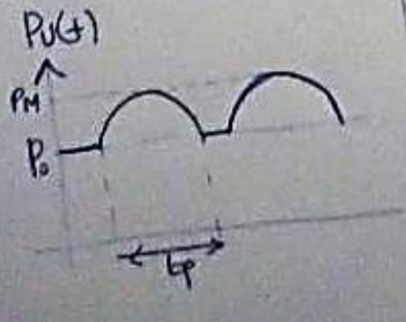
et $\eta_R = 100\%$

Alors

$$E_U = \frac{1500}{0,90 \times 0,95 \times 1} + \frac{1500}{0,95 \times 1} = 3334 \text{ Wh/jour}$$

1.1.4 Profil de charge :

Le profil de charge est la puissance $P(t)$ horaire journalière. Elle peut être déterminée à partir de la consommation moyenne journalière E(Wh ou kWh), des pics de consommation et de la consommation minimale. On peut distinguer plusieurs type de profil de charge ; A titre d'exemple, on peut citer les trois modèles suivants :

	Type de profil de charge	Profil	Formulation mathématique
1.	Continu constant		$P_U = \frac{E_U}{24} = P_0$
2.	Avec une pointe		$P_U = \frac{k E_U}{24+(k-1)t_p}$ si $t = t_p$ et $P_U = \frac{24}{24(k-1)t_p}$ si $t \neq t_p$
3.	Sinusoïdal		$P_U = P_0 + P_M \cos\left(\frac{2\pi(t-t_p)}{24}\right)$ avec $P_M = P_0 \frac{k-1}{k+1}$

1.2. Paramètres climatiques

1.2.1. Rayonnement solaire

Rayonnement sur un plan horizontal G_h, H_h : le rayonnement solaire qui arrive au sol (plan horizontal) a deux composantes

- Rayonnement direct : Il provient directement du disque solaire.
  B_h : est l'irradiance directe (W/m²)
  H_{Bh} : " l'irradiation " (Wh/m² ou J/m²)
- Rayonnement diffus : Il est dû aux effets de dispersions par les composantes de l'atmosphère (par exemple : en une journée complètement nuageuse, tout le rayonnement reçu au sol est la partie diffuse
  D_h : est l'irradiance diffuse (W/m²)
  H_{Dh} : " l'irradiation diffuse (Wh/m² ou J/m²)

Le rayonnement global sur un plan horizontal est :

$$G_h = B_h + D_h$$: Irradiance globale/plan horizontal (W/m²)

$$H_h = H_{Bh} + H_{Dh}$$: Irradiation globale/plan horizontal (Wh/m² ou J/m²)

$\boxed{\text{Indice de clarté ; } k_t}$: C'est la normalisation du rayonnement en superficie terreste par rapport au rayonnement extraterrestre.

Il représente la transparence de l'atmosphère.

Il est défini dans le cas du ray. global comme suit :

$$k_t = \frac{\text{Ray. Global/horiz.}}{\text{Ray extraterrestre}}$$

Valeurs horaires : $k_t^{(h)} = \dfrac{H_h^{(h)}}{H_0^{(m)}}$

Valeurs journalières : $k_t^{(J)} = \dfrac{H_h^{(J)}}{H_0^{(J)}}$

Valeurs mensuelles : $k_t^{(M)} = \dfrac{H_h^{(m)}}{H_0^{(m)}}$

Et dans le cas du rayonnement diffus par rapport au rayonnement global, on définit ; k_D

$$K_D = \frac{\text{Ray. Diffus/horiz}}{\text{Ray. Global/horiz}}$$

valeurs horaires : $k_D^{(h)} = \dfrac{H_h^{(h)}}{H_{Dh}^{(m)}}$

valeurs journalières : $k_D^{(J)} = \dfrac{H_h^{(J)}}{H_{Dh}^{(J)}}$

valeurs mensuelles : $k_D^{(m)} = \dfrac{H_h^{(m)}}{H_{Dh}^{m}}$

Estimation de la Composante diffuse / plan horizontal

Modèles de valeurs horaires

Modèle de Orgil et Hollands :

$$k_D^{(h)} = \begin{cases} 1{,}0 - 0{,}249\, k_t^{(h)} ; & 0 \leq k_t^{(h)} < 0{,}35 \\ 1{,}557 - 1{,}84\, k_t^{(h)} ; & 0{,}35 \leq k_t^{(h)} < 0{,}75 \\ 0{,}177 ; & k_t^{(h)} \geq 0{,}75 \end{cases}$$

Modèle de Erb et Coll :

$$k_D^{(h)} = \begin{cases} 1{,}0 - 0{,}09\, k_t^{(h)} ; & 0 \leq k_t^{(h)} < 0{,}22 \\ 0{,}9511 - 0{,}1604\, k_t^{(h)} + 4{,}388\, k_t^{(h)^2} - 16{,}638\, k_t^{(h)^3} + 12{,}336\, k_t^{(h)^4} ; & 0{,}22 \leq k_t^{(h)} < 0{,}80 \\ 0{,}165 ; & k_t^{(h)} \geq 0{,}8 \end{cases}$$

Modèles de valeurs journalières

Modèle de Collares-Pareira et Rabl

$$k_D^{(j)} = \begin{cases} 0{,}99 ; & k_t^{(J)} < 0{,}17 \\ 1{,}188 - 2{,}272\, k_t^{(J)} - 21{,}856\, k_t^{(J)^2} + 14{,}648\, k_t^{(J)^3} ; & 0{,}17 \leq k_t^{(J)} \leq 0{,}8 \end{cases}$$

Modèles de valeurs mensuelles

Modèle de Page :

$$k_D^{(m)} = 1 - 1{,}13\, k_t^{(m)}$$

Modèle de Liu et Jordan :

$$k_D^{(m)} = 1{,}39 - 4{,}027\, k_t^{(m)} + 5{,}531\, k_t^{(m)^2} - 3{,}018\, k_t^{(m)^3} ; \quad 0{,}3 \leq k_t^{(m)} \leq 0{,}7$$

Modèle de Collares-Pareira et Rabl :

$$k_D^{(m)} = 0{,}755 + 0{,}347\left(\omega_s - \frac{\pi}{2}\right) - \left(0{,}505 + 0{,}261\left(\omega_s - \frac{\pi}{2}\right)\right)\cos\left(2\left(k_t^{(m)} - 0{,}9\right)\right)$$

$\boxed{\text{Rayonnement sur un plan incliné : } G_t \ ; \ H_t}$: ou

$$G_t = \underset{\text{Direct}}{B_t} + \underset{\text{Diffus}}{D_t} + \underset{\text{Réfléchi}}{R_t} \quad : (W/m^2)$$

$$H_t = H_{B_t} + H_{D_t} + H_{R_t} \quad : (Wh/m^2 \text{ ou } J/m^2)$$

On distingue de types de modèles

1. <u>Modèle isotropique</u> : la partie diffuse est radiale et constante dans toute les directions

Modèle Isotropique

* L'irradiance inclinée est donnée par :

$$\boxed{G_t = \underbrace{R_B . B_h}_{B_t} + \underbrace{D_h\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right)}_{D_t} + \underbrace{\rho\left(B_h + D_h\right)\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)}_{R_t}}$$

où

$$R_B = \frac{\cos\theta_i}{\cos\theta_z} = \frac{\cos(\varphi-\beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\varphi-\beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\cos\omega + \sin\varphi\sin\delta}$$

ρ : est l'albedo du sol (valeur typique = 0,2)

* L'irradiation inclinée :

$$\boxed{H_t = \overline{R_B}\, H_{B_h} + H_{D_h}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho\left(H_{B_h} + H_{D_h}\right)\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)}$$

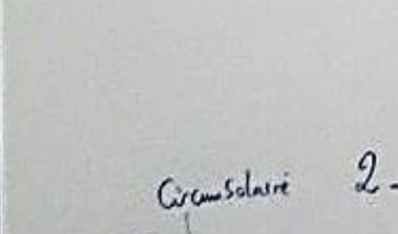
où

$$\overline{R_B} = \frac{\cos(\varphi-\beta)\cos\delta\ \sin\omega'_{ss} + \frac{\pi}{180}\omega'_{ss}\sin(\varphi-\beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_{ss} + \frac{\pi}{180}\omega_{ss}\sin\varphi\sin\delta}$$

avec $\omega_{ss} = \arccos\left(-\tan(\varphi).\tan(\delta)\right)$

et $\omega'_{ss} = \min\left\{\omega_{ss}\ ;\ \arccos\left(-\tan(\varphi-\beta)\tan\delta\right)\right.$

2- <u>Modèle anistropique</u> : Dans ce modèle, on considère que la parte diffuse possède trois composantes (Circumsolaire, horizontale et isotropique)



Un des modèle anistropique est celui de <u>Klucher</u>

$$\boxed{G_t = R_B B_h + D_h\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right)\left[1 + F'\sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right)\right]\left[1 + F'\cos^2(\beta).\sin^3(\theta_z)\right] + \rho\left(B_h + D_h\right)\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)}$$

où $F' = 1 - \left(D_h/B_h+D_h\right)^2$

EXERCICE 1 :

Soit l'équation empirique suivante :

$$k_D^{(m)} = \frac{H_{Dh}^{(m)}}{H_h^{(m)}} = 1,390 - 4,027\,k_t^{(m)} + 5,531\,k_t^{2} - 3,108\,k_t^{3}$$

où $H_{Dh}^{(m)}$ est l'irradiation diffuse horizontale

$H_h^{(m)}$ " " globale "

$k_t^{(m)}$ est l'indice de clarté

1 – Calculer l'irradiation diffuse et l'irradiation directe horizontale au mois de juillet pour un capteur/horizontal ($\varphi = 35°N$) si $H_h^{(m)} = 23,14$ MJ/m²/jour et $H_0^{(m)} = 40,6$ MJ/m²/jour

2 - Calculer l'irradiation globale pour un capteur incliné de 45°. l'albedo du sol $\rho = 0,2$

---

1 – $k_t^{(m)} = \frac{H_h^{(m)}}{H_0^{(m)}} = \frac{23,14}{40,6} = 0,570$

$$k_D^{(m)} = 1,390 - 4,027(0,570) + 5,531(0,57)^2 - 3,108(0,57)^2 = 0,316$$

l'irradiation diffuse journalière moyenne mensuelle :/Horiz

$$H_{Dh}^{(m)} = k_D^{(m)} \cdot H_h^{(m)} = 0,316 \times 23,14 = 7,31 \text{ MJ/m}^2$$

et l'irradiation directe journalière moy. mensuelle/horizontal

$$H_{Bh}^{(m)} = H_h^{(m)} - H_{Dh}^{(m)} = 23,14 - 7,31 = 15,83 \text{ MJ/m}^2/\text{jour}$$

2 - L'irradiation global inclinée peut être donnée par le modèle isotropique comme suit :

$$H_t^{(m)} = R_B H_{Bh}^{(m)} + H_{Dh}^{(m)}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho H_h^{(m)}\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)$$

$$R_B = \frac{\cos(\varphi-\beta)\cos\delta\sin\omega'_{ss} + (\pi/180)\,\omega'_{ss}\,(\varphi-\beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_{ss} + (\pi/180)\,\omega_{ss}\sin\varphi\sin\delta}$$

$$\delta = 21^\circ\ ;\ \omega_{ss} = 106^\circ;\ \omega'_{ss} = \min\left\{\omega'_{ss}\ ;\ \arccos(\varphi-\beta)\cdot\tan(\delta)\right\}$$

$$= 86^\circ$$

alors

$$R_B = \frac{\cos(35-45)\cos(21)\sin(86) + (\pi/180)(86)\sin(35-45)\sin(21)}{\cos(35)\cos(21)\sin(106) + (\pi/180)(106)\sin(35)\sin(21)}$$

$$= 0{,}739$$

$$H_t^{(m)} = 0{,}739 \times 15{,}83 + 7{,}31 \times \frac{(1+\cos 45)}{2} + 0{,}2 \times 23{,}14\,\frac{(1-\cos 45)}{2}$$

$$= 18{,}6\ MJ/m^2/jour$$