

TD1

Exercice n : 1

Un générateur photovoltaïque de tension nominale **600V** et de surface **10m²** est composé de panneaux solaires en série et en parallèle. Chaque panneau, de tension nominale égale à **24V** et de rendement **20%**, est composé de cellules photovoltaïques assemblées en série. Chaque cellule a une puissance **P** égale à **1,2 W** et une tension nominale **U** égale à **0,48V**. Le générateur est exploité dans une zone en Tunisie, où chaque mètre carré reçoit en moyenne une énergie solaire annuelle de **2740 kWh/an**, pour alimenter trois chauffe-eau d'un complexe sportif, qui absorbent chacun en moyenne par an **2000 kWh**. En Tunisie, le nombre d'heures d'ensoleillement permettant au générateur de fonctionner à sa puissance nominale est de **5h**. m courant

- 1- Calculer l'intensité nominale fournie par le panneau.
- 2- Calculer le nombre de cellule de panneau.
- 3- Calculer la puissance nominale du panneau.
- 4- Calculer l'énergie annuelle reçue par générateur photovoltaïque.
- 5- Quelle est l'énergie électrique annuelle fournie par le générateur photovoltaïque.
- 6- Le générateur photovoltaïque suffit-il à lui seul pour chauffer l'eau des chauffe-eau, conclure.
- 7- Quelle est l'énergie électrique moyenne journalière fournie par le générateur photovoltaïque.
- 8- Quelle est la puissance nominale du générateur photovoltaïque.
- 9- Déterminer le nombre des panneaux photovoltaïques du générateur.
- 10- Déterminer le nombre de panneaux en série « Nps » et le nombre de panneaux en parallèle « Npp ».
- 11- Donner l'architecture du générateur photovoltaïque et préciser les éléments de protection contre l'ombrage partiel du générateur et l'ombrage d'un panneau.

Exercice n : 2

Une base lunaire alimenté par un générateur photovoltaïque à concentration « CPV » de rendement 40% demande quelques besoins en électricité pour l'éclairage, l'électronique embarquée et les outils d'exploitation des ressources humaines.

La base comprend 30 éclairages basse consommation de 50 W allumées 24/24h et 20 éclairages d'appoints basse consommation de 12 W allumées la moitié du temps. Deux véhicules lunaires fonctionnant à l'aide de batteries, la puissance électrique consommée lors de leurs fonctionnements est de 5 kW. Les deux véhicules sont utilisés chacun 24h par semaine en moyenne. Le rendement de la batterie est de 50%.

- 1- Calculer la consommation électrique pour l'éclairage en kWh/jour.
- 2- Calculer la consommation d'énergie électrique totale moyenne en kWh/jour pour les deux véhicules.
- 3- Calculer l'énergie qu'il faudra produire par jour en kWh/j pour assurer le bon fonctionnement de ces véhicules.
- 4- Estimer l'énergie qu'il faudra produire par le générateur photovoltaïque par jour en kWh/j pour assurer le bon fonctionnement de toutes les charges.
- 5- Estimer l'énergie solaire journalière sur la base lunaire

Exercice n° 1:

1) Pour une cellule :

$$P = 1,2 \text{ W}$$

$$= U \times I \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{1,2}{0,48} = 2,5 \text{ A}$$

2) $U_p = n_s \times U_{\text{cell}}$

$$\Rightarrow n_s = \frac{U_p}{U_{\text{cell}}} = \frac{24}{0,48} = 50 \text{ cellules}$$

3) $P_p = n_s \times P_{\text{cell}}$

$$= 50 \times 1,2 = 60 \text{ W}$$

4) $E_{\text{reçue}} = 2740 \times 10 = 27400 \text{ kWh/an}$

5) $E_{\text{fournie}} = E_{\text{reçue}} \times \eta$

$$= 27400 \times 0,2 = 5480 \text{ kWh/an}$$

6) $E_{\text{chauffeur}} = 3 \times 2000 = 6000 \text{ kWh/an}$

$> E_{\text{fournie}}$

→ le générateur PV ne suffit pas
donc il faut augmenter la surface
du générateur.

7) $I_{\text{nominale}} \times 5 \text{ h} = E_{\text{journalière}}$

$$\Rightarrow E_{\text{jour}} = 60 \times 5 = 3$$

8) $E_{\text{journalière}} = E_{\text{fournie}} / \text{nbr jours par année}$

$$= 5480 / 365 = 15 \text{ kWh/jour}$$

8) $P_{\text{gène}} = \frac{15}{5} = 3 \text{ kW}$

9) $P_{\text{gène}} = N \times P_p$

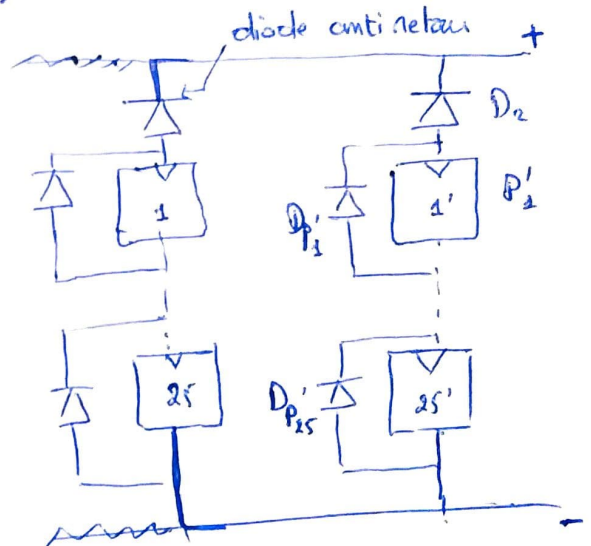
$$\Rightarrow N = \frac{P_{\text{gène}}}{P_p} = \frac{3000}{60} = 50 \text{ panneaux}$$

10) $U_{\text{gène}} = N_{ps} \times U_p$

$$\Rightarrow N_{ps} = \frac{U_{\text{gène}}}{U_p} = 25 \text{ panneaux}$$

or $N = N_{pp} \times N_{ps} \Rightarrow N_{pp} = 2 \text{ chaînes}$

11) Architecture du PV :



• Sans diode D_{pp} passe

→ Si on a ombrage sur un panneau
elle/ses (I = 0 sur ce panneau)

→ tte la chaîne en série sera à I = 0

• Avec diode D_{pp} passe

→ Si on a ombrage sur un panneau

(I = 0 sur ce panneau) \rightarrow diode sera

donc le reste des panneaux en série
seront à I \neq 0

Rmq

- Diode by-pass permet la protection contre l'ombrage partiel
- Diode anti-retour permet la protection contre le courant de retour de la charge qui présente le plus élevé. ^{La diode s'ouvre}
 Sinon le panneau sera passif (consomme de la puissance et se chauffe → endommage)

Exercice n° 2

$$1) E_{ed} = (30 \times 50 \times 24) + (20 \times 12 \times 12) \\ = 38,88 \text{ kWh/j}$$

$$2) E_{veh} = S \times 24/7 = 17,14 \text{ kWh/jour}$$

$$3) E_{tot} = E_{ed} + E_{veh} \\ = 38,88 + 17,14 = 56,02 \text{ kWh/j}$$

• On a la batterie est alimentée puis elle va alimenter la véhicule à 50%.

$$E_{à\text{produire}} = \frac{E_{veh}}{\eta_{batt}}$$

$$\rightarrow E_{à\text{produire}} = \frac{17,14}{0,5} = 34,28 \text{ kWh/j}$$

$$4) E_{tot} = E_{ed} + E_{à\text{produire}} \\ = 38,88 + 34,28 \\ = 73,16 \text{ kWh/jour}$$

$$5) E_{ed} = \frac{E}{\eta_{CPV}} = \frac{73,16}{0,4} \\ = 182,9 \text{ kWh/j}$$

Travaux Dirigés 2

Systèmes Photovoltaïques

Exercice 1 :

Le générateur photovoltaïque est caractérisé par :

- Puissance crête 400 W
- Tension à vide V_{oc} égale à 60 V
- Tension optimale V_{opt} de 45V
 $= V_{mp}$

Associé à des équipements supplémentaires, le générateur photovoltaïque forme le système photovoltaïque, pour une production en courant continu et en courant alternatif monophasé, de la figure 1.

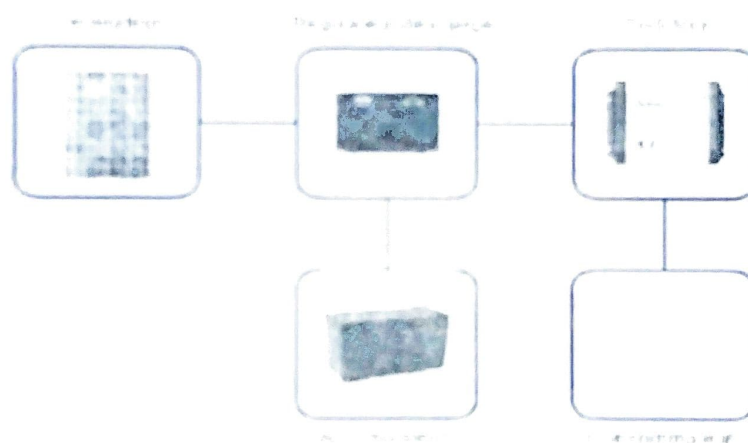
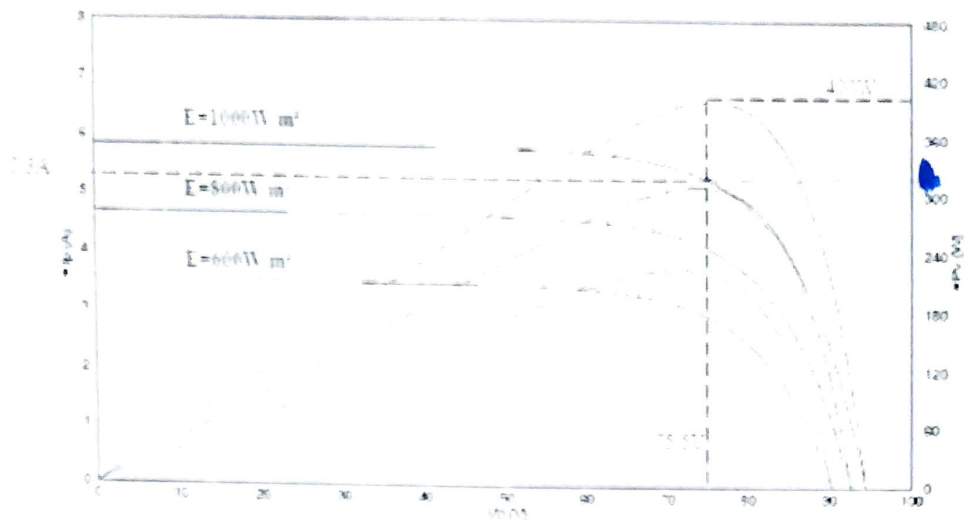


Figure 1 : Système photovoltaïque autonome.

1. Décrire le principe et le rôle de chaque élément du système photovoltaïque de la figure 1.
2. Définir et calculer le facteur de forme du générateur photovoltaïque.
4. Représenter les caractéristiques courant-tension et puissance-tension du générateur et déterminer les coordonnées du point de fonctionnement optimal.
5. Déterminer le paramètre d'adaptation optimal du régulateur de charge.

Exercice 2 :

Un générateur photovoltaïque caractérisé par le réseau de caractéristiques courant-tension et puissance-tension suivant.



1. Pour ce générateur déterminer pour les conditions optimales :
 - La puissance crête P_c , la tension à vide V_c , la tension optimale V_{popt} , le courant optimal I_{popt} et le courant de court-circuit I_{cc} .
2. Donner le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.
3. Donner la relation de la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque.
4. Définir et calculer le facteur de forme du générateur photovoltaïque.
6. Comment peut fonctionner d'une manière optimale le générateur photovoltaïque débitant sur une batterie de 48V et déterminer le paramètre d'adaptation optimal du régulateur de charge de la batterie.

Exercice 3 :

Détermination de la consommation d'énergie« Maison de vacances »

Vous avez pour tâche de planifier et de monter l'installation photovoltaïque pour le pavillon de vacances.

Dans un premier temps, vous fixer avec la famille ... un rendez-vous pour visitez les lieux et pour vous faire une idée précise de la situation sur place. Au cours d'un entretien avec le client, vous définissez les limites du projet.

Pour le projet « Installation photovoltaïque autonome », vous disposez des conditions cadre suivantes :

- La surface utile du toit s'élève à 10m x 4m (40 m²).
- La famille ... vous remet une liste de tous les consommateurs de la maison.
- Le toit est incliné à 30°.
- Le toit est orienté à 40° sud-ouest.

Le projet « Maison de vacances » commence par la planification du générateur solaire. Avec le client, vous avez dressé la liste de tous les consommateurs. Cette liste vous permet de déterminer la puissance requise du pavillon.

1) ➤ Calculez la consommation d'énergie, en utilisant des lampes à incandescence.

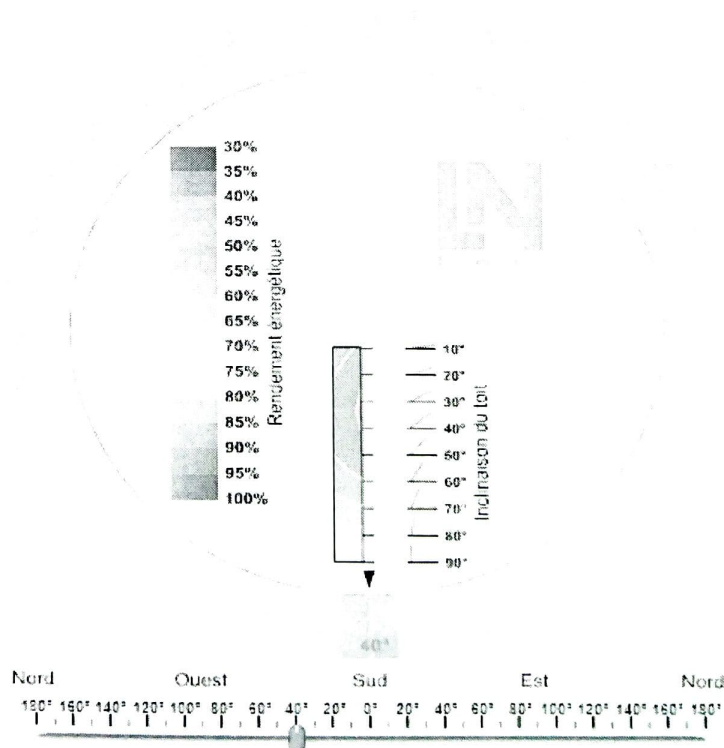
Pièce	Consommateur	Puissance nominale [W]	Temps d'utilisation [h]	Consommation [Wh]
Salon	Éclairage	100	5	500 ⁽¹⁾
	Téléviseur	50	4	200 ⁽²⁾
	Radio	15	2	30 ⁽³⁾
Cuisine	Éclairage	100	3	300 ⁽⁴⁾
	Machine à café	1200	0.2	240 ⁽⁵⁾
	Réfrigérateur	12.5	24	300 ⁽⁶⁾
Salle de bains	Éclairage	60	2	120 ⁽⁷⁾
Chambre à coucher 1	Éclairage	60	1	60 ⁽⁸⁾
Chambre à coucher 2	Éclairage	60	1	60 ⁽⁹⁾
Autres		25	24	600 ⁽¹⁰⁾
Puissance totale :		1682,5 ⁽¹¹⁾	Consommation totale	2410 ⁽¹²⁾

Pour déterminer la puissance des modules solaires, il faut connaître le rayonnement quotidien moyen du site où sera posée l'installation PV autonome. Le tableau suivant indique le **rayonnement quotidien moyen sur une surface horizontale en kWh/m²** pour différents endroits en Allemagne.

Site / Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Hambourg	0.52	1.13	2.23	3.55	4.67	5.44	4.82	4.34	2.79	1.49	0.67	0.40
Berlin	0.61	1.14	2.44	3.49	4.77	5.44	5.26	4.58	3.05	1.59	0.76	0.46
Aix-la-Chapelle	0.69	1.34	2.29	3.61	4.75	5.00	4.82	4.26	3.06	1.76	0.88	0.54
Bonn	0.72	1.33	1.79	3.33	4.82	4.38	4.15	3.63	2.76	1.67	0.84	0.53
Fribourg	0.76	1.34	2.51	3.59	4.71	5.20	4.83	4.55	3.46	1.92	0.97	0.72
Wurzbourg	0.82	1.60	2.68	4.04	5.03	5.54	5.34	4.49	3.53	1.94	0.92	0.65
Weiherstephan	1.07	1.83	2.96	4.11	5.08	5.39	5.46	4.60	3.70	2.23	1.18	0.83
Hohenpeissenberg	1.38	2.05	3.17	4.15	4.89	5.13	5.40	4.62	3.85	2.62	1.43	1.12

Le tableau montre que le rayonnement quotidien moyen varie fortement sur une année. Pour les installations PV autonomes, on choisira le mois présentant le plus faible rayonnement, pour que l'installation fournisse également une quantité d'énergie suffisante pendant ce mois-là. Au cours des autres mois, l'installation produira plus d'énergie.

L'orientation des modules solaires, qui est conditionnée par la position et l'inclinaison du toit, doit également être prise en compte, car les valeurs moyennes de rayonnement quotidien ne s'appliquent qu'en cas d'orientation optimisée des modules. Si l'orientation en diverge, la puissance des modules est réduite et il faudra poser plus de modules pour produire la puissance requise. Ce facteur de rendement peut être déterminé à l'aide d'un disque de rayonnement (cf. graphique suivant).



Le pavillon se situe à proximité d'Aix-la-Chapelle et le client souhaite s'en servir toute l'année. Vous avez calculé que le toit est incliné à 30° et que l'orientation du toit est située à 40° Sud-Ouest.

- 2) ➤ Déterminez la plus petite valeur de rayonnement quotidien moyen pour ce site en vous servant du tableau ci-dessus et lisez le facteur de rendement sur le disque de rayonnement ci-dessus.

$$\text{Puissance des modules solaires} = \frac{\text{consommation totale} \times 1 \text{ kWh/m}^2}{\text{rayonnement quotidien moyen} \times \text{facteur de rendement}}$$

$$= \frac{(1) \text{ kWh}}{(2) \text{ kWh/m}^2 \times (3)}$$

$$= (4) \text{ kW}_{\text{peak}}$$

Au cours de l'étape suivante, vérifiez la puissance maximale que vous pouvez installer sur la surface disponible. Déterminez le type de module solaire qui doit être utilisé pour ce projet. Avec les dimensions du module solaire, vous déterminez la quantité de modules pouvant être montés sur le toit. À partir de la quantité et de la puissance nominale du module solaire, déterminez la puissance maximale du générateur solaire. Le module solaire que vous souhaitez employer pour ce projet mesure **1,58 m x 0,81 m**.

- 3) ➤ Calculez le nombre de modules pour un montage horizontal sur le toit (côté court du module en bas).

Nombre de modules :

- 4) ➤ Calculez le nombre de modules pour un montage vertical sur le toit (côté long du module en bas).

Nombre de modules :

- 5) ➤ Calculez la puissance maximale du générateur pour le montage horizontal et vertical, lorsque chaque module présente une puissance nominale de $150 \text{ W}_{\text{peak}}$.

$P_{\text{horizontal}}$ W

P_{vertical} W

- 6) ➤ Comparez la puissance totale du pavillon avec la puissance solaire maximale pouvant être installée. Qu'observez-vous ?

- ☐ La puissance solaire maximale pouvant être installée suffit pour alimenter le pavillon.
☐ Une partie seulement du toit est nécessaire pour produire la puissance totale du pavillon.
☒ La puissance totale du pavillon est supérieure à la puissance solaire maximale pouvant être installée.

Économiser de l'énergie

Comme vous l'avez constaté précédemment, la surface utile du toit ne suffit pas à couvrir la puissance requise. Comme le client ne souhaite pas utiliser des modules solaires plus chers, expliquez-lui comment réduire sa consommation énergétique. Il est possible de réduire l'énergie de l'éclairage de moitié en utilisant des lampes économiques. Lorsque vous achetez des lampes, veillez à la classe d'efficacité énergétique, qui s'étend de la classe A (très économique) à la classe G (forte consommation).

- 7) ➤ Calculez de nouveau la consommation d'énergie, cette fois en tenant compte du remplacement de toutes les lampes à incandescence par des lampes économiques.

Pièce	Consommateur	Puissance nominale [W]	Temps d'utilisation [h]	Consommation [Wh]
Salon	Éclairage	15	5	(1)
	Téléviseur	50	4	(2)
	Radio	15	2	(3)
Cuisine	Éclairage	15	3	(4)
	Machine à café	1200	0.2	(5)
	Réfrigérateur	12.5	24	(6)
Salle de bains	Éclairage	11	2	(7)
Chambre à coucher 1	Éclairage	11	1	(8)
Chambre à coucher 2	Éclairage	11	1	(9)
Autres		25	24	(10)
Puissance totale :		(11)	Consommation totale	(12)

- 8) ➤ Calculez la puissance requise du générateur solaire pour la consommation réduite. Utilisez le rayonnement quotidien moyen et le facteur de rendement du premier calcul.

$$\begin{aligned}
 \text{Puissance des modules solaires} &= \frac{\text{consommation totale}}{\text{rayonnement quotidien moyen} \times \text{facteur de rendement}} \\
 &= \frac{(1) \text{ kWh}}{(2) \text{ kWh/m}^2 \times (3)} \\
 &= (4) \text{ kW}_{\text{peak}}
 \end{aligned}$$

- 9) ➤ Calculez le nombre de modules solaires dont vous avez besoin si les modules présentent une puissance nominale de 150 W_{peak}.

Nombre de modules solaires : ()

TD n° 2

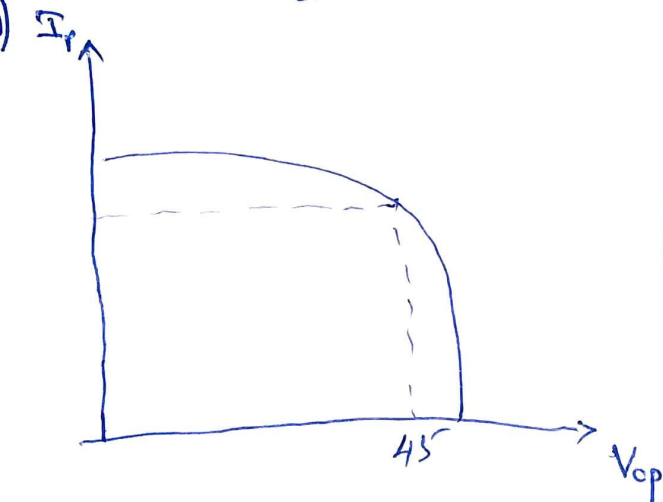
Exercice n° 1 :

1) —

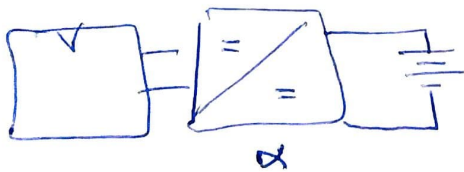
$$2) FF = \frac{V_{IMP} \times I_{IMP}^{\text{max power}}}{V_{CO} \times I_{CC}}$$

Hypothèse : $I_{CC} \approx I_{MP}$ (Approx)

$$\Rightarrow FF = \frac{V_{IMP}}{V_{CO}} = \frac{45}{60} = 0,75$$



5) Hacheur abaisseur



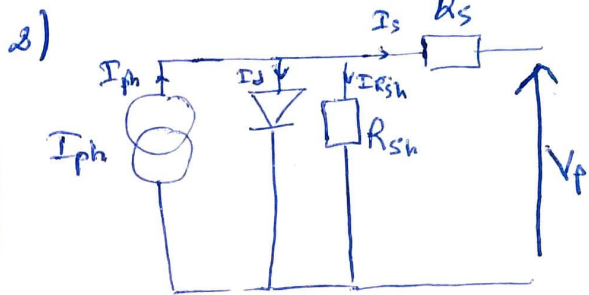
$$V_s = \alpha V_e$$

$$\Rightarrow \alpha_{opt} = \frac{V_s}{V_e} = \frac{V_{bat}}{V_{popt}}$$

Exercice n° 2 :

$$1) P_c = 400 \text{ Wc}$$

- $V_{CO} = 95 \text{ V}$
- $V_{popt} = 75,5 \text{ V}$
- $I_{popt} = 5,3 \text{ A}$
- $I_{sc} = 5,8 \text{ A}$



$$3) I_p = I_{ph} - I_d - I_{R_{sh}}$$

$$= I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{q \cdot V}{kT} \right) - 1 \right) - I_{R_{sh}}$$

$$\text{on a } V_p + R_s I_p - V = 0$$

$$\Rightarrow V = (V_p + R_s I_p)$$

$$\Rightarrow I_p = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{q (V_p + R_s I_p)}{kT} \right) - 1 \right) - \left(\frac{V_p + R_s I_p}{R_{sh}} \right)$$

4) Facteur de forme

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{co} \times I_{sc}}$$

$$\text{AN : } FF = \frac{75,5 \times 5,3}{95 \times 5,8} = 0,73$$

5) $V_{bat} = 48$ et $V_{opt} = 75,5V$

→ On utilise hacheur abaisseur

Soit $d = \frac{V_s}{V_e} = \frac{V_{bat}}{V_{opt}}$

AN : $d_{opt} = \frac{48}{75,5} = 0,63$

Exercice n° 3 :

• Consommation (Wh)

Eclairage : 500 Wh
TV : 200 Wh
Radio : 30 Wh

} Salon

Eclairage : sur la feuille

2) Rayonnement quotidien moyen :
 $0,54 \text{ kWh/m}^2$

• Facteur de rendement : 0,95

• Puissance modules solaires :

$$\frac{C_{tot}}{I \times f}$$

AN : $P_{ms} = \frac{2,410 \text{ (kWh)}}{0,54 \times 0,95} = 4,5 \text{ kWc}$

3)

$N_{module} = \frac{4500}{1,58 \times 0,81}$



Configuration 1 10 m

$\frac{4}{1,58} = 2,5 \text{ panneaux} \rightarrow 2 \text{ panneaux}$

$\frac{10}{0,81} = 12,3 \rightarrow 12 \text{ panneaux}$

→ $N = 2 \times 12 = 24 \text{ Modules}$

Configuration 2 :



$\frac{4}{0,81} = 4$; $\frac{10}{1,58} = 6,3$

→ $N = 4 \times 6 = 24 \text{ Modules}$

$P_H = 24 \times 150 = 3600 \text{ Wc}$

$P_V = 24 \times 150 = 3600 \text{ Wc}$