

INTRODUCTION

« Dimensionner », c'est fixer la « taille », les caractéristiques optimales de chaque élément d'un système dont on connaît la configuration.

En effet, le dimensionnement peut amener finalement à changer le système, par exemple s'il s'avère que des éléments « optimaux » sur le plan technique sont très chers, ou indisponible, etc...

La méthode de dimensionnement consiste à déterminer d'abord la puissance crête qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant le mois le moins ensoleillé (généralement décembre). Elle consiste à déterminer le moment où vous avez besoin d'électricité, et à mesurer votre consommation. Cette étape comporte peu de calculs, mais demande relativement beaucoup de réflexion car une erreur à ce stade faussera vos résultats jusqu'à la fin.

La méthode comporte 07 étapes : Le résultat d'une étape influence directement le résultat des étapes suivantes. Si vous obtenez un résultat aberrant, ça ne veut pas forcément dire que vous vous êtes trompé dans vos calculs. Il ne faut pas hésiter à revenir en arrière, notamment à la première étape, afin de redéfinir vos besoins (comme par exemple réduire votre consommation en choisissant des appareils plus économes).

1.1. Les besoins en énergie électrique

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour et par période (été, hivers, vacances...)

L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour E (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir la télévision, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, etc... ; Elle est donnée par la loi suivante [1]:

$$E = \sum_i E_i \quad (1.1)$$

Le temps moyen d'utilisation est plus délicat à cerner ; il faut le rapporter à :

- La saison,
- Le nombre d'occupants,

- Le mode d'utilisation

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [1]:

$$E_i = P_i \times t_i \quad (1.2)$$

*L'énergie journalière consommée d'un équipement (Wh/j) =
la puissance de cet équipement (W) × la durée d'utilisation de chaque un(h)*

1.1.1. L'énergie à fournir à l'onduleur et son utilisation

Lorsqu'un onduleur est utilisé, il alimente :

- Les consommations en 220 VCA de petites puissances (téléviseur, hi-fi, perceuse, mixeur...) (qu'on note X);
- Les consommations en 220V CA de longue durée ou de forte puissance tel que le réfrigérateur, le congélateur... (qu'on note Y);
- Et éventuellement l'éclairage (énergie noté W) ;

Le rendement réel, moyen d'un onduleur bien conçu, de bonne qualité, dépend de son taux de charge ρ .[1]

$$\rho = \frac{\text{l'énergie demandée}}{\text{la puissance nominale}} \quad (1.3)$$

Si nous supposons que l'onduleur est bien utilisé : son taux de charge doit être élevé (de 0.75 à 1).

Le rendement de conversion est alors de 0.7 à 0.9 et nous retenons la valeur moyenne de 0.8. Ainsi, la puissance à fournir à l'onduleur pour disposer de l'énergie E à la sortie (sous 220 V CA) est de [2] :

$$P = \frac{E}{0.8} = 1.25 E \quad (1.4)$$

la puissance à fournir à l'onduleur (Wh/j) =

l'énergie demandée à l'onduleur (Wh/j) / taux de charge de l'onduleur

L'analyse des consommations donne l'énergie qui est demandée à l'onduleur (sans l'emploi d'une seconde source et avec l'emploi des équipements à grande puissance.

L'énergie demandée à l'onduleur E vaut :

$$E = X + Y + W \quad (1.5)$$

l'énergie demandée à l'onduleur (Wh/j) =

la consommation d'équipements de petites puissances en 220 VCA +

la consommation d'équipement de fortes puissances en 220 VCA + l'éclairage

Et l'énergie à fournir à l'onduleur est :

$$1.25 \times E = 1.25 \times (X + Y + W) \quad (1.6)$$

1.1.2. L'énergie à fournir à la batterie et son utilisation

L'emploi de la batterie (pour la majeure partie de l'énergie consommée finalement) introduit des pertes.

Celles-ci proviennent :

- Du rendement énergétique de la batterie ;
- De l'auto décharge, qui dépend de la durée de stockage (pour une batterie donnée) ;

Pour une batterie dite solaire, c'est-à-dire bien adaptée aux systèmes photovoltaïques, le rendement énergétique est de 0.80 à 0.85 et l'auto décharge de 3% par mois environ.

Le rendement global constaté dans un système pour l'habitat est de 0.8 en général, donc [2] :

$$\begin{aligned} & \text{L'énergie fournie par la batterie} = \\ & \text{L'énergie fournie par le panneau} \times 0.8 \end{aligned} \quad (1.7)$$

1.2. L'énergie électrique fournie par le générateur photovoltaïque

Elle dépend bien sûr de l'ensoleillement reçu et de l'orientation du panneau. L'estimation de l'énergie solaire reçue sur le site est simple, mais il faut tenir compte des caractéristiques propres au site de l'installation lui-même [3].

1.2.1. Estimation de l'énergie solaire reçue sur un site donné

Cette estimation doit tenir compte à la fois :

- Des données statistiques concernant l'énergie solaire reçue sur la région d'installation ;
- Des caractéristiques propres au site et susceptibles d'empêcher le panneau photovoltaïque de recevoir toute l'énergie possible (du fait des masques, neige, poussière...).

1.2.1.1. Les valeurs statistiques de l'énergie solaire

Il est nécessaire de connaître avec une assez bonne précision l'énergie solaire reçue en moyenne par jour sur le site pendant une période donnée. Cette période est en générale égale à un mois [3].

Selon les pays, les quantités sont connues à partir de l'une ou l'autre des données suivantes (pour une période donnée) :

- Nombre moyen d'heures d'ensoleillement par jour (ou durée d'insolation) ;
- L'irradiation moyenne reçue au sol (plan horizontal) ;
- L'ensoleillement global sur un plan incliné à un certain angle ;

La troisième forme est de loin la plus intéressante, car elle permet facilement, l'angle d'inclinaison des panneaux étant donné, de déterminer l'énergie électrique produite par un panneau de puissance crête donnée.

1.2.1.2. Caractéristiques propres au site

Ces caractéristiques peuvent être :

1.2.1.2.1. Les conditions atmosphériques exceptionnelles

La neige, les poussières sont susceptibles de diminuer pendant certaines périodes l'énergie solaire reçue par les modules.

Un coefficient réducteur doit alors d'être appliqué aux données définies au paragraphe précédent pour tenir compte des conditions atmosphériques particulières et des conditions d'entretien du système (fréquence du nettoyage...) [4].

1.2.1.2.2. Les masques

La cause de réduction la plus importante est constituée par les masques (arbre, maisons,...) ombragent tout ou partie du panneau pendant une partie de la journée chaque jour, ou pendant une certaine période de l'année (en général l'hiver). [4]

1.2.2. Estimation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque

Pour un angle d'inclinaison donné, du panneau photovoltaïque la série des quantités d'énergie solaire reçue permet d'estimer l'énergie électrique fournie par le panneau en moyenne, par jour, pour chaque mois.

Un panneau de puissance crête totale P_C , qui reçoit du soleil $n \text{ KWh/m}^2/\text{jour}$, peut fournir au mieux $n P_C \text{ KWh/m}^2/\text{jour}$. [1]

Malheureusement, ce panneau produit en fait une quantité d'énergie électrique nettement moindre, car : [5]

- Le panneau ne fonctionne que rarement à son point de fonctionnement optimal (sauf si un dispositif électronique d'adaptation asservie est utilisé). En particulier, un panneau débitant sur une batterie ne fonctionne pratiquement jamais à son point de puissance maximale (16 V pour une batterie de 12 V, mais variable avec l'éclairement).
- Les diodes et les connexions causent des pertes d'énergie.
- Les disparités entre les modules causent des pertes d'énergie.
- Le point de puissance maximal dépend aussi de la température du panneau.

Il est difficile de traduire par une formule utilisable la résolution de ces pertes. L'expérience montre que l'énergie produite pratiquement par un panneau de $P_C \text{ watts crête}$ recevant une énergie de $n \text{ KWh par jour}$ est de : $n P_C 0.7 \text{ KWh/jour}$.

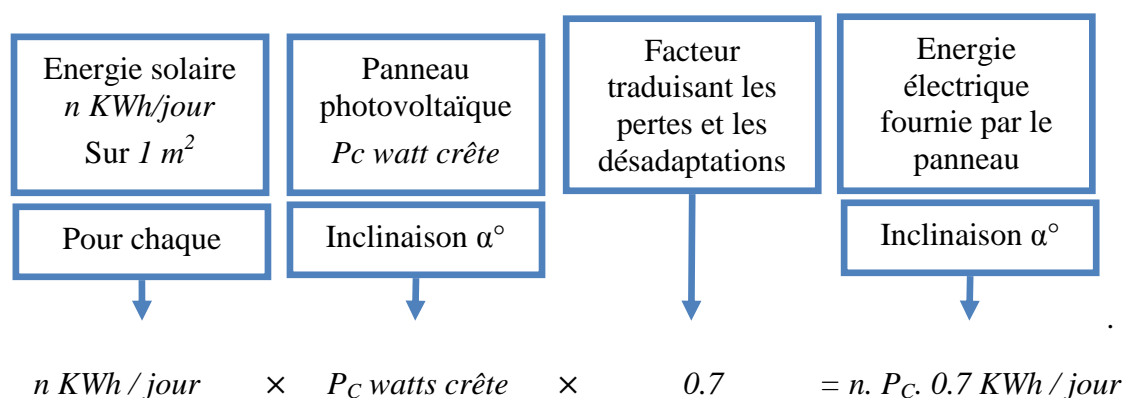


Figure 1.1. L'énergie électrique fournie par un panneau en tenant compte des pertes et les désadaptations [1]

1.3. Dimensionnement du panneau photovoltaïque

La détermination de puissance crête installée présente un intérêt tout particulier, compte tenu du coût du watt-crête.

Généralement, la variation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque d'inclinaison donnée, ne suit pas celle des besoins en énergie d'une habitation.

Si on fixe la puissance crête pour satisfaire au mieux les besoins d'un mois donné, on obtient généralement un déficit ou un excédent pour d'autre mois.

Sur quelle période faut-il s'efforcer d'égaliser les besoins et les apports? Une inclinaison égale à la latitude du lieu permet de capter une quantité d'énergie annuelle maximale, mais :

- Une partie de cette énergie risque d'être inutile ; l'énergie est chère à stocker.
- Le panneau risque d'être trop cher.

Une inclinaison forte (plus proche de la vertical : latitude du lieu + 20° par exemple) favorise la captation de l'énergie solaire en hiver (quand le soleil est bas).

1.3.1. Principes de dimensionnement et de positionnement du panneau

Les deux principes extrêmes illustrent les raisonnements employés pour confronter :

- L'énergie que le panneau doit fournir.
- L'énergie que le panneau peut fournir à partir de l'ensoleillement.

1.3.1.1. Dimensionnement sur le mois le moins ensoleillé

Une solution simple est sûr consiste à choisir une puissance crête tel que pendant le mois le moins ensoleillé, l'énergie fournie par le panneau satisfasse les besoins, avec une inclinaison voisine de la latitude du lieu.

C'est la solution généralement adopté par les sociétés commercialisant et installant des systèmes photovoltaïque. [1]

Elle conduit, malheureusement à un gaspillage important d'énergie pendant les autres périodes, et spécialement pour la période la plus ensoleillée.

Pour réduire ce gaspillage, et donc économiser sur la puissance crête du panneau, il est possible :

- De favoriser l'exposition du panneau pendant la saison la moins ensoleillée en choisissant une inclinaison supérieure de 10 à 20° (15° en général) à la latitude du site;
- De surdimensionner la batterie par aux besoins réels (principalement liés au nombre possible de jour sans soleil durant cette saison moins ensoleillée ; [5]

Il est alors possible de dimensionner non plus sur le mois le mois ensoleillé, mais sur des mois un peu plus ensoleillé permettant de combler le déficit du mois le mois ensoleillé grâce à une capacité suffisante de la batterie. [1]

1.3.1.2. Dimensionnement sur le mois le plus ensoleillé

La puissance crête est suffisante pour satisfaire les besoins pendant le mois le plus ensoleillé et généralement tout à fait insuffisante pour satisfaire les besoins d'hiver.

Un tel dimensionnement implique le recours à une source d'énergie complémentaire. Dans un système à deux sources, il faut alors favoriser l'utilisation de l'énergie solaire pendant les mois plus ensoleillé et donc, choisir une faible inclinaison des modules (α =la latitude -10° à 20°). Ce dimensionnement trouve sa limite dans le coût de l'énergie complémentaire. [1]

Un calcul de coût (investissement, fonctionnement) permet de décider de la solution optimale entre :

- Petit panneau peu incliné et source complémentaire très sollicitée.
- Panneau plus important et plus incliné et source complémentaire moins sollicitée.

1.3.2. Stockage inter-saisonnier de l'énergie

Il est envisageable de mieux adapter les apports solaires aux besoins en utilisant en hiver de l'énergie stockée en batterie pendant les périodes ensoleillées.

Le stockage à long terme (03 à 06 mois) en batterie et pourtant pratiquement exclu à cause de son coût : la capacité de la batterie nécessaire est trop importante.

De plus :

- La charge de la batterie est alors délicate (il faudrait fractionner la capacité ou augmenter le courant de la charge).
- Le panneau ne peut pas recharger seul la batterie en cas de décharge trop profonde.

- L'autodécharge représente environ 10 % de la capacité en 03 mois, c'est-à-dire qu'en moyen, environ 10 % de cette grosse capacité est installée en pure perte.

1.3.3. Procédure de dimensionnement du panneau solaire

Quel que soit le principe retenu, il revient finalement à assurer l'adéquation entre les apports et les besoins pour une période donnée (généralement un mois donné), c'est-à-dire, comparer que doit fournir le panneau avec des tableaux qui donnent l'énergie fournie par un panneau de puissance donnée, selon divers inclinaisons.

Les liaisons entre les principales grandeurs sont représentées dans la figure suivante :

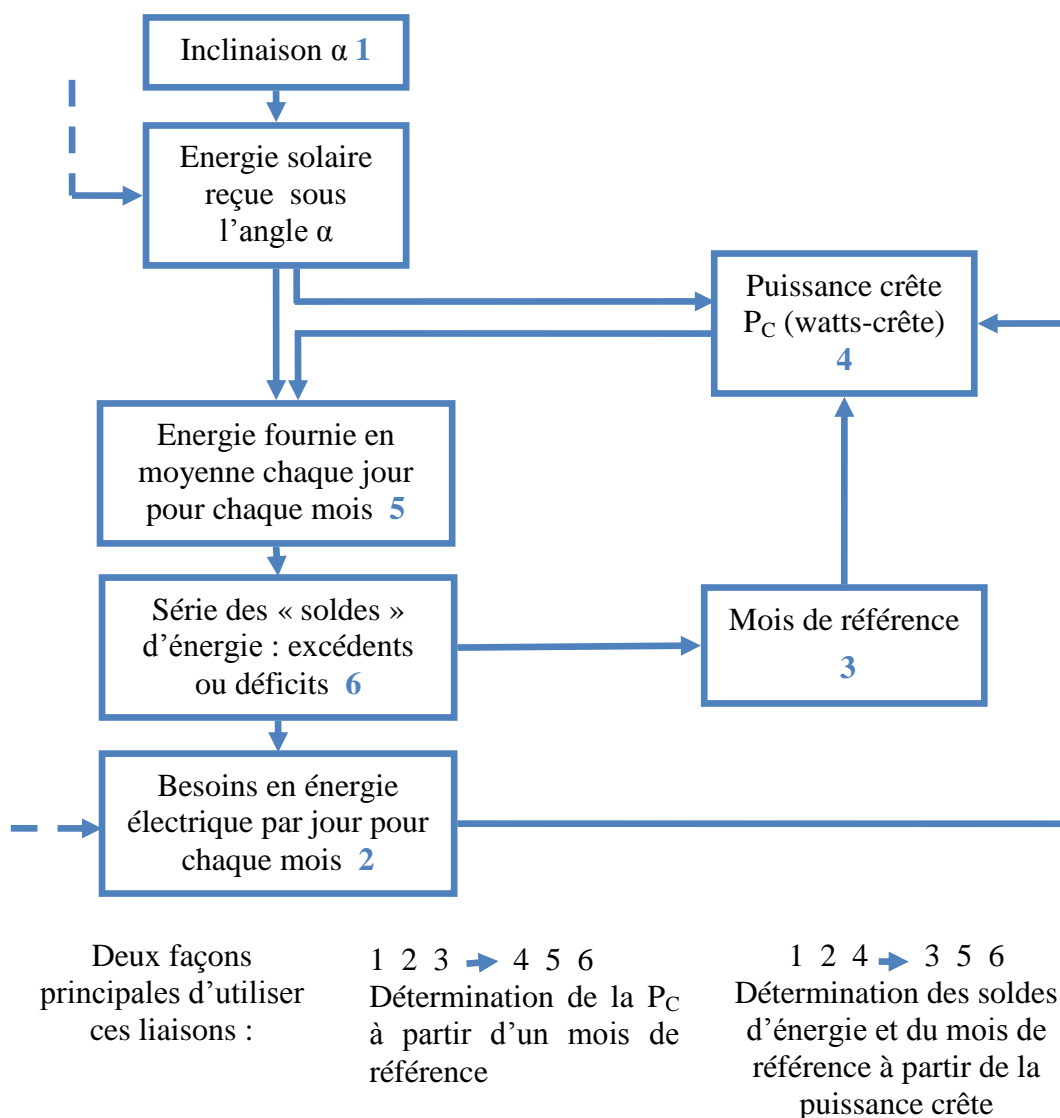


Figure 1.2. Dimensionnement du panneau photovoltaïque. Liaison entre les paramètres [1]

1.4. Choix de la tension du fonctionnement

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité de matériels (modules et récepteurs), aussi, il dépend des niveaux de puissance et d'énergie nécessaire selon le type d'application.

Puissance crête (W_c)	< 500 W_c	500 W_c - 2KW $_c$	>2KW $_c$
Tension du système (V)	12 VDC	24 VDC	48 VDC

Tableau1.1. Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête [5]

1.5. Dimensionnement de la batterie

Celui-ci définit sa capacité de stockage C en KWh puis en Ah. Comment fixer C ?

Le stock d'énergie répond à deux besoin, et le choix de la capacité doit par ailleurs satisfaire à 04 contraintes ;

1.5.1. Rôle du stock d'énergie

- Faire face aux périodes trop peu ensoleillées: le stock permet de satisfaire les besoins malgré la quantité aléatoire d'énergie solaire reçue ; en particulier, il assure la continuité du service pendant les périodes sans soleil (d'une certaine longueur).
- Utiliser au mieux le panneau de photopiles : si celui-ci n'a pas été dimensionné sur le mois le moins ensoleillé, la batterie doit permettre de combler un déficit éventuel pendant certaines périodes.

1.5.2. Capacité de la batterie

La capacité de la batterie est donc :

$$C = CR + CU \quad (1.8)$$

la capacité de la batterie = la capacité résiduelle + la capacité utile

La capacité résiduelle CR est la capacité qui n'est pas utilisée, pour préserver la batterie, tandis que la capacité utile CU , est la capacité qui peut être effectivement déchargée si nécessaire. Elle est égale à [2] :

$$CU = C1 + C2 \quad (1.9)$$

la capacité utile =

la capacité nécessaire pour faire face au soleil

+ la capacité nécessaire pour utiliser au mieux le dimensionnement du panneau

1.5.3. Choix de la capacité de la batterie

Il s'agit de choisir C , la capacité en Ah, on est amené à faire trois choix :

1- $\frac{CU}{C}$

2- $C1$

3- $C2$

1.5.3.1. Les contraintes à respecter

Pour le choix de la capacité C , on se retrouve devant différents critères :

1.5.3.1.1. Le courant de décharge maximal (IDC max)

Pendant une période de plus de 10 à 30 seconde, le courant de décharge maximal doit être inférieur à $\frac{1}{10}C$ [1]:

$$IDC \max < \frac{1}{10}C \quad (1.10)$$

Où C es exprimée en Ah.

Ainsi :

$$PDC \max < \frac{1}{10}CP \quad (1.11)$$

la puissance maximale en courant continu (Wh) < $\frac{1}{10}$ de l'énergie stockée (Wh)

Par exemple, pour une batterie de 500 Ah, le courant de décharge maximal doit être inférieur à 50 A.

1.5.3.1.2. La quantité d'énergie maximale prélevée chaque jour (QDC max)

Elle doit être au plus de l'ordre de 10 à 20 % de la capacité totale (selon le type de la batterie) [1]:

$$QDC\ max < 0.1 \text{ à } 0.2\ C \quad (1.12)$$

En considérant le même exemple que précédemment, pour une batterie de 500 Ah, la quantité d'énergie électrique maximale prélevée en un jour sera de 50 à 100 Ah.

1.5.3.1.3. La profondeur de décharge ($\frac{CU}{C}$)

La profondeur de décharge, c'est-à-dire le pourcentage de la capacité de la batterie que l'on s'autorise à prélever, conditionne sa durée de vie totale.

Cette contrainte diffère selon le type de la batterie utilisée, l'objectif de vie visé et son mode de fonctionnement.

1.5.3.1.4. Charge (et recharge) de la batterie

A partir d'un état « vide » ($CU=0$), la durée de recharge doit être telle que le stock puisse faire face à ses deux rôles (C1 et C2) dès que besoin.

Pratiquement, l'idéal est d'assurer la recharge selon la procédure optimale pour la batterie. En tous cas, il faut éviter que le courant de recharge de la batterie soit inférieur à $\frac{1}{50} C$.

Donc, me courant délivré par le panneau servira partiellement à recharger la batterie [1]:

$$IPV = IU + ICH \quad (1.13)$$

le courant débité par le panneau
= le courant utilisé par les occupants + le courant de recharge

1.5.3.2. Le choix de la capacité C1

Il repose d'abord sur une estimation du nombre maximal de jour consécutifs où le rayonnement global est très faible (sans soleil ou durée d'ensoleillement inférieure à l'heure).

Les périodes « sans soleil » longues arrivent généralement en hiver. Par ailleurs, à chaque période sans soleil correspond une demande d'énergie électrique à la batterie.

Pour une période sans soleil de K jours consécutifs [2]:

$$CS_K = K \times Bi \tag{1.14}$$

l'énergie totale demandée à la batterie =

le nombre de jour sans soleil × l'énergie électrique demandée par jour à la batterie

1.5.3.3. Choix de la capacité C2

En l'absence d'une source complémentaire, C2 représente une à deux semaines d'utilisation pendant la période la moins ensoleillée (consommation moyenne du mois le moins ensoleillé × 7 à 14 jours).

Le dimensionnement de batterie est configuré dans le schéma bloc suivant :

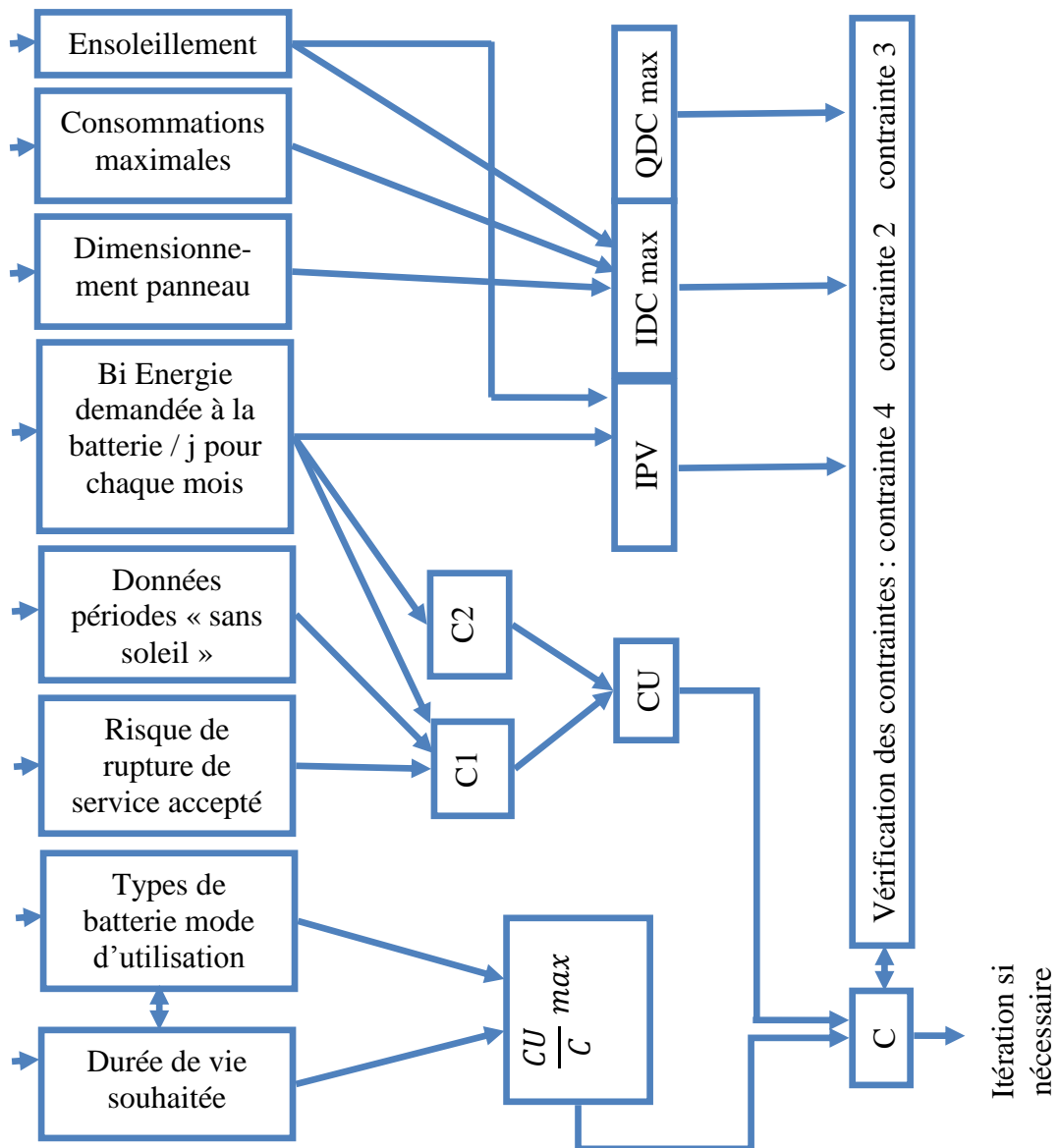


Figure 1.3. Dimensionnement de la batterie. Tableau synoptique de la procédure.

1.6. Dimensionnement de l'onduleur

Pour fixer la puissance nominale de l'onduleur, il faut estimer :

- La charge maximale probable pendant une durée supérieure à 10 – 20 minutes : les charges de courtes durées ne sont pas prises en compte.
- La charge maximale instantanée : elle est généralement égale à 04 fois la puissance du moteur le plus puissant que l'onduleur devra démarrer.

L'onduleur devra pouvoir fournir la charge maximale probable pendant une durée supérieure à 10-20 minutes en permanence et la charge maximale instantanée pendant quelque secondes. Ces deux valeurs sont bien connues des constructeurs. [6]

La puissance maximale doit être la plus faible possible afin de limiter au maximum les pertes à charges faibles ou nulle, tous spécialement si l'onduleur est amenée à fonctionner d'une façon continue.

Si la puissance nominale est calculée au plus juste, le disjoncteur de l'onduleur déclenchera de temps en temps. Pour une habitation moyenne, l'onduleur a une puissance nominale comprise entre 0.5 et 2.5 KVA, selon le système retenu (valeur moyenne 1.8 KVA) [6].

1.7. Dimensionnement des câbles de raccordement

La plus part des installations photovoltaïques fonctionne sous une faible tension (12 à 48 Vcc) et courant relativement élevé. Or, les pertes en lignes sont proportionnelles au carré de l'intensité (RI^2 ou R est la résistance du câble considéré). [2]

Qu'il s'agisse du câble permettant de raccorder le panneau à la batterie, ou de celui permettant de raccorder la batterie aux appareils, il faut en calculer la section de façon à limiter les pertes en lignes. Celles-ci doivent être faibles par rapport à la puissance réellement transmise par la ligne, si possible inférieures à 04 ou 05 % de cette puissance. [1]

1.7.2.1. La liaison électrique panneau-batterie

Soit une installation alimentant une batterie de tension nominale 12 V à partir d'un panneau 12 V/160 Wc.

Il s'agit de calculer la section de câble permettant de limiter à 0.48 V (4% de la tension nominale) la chute de tension maximale dans le câble de liaison, le panneau et la batterie étant distant de 15 mètres environ.

Le courant maximal qui sera délivré à la batterie est donc de l'ordre de 10A (160 W maximal) sous une tension optimale de 14 V environ.

La résistivité du cuivre est de $1.8 \cdot 10^{-8} \Omega/m$. Si on appelle ΔU_{max} la chute de tension maximale, elle s'écrit en fonction du courant I_{max} :

$$\Delta U_{max} = R \times I_{max} \quad (1.15)$$

La résistance R est fonction des paramètres constitutifs du câble selon la formule :

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.16)$$

$$\text{la résistance } (\Omega) = \frac{[\text{la résistivité } (\Omega \cdot m) \times \text{la longueur du câble } (m)]}{\text{la section } (m^2)}$$

D'où :

$$R = \frac{\Delta U_{max}}{I_{max}} = \rho \frac{l}{S} \quad (1.17)$$

Qui permet de tirer la section du câble S :

$$S = \frac{I_{max}}{\Delta U_{max}} \times \rho l \quad (1.18)$$

Soit dans l'exemple traité $S=11.25 \text{ mm}^2$. Il est donc nécessaire d'utiliser du câble de section au moins égale à 12 mm^2 .

La section du câble devient vite très importante et donc son prix aussi. Il est par conséquent, nécessaire de faire un compromis entre un coût raisonnable du câble, et les pertes en ligne (afin de ne pas sur-dimensionner le panneau).

1.7.2.2. La liaison électrique batterie-appareils

1.7.2.1. Distribution en courant continu

Le même calcul doit être effectué pour la section du câble entre la batterie et les différents appareils à alimenter.

Il doit tenir compte de la conception de la distribution : dans le cas d'une seule sortie de la batterie, les appareils sont montés en parallèle. Tandis que dans le cas où la batterie possède plusieurs sorties (modèles qui existent sur le marché), chacune de ces sorties est branchée à un appareil ou une série d'appareils.[6]

Le câblage total est souvent plus long, mais le courant maximal dans chacun des circuits est moindre, d'où une section plus faible, et un prix finalement moindre.

1.7.2.2. Distribution à partir d'un onduleur

On distribue du courant alternatif 220 V. la distribution est alors tout à fait classique, et le lecteur pourra se reporter à de nombreux et excellents ouvrages sur ce sujet (ou s'adresser à un installateur).

CONCLUSION

Avec les données de la première étape, il est possible de connaître la quantité de modules photovoltaïques nécessaires pour la fourniture de l'énergie électrique dans l'installation considérée. Dans ce chapitre, consacré à la méthode de dimensionnement des installations autonomes, nous avons intégré les données indispensables concernant les caractéristiques du site d'installation et de l'énergie solaire reçue sur le site lui-même.

La première étape permet, également, de calculer la quantité de batteries. L'énergie qu'il faut stocker dépend directement de la périodicité de la consommation. Autrement dit, il vous faudra beaucoup moins de batteries si vous consommez un peu d'électricité tous les jours (consommation régulière) que si vous consommez tout en quelques jours (par exemple pendant les vacances), et cela même si dans les deux cas vous avez consommé la même quantité.

Enfin, le dimensionnement de l'installation photovoltaïque autonome est terminé lorsque le calcul de la section des câbles électriques transportant l'énergie est effectué. Une section trop petite augmente la résistance et la température du câble, ce qui réduit la puissance de l'installation.

REFERENCES BIBLIODRAPHIQUES

[1] : FOGELMAN & Régis MONTLOIN, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé » livre édité par : EDISUD, 1983.

[2] : I. BENSEFIA & S. MAMOUN, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'une Maison Autonome Appliquée au Site de Tlemcen », Mémoire de fin d'étude présenté pour l'obtention du Diplôme Licence LMD en Physique Energétique, Université de Tlemcen, Juillet 2008.

[3] : Falk ANTONY, Christian DÜSHNER et Karlheinz REMMERS, « Le photovoltaïque pour tous Conception et réalisation d'installation », livre édité par : INES), 2006.

[4] : Emmanuel RIOLET, « L'énergie solaire et Photovoltaïque pour le particulier », livre édité par : EYROLLES), 2009.

[5] : Anne LABOURET et Michel VILLOZ, « Energie Solaire Photovoltaïque », livre édité par : DUNOD), 2006.

[6]: Rick DEGUNTHER, "Solar Power Your Home for DUMMIES" livre édité par: Wiley Publishing, Inc, 2008.

.