

Etude d'un système avec stockage

des professionnels de l'énergie solaire disposent de logiciels d'optimisation pour mettre au point des solutions adaptées aux demandes de leurs clients. Ces logiciels suivent tous une démarche similaire résumée par la

figure suivante (synthèse)

1 - Evolution des besoins (Étape 1)

Il faut privilégier systématiquement l'économie d'énergie au niveau des récepteurs. Il faut donc mettre en œuvre les appareils les plus performants.

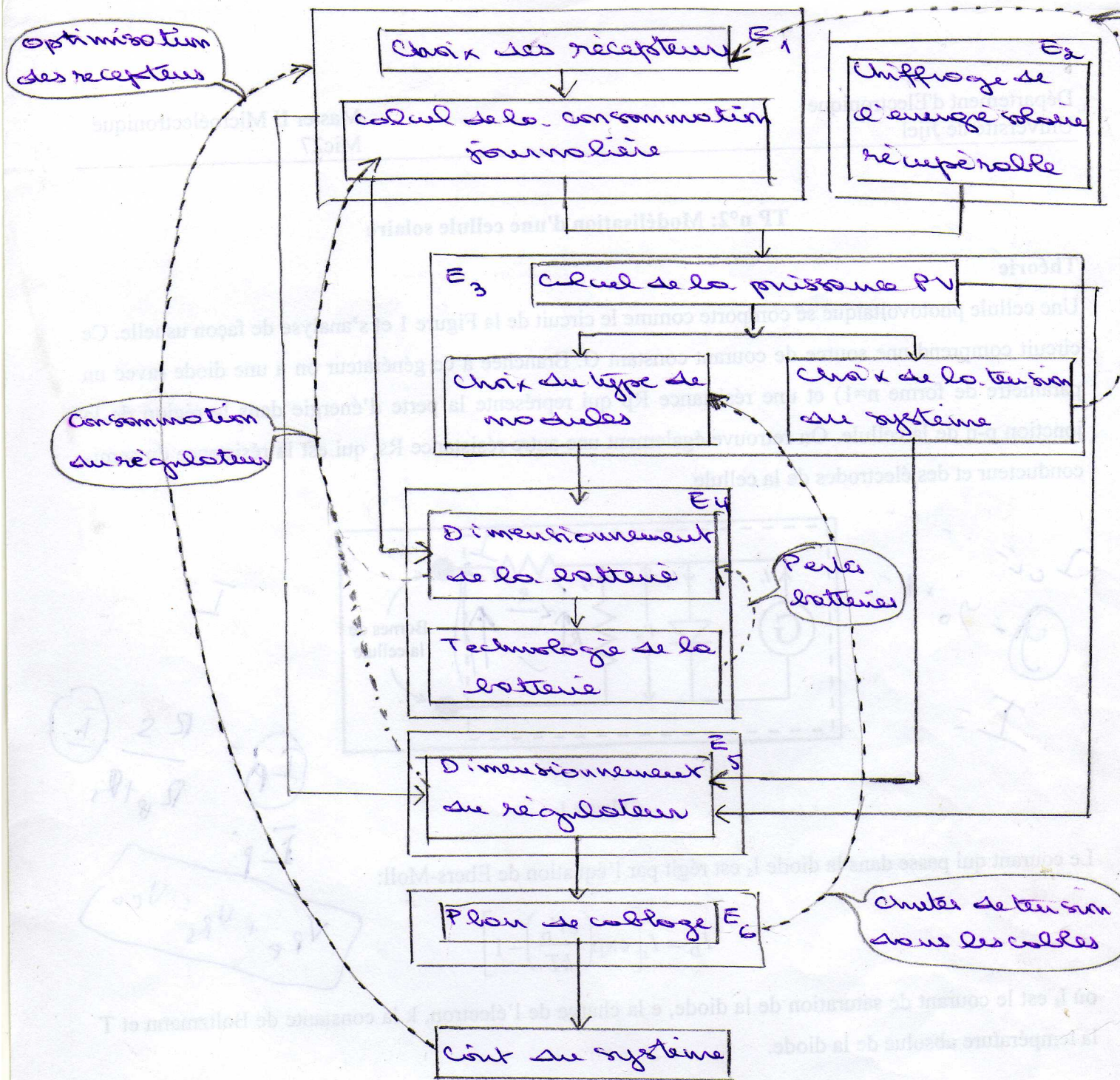


Diagramme simplifié du dimensionnement
d'un système PV autonome DC.

appareils dès que possible

a - la tension des récepteurs

plus le champ PV est puissant, plus il faudra choisir une tension élevée (pour éviter les Ampérages trop forts)

Il n'est donc pas facile de la choisir à priori

b - le besoin en énergie de l'appli^{co}

Connaître sérieusement son besoin en énergie permet de disposer d'un système bien adapté.

L'énergie est le produit de la puissance par le temps

$$E = P \times t$$

Pour calculer la consommation totale d'une appli^{co}, on calcule l'énergie électrique consommée en 24h par chaque appareil ou chaque fonction électrique et on les additionne:

$$E_{\text{cons}} = P_1 \times t_1 + P_2 \times t_2 + P_3 \times t_3 + \dots$$

Appareil	nbre	Tension	puissance (W)	Rendement de conversion DC/AC (%)	durée de fonctionnement (h/j)	consommation journalière (Wh/j)
<u>Lampes</u>	5					
Lampes	5	24VDC	10	-	3 heures	150
Ensemble Radio	1	24VDC	2	-	24h	48
en veille					2h	320
Ensemble Radio (en émission)	1	24VDC	160	-		
outillage	1	220VAC	500	85	20 min	294
Total	-	-	672	-	-	812

La consommation de l'outillage se calcule comme suit :

$$\frac{500 \text{ W} \times 0,5 \text{ h}}{0,85} = 294 \text{ Wh}$$

Si tous les appareils fonctionnent à leur tension la consommation journalière peut également se chiffrer en Wh. Pour avoir le chiffre en énergie (Wh) il suffit de multiplier par la tension du système. ex :

Si la consommation varie sous l'effet, il faut en tenir compte (Week-end, etc. etc.), ex consommation Week-end $\times \frac{2}{7}$

2. Energie solaire récupérable (Eloape 2)

a - orientation et incision des modules.

On appelle orientation le pt cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (S, N, S-O) quant à l'inclinaison, elle indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal

comment s'élève et incline les anneaux ?

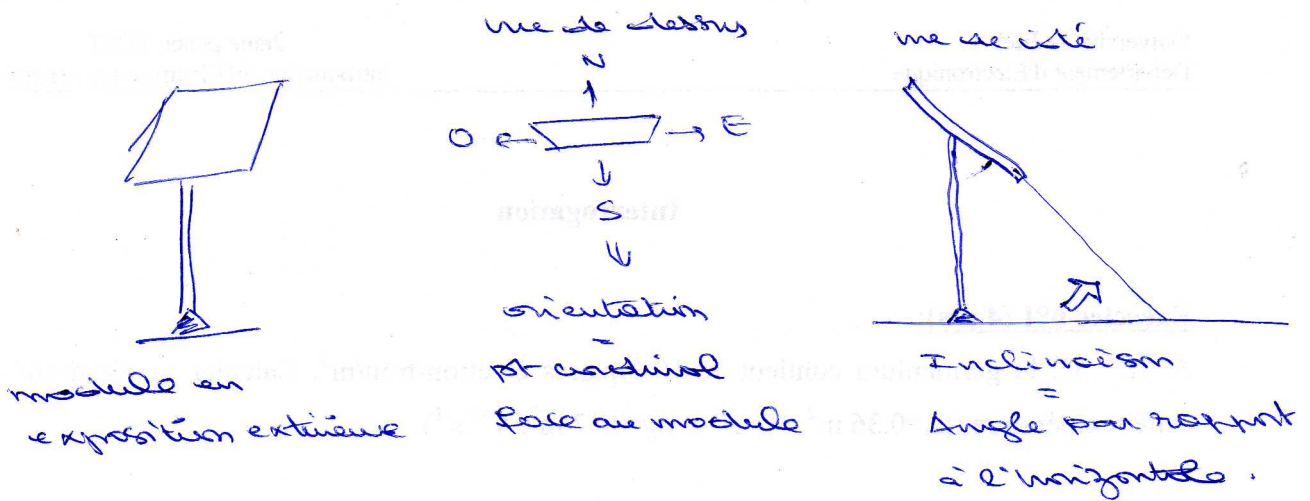
quand on a le choix, on va vers le modèle vers l'équation de qui donne

- merit° and leand shows le hemisphere was

- " " " Nad " "

Ence qui concerne l'inclinaison : Prenons le cas d'une application autonome qui consomme une énergie quasi constante tout le long de l'année et se peut optimiser la production pendant l'hiver. En Europe, l'inclinaison idéale est environ égale à la latitude du lieu $\pm 10^\circ$ (pour une orientation Sud)

Si l'appliance fonctionne seulement en période estivale
une inclinaison de 20° à 27° est préférable



Rig. de fixation des panneaux et de l'inclinaison d'un panneau.

b. Données météorologiques:

une surface exposée au soleil reçoit à un instant donné un rayonnement solaire en W/m^2 qui est un flux (puissance / surface). Ce flux varie au passage des nuages, selon les heures de la journée ..., Au bout d'une journée, ce flux a produit une énergie journalière ou rayonnement solaire cumulé (intégrée) en Wh/m^2 . jour = $W/m^2 \cdot h/j$. grâce au station météo. ce sont ces données globales sur une journée qui servent le plus souvent au temps au dimensionnement d'un système PV. Pour un dimensionnement plus rapide, on se servira de la valeur la plus faible de la période de fonctionnement se l'appliquera.

c. Ombrage.

Les effets d'ombrage sont ^{très} difficiles à estimer ^{intuitivement} sur le rayonnement reçu, il faut faire attention aux ombres partielles même très ponctuelles, et aux montages en série (rangées) (effet d'ombrage mutuel). Le site doit être si possible d'une bonne exposition au soleil. (PV syst)

3. Définition des modules PV (Étape 3)

a. Calcul de la puissance-crête du système:

- * production électrique du panneau
- 1. l'énergie électrique produite par un module PV.

$$E_{\text{prod}}^{(wh)} = N \cdot P_c$$

n heures d'exposition puissance P_c (w)

condition $STC(h)$

2- Le rayonnement solaire n'est pas constant $\Rightarrow$

$$E_{\text{sol}} = N_e \times 1000 \quad (1)$$

Energie solaire ($wh/m^2 \cdot j$) = n heures équivalentes (h/j) $\times 1000 (w/m^2)$

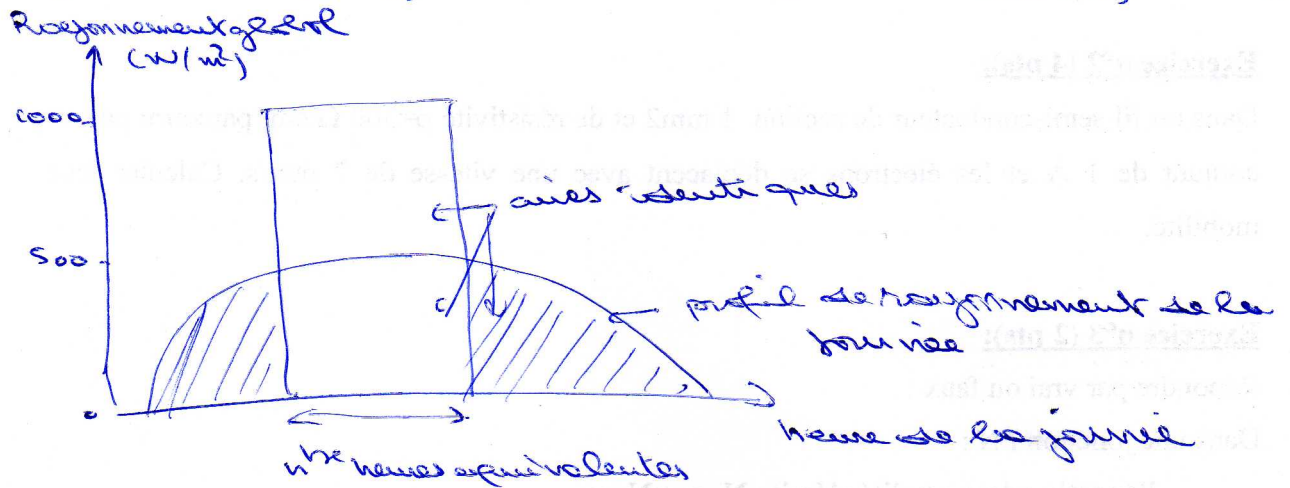


fig IV. Représentation de n heures équivalentes d'une journée de rayonnement solaire.

Exemple:

Pendant une journée à la station météo de Tropic, en décembre, à l'orientation Sud et l'inclinaison 60° , le soleil fournit $1,12 kWh/m^2 \cdot j \rightarrow N_e = 1,12 h$

3- la puissance du panneau α au rayonnement instantané

$$\Rightarrow E_{\text{prod}} = N_e \cdot P_c \quad (2)$$

Energie électrique produite
sous la journée (wh/j)

n heures équivalentes
(h/j)

Puissance crête (w)

de (1) $\Rightarrow$

$$N_e = \frac{E_{\text{sol}}}{1000} \rightarrow E_{\text{prod}} = E_{\text{sol}} \cdot P_c$$

(wh/j) $kWh/m^2 \cdot j$ w

$$P_c = I_m \cdot V_m$$

$$\Rightarrow Q_{\text{prod}} = \frac{E_{\text{prod}}}{3600} = \frac{E_{\text{sol}} \cdot P_c}{3600} = E_{\text{sol}} \cdot I_m (Ah/j) \quad (3)$$

* pertes électriques:

les calculs on va prendre en compte toutes les sources de perte au système (câbles, câbles sous montage)

des pertes électriques des convertisseurs éventuels (DC/AC) ne sont pas prises en compte si c'est le cas, mais elles sont intégrées au calcul de la consommation des récepteurs (E_{cons}).

types de pertes:

- perte par sollicitation du panneau (modification du ΔT) (5-15%)
- chute de tension entre le panneau et la batterie
- pertes des diodes anti-retour
- aux bornes du régulateur série. Compteur des interruptions en ligne
- aux bornes des câbles (longueur, section, Ampérage)
- chute de la tension avec la température (1) (P_{C-25°)
- efficacité énergétique de la batterie (act) (si amorphe)
- régulateur électrique ($\neq$ MPPT). Le module PV ne travaille pas à son PPM.
- E_{act} entre la réalité et le calcul: perte des départs et fin de journée (forte éclipsement, le soleil n'est pas suffisant pour charger la batterie) si amorphe
- perte liée à la puissance réelle.

Chiffage des pertes:

En règle générale:

- 1) Les modules PV servant à alimenter un système 12V nominal doivent avoir une tension au PPM au moins égal à 17-18V (pays chauds) et 15-16V (pays tempérés) (pour un système 24V doubler les valeurs)

- 2) Coefficient de pertes en courant

pour les solaires $c_{p1} \in [0,8 - 1]$

efficacité batterie $c_{p2} \in [0,5 - 0,9]$

$$\left. \begin{array}{l} \text{pour les solaires } c_{p1} \in [0,8 - 1] \\ \text{efficacité batterie } c_{p2} \in [0,5 - 0,9] \end{array} \right\} \Rightarrow c_p = c_{p1} \cdot c_{p2} \in [0,4 - 0,9]$$

$$c_p \in [0,65 - 0,9]$$

exemple:

chute de tension: 10V / 12V = 0,833

- chute sous les cables 0,5V

- perte d'échauffement à 20-T moy du kit : +1,5V

→ choisir ses modules dont la tension $V_m \rightarrow P_c$ est :

a V_{max} de la batterie + pertes de tension :

$$V_m = 14V + 2,8V = 16,8V \quad (\text{batterie } 12V)$$

• Calcul pratique de la puissance PV

comprend la formule

En considérant les pertes, la formule (*) devient :

$$Q_{prod} = C_p \times E_{sol} \times I_m$$

Énergie produite sous la journée (Ah/j) Coefficient de pertes enct Énergie solaire journalière (Kwh/m².j)

$$I_m = \frac{Q_{cons}}{E_{sol} \times C_p}$$

→ I_m = Énergie Elec consommée / j Par l'appli^c (Ah/j)
C'est à P_{max} STC du module (A)
Énergie solaire journalière la plus défavorable (Kwh/m².j) Coefficient de pertes enct.

Exemple:

- consommation journalière : 812 Wh/j soit 34 Ah/j en divisant par 24 V (tension nominale souh^{te}).

- coefficient de pertes en courant : 0,75

- Énergie solaire journalière de Paris en décembre (exposition 60°) 1,12 KWh/m².j →

- courant I_m nécessaire : $I_m = \frac{34}{1,12 \times 0,75} = 39,405A$

avec des modules ayant une tension max V_m de 34V, la puissance PV du système devra être au min de :

$$P_c = 39,405A \times 34V = 1337,7W_c (= 1,38KWe)$$

b - Technologie des modules

Il faut s'assurer de l'adéquation du type de panneau à l'appli^c :

- Tension suffisante

- Type de garantie sur la puissance crête

- Tenue climatique

exemples:

si l'exercice a des cas particuliers.

- faible puissance ($< 10 \text{ Wc}$) en climat tempéré
 - applico^o les crit (climats --)
 - produit portable ou flexible
 - certaines applico^o architecturales (aspect esthétique)
- pour P > 500 W on peut en installer 1

c) Tension de fonctionnement et structure du champ PV:

* tension nominale du système PV

la tension du champ PV à retenir (12, 24, 48 V ou plus) dépend

- du type d'appliquo^o
- de la puissance PV du système
- de la disponibilité des matériels (modules et récepteurs)
- de l'extension géographique du système

concrètement, le tableau ci-dessous indique la tension adoptée la plupart du temps:

puissance du champ PV	0 - 500 W	500 Wc - 2 kWc	2 - 10 kWc	$> 10^4$
tension recommandée	12 VDC	24 VDC	48 VDC	> 48

(vérifier la disponibilité des récepteurs, sinon utiliser un convertisseur DC/AC $\Rightarrow$ prendre en compte leur rendement = réduire la consommation $\Rightarrow$ augmenter la puissance PV)

* composition du champ PV:

lorsque la puissance PV nécessaire est bien établie, on compose un champ de modules en -- / // ou seulement en // selon la tension des modules et du champ à construire.

Ex 1 puissance crête nécessaire: $P_c = 1377 \text{ Wc}$ en 24 V nominal

le module retenu: $47 \text{ Wc} - 12 \text{ V} \Rightarrow 12$ modules

30 modules $\Rightarrow 1410 \text{ Wc}$

câblage 2 à 2 en -- $\Rightarrow 15$ chaînes 24 V

monter les 15 chaînes en //

Ex 2: panneau $\times 150 \text{ W} - 24 \text{ V} \Rightarrow 9$ ou 10 modules panneaux

4) Dimensionnement du stockage et du régulateur (Étape 4)

Le choix de sa capacité nominale dépend grandement de la technologie (batterie fermée, ouverte, AGM, gel ...) par les variations de capacité avec la température, le nombre de cycles de durée de vie ... [AGM : Absorbed Glass Mat]

4.1. Autonomie sans apport solaire

On appelle n_{j_a} le nombre de jours d'autonomie sans apport solaire. N_{j_a} la durée de qeq jours pendant laquelle la batterie peut alimenter seule l'installation à la période de l'année (les panneaux étant considérés absents).

C'est sur cette base que l'on calcule la batterie. La durée d'autonomie nécessaire est liée à la probabilité de passer une semaine sans soleil jour à l'affilée, avec un ensoleillement ^{très} défavorable (cela dépend de la météo au lieu).

Pays tempérés : 5-8 j ou 10-15 j pour les systèmes semi-ble

Pays tropicaux : 2-4 j

4.2. Calcul de la capacité

La capacité nominale d'une batterie est donnée généralement pour une décharge en 20h (notée C_{20}) à $T = 25^\circ C$.

La capacité nécessaire pour un fat de N_{j_a} et une consommation électrique journalière Q_{cons} est de :

$$C_u = N_{j_a} \cdot Q_{cons} (Ah) \quad (C_u : \text{capacité utile en Ah})$$

Pour calculer C_{20} , il faut en fait de C_u , il faut tenir compte de la température et/ou de la profondeur de décharge autorisée.

a. Profondeur de décharge

une batterie ne doit pas être déchargée en dessous d'un certain seuil.

E_{ch} : état de charge de la batterie compris entre 0 et 1

P_D : Profondeur de décharge $= 1 - E_{ch}$

de n^{e} cycles sera inversement proportionnel à la profondeur de décharge

pour un usage normal (4j d'autonomie, $P_D = 0,7 - 0,8$ selon les modèles de batterie

pour une autonomie de 8j $\rightarrow P_D = 0,9 - 1$.

b. Effet de la température

des réactions ^{chimiques} de charge / décharge de l'acide sont ralenties par le froid $\rightarrow$ ce qui fait baisser la capacité de la batterie. Pour déterminer la réduction de capacité, il faut disposer des courbes de décharge à diverses T fournies par le constructeur de la batterie :

ex :

Tension / élément (V)

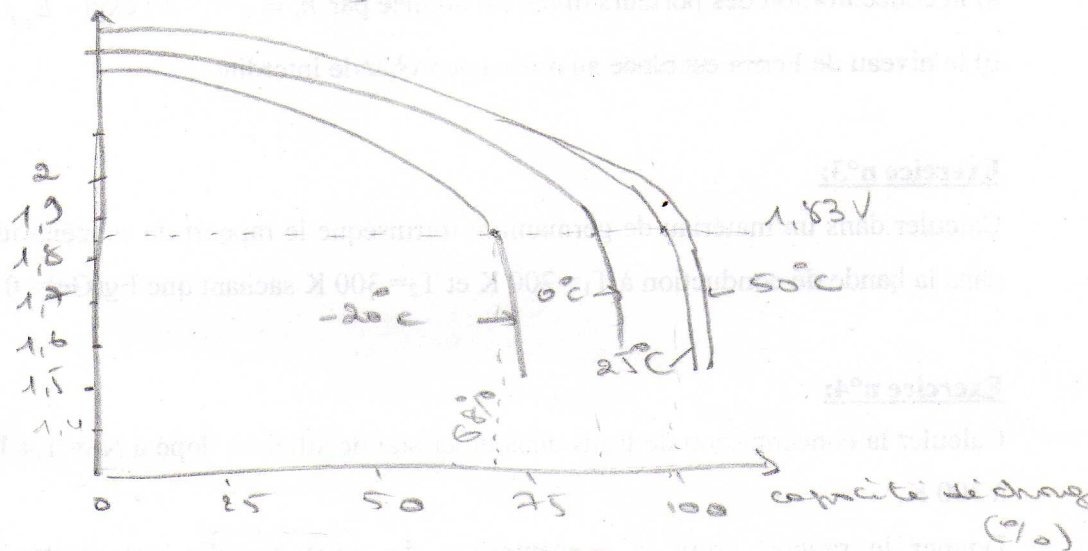


Fig. Détermination d'une réduc^o de capacité

avec T (ex choisi: Batterie Pb fermée type ABM-Haw

Pour une cellule dont qui décroche à 11V soit 1.83V / élément
la batterie aura une capacité disponible de 68% à -20°
si on la décharge jusqu'à 1.83V / élément $\rightarrow R_T = 0,68$.

c. Calcul de la capacité avec des coeff réducteurs

on calcule la capacité nominale comme suit.

$$C_{20} = \frac{C_u}{P_D \times R_T} = \frac{C_u}{P_D \times R_T} \quad \begin{matrix} \text{(Ah)} \\ \text{(Ah)} \end{matrix}$$

4.3. Choix du type de la batterie : En plus de l'influence des paramètres de cyclage et de durée de vie on le choisit d'autres paramètres

- l'entretien
- le taux de remplissage
- le coût
- la disponibilité
- le recyclage

4.4. Dimensionnement de la régulation

4.4-a. choix d'une technologie

- simple régulateur de charge, ex: ~~matériel professionnel~~ autonome dont la carte électronique ne gère pas les Pb de recharge éventuels
- régulateur charge/décharge, repérés pour les applcs domestiques peuvent dépasser les consommations prévues + prévoir un délestage (shunt, série MPPT)
- flexibilité de la technologie de régulation est guidée par la puissance du système PV et par le type de batterie à charger en effet un régulateur shunt qui doit dissiper la puissance des panneaux en cas de surcharge de la batterie est mieux adapté aux petits systèmes et les régulateurs série aux plus gros systèmes.

4.4-b. dimensionnement

- Tension nominale: (12, 24 ou 48VDC), soit être celle du champ de courant d'entrée, c'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de délivrer à un instant donné qui doit être supporté par le régulateur.

$$I_{max} = 1.5 \times I_{cc\ tot} \quad \text{pour un régulateur shunt}$$

$$= 1.5 \times I_m \text{ (nom)} \quad \text{" " " "}$$

$$I_{max} = 1.5 \times I_{m\ Tot} \quad \text{au pt de puissance max}$$

à basse T $V = 2 \times V_m$ ($V_m \leq V_{oc}$)

- courant de sortie: (pour des régulateurs assurant la protection de la charge) C'est le courant maximal que peuvent tirer les récepteurs simultanément. ce courant dépend du mode d'utilisation des récepteurs (courants de pt transitoire ...)

Exemples,

nous avons 1410 W_c en 24V DC avec 30 modules 47 Wc 12V DC (en 15 branches de 2 modules), pour alimenter 812 W_{h/j} en P_{ans}. Le régulateur choisi est un modèle série.

- courant d'entrée : $15 \cdot 1,5 \cdot I_m = 15 \cdot 1,5 \cdot 47 \text{ W} / 17 \text{ V} = 62 \text{ A}$
($V_m = 17 \text{ V}$)

- courant de sortie : $(172 \text{ W} / 24 \text{ V} + 500 \text{ W} / (24 \text{ V} \times 0,85)) = 71,24,5 \approx 73 \text{ A}$

En transitoire, en supposons que l'outillage consomme 3 fois sa puissance nominale soit 73,5 A sous 24V de cet ordre totale sera de 80,6 A.

Le plan de régulateur série doit être donc un modèle de 24V - 60A et devra supporter un ct transitoire de 80A.

5) Plan de câblage :

5.1 - Courant continu à vérifier

- diamètres des câbles compatibles avec les borniers de composants prévoir une liste de jonction intermédiaire ou un bornier supplémentaire
- faire un plan ^{électrique} global de l'installation, placer les composants de plus précisément possible pour définir les distances modules / régulateur, régulateur / batterie, régulateur / récepteur
- placer le régulateur le plus près possible de la batterie
- sur le plan repérer chaque câble, sa longueur et l'ampère qui il devra supporter

5.1 - Courant continu : se fait

- compter la chute de tension sur les 2 pôles pour le courant allant et revenant au récepteur.
- limiter l'ent à 7 A/mm² pour éviter les échauffements
- pour les liaisons panneaux - régulateur on peut accepter ~ 0,5V au ct nominal des panneaux ($V_{nom} = 12 \text{ V}$)
- pour les liaisons régulateur - batterie, rester au dessous de 0,05V (pour la précision de régulation) $V_{nom} = 12 \text{ V}$
- pour le câblage des récepteurs, perte max de 0,5V (4%)

Tableau : Pertes chimiques du câblage (fil de cuivre)

section du câble	mm ²	1,5	2,5	4	6	10	15	25
Résistance	mΩ/m	13,3	8,0	5,0	3,3	2	1,3	0,8

chute de tension par mètre de câble simple

courant 1 A	mV/m	26,6	16	10	6,6	4	2,6	1,6
courant 3 A	mV/m	79,8	48	30	19,8	12	7,8	4,8
" 5 A	mV/m	133,4	80	50	33,4	20	13,3	8
" 10 A	mV/m	266	160	100	66	40	26	16

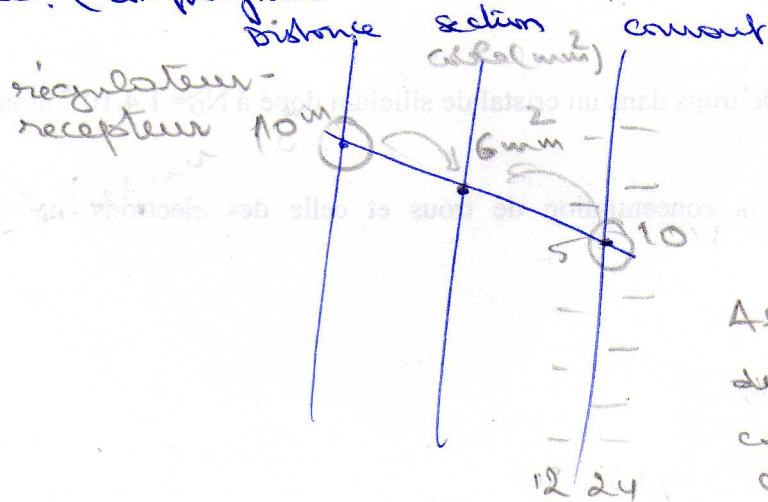
longueur de câble correspondant à 5% de pertes à 120 m

courant 1 A	m	22,5	37,5	60	90	150	225	375
" 3 A	m	7,5	12,5	20	30	50	75	125
" 5 A	m	4,5	7,5	12,5	18	30	45	75
" 10 A	m	2,3	3,8	6,3	9	15	23	38

pour les câbles en extérieur, utiliser des câbles simples multibrisés à isolation résistante aux UV (comme par ex)

5-2 - courant alternatif

Tout le câblage 230 V AC doit respecter les normes suisses concernées. (compagnies d'électricité).



Algorithme de détermination des sections de câble en courant continu

II aspects techniques chalet en suisse

II.1 situation et besoins:

II.1.1 situation générale et occupation

le chalet est situé dans la partie Est de la Suisse à une altitude de 1500 m. son fond de sud fait d'une bonne exposition. les propriétaires sont une famille de 4 personnes qui occupe cette maison régulièrement mais seulement le week-end. Parfois ils se trouvent avec des amis.