



Installations solaires photovoltaïques Systèmes autonomes

par Michel Villoz, directeur de Dynatex SA

Dynatex est une société spécialisée dans la conception et la fabrication d'électroniques de contrôle des énergies renouvelables, dans le design de systèmes solaires (autonomes ou connectés au réseau) et dans le conseil aux architectes sur les matériaux et l'utilisation du solaire dans l'habitat.

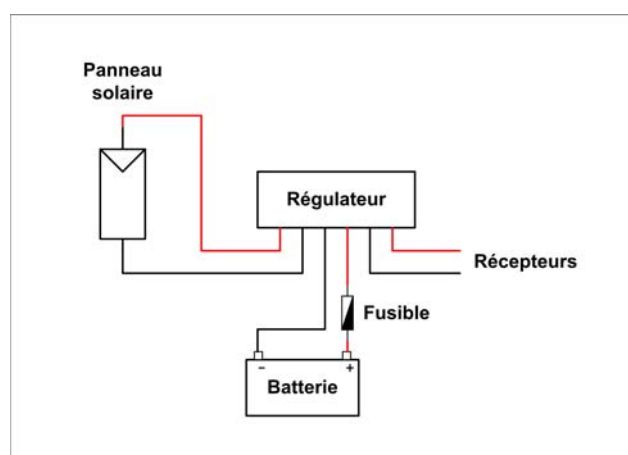
Lampadaire « luminescence » et lanterne Dynalight



1. Systèmes autonomes description

Habitat isolé
et
Solar Home Systems (SHS)

Schéma bloc - SHS



SHS enseignements

Type de propriété

- Privée
- Location par organisme de financement
- Publique (gouvernement, Cie d'électricité)

Expérience

- Sens de la propriété important pour la maintenance
- Systèmes privés durent plus longtemps que publiques
- En cas de panne, la location n'est plus payée

Choix primordiaux au design

- Haute qualité des composants et montage
- Maintenance réduite à 0

« SHS » en pays développés

- Cabanes de jardin
- Petites caravanes
- Petits bateaux (voiliers de sport...)
- Lampadaires

Avec le développement de petits onduleurs performants et économiques, les systèmes tout DC deviennent de plus en plus rares.

Cabane de vigne



7

mvilloz@dynatex.ch



Récepteurs : frigo & lampe

- Horloge
- Régulateur à compensation thermique
- Déconnection frigo en hiver

8

mvilloz@dynatex.ch



9

mvilloz@dynatex.ch



Lampadaire luminescence

Gestion de l'énergie

Éclairage proportionnel au soleil

Régulateur à comp. thermique

Interrupteur crépusculaire

Horloge

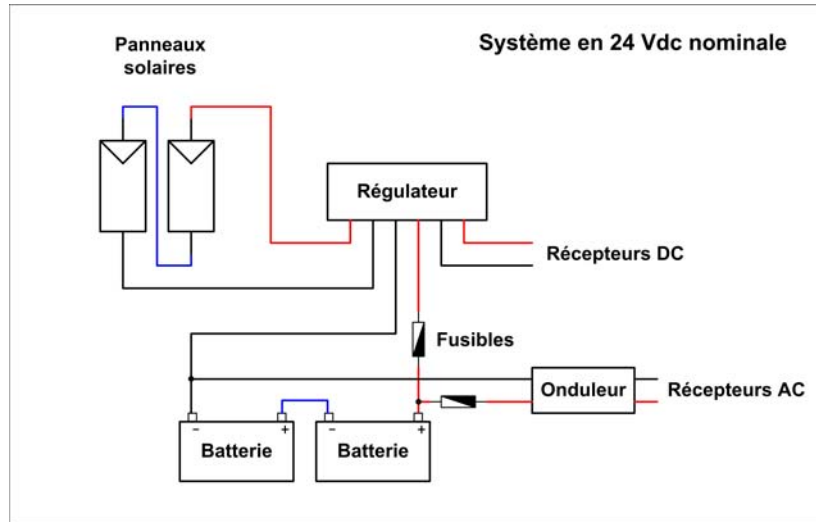
Lampe à LEDs > 50 lm/W

2 niveaux de lumière

10

mvilloz@dynatex.ch

Système DC et AC



11

mvilloz@dynatex.ch

DC & AC

- Grandes caravanes, bateaux
- Câblage étendu, nombreuses lampes
 - Prix lampe éco AC << lampe fluo DC
- Fonctionnement d'outillage, aspirateur
- Petit appareillage de cuisine
- Chalets, fermes isolées

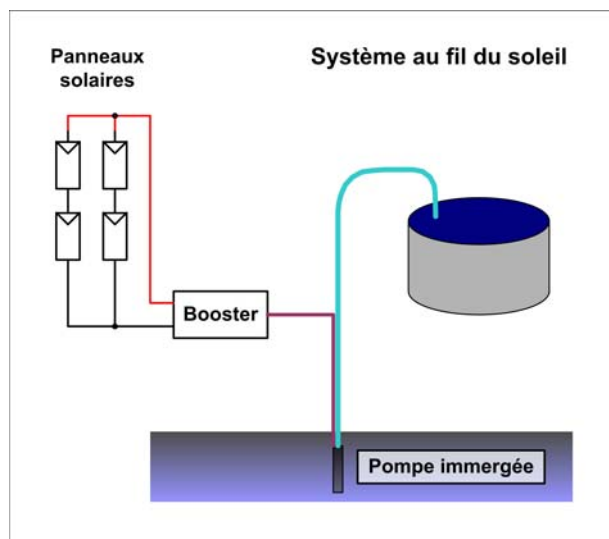
12

mvilloz@dynatex.ch

Habitat isolé – Critères de choix – AC&DC

- Tension de 24 V dès que besoins > éclairage
- Onduleur plus puissant pour même coût
- Pertes ohmiques <
- Rendement onduleur >
- Petits moteurs en DC pour max. de rendement (pompes à eau, ventilateurs...)
- Éventuellement quelques lampes en DC pour arrêter l'onduleur pendant la nuit

Système au fil du soleil



Electrification rurale PV

Systèmes en 24 Vdc

- Intérêt (par rapport à AC)
- Tension suffisante pour des récepteurs jusqu'à 1 kW
- Batterie basse tension, seulement 12 cellules
- Récepteurs disponibles à hauts rendements
- Machines rurales spécialement développées :
 - Moulin, décortiqueuse à céréales, moteur 4000 t/min
 - Machines de froid
 - Machine à traire (12 Wh / litre trait)
- Interrupteurs 230 Vac OK en 24 Vdc

Electrification rurale en 24 Vdc

Avantages :

- Fiabilité plus élevée
- Le 24 Vdc limite le choix des récepteurs risquant de surcharger le système
- Rendement global du système DC plus élevé
- Coût à long terme plus faible

Désavantages :

- Choix limité des récepteurs
- Système plus complexe, sections de câbles importantes

Machines rurales DC : moulin à céréales, groupe froid, (documents CMR)



17

mvilloz@dynatex.ch

Machines rurales DC : container frigorifique, démarreur moteur (documents CMR)



18

mvilloz@dynatex.ch

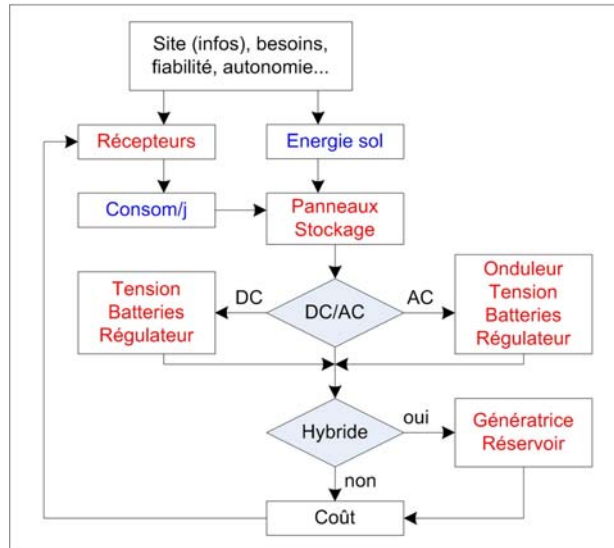
Machines rurales DC : machine à traire (doc Brückmann), alimentation DC/DC 12 / 300 V



3. Dimensionnement

- Fiabilité, disponibilité exigée
- Facilité d'accès au site, distances...
- DC ou AC
- Tension
- Hybride
- Récepteurs
- Batteries
- Panneaux

Dimensionnement itératif



21

mvilloz@dynatex.ch

Dimensionnement - questions préalables

- Nouveau système ou ancienne source existante ?
- Vieille génératrice ?
- Budget nécessaire (argent à disposition pour moderniser éventuellement les vieux récepteurs ?)
 - réfrigérateurs
 - éclairage
 - TVs, ordinateurs
 - machines diverses
 - pompes

22

mvilloz@dynatex.ch

Dimensionnement - récepteurs

- Vieille génératrice existante
- Budget nécessaire (argent à disposition pour moderniser éventuellement les vieux récepteurs ?)
- Fiabilité désirée
 - Composant connu, service local, garanties
- Longueurs de câblages (pertes ohmiques)
- DC ou AC
- Fonctionnement au démarrage (dl / dt)
- Consommation (ohmique, I constant ?)
- Stand-by ?
- Consommation journalière totale, constante ou variable ?

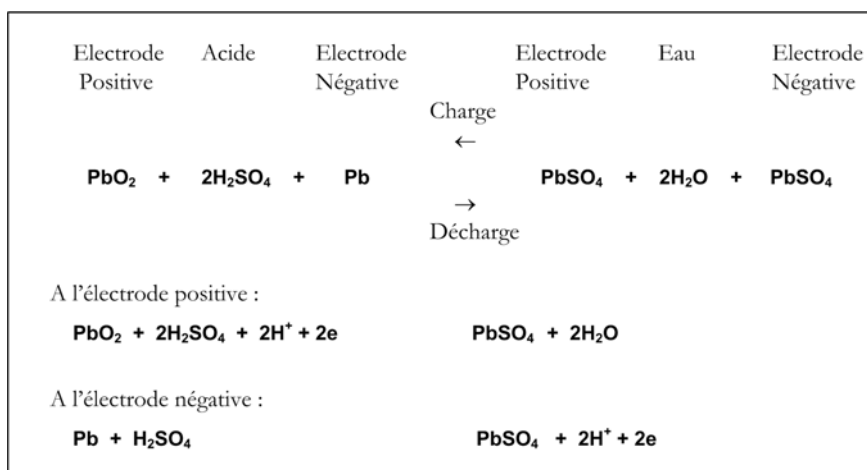
4. Composants, critères de choix généraux

- Prix
- Garantie, service, sérieux du fabricant
- Disponibilité, pièces de rechange
- Durée de vie espérée
- Solidité

Panneaux solaires – utilisables pour les applications autonomes

Type	Nombre cellules	Technologie	Pc W	Vmp V	Imp A	Rend. surf (%)	Régulateur	Gamme V
Free Energy 14-12C	29	a-Si:H	12	16.0	0.75	4.2	standard	12
Helios H245	36	c-Si	20	16.5	1.21	11.8	standard	12
Wurth WSK 0020	28	CIS	35	16.5	2.12	9.6	standard	12
Isofoton IS 36/12	36	c-Si	36	17.2	2.10	10.8	standard	12
BP Solar 350J	36	c-Si	50	17.3	2.89	11.1	standard	12
Photowatt PW 850	36	c-Si	75	17.0	4.40	10.9	standard	12
Wurth WSG E075	58	CIS	75	35.5	2.10	10.3	standard	24
First Solar FS280	116	Cd-Te	80	71.3	1.12	11.3	MPPT	12 à 48
Kyocera KC130	36	c-Si	130	17.6	7.39	14.0	standard	12
Yingli YL170P-23b	48	c-Si	170	23.0	7.39	13.1	MPPT	12
Aleo 03/175	72	c-Si	175	36.0	4.90	13.8	standard	24
Tenesol 2000/190	54	c-Si	190	27.0	7.20	13.0	MPPT	12
Canadian CS6P-190E	60	c-Si	190	28.6	6.64	11.8	MPPT	12
Sunpower SPR-220	72	c-Si	220	40.0	5.49	17.7	MPPT	12 à 24
Photowatt PW 6-230	72	c-Si	230	34.9	6.60	12.7	standard	24

Composants – technologie des batteries au plomb-acide



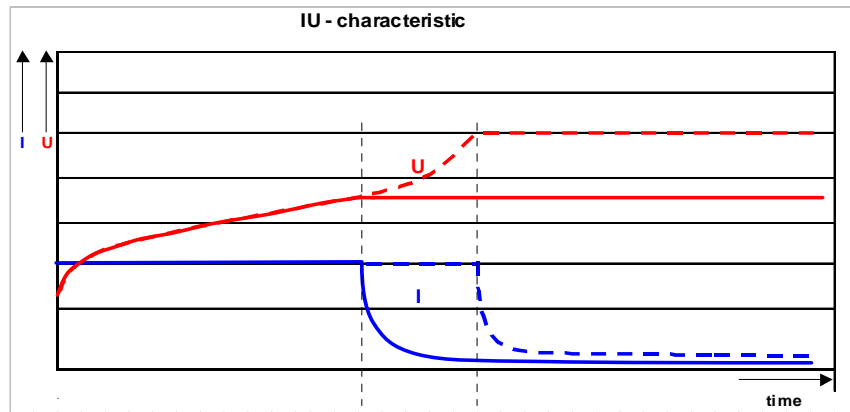
Composants – technologie des batteries au plomb-acide

- Décharge :
- Pb (11.3 g/cm³) et PbO₂ (9.4 g/cm³) deviennent PbSO₄ (6.2 g/cm³), augmentation de volume, perte de cohésion entre les particules actives
- H₂SO₄ devient H₂O, densité baisse, mesure facile de l'état de charge
- Si un état déchargé dure, risque de sulfatation, matière active n'accepte plus le courant (gros cristaux), reste isolante

Composants – technologie des batteries au plomb-acide

- Charge :
- Sulfates redeviennent Pb et PbO₂
- Densité de H₂SO₄ augmente
- En fin de charge, matière active ne peut plus se transformer, gazéification favorisant le brassage de l'électrolyte, perte d'eau
- Tension de charge baisse avec la température

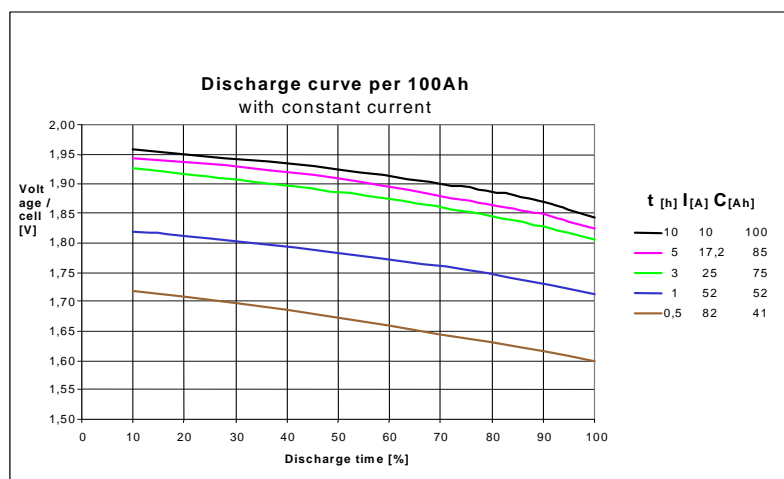
Composants – Batterie au plomb-acide caractéristique de charge



29

mvilloz@dynatex.ch

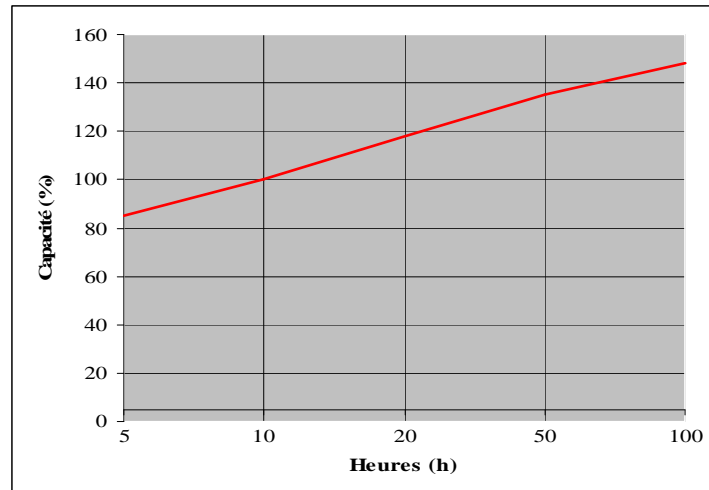
Composants – Batterie au plomb-acide caractéristique de décharge



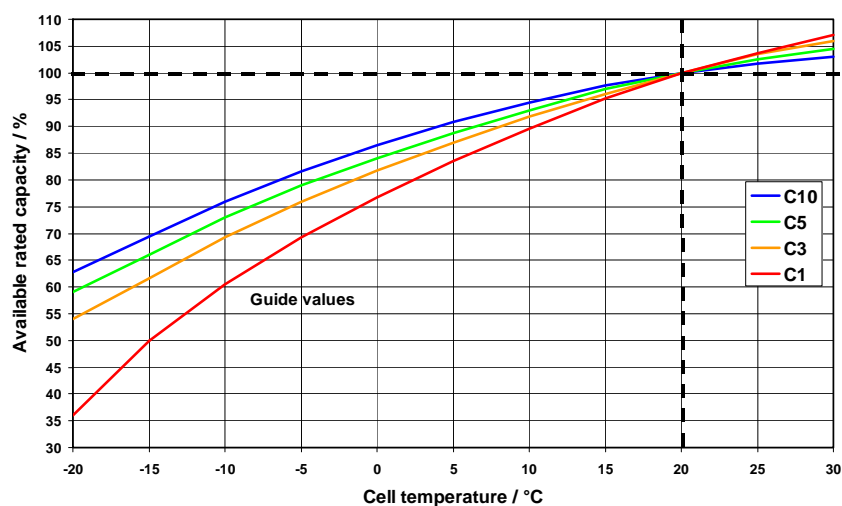
30

mvilloz@dynatex.ch

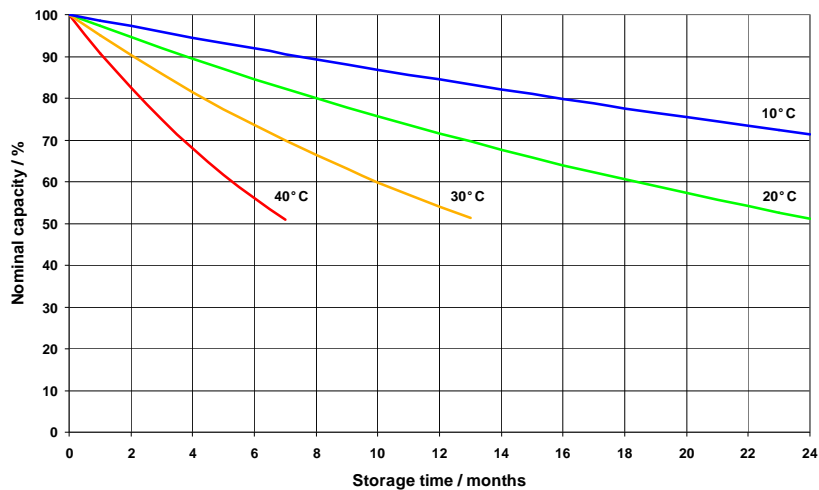
Composants – Batterie au plomb-acide OPzS capacité en fonction du courant de décharge



Composants – Batterie au plomb-acide capacité en fonction de la température

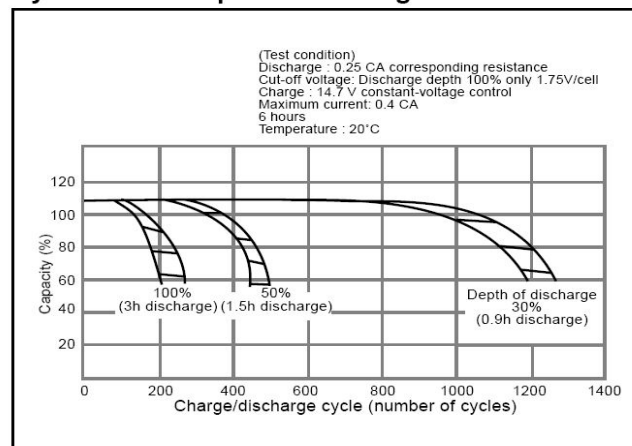


Composants – Batterie au plomb-acide autodécharge

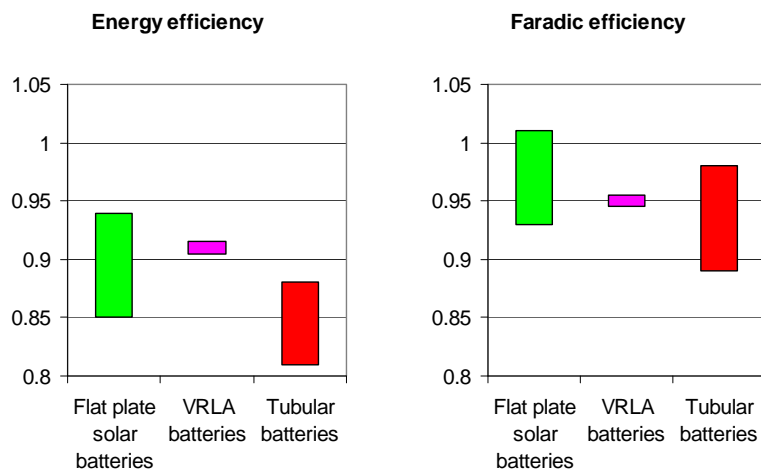


Composants – Batterie au plomb-acide VRLA AGM cycles en fonction de la profondeur de décharge

Cycle life vs. Depth of discharge



Composants – Batterie au plomb-acide rendement (en Wh ou Ah)



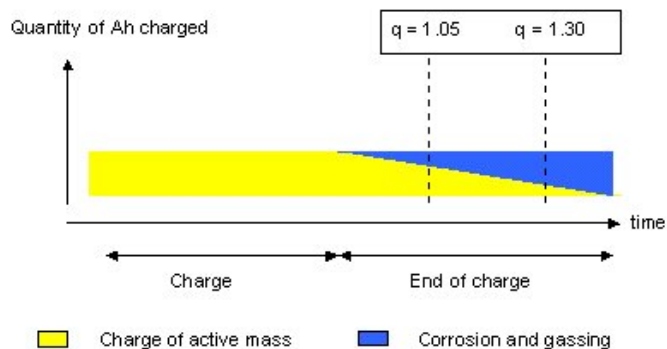
35

mvilloz@dynatex.ch

Batterie au plomb : seuil de fin de charge mesuré en Ah

Valeurs typiques admises:

- Batterie ouverte I charge (Ah) = 1.3 x I décharge (Ah)
- Batterie fermée I charge (Ah) = 1.05 x I décharge (Ah)



36

mvilloz@dynatex.ch

Composants – technologie des batteries au plomb-acide

- Vieillissement (batteries ouvertes) :
- Stratification de la densité de l'acide si fin de charge pas souvent atteinte
- Corrosion des électrodes (surtout positives) par acide concentré (double par 10 °C d'augmentation de température)
- Sulfatation importante si déchargé longtemps
- En fin de charge, corrosion électrode positive par O₂
- Ramollissement de la masse active lors des décharges, risque de perte de matière, tombe au fond du bac, court-circuit possible entre plaques

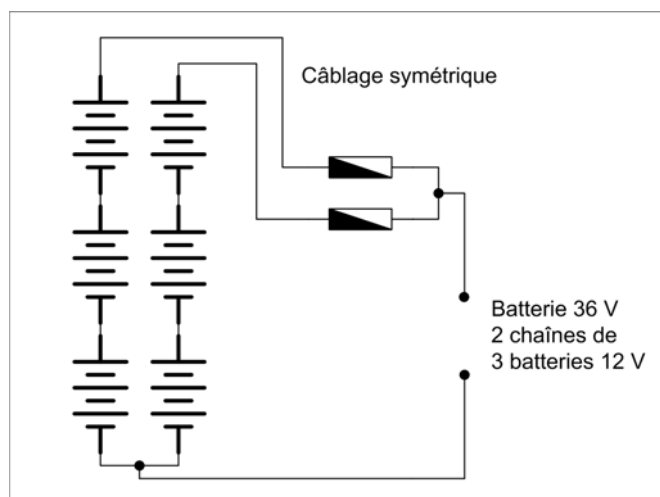
Composants – technologie des batteries au plomb-acide

- Vieillissement (batteries fermées) :
- Acide maintenu dans gel ou plaque AGM (fibre de verre), pas de stratification
- Sulfatation importante si déchargé longtemps
- En fin de charge, corrosion électrode positive par O₂
- Fin de charge à limiter plus précisément, pas d'accès pour ajouter de l'eau, risque de séchage de la batterie

Composants – technologie des batteries au plomb-acide

- Câblage :
- Mise en parallèle possible de cellules identiques de même âge
 - Liaisons identiques, équilibrées, un fusible par chaîne
 - Observer les précautions du fabricant
- Mise en série de cellules identiques (idéal: appairage des capacités)
 - Attention aux tensions élevées ($> 24\text{ V}$) si cycles profonds
 - En décharge, risque d'inversion d'une cellule de faible capacité
 - En charge, risque de surcharge d'une cellule de faible capacité
 - Régulateur contrôlant chaque cellule développé par Fraunhofer institut

Composants – câblage des batteries au plomb-acide



Composants – batterie au plomb fermée



41

mvilloz@dynatex.ch

Critères de choix des batteries

- Coûts initial et à long terme, financement disponible
- Ouvertes / fermées, températures
- Cycles espérés
- Durée de vie
- Profondeur de cyclage
- Technologie
- Technique de régulation choisie
- Batteries fermées pour grands systèmes (rendement >>)

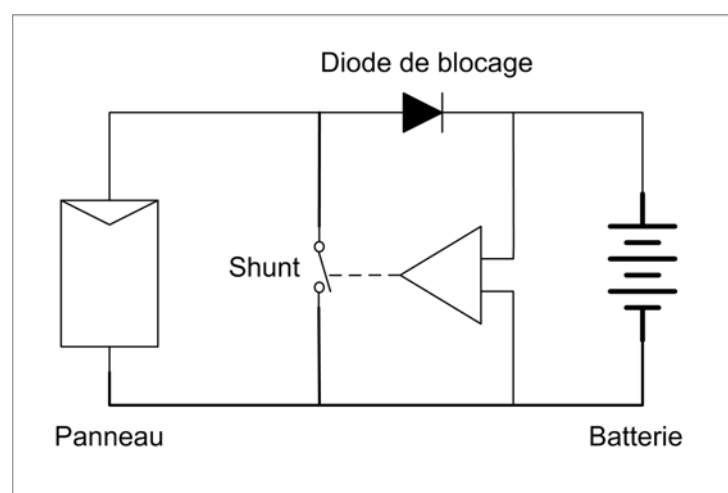
42

mvilloz@dynatex.ch

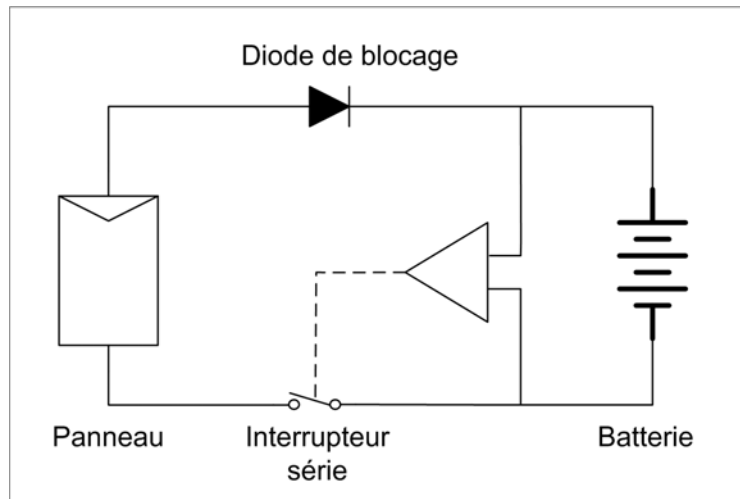
Régulateurs - technologie

- Contrôle de la charge
- Contrôle de la décharge
- Compensation thermique
- Techniques de charge
- Interrupteurs série ou parallèle
- Diode de blocage

Composants : technologie des régulateurs interrupteur shunt



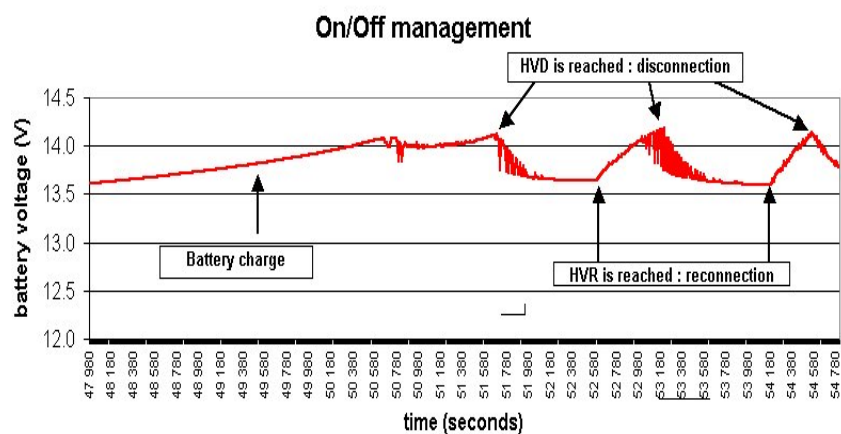
Composants : technologie des régulateurs interrupteur série



45

mvilloz@dynatex.ch

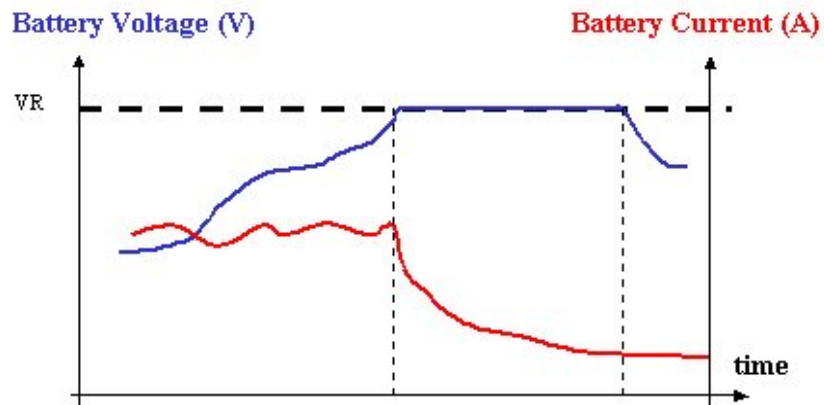
Composants : technologie des régulateurs interrupteur tout ou rien



46

mvilloz@dynatex.ch

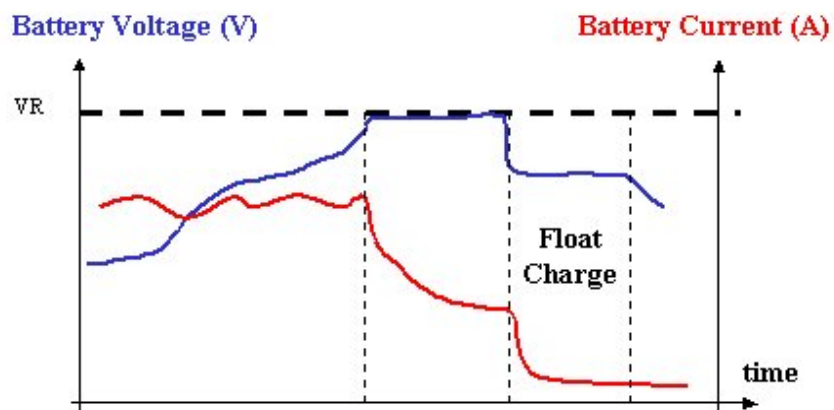
Composants : technologie des régulateurs charge à tension constante



47

mvilloz@dynatex.ch

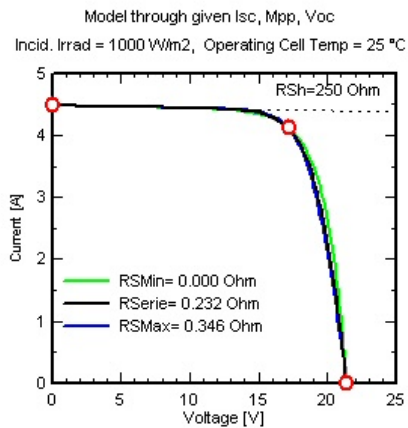
Composants : technologie des régulateurs charge à 3 paliers, I_{max}, absorption et floating



48

mvilloz@dynatex.ch

Composants : technologie des régulateurs charge à 3 paliers et MPPT

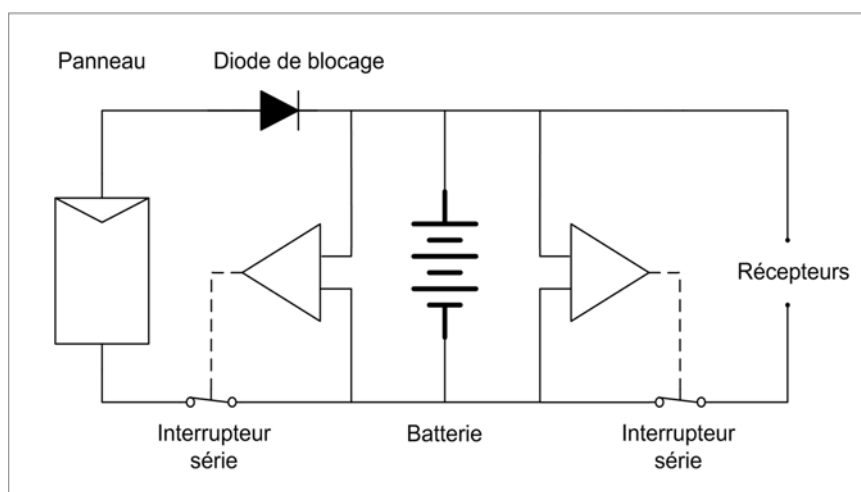


Max Peak Power Tracker

Recherche du point de puissance maximale

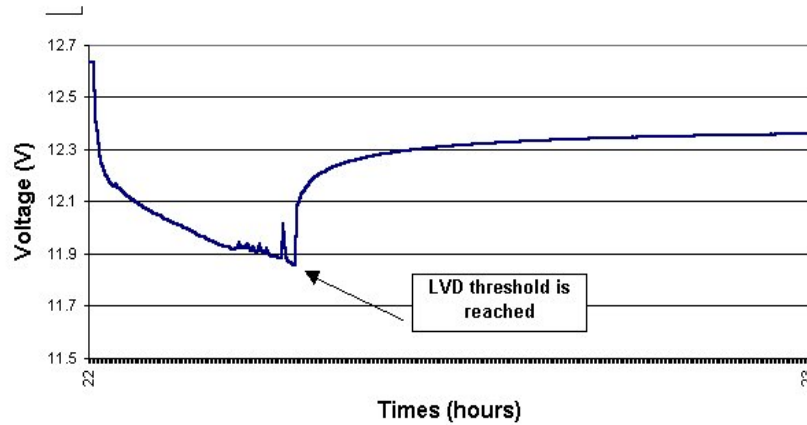
- régulateur à convertisseur DC/DC fonctionnant au MPPT
- en général, DC/DC vers le bas par ex: 36 V vers 24 V
- sections de câbles <
- gain important si dT élevé
- gain spécialement intéressant en pays froids (CF tableaux en pages 94 – 95)

Composants : technologie des régulateurs contrôle de charge et décharge

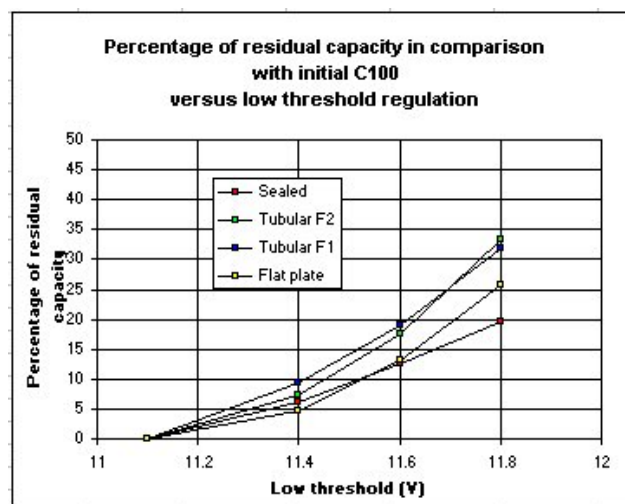


Composants : technologie des régulateurs délestage de récepteur activé

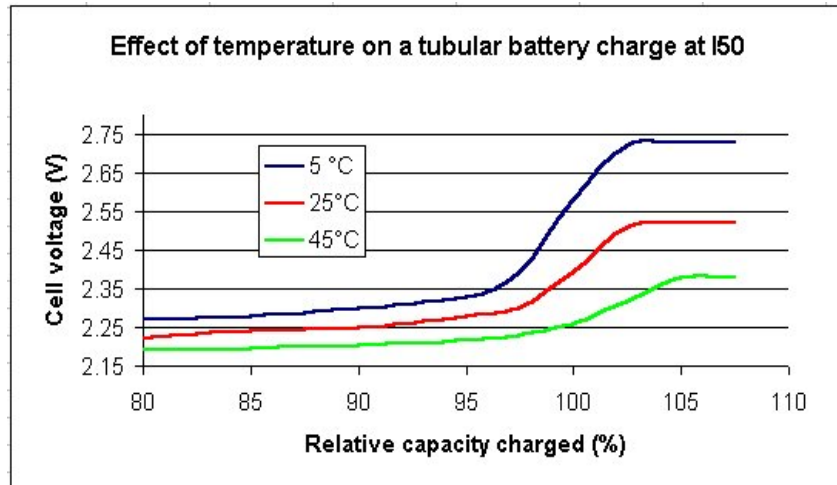
Low Voltage Disconnection



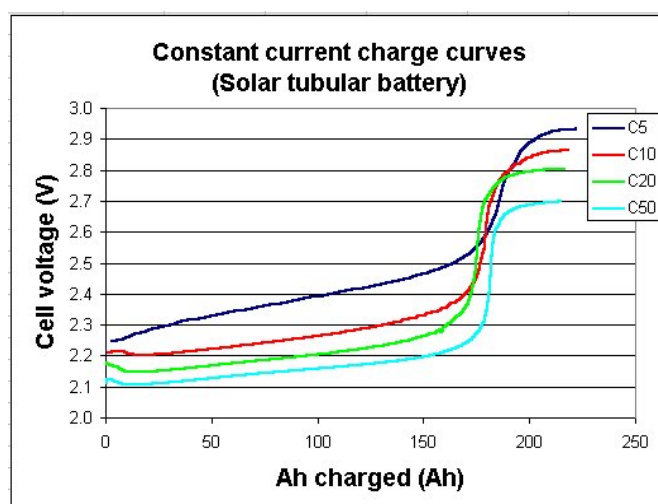
Composants : technologie des régulateurs seuil de délestage et capacité résiduelle



Composants : technologie des régulateurs compensation thermique du seuil de fin de charge



Composants : technologie des régulateurs seuil de fin de charge et courant de charge



Technologie des régulateurs : critères de choix

- Prix
- Compensation thermique si ambiance varie de plus de 10 deg C
- Régulateur à 3 paliers pour grands systèmes, MPPT éventuel
- Régulateur programmable pour systèmes hybrides
- Charge d'égalisation des cellules pour batteries ouvertes
- Courant de charge max = $1.5 \times I_{\text{max}}$ des panneaux (effets de l'albedo)
- Facilités de montage, qualité et section des bornes, protections (IPXX), para foudres, boîtier
- Informations sur l'état du système (LEDs, display LCD...)

Technologie des régulateurs : panneau 36 cellules et MPPT

Panneau Solarfabrik 135 W

Rendement du MPPT : 97 %, Irradiance : 1000 W/m2

Temp.	I à 14.5 V	P à 14.5 V	P14.5/Pnom	Pmp	Pout	Gain MPPT
cell (°C)	(A)	(W)	(%)	(W)	MPPT (W)	(%)
0	7.90	114.55	84.85	147.20	142.78	24.65
10	7.91	114.70	84.96	142.90	138.61	20.85
20	7.92	114.84	85.07	137.70	133.57	16.31
30	7.93	114.99	85.17	132.30	128.33	11.61
40	7.94	115.13	85.28	126.90	123.09	6.92
50	7.95	115.28	85.39	121.50	117.86	2.24
60	7.83	113.54	84.10	116.00	112.52	-0.89
70	7.58	109.91	81.41	110.40	107.09	-2.57

Technologie des régulateurs : panneau 72 cellules et MPPT

Panneau Sunpower 225 W

Rendement du MPPT : 97 %, Irradiance : 1000 W/m²

Remarque : le gain très élevé est dû à la technologie particulière de Sunpower

Temp.	I à 29 V	P à 29 V	P29/Pnom	Pmp	Pout	Gain MPPT
cell (°C)	(A)	(W)	(%)	(W)	MPPT (W)	(%)
0	5.80	168.20	74.76	245.40	238.04	41.52
10	5.84	169.36	75.27	237.80	230.67	36.20
20	5.86	169.94	75.53	229.40	222.52	30.94
30	5.88	170.52	75.79	220.80	214.18	25.60
40	5.90	171.10	76.04	212.00	205.64	20.19
50	5.93	171.97	76.43	203.10	197.01	14.56
60	5.93	171.97	76.43	193.90	188.08	9.37
70	5.93	171.97	76.43	184.60	179.06	4.12
80	5.78	167.62	74.50	175.20	169.94	1.39
90	5.75	166.75	74.11	165.50	160.54	-3.73

Composants : convertisseurs

Convertisseurs DC/DC

- Fonctionnement de récepteurs particuliers (petites radios, chargeurs de portable ...)
- 12 V / 300 V (ou 24/300) pour l'alimentation de petits récepteurs incorporant une alimentation à commutation (cf. lampes économiques)

Onduleurs DC/AC – Critères de choix

- Grandes distances de câblage
- Fonctionnement de récepteurs non disponibles en continu
- Onde Sinusoïdale
- Puissance suffisante pour les récepteurs envisagés (tests)
- Rendement maximal
- Protections contre les surcharges
- Stand-by réduit, détection de récepteur
- Délestage en basse tension
- Incorporant un chargeur de batterie si génératrice disponible

Récepteurs DC : critères de choix

- Prix
- Rendement élevé
- Fiable, résistant aux grandes variations de tension (par ex. 11 à 15 V) et de température
- Protégé contre les inversions de polarité
- Service disponible (pas de prototype pour système éloigné)
- Durable, solide
- Esthétique

Récepteurs DC critères de choix des lampes fluorescentes

- Prix
- Rendement élevé
- Forme d'onde symétrique (une composante continue détruit les électrodes de démarrage)
- Préchauffage des électrodes (prévention du halo noir provenant de la décomposition des électrodes)
- Au moins 1000 enclenchements sans noircissement

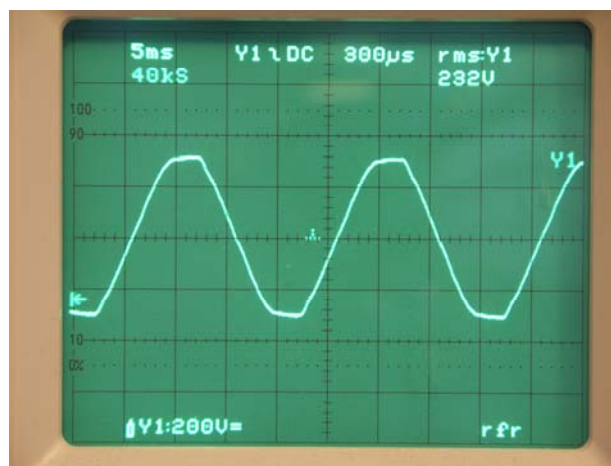
Composants : récepteurs - lampes

Type de lampe	Puissance (W)	Dimensions (cm)	Flux (lm)	Rendement (lm/W)	Rendement (rel.)
Incandescence	25	Dia 6 x 10,5	325	13	0,8
Incandescence	40	Dia 6 x 10,5	580	14,5	0,9
Incandescence	60	Dia 6 x 10,5	980	16,3	1,0
Halogène	10	Dia 0,9 x 3,1	120	12	0,74
Halogène	20	Dia 0,9 x 3,1	350	17,5	1,07
Halogène	50	Dia 1,2 x 4,4	1000	20	1,23
Halogène	100	Dia 1,2 x 4,4	2300	23	1,41
LED blanche	1	0,15 x 0,15	55	100	6,14
Fluo. droite	8	Dia 1,6 x 29	430	54	3,31
Fluo. droite	13	Dia 1,6 x 52	950	73	4,48
Fluo. U (PL)	9	2,7 x 14,5	600	67	4,11
Fluo. U (PL)	11	2,7 x 21,5	900	82	5,03
Fluo. U (PL double)	10	3,4 x 9,5	600	60	3,68
Fluo. droite	18	Dia 2,6 x 59	1450	81	4,97
Fluo. droite	36	Dia 2,6 x 120	3450	96	5,89
Sodium	18	Dia 5,3 x 22	1800	100	6,14
Sodium	36	Dia 5,3 x 31	4800	137	8,41

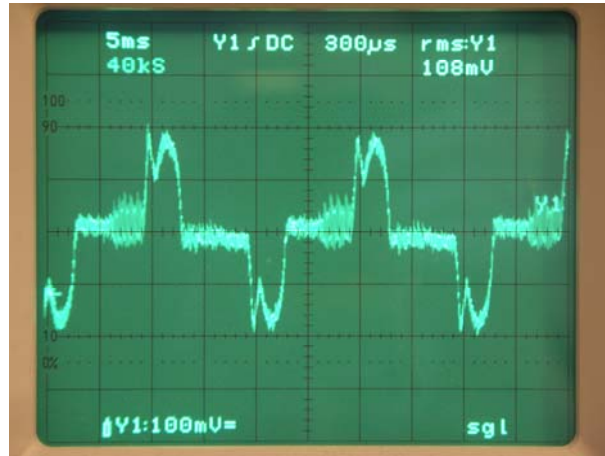
Composants : récepteurs AC lampes économiques

- Alimentation à commutation
- Crête de courant importante synchronisée avec le 50 Hz
- Avec onduleur, limitation de la charge (load) :
 - $P_{\text{onduleur}} > 2 \text{ à } 3 \times P_{\text{lampes}}$
- Bien adapté au convertisseur 12 / 300 Vdc car plus de 1 crête important. Par ex. une lampe 13 W éco reliée par du câble téléphonique (le moins cher en Afrique) à 1 km de distance

Composants : récepteurs AC avec alimentations à commutation Distorsion du réseau > 3 %



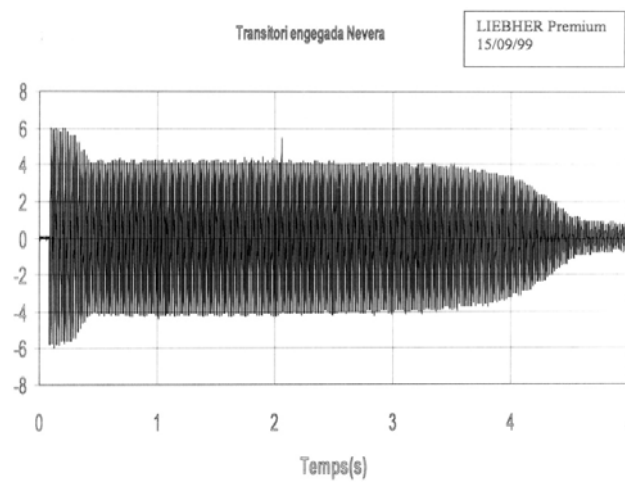
**Composants : récepteurs AC
avec alimentations à commutation
allure du courant d'une lampe économique**



65

mvilloz@dynatex.ch

**Composants : récepteurs AC
démarrage de charges inductives
réfrigérateur Pcrête 933 W, nominale 155 W**



66

mvilloz@dynatex.ch

**Composants : récepteurs AC
précautions à observer**

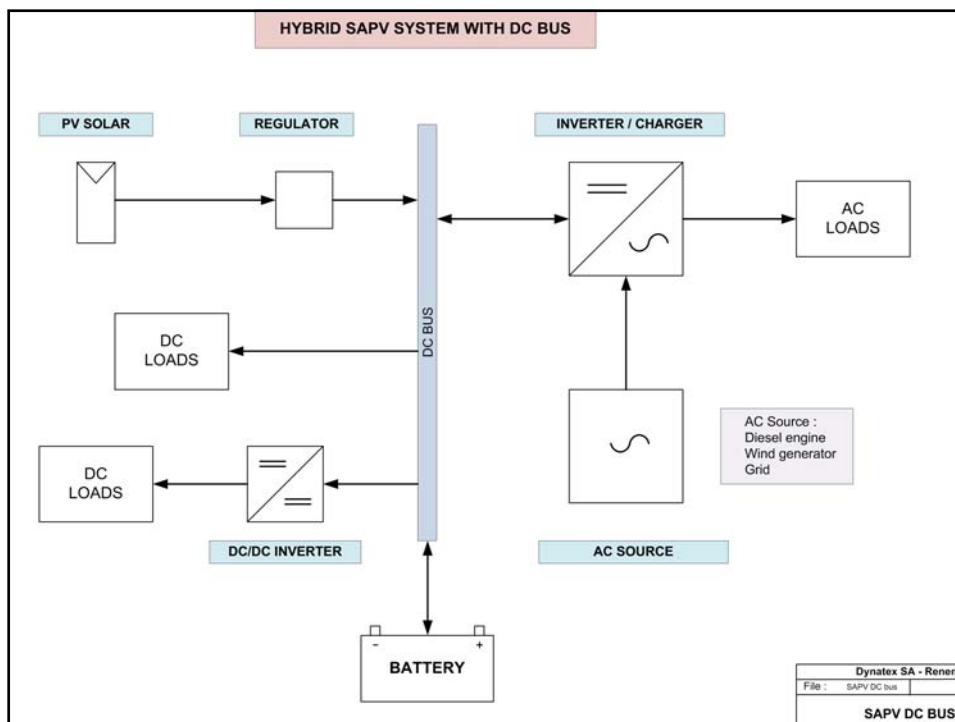
- Charges inductives – tests de démarrage et mesures de consommation (I réactif risque de surcharger l'onduleur)
 - lampes fluo à ballasts inductifs
 - pompes, réfrigérateurs, moteurs divers
- Charges capacitatives – risque de déstabilisation de l'onduleur
 - détecteurs infra-rouge (PIR)
 - minuteries
- Alimentations à redresseurs (facteur de crête élevé)
 - lampes économiques
 - ordinateurs, chargeurs divers, commandes de moteurs

**Composants : récepteurs AC
précautions à observer**

- Stand-by de récepteurs maintenant l'onduleur en fonction – pertes importantes
- Lampes extérieures : éviter une étanchéité parfaite (condensation possible), prévoir un écoulement
- Sections de câbles adaptées aux courants de démarrage
- Choix de récepteurs avec pièces de rechange (tubes, fusibles...)

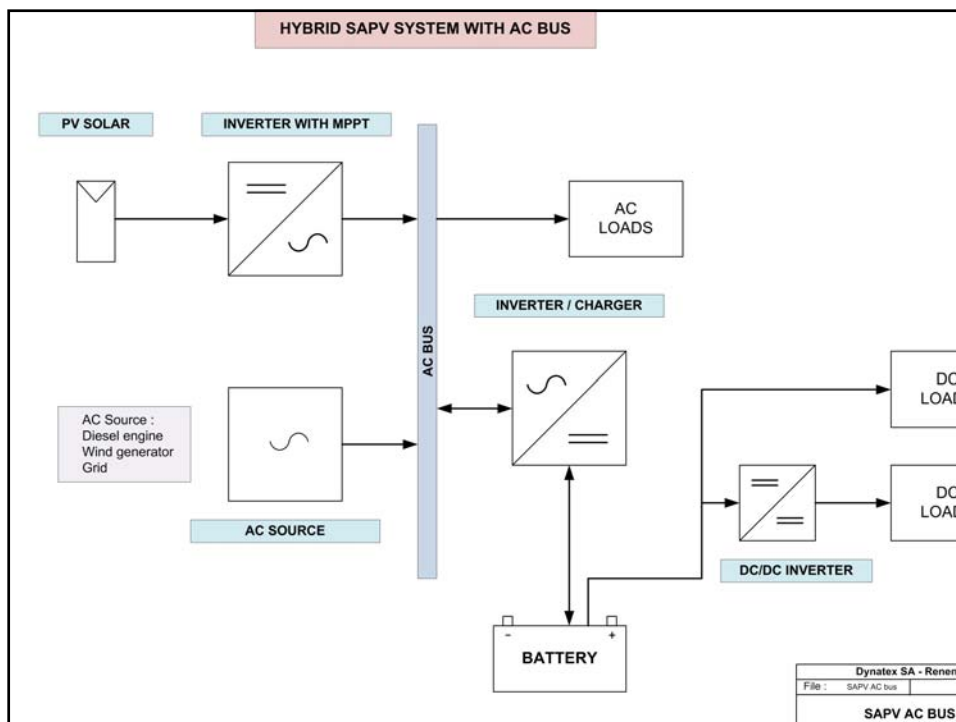
Systèmes hybrides : liaisons par BUS DC

- Liaison directe des panneaux à la batterie à travers le régulateur
- Récepteurs DC de puissance optimisés pour obtenir un rendement maximum
- Batterie sûre et aisée à maintenir pour des tensions < 48 Vdc
- Source auxiliaire permettant d'optimiser le vieillissement et l'usage de la batterie
- Onduleurs plus simples, pas de synchronisation avec un réseau
- Rendement global élevé avec des récepteurs DC



Systèmes hybrides : liaisons par BUS AC

- Liaison des panneaux à la batterie à travers un onduleur « réseau »
- Récepteurs AC de puissance
- Batterie sûre et aisée à maintenir pour des tensions < 48 Vdc
- Source auxiliaire permettant d'optimiser le vieillissement et l'usage de la batterie
- Onduleurs plus complexes et plus nombreux, synchronisation avec le réseau
- Rendement global moins élevé



Systèmes hybrides : génératrice à fuel

Avantages

- Gestion facilitée de la batterie, égalisation régulière, augmentation de sa durée de vie
- Si dimensionnement pour l'été, permet de consommer la totalité de la production PV
- Investissement de départ plus faible

Désavantages

- Pollution, bruit, approvisionnement de la génératrice (coût, transport du fuel)
- Maintenance, usure (mécanicien compétant proche)

Systèmes hybrides : éolienne

Avantages

- Gisement parfois complémentaire au solaire
- Augmentation de la fiabilité
- Coût de l'énergie plus faible

Désavantages

- Maintenance, usure (mécanicien compétant proche)

Systèmes hybrides : thermo électricité en pays froids

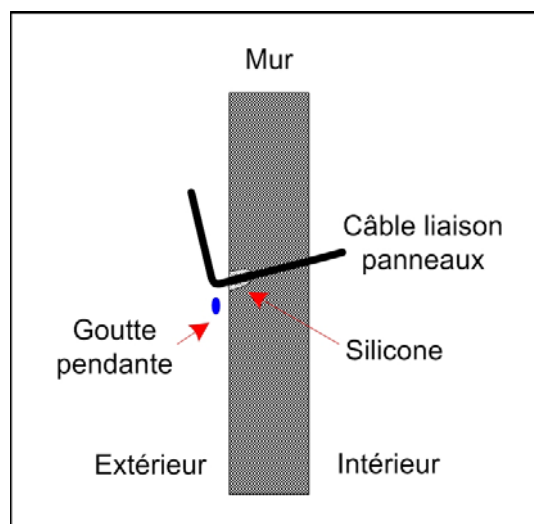
Avantages

- Complémentarité du gisement – chauffage indispensable en hiver
- Augmentation de la fiabilité

Désavantages

- Source de chaleur régulière
- Fragilité relative des générateurs
- Complexité du système
- Prix élevé du à la rareté des équipements

Montage : câblage - traversée de mur extérieur



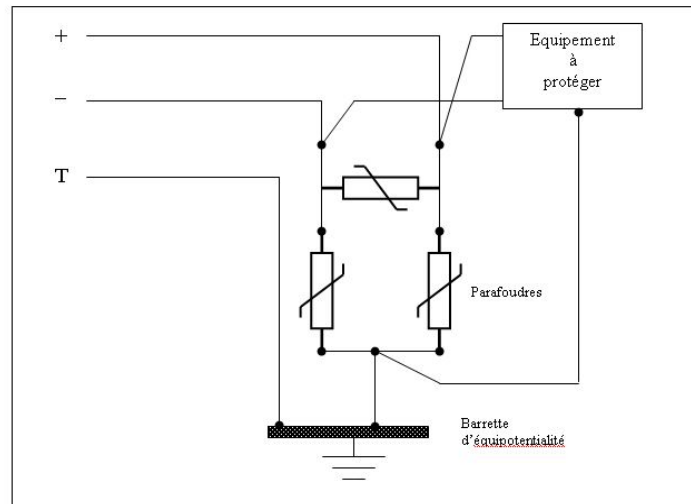
Protections : parafoudres

- Varistances si possible à fenêtre de contrôle avant l'entrée des liaisons dans un habitat.
- Diodes zéner proches d'entrées sensibles (sondes de mesure).
- Protection directe pour systèmes publics, professionnels, de grande valeur ou exposés.
- Si protection directe, montage des panneaux dans la zone de protection du paratonnerre.
- Interconnexion des masses par câble cuivre nu 25 mm² entre panneaux et régulation.
- Câbles blindés ou posés dans des goulottes métalliques reliées à la terre à chaque extrémité.

Protections : parafoudres

- Interconnexions des masses entre équipements.
- Prise de terre du bâtiment en fond de fouille.
- Mise à la terre des masses au niveau du contrôleur.
- Pôles + à la terre si atmosphère humide et salée ou tension ≥ 48 V.
- Fusibles et disjoncteurs sur pôle non à la masse.
- Parafoudres proches des équipements à protéger et liaisons < 50 cm aux conducteurs.

Protections : parafoudres

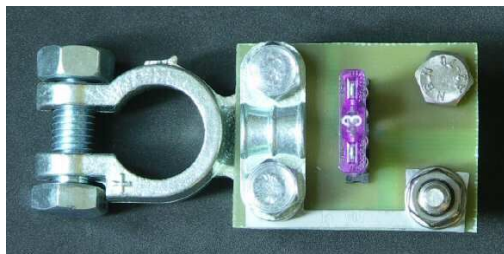


79

mvilloz@dynatex.ch

Protections : fusibles, disjoncteurs, interrupteurs

- Équipements standards (230 Vac) OK jusqu'à 24 Vdc
- Switch DC haute tension, modèles spéciaux, matériel pour tramways en général bien adapté (typique 700 Vdc)
- SHS fusible sur borne + de batterie



80

mvilloz@dynatex.ch

Maintenance

- Carnet de bord – Indispensable pour les grands systèmes
 - Adresses et contacts des responsables et fournisseurs
 - Manuels de tous les équipements
 - Inscription de tous les changements, événements
 - Relevé périodique de l'état des batteries (tensions, densités)
- Inspection régulière des connections, serrage des bornes
- Nettoyage des bornes de batteries, graissage à la vaseline
- Contrôle des niveaux d'eau, ajout d'eau déminéralisée
- La mesure de l'énergie permet de détecter des anomalies, système ayant perdu du rendement

Maintenance en pays du sud

- Formation approfondie du personnel d'entretien (part importante prévue dans l'offre de fournitures du ou des systèmes)
- Procédures définies en cas de panne ou problème
 - qui fait quoi
 - qui est responsable de
 - priorités connues si délestage de récepteurs indispensable

Dimensionnement : exemple de pompage

Station d'épuration dans le sud de la France

- Besoins : fonctionnement d'une pompe de relevage triphasée 3 x 400 Vac, 2.2 kW pendant ¾ heures par jour toute l'année
- Ressource solaire calculée à partir de PVGIS
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>
- Système en 24 Vdc, tension de charge estimée à 29 V (panneaux), chute de tension de 1 V jusqu'à la batterie
- Rendement charge / décharge estimé à 85 % (en Ah)
- Température de panneau estimée à NOCT (inclinaison à 60° sud, bonne ventilation arrière)

Station d'épuration - Données

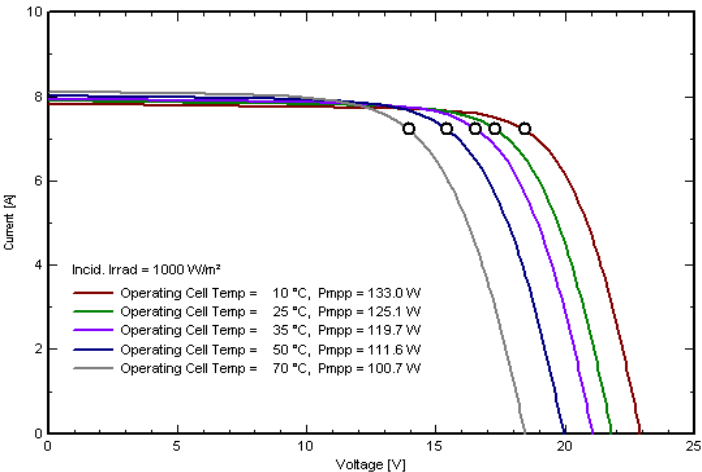
Pompe	2200	W	Stand-by commande	12	W
Courant de pompage	108	A		0.50	A
Tension de système	24	V	Rendement système	0.85	en Ah
Courant de panneau	7.23	A STC	Capacité de batterie	900	Ah/100h
Nb panneaux série	2		Consommation / jour	93	Ah
Nb panneaux en parallèle	4		Puissance de 1 panneau	125	W
Courant total de panneaux	28.92	A	Puissance panneaux installée	1000	W

Station d'épuration - Dimensionnement

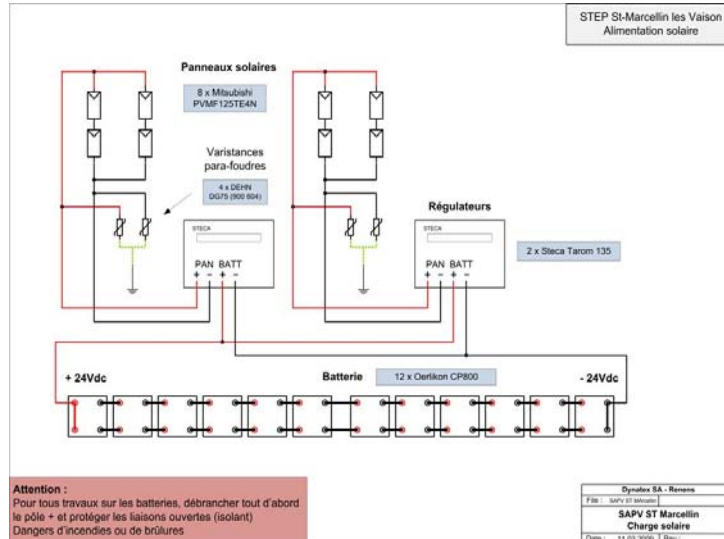
Mois	Irr sol. kWh/m2.m tilt 60° sud	T diurne moyenne °C	Durée / mois H	Consom stand-by Ah/mois	Consom totale Ah/mois	Courant pan à 29V	Prod. Ah/mois	Capacité Ah
janvier	102.6	6.4	23.3	372	2879	7.70	3160.4	900
février	103.6	7.9	21.0	336	2601	7.70	3190.9	900
mars	152.8	11.5	23.3	372	2879	7.65	4676.6	900
avril	142.2	13.9	22.5	360	2786	7.62	4334.3	900
mai	147.3	18.5	23.3	372	2879	7.55	4447.0	900
juin	155.4	22.8	22.5	360	2786	7.42	4612.3	900
juillet	169.0	25.1	23.3	372	2879	7.00	4730.6	900
août	173.0	24.6	23.3	372	2879	7.00	4843.4	900
septembre	160.2	20.3	22.5	360	2786	7.42	4754.7	900
octobre	127.1	16.7	23.3	372	2879	7.55	3838.4	900
novembre	102.6	10.4	22.5	360	2786	7.65	3139.6	900
décembre	87.1	7.0	23.3	372	2879	7.70	2683.0	704

Panneau choisi : comportement thermique

PV module : Mitsubishi, PV-MF125 TE4N



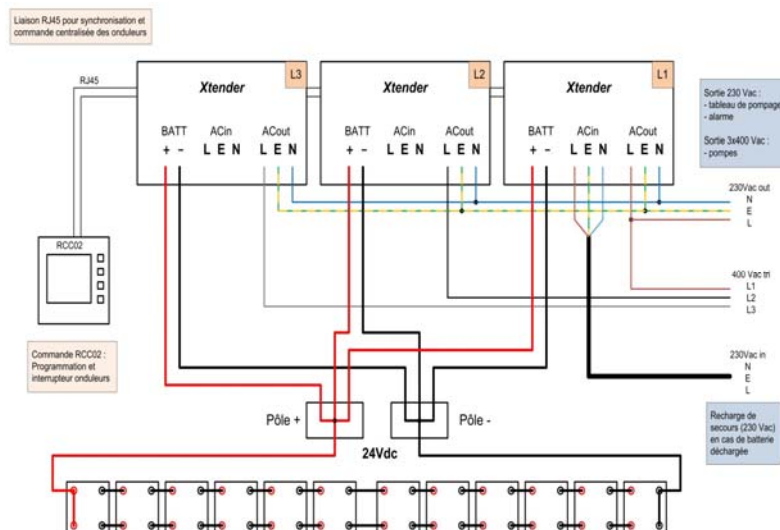
Station d'épuration – charge solaire



87

mvilloz@dynatex.ch

Station d'épuration – onduleurs



88

mvilloz@dynatex.ch

Station d'épuration – panneaux solaires



89

mvilloz@dynatex.ch

6. Gestion des systèmes hybrides en milieu rural

- DSM (Demand Side Management) gestion en fonction de la demande
- Gestion de la batterie (cas des batteries fermées)

90

mvilloz@dynatex.ch

Aperçu des techniques de DSM

- Formation des usagers
- Utilisation de récepteurs à haut rendement
- Stratégies de tarification incitant les usagers à mieux utiliser les ressources disponibles
- Tarification liée aux ressources disponibles
- Gestion des récepteurs favorisant l'usage optimal de l'énergie

Formation des usagers

- L'électrification d'un site rural éloigné bouleverse les usages locaux
 - premier accès à l'électricité 24 h / 24
 - l'énergie disponible va modifier le rythme de vie et les travaux
- La formation inclut
 - Les particularités de l'énergie solaire
 - Comment utiliser efficacement l'énergie disponible
 - Quelles-sont les limites de l'énergie renouvelable à disposition

En utilisant efficacement l'énergie, la fiabilité du système augmente ainsi que la satisfaction des usagers

Récepteurs à haut rendement

- Une grande disparité de récepteurs existe avec des rendements et qualité très variables
- En milieu rural, souvent des récepteurs bon marché et de piètre qualité sont utilisés
- Souvent les récepteurs ne sont pas inclus dans un grand programme d'électrification rurale
- Lorsqu'on ajoute du solaire à un ancien système fonctionnant sur génératrice, souvent on continue d'utiliser les vieux appareils inefficients
- Le critère de sélection est trop souvent le prix et non l'efficacité énergétique

Récepteurs à haut rendement

L'usage de récepteurs inefficaces entraîne que :

- Les coûts globaux du système augmentent
- Moins de services peuvent être obtenus pour un système donné
- La durée de vie du système est réduite si une limitation drastique des ressources de la batterie n'est pas observée

Récepteurs à haut rendement : lampes économiques

Hypothèse : coût de l'électricité = 0.3 €/ kWh

Prix et durée de vie de récepteurs :

Ampoule 60 W à incandescence	: 0.5 € - 1000 h
Lampe économique 15 W	: 3.0 € - 5000 h

Après 5000 heures de lumière, les coûts et énergie sont :

60 W à incandescence	: 92.5 € / 300 kWh
15 W économique	: 25.5 € / 75 kWh

Récepteurs à haut rendement : réfrigérateur

Consommation annuelle (stand-by sans refroidissement d'aliments)
et coût d'un réfrigérateur 120 l + 18 l congélation.

à une température ambiante de 30 °C & énergie à 0.3 €/ kWh

Coût et énergie annuelle du frigo :

Modèle classe B	190 € - 380 kWh (114 €/an)
Modèle classe A++	360 € - 190 kWh (57 €/an)

Coût en fonction de la durée (€) :

	1 an	2 ans	3ans
Modèle classe B	304	418	532
Modèle classe A++	417	474	531

Récepteurs à haut rendement : conclusion

- Dans les systèmes PV et PV hybrides, plus le rendement des récepteurs est élevé, plus les coûts globaux baissent
- Pour un système de taille donnée, des récepteurs à haut rendement induisent plus de services ; c'est à dire que plus d'utilisateurs peuvent bénéficier du service proposé
- Le corollaire est que l'investissement initial (système PV) peut être réduit en adoptant dès le départ des récepteurs à haut rendement

Tarification de l'énergie

- Les systèmes d'électrification rurale de sites éloignés sont souvent l'œuvre d'organismes d'aide ou d'ONG
- Pour que ces systèmes deviennent de réels produits de marché, l'énergie doit être vendue selon des critères :
 - de prix au kWh (énergie)
 - de prix au W installé (puissance)
 - d'un mélange de ces 2 critères
 - de prix au kWh variable

Tarification de l'énergie

Basée sur l'énergie

- Méthode précise encourageant les économies
- Coûts administratifs importants pour des petits consommateurs
- Si l'utilisateur paie pas, coûts d'interruption du service
- Les compteurs d'énergie sont plus chers que les limiteurs
- Certains compteurs permettent d'offrir une énergie à tarif variable permettant de mieux exploiter les ressources

Basée sur la puissance

- Méthode non précise n'incitant pas l'utilisateur à économiser
- Pas de compteur, une puissance limitée est à disposition
- Peu de coûts administratifs
- Si l'utilisateur paie pas, coûts d'interruption du service
- Les limiteurs de puissance sont meilleur marché que les compteurs
- Pas de possibilité d'encourager l'utilisateur à gérer ses besoins

Tarification de l'énergie et DSM

- La tarification à la puissance ne permet pas de DSM
- Pour abaisser les coûts administratifs, le pré paiement de l'énergie est une solution :
 - plus besoin de compteurs précis
 - pas de facturation
 - pas de coûts d'interruption si pas de paiement
 - les systèmes à pré paiement sont assez chers (pas encore de grandes séries)
 - nécessité d'un bureau local « vendeur » d'électricité
 - instruction nécessaire des usagers
 - possibilité d'informer l'utilisateur sur sa consommation, son crédit restant...

Tarification de l'énergie et DSM

Système Smart Card (carte à puce)

- Bien connu pour le téléphone
- Les données peuvent être transférées entre usager et fournisseur
- Le crédit peut être transféré depuis une machine
- La quantité de kWh achetés est stockée sur la carte

Système à code

- Le compteur démarre en entrant sur son clavier un code numérique
- Le code contient les informations de tarif et kWh achetés
- L'utilisateur obtient ce code en payant les kWh au vendeur local d'électricité

Tarification de l'énergie et DSM

- Ces systèmes ne permettent pas un réel DSM
- Pour gérer au mieux l'énergie, le prix variable permet :
 - D'augmenter la consommation lorsque les batteries sont pleines et que le soleil produit encore
 - D'augmenter « artificiellement » le stockage d'énergie en accumulant par exemple de l'eau lorsque le tarif est le plus bas (milieu de journée ensoleillée)
 - De rendre attentifs les usagers aux économies lorsque les ressources sont moins bonnes
 - De réduire l'usage des générateurs d'appoint

Tarification de l'énergie et DSM

Compteur / limiteur d'énergie local

- Chaque usager reçoit un compteur donnant les informations de tarif et de solde d'énergie à disposition
- Une limite d'énergie journalière permet de mieux gérer les ressources
- Lors de faibles ressources, le compteur tourne plus vite (prix plus élevé)
- Lors de fortes ressources, le compteur ralentit incitant l'utilisateur à consommer pour un stockage supplémentaire (par ex pompage ou réserve de froid) ou effectuer des opérations non indispensables (fonctionnement de machines ...)

Tarification de l'énergie et DSM

Système communautaire

- Des consommateurs prioritaires sont définis (froid en médecine, besoins médicaux, réfrigération de nourriture ...)
- Le système démarre ou autorise les charges non prioritaires lorsque l'énergie est suffisante

Le DSM induit des coûts supplémentaires de communication entre usagers (information portée par le réseau).

Tarification de l'énergie et DSM

Le DSM induit des coûts supplémentaires de communication entre usagers (information portée par le réseau) mais difficile à évaluer car la communication véhicule encore les infos techniques :

- Le contrôle des ressources peut utiliser la même structure
- La comptabilisation également
- Les infos de tarification destinées aux usagers
- Les signaux de commande du système (régulation, démarrage d'appoint ...)
- Commande à distance éventuelle
- Liaison aux prévisions météo éventuelle (WEB)

DSM et gestion du stockage

- L'accès aux informations du DSM permet de mieux contrôler la batterie
- Avec une batterie fermée, il n'y a pas besoin d'arriver souvent en fin de charge pour brasser l'électrolyte
- En gardant la batterie entre 60 et 90 % d'état de charge, le rendement de charge / décharge est maximal (Ah entrés = Ah sortis)
- La durée de vie de la batterie est augmentée (faible corrosion)
- Chaque 50 à 100 cycles, on utilise la génératrice pour charger à 100 % et équilibrer les cellules de batterie
- Le nombre de cycles est augmenté lorsque seulement 30 % de capacité est utilisé chaque jour