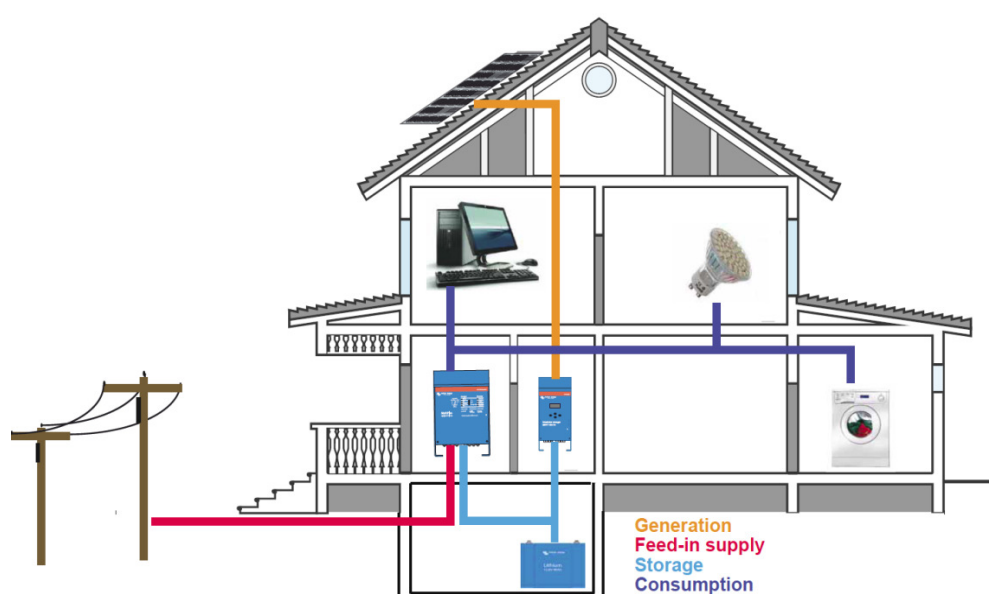


Autoconsommation ou Indépendance par rapport au réseau

avec le centre de stockage Victron Energy



1. Introduction

2. Trois systèmes possibles

2.1. Centre de stockage-1 VE

2.2. Centre de stockage-2 VE

2.3. Centre de stockage-3 VE

3. Caractéristiques essentielles des trois systèmes possibles : GridAssist

4. Description résumée des principaux composants du Centre de stockage VE

4.1. Batterie : au plomb ou lithium-ion, partie 1.

4.2. Convertisseur/chargeurs MultiPlus et Quattro

4.3. Contrôleur de charge solaire MPPT BlueSolar

4.4. Convertisseur PV

5. Consommation électrique dans une maison

Charge de base (charges de catégorie 1)

Autres appareils fonctionnant sur prise (charges de catégorie 2)

Charges non déplaçables (charges de catégorie 3)

6. Efficacité du Centre

7. Centre pour les maisons connectées au réseau

7.1. Alimentation de la charge de base avec le Centre-1 et une batterie au lithium-ion

7.2. Charge de base + autres appareils fonctionnant sur prise (charges de catégorie 2 et 3) alimentés par le Centre-1

7.3. Alimentation de la charge de base avec le Centre-2 ou 3

7.4. Charge de base + autres appareils fonctionnant sur prise alimentés par le Centre-2 ou 3

7.5. Que se passe-t-il en cas d'hiver sombre ou pluvieux ?

8. Le Centre hors-réseau

8.1. Microcogénération

8.2. Générateur fonctionnant avec un moteur diesel

9. Définition : champ de panneaux PV 100 % et batterie 100 %

10. Coût

10.1. Autoconsommation : capacité de stockage optimale

10.2. Hors-réseau : capacité de stockage optimale

10.3. Batterie : au plomb ou lithium-ion, partie 2.

10.4. Champ de panneaux PV

10.5. Exemples : coût des principaux composants

1. Introduction

L'électricité produite par le soleil et/ou le vent, et la consommation électrique réelle ne coïncide jamais.

En effet, soit l'excès d'électricité est injecté dans le réseau, soit il faut faire appel au réseau quand la génération d'électricité est insuffisante.

Plus il y a d'énergie solaire et éolienne, plus il devient difficile, et onéreux, de garantir la stabilité du réseau.

Un stockage d'énergie intermédiaire devient donc rapidement un outil essentiel pour maintenir dans des limites raisonnables les fluctuations d'énergie survenant sur le réseau.

De plus, comme les prix préférentiels garantis diminuent, l'analyse de rentabilité pour un système de stockage domestique permettant d'augmenter l'autoconsommation est de plus en plus fiable.

Un stockage d'énergie intermédiaire augmente l'autoconsommation de l'énergie solaire et/ou éolienne récupérée.

La prochaine étape naturelle consiste à obtenir 100 % d'autoconsommation et d'indépendance par rapport au réseau.

Le Centre de stockage de Victron Energy est la solution et il offre plusieurs avantages

Avec des milliers de systèmes de réseau indépendant et interactif installés dans le monde, nous avons l'expérience et les produits nécessaires à la conception du système optimal.

- **Batterie**

Le cœur du Centre est composé de la batterie, qui est chargée en cas d'excès d'énergie solaire/éolienne, et déchargée quand la consommation dépasse la production.

Les batteries OPzS à plaque tubulaire et les batteries au plomb OPzV ont prouvé leur efficacité dans des systèmes sur réseau interactif et dans des systèmes hors-réseau.

Sinon, une batterie au lithium-ion sera préférée si les points suivants sont importants : efficacité de charge/décharge élevée, petite taille et faible poids.

Pour de plus amples renseignements, consultez la section 4.1 et 9.3.

- **Adapté au réseau**

Le Centre peut être utilisé pour réduire la demande de crête provenant du réseau (en déchargeant la batterie) et également l'énergie de crête renvoyée dans le réseau (en rechargeant la batterie).

Pour de plus amples renseignements, consultez la section 9.1.

- **Contourner une interruption de courant**

L'énergie stockée dans la batterie peut être utilisée pour fournir de l'énergie aux équipements essentiels en cas de coupure de courant.

- **Indépendance par rapport au réseau**

Avec une capacité de batterie suffisante, et le cas échéant, un système de microcogénération (micro-CHP) ou un générateur de secours, il est possible d'obtenir une indépendance complète par rapport au réseau.

- **Souple**

Nous n'offrons pas un seul Centre, mais trois configurations possibles, chacune pouvant être personnalisée pour répondre à des exigences particulières.

- **Champ actualisable**

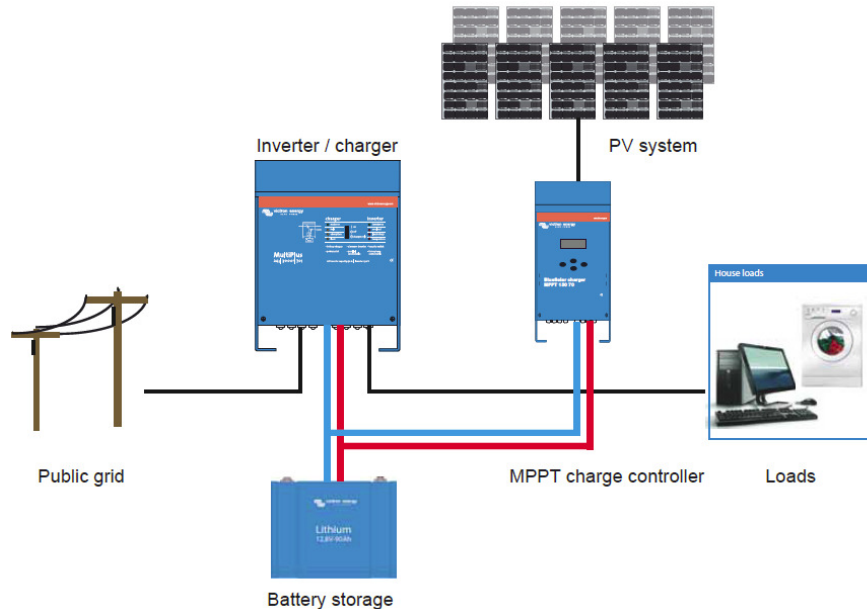
Plus tard, il sera possible de connecter davantage d'énergie solaire/éolienne et de stockage dans les batteries.

2. Trois systèmes possibles

2.1. Centre de stockage-1 VE

Centre-1 est la solution la plus efficace si la plupart de l'énergie produite doit être stockée dans la batterie avant d'être utilisée.

Il s'agit également de la solution la plus simple, robuste et économe.



Le contrôleur de charge MPPT BlueSolar utilise l'énergie solaire pour charger la batterie.

L'énergie stockée est utilisée par un convertisseur/chargeur MultiPlus ou Quattro pour fournir un courant CA à la charge et pour renvoyer l'excès d'énergie dans le réseau.

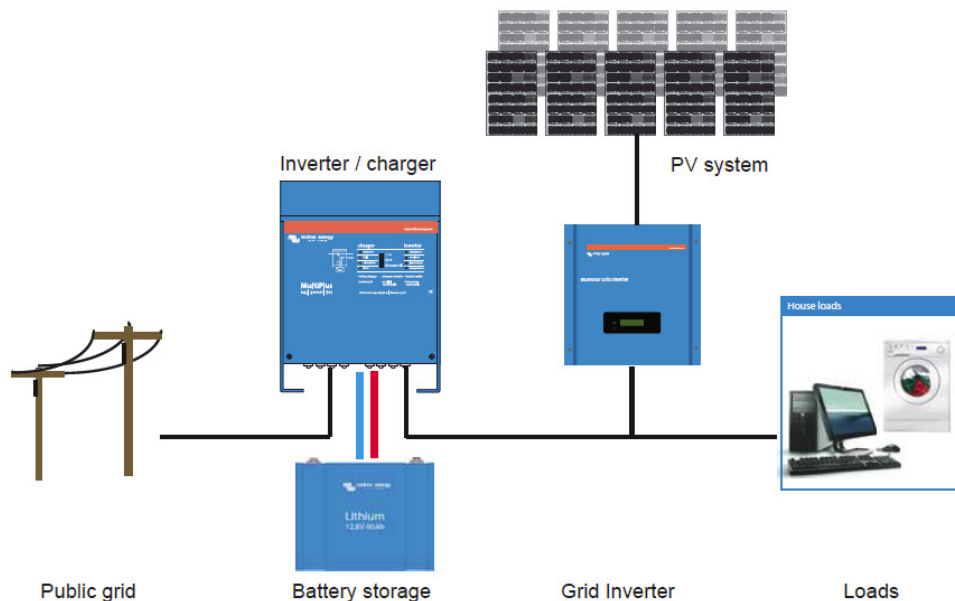
En cas d'interruption de courant sur le réseau, le Centre se déconnectera du réseau et il continuera à fonctionner comme un système autonome.

Si de l'énergie est renvoyée dans le réseau, un appareil contre l'îlotage répondant aux réglementations locales devra être ajouté au système.

Remarque : Le Centre-1 peut être associé au Centre-2 ou 3. Une partie du champ de panneaux photovoltaïques sera alors connectée au contrôleur de charge et le reste à un convertisseur PV.

2.2. Centre de stockage-2 VE

Il s'agit de la solution la plus pratique pour rajouter du stockage dans les batteries à un réseau déjà existant connecté à un système PV.



L'énergie CC générée par les panneaux solaires est convertie en CA par un convertisseur PV connecté à la **sortie** CA d'un convertisseur/chargeur.

L'entrée CA du convertisseur/chargeur est connectée au réseau.

Si de l'énergie est renvoyée dans le réseau, un appareil contre l'îlotage répondant aux réglementations locales devra être ajouté au système.

La puissance provenant du convertisseur PV alimente directement la charge.

En cas d'énergie PV insuffisante, le convertisseur/chargeur fournira de l'énergie supplémentaire depuis la batterie ou depuis le réseau.

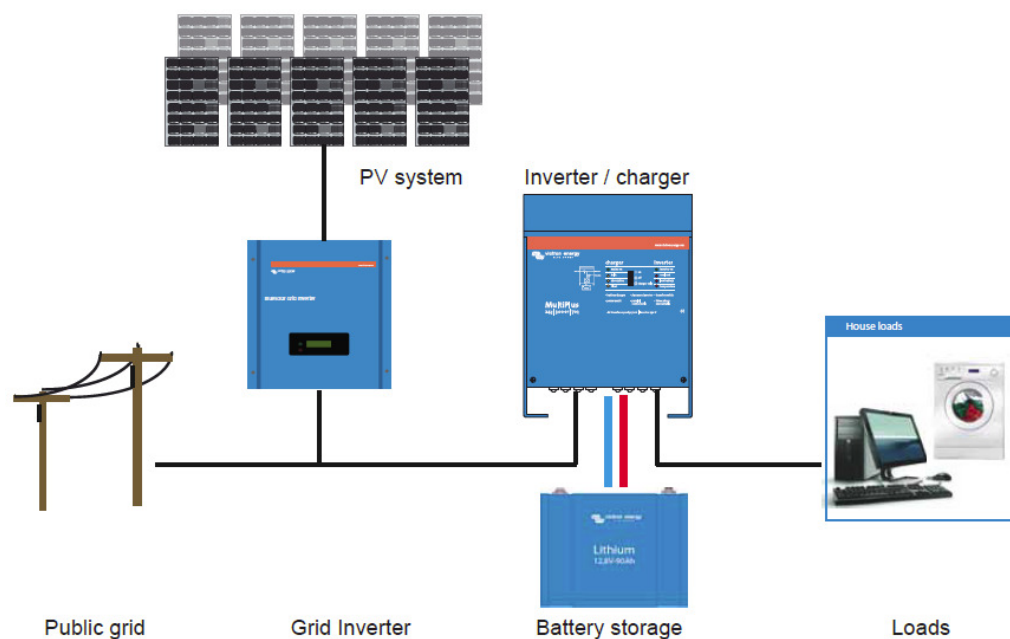
En cas d'excès d'énergie PV, le convertisseur/chargeur utilisera l'excès d'énergie pour recharger la batterie, et/ou pour renvoyer l'énergie dans le réseau.

En cas d'interruption de courant sur le réseau, le Centre se déconnectera du réseau et il continuera à fonctionner comme un système autonome.

La planification et la mise en service de cette solution est plus compliquée que dans le cas du Centre-1 en raison de l'interaction entre le convertisseur/chargeur et le convertisseur de réseau.

2.3. Centre de stockage-3 VE

L'énergie CC générée par les panneaux solaires est convertie en CA par un convertisseur PV connecté à l'**entrée** CA d'un convertisseur/chargeur.



L'énergie provenant du convertisseur PV alimente la charge à travers le convertisseur/chargeur. En cas d'énergie PV insuffisante, le convertisseur/chargeur fournira de l'énergie supplémentaire depuis la batterie ou depuis le réseau.

En cas d'excès d'énergie PV, le convertisseur/chargeur utilisera l'excès d'énergie pour recharger la batterie. Une fois que la batterie est entièrement chargée, le convertisseur PV renverra l'excès d'électricité au réseau.

Si le convertisseur PV intègre un appareil contre l'îlotage répondant aux réglementations locales, alors l'ajout de ce type d'appareil ne sera pas nécessaire.

Contrairement à la solution du Centre-1 et 2, le convertisseur PV s'arrêtera en cas de coupure du réseau. Le Centre continuera d'alimenter la charge jusqu'à ce que la batterie soit déchargée.

3. Caractéristiques essentielles des trois systèmes possibles : GridAssist

Grâce au GridAssist, le convertisseur/chargeur peut être sous-estimé par rapport à la puissance maximale prévue qui est requise par la charge. Avec GridAssist, le convertisseur/chargeur fonctionne de manière synchronisée avec le réseau. Chaque fois que la puissance CA dépasse la capacité du convertisseur/chargeur, une puissance supplémentaire sera tirée du réseau, ce qui empêchera le système de s'arrêter pour cause de surcharge.

GridAssist-1

Une solution consiste à faire fonctionner le convertisseur/chargeur synchronisé avec le réseau sans y être connecté. La connexion au réseau (en fermant le relais de protection de renvoi de l'énergie dans le convertisseur/chargeur) se fait au cas où :

- Surcharge du système. Une puissance supplémentaire provenant du réseau est utilisée jusqu'à ce que la charge ait été réduite à un niveau qui peut être géré par le convertisseur/chargeur.
- Excès de puissance PV ou éolienne à renvoyer dans le réseau (si les réglementations locales le permettent).

GridAssist-2

Une autre possibilité consiste à connecter le Centre au réseau en permanence. Le convertisseur/chargeur gérera sa sortie pour faire correspondre la charge afin que la puissance moyenne tirée du réseau soit zéro, sauf en cas de surcharge ou d'excès de puissance à renvoyer dans le réseau. Attention : une tension de réseau stable est nécessaire !

4. Description résumée des principaux composants du Centre de stockage VE

4.1. Batterie : au plomb ou lithium-ion, partie 1.

En raison de leur petite taille et de leur faible poids, les batteries au lithium-ion (Lithium Fer Phosphate : LiFePO_4 ou LFP) sont une alternative intéressante aux batteries au plomb dans des systèmes connectés au réseau ou hors-réseau grâce à leur efficacité et à leur durée de vie.

Rendement

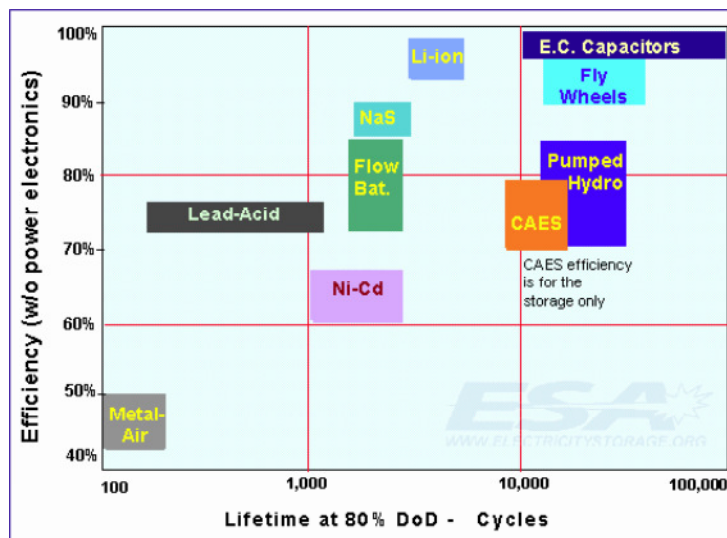
L'efficacité énergétique aller-retour (décharge de 100 % à 0 % et retour à 100 % chargée) d'une batterie au plomb moyenne est de 70 à 80 %.

Le processus de charge des batteries au plomb sont particulièrement inefficaces quand 80 % de l'état de charge a été atteint. Quand la charge est entre 80 % et 100 %, l'efficacité est souvent inférieure à 50 %. Et ces chiffres sont pires en cas de charge ou décharge de courant élevée.

L'efficacité d'une batterie au plomb n'atteint jamais celle d'une batterie au lithium-ion L'efficacité d'une batterie LFP est de près de 92 % quelque soient les conditions d'exploitation.

<http://www.almaden.ibm.com/institute/2009/resources/2009/presentations/ChetSandberg-AlmadenInstitute2009-panel.pdf>

http://people.duke.edu/~kjb17/tutorials/Energy_Storage_Technologies.pdf



Efficacité des systèmes de stockage d'énergie sur

http://catedrasempres.esi.us.es/endesared/documentos/jornada_almacenamiento/Pet_Hall.pdf

Durée de vie

La batterie d'un système autonome PV ou éolien peut être privée de ressources durant des semaines ou même des mois (période hivernale). Cela est fatal pour une batterie au plomb. La batterie tombera en panne prématurément en raison de la **sulfatation**.

Pour les systèmes autonomes composés de batterie au plomb, le souci principal sera par conséquent l'état de charge de la batterie : quoi qu'il arrive, la batterie doit être entièrement rechargée régulièrement, et elle ne doit jamais être laissée déchargée pendant des jours ou des semaines.

Dans un système connecté au réseau, la batterie peut facilement être rechargée régulièrement à 100 % de sa capacité.

Remarque :

En ce qui concerne les problèmes de sulfatation dans des applications solaires, consultez par exemple

http://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/report_batteries_solar_photovoltaic_applications.pdf

(en particulier les photos de la page 18)

La durée de vie d'une batterie LFP ne dépend pas de son état de charge tant que la tension par cellule de batterie reste dans les limites prévues (larges). De cela se chargera justement le BMS (Système de gestion de batterie) de la batterie au lithium-ion, ce qui fait que la batterie ne nécessitera pas le moindre soin.

Pour de plus amples renseignements concernant les batteries, consultez la section 9.

4.2. Convertisseur/chargeurs MultiPlus et Quattro

Un convertisseur/chargeur VE offre une plage allant de 800 VA à 10 kVA en monophasé, et il est possible de connecter en parallèle jusqu'à six modules de 10 kVA. Tous les modèles peuvent être configurés pour un fonctionnement triphasé.

Tous les convertisseurs/chargeurs MultiPlus et Quattro peuvent être programmés pour intégrer en continu un

Centre-1, 2 ou 3.

4.3. Contrôleur de charge solaire MPPT BlueSolar

Le contrôleur de charge convertit la tension CC provenant du champ de panneaux photovoltaïques en tension adaptée pour charger la batterie. Plusieurs contrôleurs BlueSolar peuvent être connectés en parallèle. La seule limitation est le courant de charge maximal de la batterie (ce qui est souvent le cas pour les batteries au lithium-ion).

L'efficacité d'un contrôleur de charge MPPT BlueSolar dépasse les 98 %.

4.4. Convertisseur PV

Le convertisseur PV convertit la tension CC provenant du champ de panneaux photovoltaïques en tension CA adaptée pour alimenter les charges CA. Dans un système sans batterie, tout l'excédent d'électricité sera renvoyé dans le réseau, et en cas de coupure, l'électricité sera fournie par le réseau. Un convertisseur PV ne peut pas fonctionner sans une source/bloc d'énergie CA externe (**ACpss**). Par conséquent, le convertisseur PV s'arrêtera si aucune **ACpss** n'est disponible (comme par exemple un réseau stable, un convertisseur ou convertisseur/chargeur adapté).

5. Consommation électrique dans une maison

Une liste des appareils ménagers les plus courants et la quantité d'électricité qu'ils utilisent aidera à dimensionner le Centre.

Appareils électroménagers	Puissance	Durée d'utilisation	Énergie/jour	Charge de base minimale en été pour un foyer de deux personnes
Charge de base (catégorie 1)				
Aquarium tropical avec chauffe-eau	100 W	24 h	2400 Wh	
Réfrigérateur haute efficacité	20 W	24 h	480 Wh	480 Wh
Congélateur haute efficacité (avec un moteur compresseur à aimant permanent CC)	20 W	24 h	480 Wh	480 Wh
Réfrigérateur moyen	50 W	24 h	1200 Wh	
Congélateur moyen	60 W	24 h	1440 Wh	
Chargeurs sur prise et charges en veille	30 W	24 h	720 Wh	720 Wh
Modem	10 W	24 h	240 Wh	240 Wh
Ventilation	30 W	24 h	720 Wh	720 Wh
Radiateur électrique portatif	2000 W	12 h	24,000 Wh	
Chauffe-eau (chaudière)	3000 W	2 h	6000 Wh	
Chauffage central (on) et chauffe-eau (on)	130 W	8 h	1040 Wh (hiver, alimenté au gaz)	
Chauffage central (off) et chauffe-eau (on)	130 W	2 h	260 Wh	260 Wh
Chauffage central en veille	10 W	24 h	240 Wh	240 Wh
Éclairage haute efficacité	200 W total	6 h (hiver) 3 h (été)	1200 Wh 600 Wh	600 Wh
Une lampe à incandescence traditionnelle de 100 W	100 W	6 h (hiver) 3 h (été)	600 Wh 300 Wh	
Chauffage au sol électrique dans la salle de bain	1000 W	3 h	3000 Wh	
Radio	30 W	3 h	90 Wh	90 Wh
TV LCD	50 W	3 h	150 Wh	150 Wh
TV plasma à écran plat	300 W	6 h	1800 Wh	
Ordinateur	100 W	3 h	300 Wh	300 Wh
Ordinateur portable	30 W	3 h	90 Wh	90 Wh
Hotte de cuisine	150 W – 300 W	1 h	150 Wh	150 Wh
Total charge de base en été pour un foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement				4370 Wh

Autres appareils fonctionnant sur prise (catégorie 2)

Aspirateur (puissance de démarrage 2000 W ou plus)	1000 W	30 min	500 Wh	500 Wh
Sèche-cheveux	800 W	6 m	80 Wh	80 Wh
Bouilloire électrique (énergie nécessaire pour faire bouillir 1 litre d'eau : 120 Wh)	de 1000 W à 3000 W	Faisant bouillir 3 litres d'eau		360 Wh
Cafetière	800 W	10 m	120 Wh	120 Wh
Autres appareils électroménagers (mixeur, blender, etc.)			100 Wh	300 Wh

Total autres appareils fonctionnant sur prise, dans un foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement **1360 Wh**

Appareils toujours branchés sur la même prise (catégorie 3)

Machine à laver, remplissage à eau froide chauffe-eau de 2000 W + moteur de 600 W 1000 Wh par charge
Machine à laver, remplissage à eau chaude, moyenne 600 W (puissance de crête) 400 Wh par charge
Machine à laver, remplissage à eau chaude, la meilleure de sa catégorie 165 W 100 Wh par charge
http://www.fisherpaykel.com/admin/pdfs/pdf_usecares/4912_NZ_QuickSmart_WashSmart_UG_hi.pdf

Sèche-linge avec chauffe-eau électrique 3000 W 3000 Wh par charge
Sèche-linge avec chauffe-eau au gaz 300 W 300 Wh par charge
Sèche-linge avec pompe à chaleur 1350 W 1350 Wh par charge

<http://www.atcoenergysense.com/NR/rdonlyres/635CE05C-6BD3-4421-A1D0-C54CE4DDF20A/0/ManagingElectricityatHomeWebVersion.pdf>

Lave vaisselle, moyen 2000 W 1100 Wh par cycle
Lave-vaisselle avec remplissage à eau chaude 1200 W 400 Wh par cycle
http://reg.energyrating.gov.au/comparator/product_types/

Micro-ondes 2000 W 200 Wh

Cuisinière électrique, puissance de crête 8000 W
Puissance moyenne durant la cuisson 2000 W 30 min à 1 h 1000 Wh à 2000 Wh

Four électrique de 2000 W à 4000 W crête 30 min 2000 Wh

Pompe piscine 700 W 8 h 5600 Wh

Pompe de puits 700 W 3 h 2100 Wh

Chauffage ou refroidissement avec pompe à chaleur (air conditionné) peut être de 10 kWh par jour ou plus

Tableau 1 : Exigences électriques des appareils électroménagers les plus courants

Charge de base (catégorie 1)

Certaines charges seront presque toujours présentes : ensemble, elles représentent la charge de base de la maison.

Toutes les charges de base peuvent être allumées en même temps.

Il n'est pas simple de réduire la charge de base. Il est possible d'installer des temporisateurs pour arrêter complètement des charges pendant la nuit et économiser près de 1 kWh (1 kWh = 1000 Wh). En raison de l'augmentation des besoins en éclairage et en chauffage, en hiver la charge de base est considérablement plus élevée qu'en été.

À partir du tableau 1 :

En été, la charge de base minimale raisonnable qui est nécessaire quotidiennement est	4370 Wh
La puissance de crête prévue est	660 W
Et la puissance moyenne	182 W

En hiver (pour un climat tempéré), les besoins en éclairage et en chauffage central augmenteront la charge de base minimale à :	5750 Wh
La puissance de crête n'augmente pas	660 W
Mais la puissance moyenne augmente	240 W

Une maison plus grande et/ou un nombre supérieur de personnes peuvent facilement augmenter la charge de base en été à	8000 Wh
et en hiver	11 000 Wh

Remarque :

Dans un petit bureau ou un atelier, la charge de base peut même être relativement plus élevée (pendant les heures de travail) par rapport aux autres charges.

Autres appareils fonctionnant sur prise (catégorie 2)

Les appareils fonctionnant sur prise peuvent être branchés sur n'importe quelle prise de la maison. Et en particulier, les aspirateurs. Il est donc virtuellement impossible de séparer la charge de base d'un aspirateur, par exemple, ayant une puissance de fonctionnement de 1000 W et une puissance de démarrage souvent supérieure à la précédente.

Mais il est peu probable que tous les appareils fonctionnant sur prise soient utilisés en même temps.

Appareils toujours branchés sur la même prise (catégorie 3)

Dans la plupart des foyers européens, la machine à laver et le lave-vaisselle sont à remplissage à eau froide, et les sèche-linge fonctionnent avec un chauffe-eau électrique. S'ils sont utilisés tous les deux jours, mais pas en même temps, ils représentent une charge de pointe de 3 kW, et avec le four à micro-ondes, seule une énergie de 3 kWh est requise par jour, en moyenne.

Il est souvent possible de réorganiser le câblage afin que ces charges puissent être entièrement séparées de la charge de base et d'autres appareils fonctionnant sur prise.

Il est facile d'empêcher que ces appareils soient branchés en même temps.

Remarque :

Le Tableau 1 montre que beaucoup peut être fait pour réduire l'énergie électrique et la puissance (de crête) dont ont besoin ces appareils.

La classification des charges en trois catégories permet d'avoir un aperçu intéressant et elle aide à étudier les possibilités et limites de l'autoconsommation ou d'un fonctionnement hors-réseau.

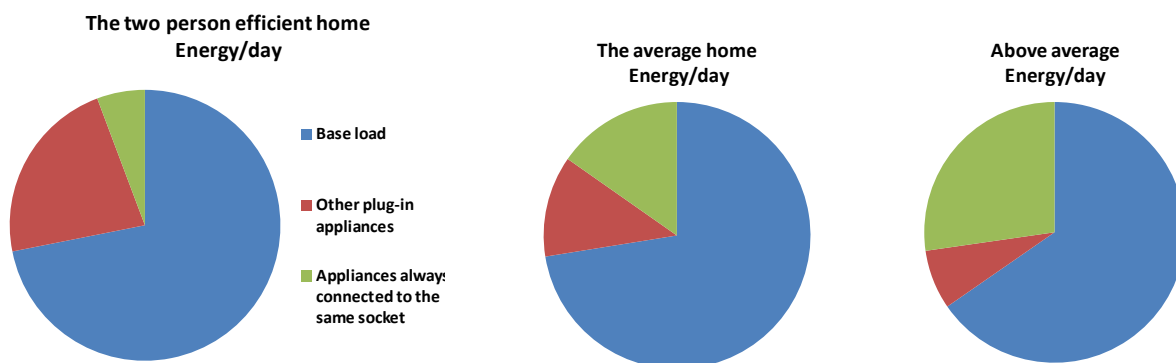
Les besoins électriques de ces trois catégories de charge sont résumés dans le tableau 2 ci-dessous.

Catégorie de charge	Foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement			Maison moyenne			Maison supérieure à la moyenne		
	Énergie par jour Wh	Puissance de crête W	Puissance moyenne W	Énergie par jour Wh	Puissance de crête W	Puissance moyenne W	Énergie par jour Wh	Puissance de crête W	Puissance moyenne W
Charge de base (été)	4 370	660	182	8 380	1 305	349	18 960	2 560	790
Autres appareils fonctionnant sur prise	1 360	2 000	57	1 640	2 000	68	1 920	2 000	80
Appareils électroménagers toujours branchés à la même prise	350	1 200	15	2 050	2 500	85	7 100	12 600	296
Total (été)	6 080	3 860	253	12 070	5 805	503	27 980	17 160	1 166
Charge de base supplémentaire en hiver	1380	0	58	2760	0	115	4140	0	173
Total (hiver)	7 460	3 860	311	14 830	5 805	618	32 120	17 160	1 338

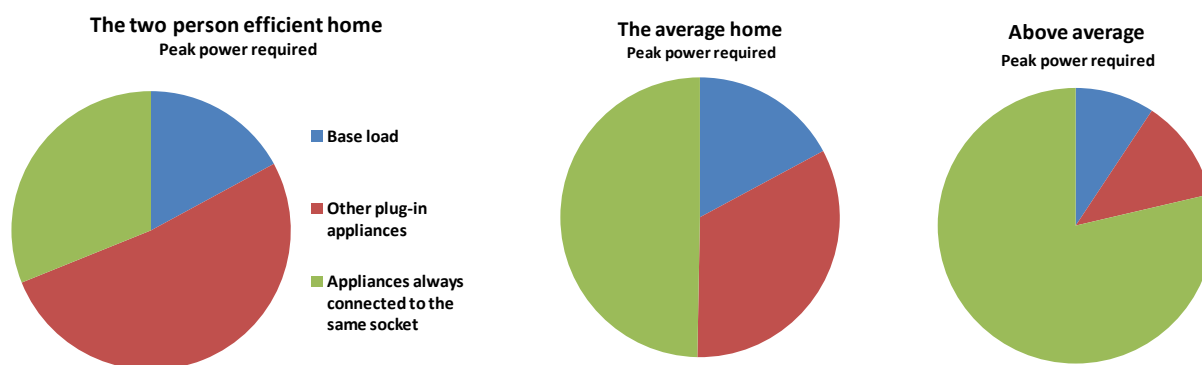
Tableau 2 : Énergie et puissance par catégorie de charge

Remarque :

1. Dans le cas du foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement, les appareils électroménagers les plus efficaces ont été choisis.
2. La maison moyenne est habitée par une famille avec deux enfants, et il dispose de l'équipement électrique que l'on peut trouver dans la plupart des foyers européens de nos jours.
3. La maison supérieure à la moyenne dispose du confort et du luxe maximum, y compris une plaque de cuisson à induction électrique. La pompe à chaleur et/ou le système de refroidissement (air conditionné) n'ont pas été pris en compte : une approche au cas par cas est nécessaire en raison de leur consommation énergétique élevée.
4. Dans tous les exemples, on a supposé qu'aucun équipement à puissance élevée n'est utilisé en même temps.



Comme il est clairement montré dans les diagrammes tirés du tableau 2, l'énergie, et par conséquent la puissance moyenne nécessaire pour la charge de base (bleu), est supérieure aux deux tiers du total.



Mais en regardant la puissance de crête requise, la charge de base (bleu) est toujours inférieure à 30 % du total !

En d'autres mots : le rapport de charge moyenne/crête de la charge moyenne est bien inférieur à celui des deux autres catégories, voir le tableau 3.

Catégorie de charge	Foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement	Maison moyenne	Maison supérieure à la moyenne
	Charge moyenne/crête	Charge moyenne/crête	Charge moyenne/crête
Charge de base (été)	3,6	3,7	3,2
Autres appareils fonctionnant sur prise	35,3	29,3	25,0
Appareils électroménagers toujours branchés à la même prise	82,3	29,3	42,6
Total (été)	15,2	11,5	14,7

Tableau 3 : Rapport de charge moyenne/crête des trois catégories de charge

Conclusion

La **charge de base** peut être alimentée depuis la batterie avec un convertisseur de 3 kVA à 1200 VA.

Les Charges de catégorie 2 et 3 ont besoin de bien plus de puissance (crête) lors de l'utilisation, et donc d'un convertisseur bien plus puissant. Mais elles sont utilisées durant de courtes périodes seulement, et l'énergie/jour requise qui en résulte est faible. Un convertisseur alimentant l'ensemble de la maison (c.à.d. toutes les catégories de charge) fonctionnera donc la plupart du temps à seulement un faible % de sa puissance nominale.

Dans le cas d'une **maison raccordée au réseau**, il serait donc avantageux d'alimenter uniquement la charge de base avec un convertisseur, et de connecter les autres charges au réseau.

Dans le cas de la **maison hors-réseau**, le réseau n'est pas disponible pour répondre aux besoins quand des appareils énergivores sont allumés. Un convertisseur offrant une puissance supérieure sera donc nécessaire.

Utiliser l'électricité pour générer de la chaleur est très coûteux (machine à laver, sèche-linge, cuisson). Le chauffage au gaz et/ou solaire sont des options moins onéreuses.

Un **système de gestion de charge** qui allumerait les charges quand le soleil brille peut améliorer l'autoconsommation. Les charges qui viennent à l'esprit (voir tableau 1) sont les suivantes :

Chauffe-eau (chaudière)
Pompe piscine
Pompe de puits
Machine à laver
Sèche-linge
Lave-vaisselle

À l'exception des pompes, la meilleure solution consiste d'abord à réduire l'énergie électrique requise par ces charges en utilisant un remplissage à chaud (en utilisant le chauffage au gaz et/ou solaire).

6. Efficacité du Centre

Le Centre est installé entre l'alimentation solaire/éolienne et la charge. Malheureusement, de l'énergie sera perdue dans le Centre. Les pertes ne sont pas négligeables. L'objectif des calculs ci-dessous consiste à montrer d'où viennent ces pertes (réponse : la batterie !).
Un lecteur pressé peut sauter les calculs et passez directement aux conclusions.

L'énergie récupérée **E_h** devra couvrir l'énergie **E_i** consommée par la charge, et également les pertes de charge/décharge de batterie, les pertes de conversion de puissance et les pertes dans le câblage et les fusibles.

6.1. Si toute l'énergie récupérée est stockée dans la batterie avant de l'utiliser

Dans le cas du Centre-1, si 0% de l'énergie récupérée est consommée directement par la charge (100 % de l'énergie récupérée est stockée dans la batterie avant d'être utilisée), l'efficacité approximative qui en résulte

$\eta_o = E_i / E_h$ est :

$$\eta_o \approx \eta_i \times \eta_b \times \eta_m \times \eta_w$$

Avec par exemple :

efficacité de conversion CA à CC du convertisseur/chargeur de 94 % $\eta_i \approx 0,94$

efficacité batterie au lithium-ion de 92 % $\eta_b \approx 0,92$

efficacité du contrôleur de charge MPPT de 98 % $\eta_m \approx 0,98$

2 % pertes dans le câblage et les fusibles $\eta_w \approx 0,98$

Le résultat est : $\eta_o \approx 0,83$

Avec une batterie au plomb ($\eta_b \approx 0,8$ ou moins, voir section 4.1)

Le résultat est : $\eta_o \approx 0,72$ ou moins.

Dans le cas du Centre-2 ou 3 :

$$\eta_o \approx \eta_c \cdot \eta_i \cdot \eta_b \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$$

Avec :

efficacité de conversion CA à CC du convertisseur/chargeur de 94 % : $\eta_c \approx 0,94$

efficacité de conversion CC à CA du convertisseur/chargeur de 94 % : $\eta_i \approx 0,94$

efficacité de batterie au lithium-ion de 92 % : $\eta_b \approx 0,92$

efficacité du convertisseur PV de 97 % : $\eta_{pv} \approx 0,97$

1% de pertes dans câblage et fusibles : $\eta_v \approx 0,99$

Le résultat est : $\eta_o \approx 0,78$

Avec une batterie au plomb ($\eta_b \approx 0,8$ ou moins, voir section 4.1)

Le résultat est : $\eta_o \approx 0,68$ ou moins.

6.2. Si 40 % de l'énergie récupérée est consommée directement par la charge

L'efficacité η_x sera supérieure si une partie de l'énergie récupérée est consommée directement par la charge.

Dans le cas du Centre-1 :

$$\eta_x \approx \eta_i \cdot (X_d + \eta_b \cdot (1 - X_d)) \cdot \eta_m \cdot \eta_w$$

Où X_d est le facteur de consommation directe.

$X_d = 1$ si toute l'énergie est consommée directement, sans stockage intermédiaire, et

$X_d = 0$ si toute l'énergie est stockée avant d'être utilisée.

Si 40 % de l'énergie récupérée est consommée directement par la charge : $X_d = 0,4$ and $\eta_{40} \approx 0.86$ (avec une batterie au lithium-ion)

Et dans le cas des Centre-2 ou 3 :

$$\eta_x \approx (X_d + \eta_c \cdot \eta_i \cdot \eta_b \cdot \eta_c \cdot (1 - X_d)) \cdot \eta_{pv}$$

Avec 40 % de l'énergie consommée directement par la charge : $X_d = 0,4$ et $\eta_{40} \approx 0.86$ (avec une batterie au lithium-ion)

Remarque :

1. Il est clair que si un pourcentage substantiel de l'énergie récupérée est consommée directement par la charge, une amélioration spectaculaire de l'efficacité est obtenue dans le cas des Centres 2 et 3 car la consommation directe ne contourne pas seulement la batterie, mais également le convertisseur/chargeur. En pratique, l'amélioration sera moins prononcée car η_c et η_i dépendent de la charge et baissent quand la charge moyenne du convertisseur/chargeur devient faible.
2. Comme il est indiqué dans la remarque 1, les efficacités des appareils constituant les Centre ne sont pas constantes.
Le convertisseur/chargeur aura une efficacité basse avec des charges basses, et une efficacité maximale à environ 75 % de sa puissance de sortie nominale. Aucune perte de charge n'est à environ 1 % de sa puissance de sortie nominale.
Le convertisseur PV et le contrôleur de charge solaire fonctionnent mieux avec des charges faibles, avec des pertes de charge d'environ 0,2 % et 0,05 %.
Les pertes dans les câbles et les fusibles sont proportionnelles au carré du courant qui passent à travers, ce qui entraîne rapidement des pertes croissantes (= efficacité décroissante) avec des charges élevées.
En fait, l'efficacité de la batterie au lithium-ion est la plus constante de toute, étant virtuellement indépendante du courant de charge/décharge et de l'état de charge.
3. Dans le cas d'énergie solaire, dans la plupart des maisons, la consommation directe par la charge sera inférieure à 40 %. En particulier, si tout le monde va travailler ou va à l'école, et revient tard dans l'après-midi, presque toutes les consommations (sauf celle du réfrigérateur et du congélateur) interviendront quand l'entrée PV sera à zéro.
Uniquement quand quelques personnes restent à la maison, ou dans le cas d'un petit bureau, hôtel ou autres activités, la consommation directe pourra atteindre 40 % ou plus.
Le Centre-1 sera par conséquent toujours la solution la plus efficace pour une maison alimentée par énergie PV.

6.3. Conclusion

En raison de la variation continue de la charge pendant la journée, et d'un jour à l'autre, il n'est pas possible de calculer précisément l'efficacité du Centre. De plus, comme une entrée PV ou éolienne est généralement aussi soumise aux variations du vent, le calcul précis de l'efficacité est un exercice inutile.

Dans les exemples suivants, les systèmes avec une batterie au lithium-ion atteignent une efficacité de 85 %, et ceux avec une batterie au plomb une efficacité de 75 %.

7. Centre pour les maisons connectées au réseau

7.1. Alimentation de la charge de base avec le Centre-1 et une batterie au lithium-ion

Dans le cas de maisonnette de vacances, petit bureau ou une maison sans charges de catégorie 2 et 3, ou si la charge de base peut être séparée de tous les appareils haute puissance (un gros Si, car une maison déjà existante devra être à nouveau câblée, et une planification soignée du câblage dans une nouvelle maison sera nécessaire), un convertisseur/chargeur de 800 VA à 3000 VA sera le choix correct.

7.1.1 Batterie au lithium-ion

Si l'objectif consiste à stocker suffisamment d'énergie pour alimenter la charge de base durant un jour complet d'été, il faudra une énergie stockée de 4,4 kWh à 19 kWh (voir le tableau 2 ou le tableau 6-8 dans la section 9) + 6 % de perte de conversion (dans le convertisseur/chargeur) et + 20 % afin de limiter la décharge de batterie au lithium-ion à 80 % (voir section 9.3 pour un niveau de décharge maximal des batteries).

La capacité de stockage totale d'énergie qui est requise ira donc de 5,8 kWh (un foyer de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement) à 25 kWh (maison supérieure à la moyenne).

La capacité d'une batterie au lithium-ion de 24 V doit donc aller de 240 Ah à un énorme 1000 Ah.

Il vaut mieux aller de 500 Ah à 48 V dans le dernier cas (voir le tableau 8). La batterie ne sera pas plus chère, mais le câblage CC sera moins cher et moins encombrant, et le contrôleur de charge produira deux fois plus d'énergie au même courant de sortie.

Remarques :

- Énergie stockée dans la batterie : $E \text{ (kWh)} = Ah \times V \times 1000$.
- En pratique, l'énergie produite durant la journée ne sera pas toute stockée. Une certaine quantité sera consommée directement par la charge, ce qui entraînera une décharge de la batterie de moins de 80 %.
- En ce qui concerne la Section efficace de câble : les affaiblissements du câble sont proportionnels à $R \cdot I^2$. Le courant I baisse de moitié en passant de 24 V à 48 V afin que la section efficace du câble puisse être réduite par un facteur de quatre.

7.1.2. Champ de panneaux photovoltaïques

Ici, de nombreux paramètres entrent en jeu : une surface adaptée disponible, le climat local, possibilité de renvoyer l'excès de puissance dans le réseau, etc.

Remarque :

Lors des jours d'ensoleillement en été, le rayonnement solaire sur les panneaux orientés au sud avec un axe d'inclinaison $\approx$ latitude est d'environ 8 kWh/m²/jour.

Le rayonnement moyen pendant un mois d'ensoleillement en été est de 6-8 kWh/m²/jour.

<http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/redbook/>

Un panneau solaire délivre sa puissance de sortie nominale (Wp) à 25°C et un rayonnement de 1000 W/m². Dans un laboratoire, la production quotidienne d'un panneau PV de 1 kWp à 8 kWh/m²/jour sera donc de 8 kWh.

En pratique, en raison d'une orientation loin d'être parfaite, d'une température de panneau élevée, et d'un dépôt particulier sur les panneaux, la production d'un panneau PV de 1 kWp exposé à 8 kWh/m²/jour sera inférieure de 25 % : 6 kWh au lieu de 8 kWh.

L'hypothèse de calcul dans les paragraphes suivants se fait donc en comptant qu'un jour d'ensoleillement en été, un panneau de 1 kWp est exposé à 8 kWh/m²/jour, et qu'il produira 6 kWh/jour, presque partout dans le monde.

<https://www.nvenergy.com/renewablesenvironment/renewablegenerations/documents/PVPerformanceSummary.pdf>

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

La production quotidienne moyenne d'un champ de panneaux photovoltaïques dépendra évidemment du climat local et elle sera inférieure, et souvent bien inférieure, à la production d'un jour d'ensoleillement en été : voir le tableau 4.

Latitude	Ville	Moyenne production annuelle	Production annuelle moyenne/ jour d'ensoleillement en été	Moyenne décembre* jour/ jour d'ensoleillement en été
		kWh/kWp		
60	Helsinki, Finlande	800	39 %	4 %
61	Anchorage, AK	800	38 %	6 %
52	Amsterdam, Pays-Bas	900	43 %	14 %
48	Munich, Allemagne	1000	46 %	18 %
47	Seattle, WA	1000	46 %	18 %
43	Marseille, France	1500	68 %	41 %
41	New York, NY	1250	58 %	35 %
37	Séville, Espagne	1600	74 %	50 %
34	Los Angeles, CA	1500	70 %	63 %
33	Phoenix, AZ	1750	81 %	61 %
26	Miami, FL	1400	65 %	56 %

*Les pires mois en termes de production PV dans l'hémisphère nord

Tableau 4 : Montre la réduction spectaculaire d'une production PV en fonction de la latitude

Si, par exemple, l'objectif consiste à économiser suffisamment d'énergie pour alimenter la charge de base pendant un jour d'ensoleillement en été, un champ PV de 850 Wp sera nécessaire pour un foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement, et d'environ 3700 Wp pour les maisons supérieures à la moyenne (voir le tableau 6-8).

7.1.3. Chargement de batterie

Un Blue Solar MPPT 150/70 s'occupera d'un champ PV de 850 Wp avec une batterie de 24 V ($850 \text{ Wp} \cdot \eta_{\text{m}} \cdot \eta_{\text{w}} / 24 \text{ V} = 34 \text{ A}$ courant de charge nécessaire).

Avec un champ PV de 3700 Wp, une batterie de 48 V est le meilleur choix, et même si deux contrôleurs MPPT 150/70 seront nécessaires ($3700 \text{ Wp} \cdot \eta_{\text{m}} \cdot \eta_{\text{w}} / 48 \text{ V} = 74 \text{ A}$ courant de charge nécessaire).

7.1.4. Pourcentage de consommation électrique couverte par le PV quand la charge de base est alimentée avec un Centre-1 et une batterie au lithium-ion

Comme on peut en déduire du tableau 2, cette solution simple et relativement bon marché alimentera plus de 70 % de l'énergie électrique nécessaire par jour, au moins durant les jours d'ensoleillement en été.

Et comme la production PV ne dépassera jamais la consommation, le renvoi dans le réseau n'est pas nécessaire.

Remarque :

En fonction de la latitude et du climat local, une estimation approximative du pourcentage moyen de la consommation d'énergie électrique couverte par le PV au cours de l'année sera calculée comme suit :

Consommation d'énergie électrique annuelle totale (voir tableau 6-8) :

$$E_y = 365 \cdot (\text{consommation été} + \text{consommation hiver}) / 2$$

Production PV utilisable annuelle moyenne (voir tableau 4) : $E_{\text{ypv}} = \text{kWp} \cdot (\text{production annuelle moyenne}) \cdot (\text{efficacité du centre})$

$$\text{Pourcentage couvert par le PV : } \alpha (\%) = 100 \cdot E_{\text{ypv}} / E_y$$

En prenant par exemple, la maison moyenne à Séville (Espagne) ou à Amsterdam (Pays-Bas) :

À partir du tableau 7 : $E_y = 4788 \text{ kWh}$

À partir du tableau 4 : $E_{ypv} = 1,643 \cdot 1600 \cdot 0,85 = 2234 \text{ kWh}$ (Séville) et $1,643 \cdot 900 \cdot 0,85 = 1257 \text{ kWh}$ (Amsterdam)

Pourcentage couvert par le PV : $\alpha = 100 \cdot 2234 / 4788 = 47 \%$ (Séville) et 26% (Amsterdam)

7.1.5. Combien d'autoconsommation ?

Si le champ de panneaux photovoltaïques est dimensionné pour ne jamais récupérer plus d'énergie que celle requise par le charge de base (plus les pertes), 100 % de l'autoconsommation sera atteinte.

Une batterie de capacité inférieure peut entraîner un certain excès d'énergie solaire (une fois que la batterie est entièrement chargée).

Cet excès peut être renvoyé dans le réseau.

Sinon, la taille du champ PV peut être réduit afin de correspondre à la capacité de la batterie.

7.1.6. Que se passe-t-il en cas de batterie déchargée (hiver, mauvais temps) ?

Le convertisseur/chargeur transférera la charge au réseau (interruption libre) et il s'arrêtera. Le convertisseur/chargeur peut être configuré pour redémarrer après que la batterie a été partiellement ou entièrement rechargée par le soleil et/ou le vent.

Une batterie au plomb ne devra pas être utilisée en étant partiellement déchargée durant trop longtemps.

Une recharge complète est régulièrement nécessaire à partir du réseau ou d'un générateur.

7.1.7. Que se passe-t-il en cas de production excessive ?

Cela peut avoir lieu quand la maison est vide durant les vacances par exemple.

Cet excès peut être renvoyé dans le réseau.

Si le renvoi dans le réseau n'est pas possible, le contrôleur de charge limitera la puissance tirée du champ de panneaux photovoltaïques après avoir chargé entièrement la batterie.

7.2. Charge de base + autres appareils fonctionnant sur prise (charges de catégorie 2 et 3) alimentés par le Centre-1

La simple configuration décrite dans la section précédente peut facilement être mise à niveau afin d'obtenir un système plus performant en utilisant la fonction GridAssist.

La capacité directe de puissance CA maximale des modèles MultiPlus 800, 1200 et 1600 est de 3,6 kW (16 A à 230 V). À 2 kVA, les modèles ci-dessus avec une capacité directe de 6,9 kW ou plus sont disponibles. Des charges de catégorie 2 peuvent donc être alimentées à l'aide du réseau. Dans le cas d'une capacité directe suffisante, les charges de catégorie 3, de puissance élevée, peuvent également être alimentées par le MultiPlus ou Quattro, à l'aide du réseau.

Sinon, les charges de catégorie 3 peuvent être directement branchées au réseau en contournant le MultiPlus ou Quattro (en considérant une connexion monophasée au réseau), ou elles peuvent être connectées à une autre phase (dans le cas d'une connexion au réseau triphasée). **En raison du temps d'utilisation très court des charges de catégorie 3, contourner le Centre est une solution pratique qui a une influence limitée sur la performance de l'autoconsommation.**

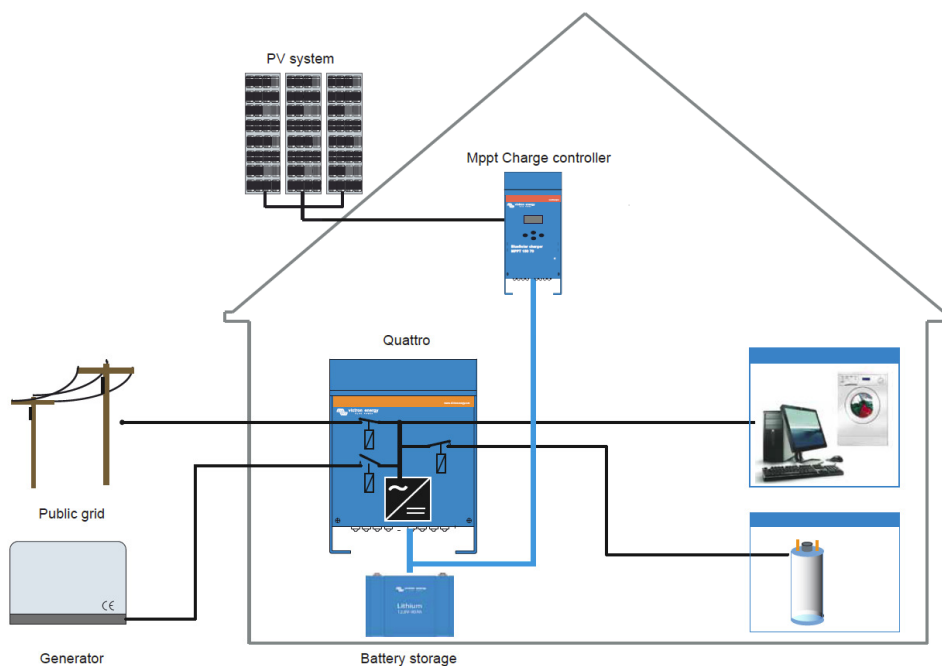
Malheureusement, contourner le Centre n'est pas facile à faire avec les charges de catégorie 2 car elles sont fréquemment déplacées d'une prise CA à une autre (en particulier les aspirateurs).

Remarque :

Multiplus ou Quattro

Le MultiPlus a une entrée CA alors que le Quattro en a deux avec un commutateur de transfert intégré.

Le Quattro peut être raccordé à deux sources CA indépendantes, par exemple le réseau et un générateur, ou bien à deux générateurs. Le Quattro se connectera automatiquement à la source active.



7.2.1. Batterie, etc.

L'énergie quotidienne requise par les charges de catégorie 2 et 3 est inférieure à la charge de base (voir le tableau 2). La capacité de batterie et la puissance PV doivent donc être augmentée de près de 25 % pour également alimenter ces charges un jour d'ensoleillement en été.

7.2.2. Pourcentage de consommation d'énergie électrique couverte par le PV

Un jour d'ensoleillement en été, près de 100 % de l'énergie électrique requise par jour sera couverte. Et une estimation approximative du pourcentage moyen de la consommation d'énergie électrique couverte par le PV au cours de l'année, peut être lu dans le tableau 4 et corrigé pour les pertes :
 Batteries au lithium-ion : $0,85 \cdot 74 \% = 63\%$ pour Séville et $0,85 \cdot 43 \% = 37\%$ pour Amsterdam.
 Batteries OPzS : $0,75 \cdot 74 \% = 56\%$ pour Séville et $0,75 \cdot 43 \% = 32\%$ pour Amsterdam.

7.2.3. Combien d'autoconsommation ?

À condition qu'elle soit correctement planifiée, la consommation des charges de catégorie 2+3 sera relativement constante d'un jour à l'autre. Les jours d'ensoleillement en été, un excès d'énergie peut survenir ; et dans le cas contraire, un manque d'énergie peut avoir lieu.

7.3. Alimentation de la charge de base avec le Centre-2 ou 3

Au lieu du contrôleur de charge solaire, c'est maintenant le convertisseur/chargeurs qui charge la batterie.

La conséquence est que le courant de charge requis peut être le facteur déterminant pour dimensionner le convertisseur/chargeur.

Un jour d'ensoleillement en été, un champ de panneaux photovoltaïques de 850 Wp est nécessaire pour alimenter la charge de base d'un foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement (voir la section 7.1). Le courant de charge maximal qui en découle (quand toute la puissance récupérée est utilisée pour charger la batterie) à 24 V est

$$850 \text{ Wp} \cdot \eta_p \cdot \eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v / 24 \text{ V} = 32 \text{ A.}$$

Cela signifie qu'il faut un MultiPlus de 1600 VA (voir tableau 6).

Pour la maison supérieure à la moyenne, le champ PV de 3700 Wp requerra un Quattro 8 kVA (ou deux Multi de 5 kVA en parallèle, ou trois Multi de 3 kVA en configuration triphasée).

Le contrôleur de charge solaire étant remplacé par un convertisseur PV, et comme il faut un convertisseur/chargeur de bien plus grande taille, l'option du Centre-2 ou 3 est clairement la solution la plus chère (et également la moins efficace : voir section 6).

La solution des Centre-2 ou 3 peut cependant être préférée si :

- un stockage intermédiaire est ajouté à un champ PV + un convertisseur PV déjà installés.
- La tension PV relativement basse requise pour alimenter le contrôleur de charge (150 V max.), et par conséquent, augmenter la section efficace de câble est un inconvénient en raison de trop longs câbles.

Remarque :

- Même avec quelques pertes supplémentaires dans le câblage depuis le champ PV jusqu'au contrôleur de charge solaire, le Centre-1 sera encore la solution la plus efficace. Voir le manuel du MPPT 150/70 pour calculer les pertes de câbles CC.
- Une combinaison du Centre-1 et du Centre-2 ou 3 est également possible.
- La sensibilité du convertisseur PV aux variations de tension CA (quand des charges énergivores sont allumées) peut réduire la production PV (du fait des problèmes de tension causant des arrêts temporaires du convertisseur PV).

7.4. Charge de base + autres appareils fonctionnant sur prise (charges de catégorie 2 et 3) alimentés par le Centre-2 ou 3

Le convertisseur/chargeur le plus puissant (requis pour le chargement de batterie, voir section 7.3) peut alimenter des charges de catégorie 2 et 3 sans aucune aide du réseau.

La capacité de la batterie et du champ PV devra être augmentée d'environ 25 % uniquement pour être entièrement indépendant du réseau lors des fameux jours d'ensoleillement en été.

L'autoconsommation doit être de près de 100 %.

Cette réussite a un prix : il faut plus de PV, plus de capacité de batterie et un convertisseur/chargeur bien plus puissant.

7.5. Que se passe-t-il en cas d'hiver sombre ou pluvieux ?

Durant les périodes de mauvais temps (qui peuvent durer des jours ou même des semaines), la production PV peut être dramatiquement réduite à un tout petit % de sa production maximale en été, voir le tableau 4.

Le champ PV peut être augmenté pour fournir suffisamment de production même durant les jours moins ensoleillés. Cela signifie qu'il faut renvoyer le surplus dans le réseau lors de jours d'ensoleillement. Mais le « surdimensionner » par un facteur de 10 ou plus est onéreux et requiert plus d'espace pour le champ PV, et cela est donc plutôt inhabituel.

L'augmentation de la capacité de batterie, pour compenser les périodes de production faible ou proche de zéro pendant des semaines, est extrêmement onéreuse.

Les solutions les plus habituelles pour compenser la puissance PV insuffisante sont donc :

- Utiliser la puissance provenant du réseau.
- Installer un système de microcogénération alimenté au gaz (production combinée micro-CHP). Le système de microcogénération fournira la chaleur et l'énergie électrique nécessaire quand l'ensoleillement (et/ou le vent) laisse à désirer.
- Installer un générateur alimenté par un moteur diesel.

8. Le Centre hors-réseau

8.1. Microcogénération

Dans des zones densément peuplées, l'indépendance souhaitée par rapport au réseau peut être obtenue en ajoutant au système un système de microcogénération alimenté au gaz.

Générer de la chaleur avec de l'électricité est facile, mais le contraire, générer l'électricité avec de la chaleur, ne l'est pas. Un système de microcogénération avec une efficacité électrique élevée est donc préférable.

Les quelques systèmes de microcogénération ayant fait leur preuve (25 % électricité, 75 % chaleur) sont tous basés sur un générateur alimenté par un **moteur à combustion interne durable** qui fonctionne au gaz naturel ou au propane. L'électricité produite par le générateur est consommée directement ou stockée dans la batterie. Au même moment, la chaleur du moteur est capturée pour créer de l'énergie thermique. La chaleur est utilisée pour le chauffage central et/ou pour chauffer de l'eau.

Pour de plus amples renseignements, consultez <http://www.bhkw-infothek.de/>

Les systèmes reposant sur des **Moteurs Stirling** offrent une efficacité électrique inférieure (10-15 % électricité, 90-85 % chaleur) ce qui peut entraîner un excès de production de chaleur dans un véritable système hors-réseau.

La microcogénération à **pile à combustible** reste une promesse d'avenir.

La production électrique de la microcogénération devrait, au moins, être égale à la puissance moyenne requise. Ceci n'est pas difficile à obtenir : même la moyenne en hiver de la maison supérieure à la moyenne est de 32,12 kWh par jour (voir tableau 8), ce qui est moins que le 1,4 kW moyenné sur 24 heures.

Si la microcogénération est combinée avec un système thermique ou solaire photovoltaïque, elle sera surtout utilisée en hiver. Le convertisseur/chargeur doit être dimensionné pour alimenter l'ensemble de la maison. Comme on peut le voir dans le tableau 2, trois des seize kVA seront nécessaires.

Il est recommandé d'utiliser du gaz pour la cuisson et le sèche-linge et pour le remplissage à chaud de la machine à laver et du lave-vaisselle, afin de réduire la puissance de crête requise.

La capacité de batterie pour couvrir un jour de consommation électrique en été sera suffisante car les périodes de fonctionnement de la microcogénération peuvent être synchronisés avec des périodes de forte consommation électrique.

La microcogénération fonctionnera en parallèle avec le convertisseur/chargeur, semblable au convertisseur PV du Centre-2 ou 3.

L'excès de puissance sera utilisé pour recharger la batterie, et le manque de puissance sera complété par la puissance de la batterie (fonction PowerAssist du convertisseur/chargeur MultiPlus et Quattro). La chaleur (chaleur du moteur + chaleur d'échappement) peut être utilisée pour le système de chauffage de la maison et pour chauffer la chaudière.

Si les deux productions thermique et électrique sont entièrement utilisées, l'efficacité d'une microcogénération est d'environ 98 %. (cela veut dire que 98 % du contenu calorifique du gaz brûlé est transformé en une chaleur et une électricité utile).

Et avec 40 % de la production électrique directement consommée par la charge, l'efficacité du Centre, comprenant à présent la microcogénération, sera d'environ 86 % dans le cas d'une batterie au lithium-ion (voir section 6.2).

Remarque :

Dans le cas d'un **foyer de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement**, la consommation d'eau chaude quotidienne sera de 100 à 150 litres (y compris le remplissage à chaud du lave-vaisselle et de la machine à laver). Pour chauffer cette eau à une température de 40°C, il faut 5 à 7 kWh de chaleur.

(capacité de chaleur d'eau spécifique : $C = 4,2 \text{ J/(g} \cdot \text{K)} \approx 1,2 \text{ Wh/(litre} \cdot \text{°C)}$,

voir http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_capacity)

À une efficacité électrique de 25 %, la microcogénération produira $25 / 75 = 0,33$ kWh d'énergie électrique par kWh de chaleur.

Avec 6 kWh de chaleur nécessaire, la production électrique de la microcogénération sera de 2 kWh.

En comptant 15 % de pertes (efficacité de 85 %) dans le Centre, l'énergie électrique disponible est de 1,7 kWh.

La consommation d'énergie électrique quotidienne totale durant l'hiver est de 7,5 kWh/jour (voir tableau 6).

Cela signifie que la microcogénération couvrira à peu près 23 % de la consommation électrique d'un foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement en fonctionnant juste pour produire l'eau chaude requise.

Si le chauffage de la maison est nécessaire en hiver, une quantité supérieure d'énergie électrique sera produite :

Dans les Pays-Bas, la consommation moyenne de gaz naturel par jour pour le chauffage d'une maison autonome est de 2000 m³.

Le contenu calorifique du gaz naturel est de 32 MJ/m³ et 1 kWh = 3,6 MJ.

L'énergie moyenne quotidienne nécessaire durant les 6 mois où le chauffage local est nécessaire est :

$32 \text{ MJ/m}^3 \times 2000 \text{ m}^3 / 182 \text{ jours} = 352 \text{ MJ/jour}$, ou 97 kWh par jour.

Avec 97 kWh de chauffage local requis par jour, la production électrique quotidienne de la microcogénération sera de $97 \times 0,33 = 32$ kWh.

Cela représente la consommation d'énergie électrique moyenne quotidienne en hiver de la maison supérieure à la moyenne (voir tableau 8).

À l'évidence, la solution de la microcogénération est la meilleure solution dans les régions plus froides qui requièrent un chauffage domestique.

8.2. Générateur fonctionnant avec un moteur diésel

Dans les zones éloignées où la puissance provenant du réseau n'est pas disponible ou peu fiable, la solution traditionnelle consiste à installer un générateur alimenté par un moteur diésel (générateur).

Le générateur sera calculé pour répondre à l'exigence de puissance la plus élevée qui est attendue.

Le générateur est bien plus économique (par kVA calculé) et plus facile à installer et entretenir qu'une microcogénération, mais il est bruyant, malodorant, moins efficace (toute la chaleur est perdue), et il requiert une maintenance fréquente.

Il offre également une durée de vie bien inférieure.

Remarque :

Le générateur diésel traditionnel peut être modifié pour mieux se rapprocher d'une microcogénération alimentée au gaz, en réalisant essentiellement des modifications permettant de réduire le bruit, la maintenance et en ajoutant un système de récupération de la chaleur du moteur.

Pour de plus amples renseignements, consultez <http://www.bhkw-infothek.de/>

Quand il fonctionne 24h/7j ou la plupart de la journée, la solution traditionnelle du générateur alimenté par un moteur diésel présentent deux inconvénients principaux :

Maintenance et durée de vie

Les générateurs requièrent une maintenance fréquente : huile à changer toutes les 500 heures, remplacement de la courroie toutes les 1 000 heures, etc.

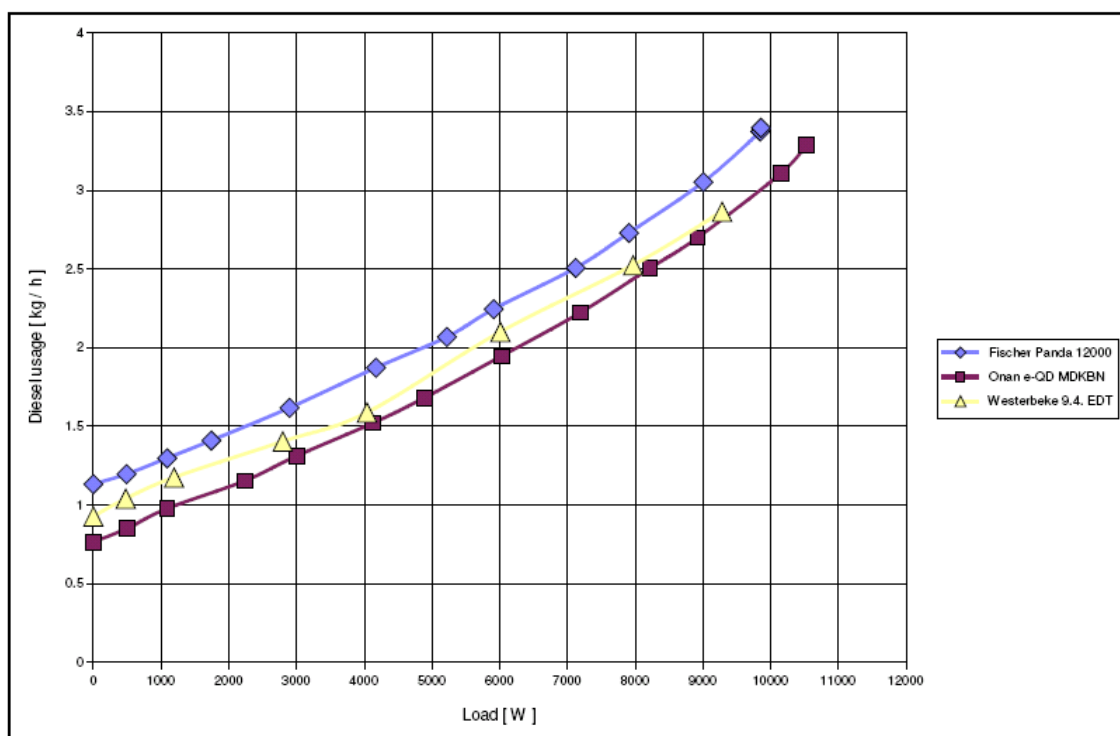
La durée de vie d'un bon générateur de 1500 tr/min est d'environ 10 000 heures (= 3 années avec un fonctionnement 24h/7j).

Consommation de carburant à faible charge

Un générateur de 10 kW consommera entre 3 et 3,5 kg de carburant (= 3,7 à 4,4 litres) par heure en alimentant une charge de 10 kW.

Et avec une charge à zéro, il consommera 1 kg/h ! (voir graphique 1).

Faire fonctionner un générateur 24h/7j pour alimenter une maison, avec une charge de crête moyenne de moins de 10 % (voir tableau 3) est donc une solution extrêmement inefficace et coûteuse, en raison de la maintenance et de la durée de vie par kWh produit, et en particulier à cause d'une consommation en carburant extrêmement élevée (= consommation de carburant par kWh produit).



Graphique 1 : Consommation de carburant de trois générateurs de 1500 tr/min alimentés par un moteur diesel, production maxi. 9-11 kW

Comme le montre le graphique 1, si le générateur fonctionne à un niveau proche de la charge maximale (10 kW), la consommation spécifique de carburant est d'environ 0,3 kg par kWh. S'il fonctionne avec une charge de 500 W, la consommation spécifique de carburant est d'environ 2 kg par kWh.

Un générateur de 10 kW fonctionnant 24h/7j et brûlant en moyenne 1kg/h pour alimenter une maison moyenne, consommera près de 9 000 kg (!) de carburant par an pour produire les 4 788 kWh requis (voir tableau 70).

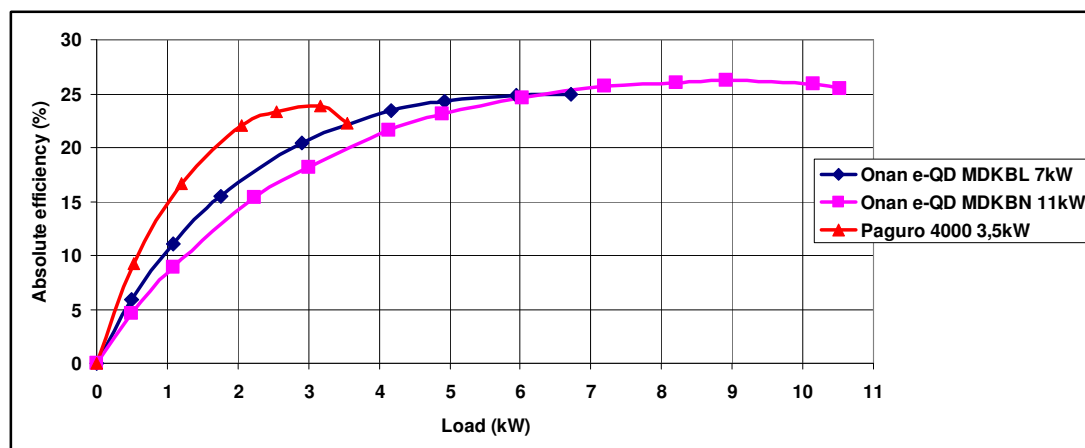
Sans gaz butane ou propane pour la cuisson et l'eau chaude, toutes les solutions électriques augmenteront l'énergie électrique quotidienne nécessaire avec 8 kWh à 21 kWh, et la charge moyenne du générateur sera proche de 1 kW. Comme le montre le graphique 1, cela n'augmentera la consommation en carburant que légèrement à quelques 10 tonnes/an.

Si un générateur plus important est installé pour faire face aux éventuelles charges de crête plus élevées, la consommation en carburant sera encore plus élevée.

Le Graphique 2 montre l'efficacité absolue de trois générateurs, à une valeur respective de 3,5 kW, 7 kW et 11 kW. L'efficacité absolue est d'environ 25 % au point de charge le plus efficace. Cela signifie que même s'ils sont utilisés à leur point de charge le plus efficace, seul 25 % du contenu calorifique du carburant diesel est converti en puissance électrique (le contenu calorifique du carburant diesel automobile est d'environ 45,6 MJ/kg, ou 12,7kWh/kg). Les 75 % restants sont transformés en chaleur et évacués à travers l'échappement et le système de refroidissement du moteur.

Remarque :

Pour de plus amples renseignements concernant les générateurs, consultez le « VE Marine Generator Test » téléchargeable sur www.victronenergy.com



Graphique 2 : Efficacité absolue de trois générateurs représentatifs

Comme l'indique le graphique 2, l'efficacité du générateur est réduite de 5-10 % en fonctionnant avec une charge de 500 W.

À l'évidence, il y a une grande marge d'amélioration !

Option 1 : en ajoutant un convertisseur/chargeur de puissance réduite pour les périodes nocturnes de charge faible uniquement

Un MultiPlus C 24/1600/40 par exemple.

Le convertisseur de 1600 VA alimentera la charge de base. Cependant, une charge supplémentaire soudaine, comme une machine à laver, fera que le MultiPlus se mettra en mode de protection contre la surcharge, et l'alimentation CA s'arrêtera.

Pour empêcher cela, le générateur doit être prêt à l'emploi avant qu'une charge lourde ne soit allumée.

En pratique, cette option marche correctement si le convertisseur/chargeur alimente la charge de base durant la nuit, et si le générateur est allumé durant le jour.

Avec le générateur arrêté pendant 8 heures chaque jour, la consommation annuelle de carburant dans la maison moyenne hors-réseau se réduira à $10\,000 \cdot (24-8)/24 = 6\,700$ kg

Option 2 : convertisseur/chargeur haute puissance pour réduire substantiellement la taille du générateur et diminuer les heures de fonctionnement

La puissance du convertisseur doit être suffisante pour supporter des charges lourdes jusqu'à ce que le générateur soit en marche.

Le convertisseur/chargeur peut générer un signal de démarrage automatique du générateur en fonction de la charge. De plus, le convertisseur/chargeur, un contrôleur de batterie ou le BMS d'une batterie au lithium-ion peuvent générer un signal de « Batterie déchargée » pour démarrer le générateur. Un fonctionnement entièrement automatique du système est donc possible.

Avec les références du tableau 2, la puissance nominale combinée d'un « Multi/Quattro+générateur » serait de 10 kW à 20 kW.

À présent, le générateur fonctionnera uniquement durant les périodes de demande de puissance de crête, et à l'aide de la fonction **PowerAssist**, le convertisseur/chargeur peut être configuré pour faire fonctionner le générateur à son point de puissance le plus efficace : environ 80 % de la puissance nominale en kW de sa plaque signalétique. Tout excès de puissance disponible sera utilisé pour charger la batterie, et le manque de puissance sera complété par celle provenant de la batterie.

L'ensemble des charges d'une maison moyenne (pas de gaz butane ou propane pour la cuisson et l'eau chaude) nécessitera en moyenne 21 kWh par jour, et en admettant une efficacité de 85 % pour le Centre composé d'une batterie au lithium-ion, la puissance totale nécessaire serait de $21/0,85 = 25$ kWh.

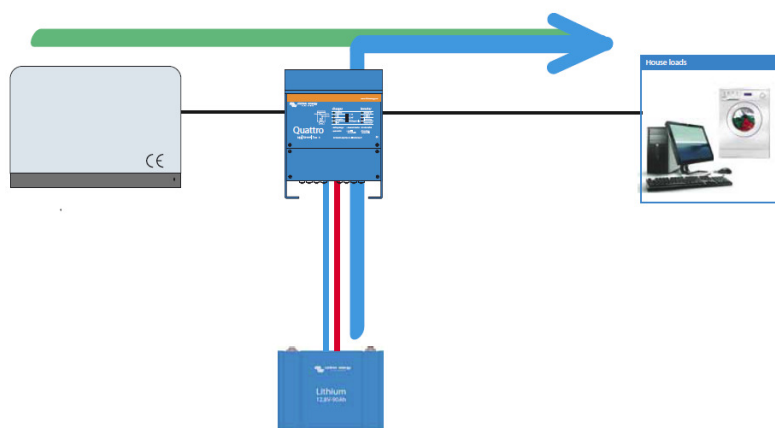
Avec un convertisseur/chargeur de 10 kVA, la puissance du générateur peut par exemple être réduite à 7 kVA.

Un générateur de 7 kVA avec une charge de 4 à 5 kW fonctionnera environ 6 heures par jour (sans entrée solaire/éolienne).

L'efficacité sera de 25 %, (0,3 kg de carburant par kWh) et la consommation annuelle en carburant sera de $0,3 \text{ kg/kWh} \times 25 \text{ kWh} \times 365 \text{ jours} = 2\,700 \text{ kg}$.

Moins d'un tiers de la solution 24h/7j.

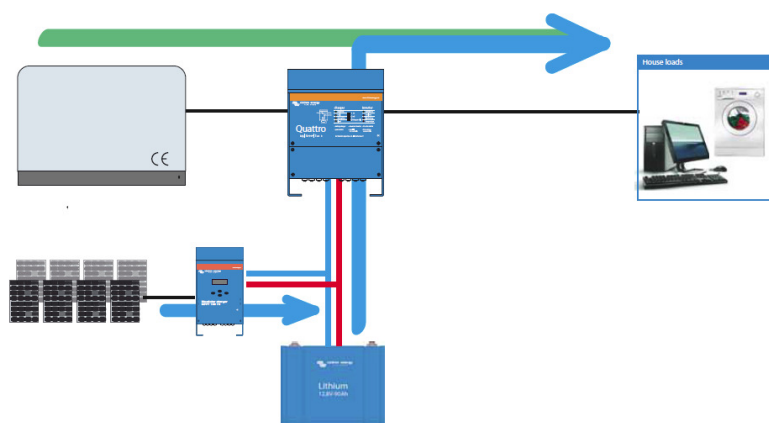
Avec une batterie OPzS, la consommation en carburant sera de $0,3 \text{ kg/kWh} \times (21/0,75) \text{ kWh} \times 365 \text{ jours} = 3\,100 \text{ kg}$.



D'accord, ajoutons un chauffage au sol électrique dans la salle de bain (3 kWh/jour) et une piscine (sans chauffage, pompe uniquement : 5,6 kWh/jour) Cela augmenterait la consommation annuelle en carburant à 3 800 kg (lithium-ion) ou 4 300 kg (OPzS)

Énergie solaire et/ou éolienne pour réduire davantage les heures de fonctionnement

Il s'agit évidemment de la prochaine étape permettant de réduire davantage les heures de fonctionnement et la consommation en carburant. Le Centre-1 et le Centre-2 peuvent être tous les deux utilisés, mais le Centre-3 n'est pas une option car le convertisseur PV s'arrêtera si le générateur n'est pas en marche.



Générateur triphasé ou monophasé ?

Le problème avec un générateur de (relativement) faible puissance est l'équilibrage des charges sur les trois phases.

Un générateur de 10 kVA par exemple peut alimenter 3,3 kVA par phase.

Comment connecter les charges de la maison moyenne ?

Le fait de connecter la machine à laver, le sèche-linge et le lave-vaisselle, chacun sur une phase séparée, laissera une puissance très limitée aux autres charges qui pourraient être allumées en même temps.

Le fait de connecter la machine à laver, le sèche-linge et le lave-vaisselle à une seule phase sera une bonne solution tant que ces appareils ne seront pas utilisés en même temps. Tous les autres appareils électroménagers peuvent être répartis sur les deux phases restantes.

En pratique, des situations extrêmes où une phase est entièrement chargée ou même surchargée, et une autre phase est en train de fonctionner avec une charge près de zéro, peuvent arriver fréquemment.

Le fait de raccorder toutes les charges à un générateur monophasé permet d'éliminer le problème d'équilibrage des charges.

Pompes triphasées

Les pompes à eau et de la piscine sont souvent triphasées, mais avec une capacité nominale non supérieure à 3 kVA.

La solution consiste à ajouter un **variateur de vitesse avec une entrée monophasée**. Le variateur de vitesse se connectera à une alimentation monophasée et il éliminera également le courant de crête de démarrage.

Fournir des charges lourdes uniquement quand le générateur est en marche

Durant les jours nuageux ou en hiver, quand la puissance solaire doit être complétée avec la puissance du générateur, ce dernier devra fonctionner pendant des périodes de demande élevée, ou sinon, des charges de puissance élevées (pompe à eau, chauffe-eau) pourront être allumées quand le générateur est en marche.

Les convertisseurs/chargeurs Multi et Quattro disposent d'une deuxième sortie CA programmable destinée à cet effet.

Cette sortie connectera les charges supplémentaires avec un retard d'une minute pour permettre au générateur de se stabiliser.

La fonction **PowerAssist** tiendra compte de ces charges supplémentaires (ce qui ne sera pas le cas si elles sont connectées directement au générateur).

9. Définition : champ de panneaux PV 100 % et batterie 100 %

De la section 7.1.2 :

Lors des jours d'ensoleillement en été, le rayonnement solaire sur les panneaux orientés au sud avec un axe d'inclinaison $\approx$ latitude est d'environ 8 kWh/m²/jour.

Avec cette estimation (très) approximative, il devient possible d'examiner la production PV indépendamment de la latitude et du climat local, et de l'ajuster en fonction des conditions locales à l'aide du tableau 4.

Grâce à cette estimation en tête, il peut être très utile d'examiner la production PV en unités de production par jours d'ensoleillement en été ($\approx$ 6 kWh par kWp comme il est commenté dans la section 7.1.2), et de relier la production à la consommation, pour examiner le PV en fonction de la consommation d'énergie d'une maison, d'un petit bureau, d'un atelier ou de toute situation où le besoin en énergie électrique quotidien va de 1 kWh à 100 kWh.

Nous examinerons donc la production de jours d'ensoleillement en été du champ de panneaux PV, et de même, la capacité de stockage utilisable de la batterie en termes de consommation d'énergie quotidienne.

Un champ PV 100 % est défini comme le champ nécessaire pour couvrir 100 % de la consommation électrique de la maison d'un particulier, durant un jour d'ensoleillement en été.

Un champ PV 50 % couvrira 50 % de la consommation d'énergie, durant un jour d'ensoleillement en été.

De même, une batterie 100 % est une batterie ayant une capacité de stockage utilisable suffisante pour stocker l'énergie nécessaire pour un jour d'été.

10. Coût

10.1. Autoconsommation : capacité de stockage optimale

L'autoconsommation est un phénomène relativement nouveau. Cette possibilité devient de plus en plus populaire en raison de deux facteurs : augmentation des prix au détail de l'électricité et diminution des prix préférentiels garantis. Vendre l'excès d'énergie PV, à un prix de, disons, 15 centimes d'euro par kWh à midi, et le racheter le soir pour 25 centimes d'euros, cela semble être une mauvaise affaire. Il vaut mieux stocker l'excès afin de pouvoir l'utiliser plus tard.

D'un point de vue strictement financier, le stockage intermédiaire serait une proposition intéressante si le coût supplémentaire impliqué était inférieur au coût engagé en vendant l'électricité à un prix bas et en le rachetant plus tard à un prix plus élevé.

Trouver une justification financière précise et sensée au stockage intermédiaire n'est pas chose facile. Sauf dans les régions désertiques à basse latitude où le soleil brille chaque jour, la production PV sera sujette à de grandes variations d'un jour à l'autre, et d'une saison à une autre. Le fait d'installer un champ PV + un stockage d'énergie — couvrant 100 % du besoin en énergie durant un jour d'ensoleillement en été (solution d'autoconsommation à 100 %) — n'est certainement pas la solution optimale dans des régions de haute latitude : la batterie sera surdimensionnée les jours nuageux, et elle sera même inexploitée lors des jours d'hiver sombres quand la production PV est proche de zéro.

Ce qui peut être indiqué avec certitude, c'est que :

- La capacité de stockage optimale (au niveau financier) augmente avec la différence croissante entre le prix au détail de l'électricité et le prix préférentiel garanti.
- La capacité de stockage optimale décroît avec la latitude (et elle dépend également du climat local).
- La capacité de stockage optimale augmente quand le coût du système décroît.

Comme nous n'avons pas (encore) imaginé une méthode simple pour au moins pouvoir calculer une estimation approximative d'une capacité de stockage intermédiaire optimale, nous considérons simplement qu'elle représente environ 30 % de la production du champ PV jour d'ensoleillement en été.

Un autre point important est que l'autoconsommation est nécessaire pour garantir la stabilité du réseau. Un système avec une capacité de stockage limitée se comportera cependant juste comme un système sans stockage intermédiaire, une fois que la batterie a été entièrement chargée. Durant un jour d'été ensoleillé, la batterie peut, par exemple, être entièrement chargée avant midi, sans être utilisée, pour réduire les fluctuations et limiter l'énergie renvoyée quand on en a le plus besoin.

On peut cependant espérer dans un proche avenir qu'une limite, d'une sorte ou d'une autre, sera configurée afin de limiter la quantité de puissance qui peut être renvoyée dans le réseau.

La limite peut être par exemple que le renvoi ne doit pas dépasser un pourcentage de la puissance nominale P_w du champ PV. Avec une limite de 60 %, par exemple, la puissance du renvoi ne doit pas dépasser 60 % de la puissance PV installée.

Une estimation approximative de l'énergie, qui sera perdue ou qui sera plutôt stockée dans une batterie suite à une réglementation de ce type, est calculée ci-après :

En considérant que la production du champ peut être schématisée par un demi-cercle (en partant de zéro le matin, jusqu'à la production maximale à midi, et de retour à zéro en fin d'après-midi), l'énergie qui ne doit pas être renvoyée dans le réseau (ou qui peut être renvoyée plus tard dans la journée) est représentée par le segment vert sur la figure 5.

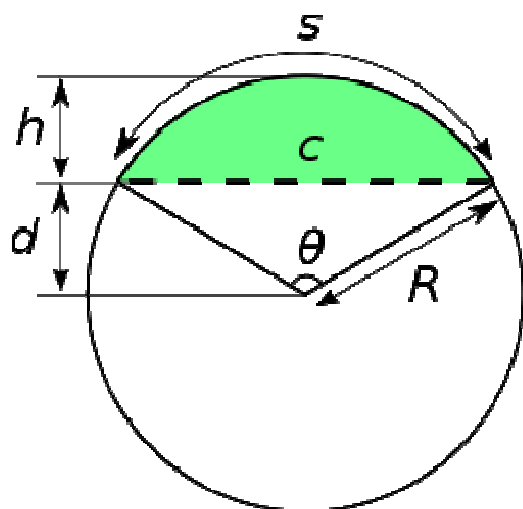


Figure 5 : Limitation du renvoi dans le réseau de la puissance de crête

Avec $P_w = R = 1$, $d \cdot P_w$ étant la puissance maximale qui peut être renvoyée dans le réseau.

La zone A du segment vert est

$$A = (R^2/2) \cdot (\theta - \sin\theta) \quad \text{avec } \theta = 2\arccos \frac{d}{R}$$

(voir http://en.wikipedia.org/wiki/Circular_segment)

Et la zone du demi-cercle est $C = (\frac{1}{2}) \cdot \pi R^2$

Avec ces formules, le pourcentage qui doit être « rasé » pour limiter le renvoi dans le réseau à $d \cdot P_w$ pour différentes valeurs de d peut être calculé :

$$d = 0,6: A/C = 0,45/1,57 \approx 0,3$$

$$d = 0,5: A/C = 0,61/1,57 \approx 0,4$$

$$d = 0,4: A/C = 0,79/1,57 \approx 0,5$$

(voir <http://www.handymath.com/cgi-bin/arc18.cgi>)

Si $d = 0,6$ (ce qui signifie que le renvoi dans le réseau ne doit jamais dépasser 60 % de la puissance nominale P_w du champ), la zone verte représente 30 % du demi-cercle. Donc au moins 30 % de la production du champ doit être absorbée par la charge et/ou stockée dans la batterie.

Dans ce cas, en considérant une charge zéro, une efficacité de 100 % du système et une batterie déchargée le matin, **le stockage de la batterie peut être réduit à 30 %** de la production PV pour un jour d'ensoleillement en été, tout en respectant encore la règle (hypothétique) pour l'autoconsommation. La batterie sera donc utilisée pour stocker le contenu de l'énergie de la zone verte alors que le reste de production du champ solaire peut être renvoyé dans le réseau.

Remarque :

L'alternative consiste simplement à limiter la sortie du convertisseur de réseau à 60 % de P_w installé : aucun stockage nécessaire, et 30 % de la production potentielle du champ seront perdus lors des jours d'ensoleillement en été.

10.2. Hors-réseau : capacité de stockage optimale

Si un système de microcogénération ou un générateur est disponible, une capacité utilisable suffisante pour couvrir un jour entier est la norme généralement acceptée.

Si le soleil et/ou le vent sont les seules sources d'énergie, il faudra combiner la production PV et/ou éolienne surdimensionnée avec une capacité de batterie surdimensionnée (c.à.d. plus de 100 % comme il est défini dans la section 9) afin de couvrir les périodes présentant une faible production PV/éolienne.

10.3. Batterie : au plomb ou lithium-ion, partie 2.

10.3.1. Phosphate de lithium-fer

Une batterie phosphate de lithium-fer (LiFePO_4 ou LFP) ne devrait pas être déchargée en dessous de 20 % de sa capacité nominale. Elle peut être déchargée environ 2 000 fois à 20 %, et elle peut être rechargée à un courant élevé jusqu'à près de 100 % (le fait de décharger la batterie régulièrement en dessous de 20 % réduira l'endurance du cycle, de façon disproportionnée).

La capacité utile Ah (et kWh) est donc de 80 % par rapport à sa puissance nominale.

10.3.2. Batterie au plomb à plaque tubulaire

Les batteries au plomb à **plaque tubulaire** qu'elles soient à électrolyte liquide (OPzS : Ortsfeste Panzerplatte mit Spezialseparator) ou à électrolyte gélifié (OPzV) sont assez robustes et elles ont fait leurs preuves pour fonctionner très bien dans des systèmes hors-réseau. Ceci conformément à notre propre expérience et aux différents tests réalisés :

<http://www.cres.gr/kape/publications/photovol/5BV-335.pdf>

http://www.iea-pvps.org/index.php?id=9&eID=dam_frontend_push&docID=376

Elles peuvent être régulièrement déchargées à 30 % de leur capacité C_{10} , mais l'efficacité de charge devient très faible et l'acceptation du courant de charge se réduit sensiblement une fois que la batterie a été chargée jusqu'à 80 %.

Ces batteries doivent donc être rechargées entre 80 % et 30 %, et elles doivent être régulièrement rechargées entièrement à 100 % pour éviter la sulfatation.

Une autre raison pour recharger entièrement les batteries OPzS est la stratification de l'acide.

(http://batteryuniversity.com/learn/article/water_loss_acid_stratification_and_surface_charge/)

Les batteries OPzS et OPzV offrent une résistance interne élevée et donc, l'efficacité et la capacité disponible se réduiront considérablement en cas de courants de charge et décharge élevés.

(pour connaître les spécifications, consulter

<http://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet%20-%20OPzS%20batteries%20-%20rev%2004%20-%20EN.pdf>)

10.3.3. Batterie à plaque plate à électrolyte liquide et VLRA

Il y a de nombreux types de batteries à électrolyte liquide et VLRA (au plomb régulée par valve : à électrolyte et AGM). Mais en règle générale, les meilleures batteries sont également les plus chères. Selon notre expérience, elles sont cependant moins robustes que les batteries à plaque tubulaire OPzV, et particulièrement les OPzS, en termes de cycle de charge et de risques de sulfatation.

Victron Energy vend une gamme de batteries à plaque à décharge poussée VRLA (à électrolyte et AGM) qui disposent de plaques plus fines que les batteries de voiture, et que les batteries VLRA les moins chères. Cela permet d'obtenir une meilleure performance des cycles de charge, mais cela n'élimine pas le risque de sulfatation.

(pour connaître les spécifications, consulter

<http://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet%20-%20GEL%20and%20AGM%20Batteries%20-%20rev%2007%20-%20EN.pdf>)

Il est conseillé de limiter la décharge de ces batteries à 50 % de leur puissance nominale C_{20} .

De même que les batteries à plaque tubulaire, l'efficacité de charge devient très faible et l'acceptation du courant de charge se réduit considérablement quand la batterie a été chargée à 80 % de sa capacité.

Ces batteries doivent donc être chargées entre 80 % et 50 %, et elles doivent être régulièrement rechargées entièrement à 100 % pour éviter la sulfatation.

Le tableau ci-dessous compare les différentes batteries.

	Plaque plane AGM	Plaques tubulaires à électrolyte liquide (OPzS)	Plaques tubulaires à électrolyte gélifié (OPzV)	Lithium-ion LiFePO ₄
Coût par kWh nominal	€ 188	€ 312	€ 432	€ 1 233
Capacité utilisable	30 %	50 %	50 %	80 %
Coût par kWh utilisable	€ 627	€ 624	€ 864	€ 1 541
Efficacité @ I = 0,1C ²	80 %	80 %	80 %	92 %
Efficacité @ I = 0,5C	70 %	60 %	60 %	92 %
Cycle de charge @ 25°C	750 - 1500 ¹	2500	2000 - 2500	2000
Volume par kWh utilisable	11,3 cm ³	15,4 cm ³	15,4 cm ³	8,7 cm ³
Poids par kWh utilisable	82 kg	82 kg	82 kg	17 kg
Application	utilisation saisonnière - maison de vacance hors- réseau	cycle de charge au cours de l'année - maisons, petits bureaux, ateliers, etc.	cycle de charge au cours de l'année - maisons, petits bureaux, ateliers, etc.	cycle de charge au cours de l'année - maisons, petits bureaux, ateliers, etc.
Installation possible dans la surface habitable	oui	non	oui	oui
Recharge complète régulière nécessaire	oui	oui	oui	non
maintenance régulière nécessaire	non	oui	non	non

Remarque :

- 1) En raison de leur relative fragilité, les batteries bon marché AGM et à électrolyte gélifié (et dans une moindre mesure les OPzV) atteignent rarement le nombre de cycles (1500) qu'elles peuvent atteindre dans des conditions de laboratoire.
- 2) 0,1C signifie un courant de charge et décharge de 0,1 fois la capacité nominale en Ah. Pour une batterie de 100 Ah, ce courant serait de 10 A.

Tableau 5 : Comparaison de batterie

10.4. Le champ de panneaux PV

La récente réduction des prix préférentiel garantis au niveau mondial a entraîné une surcapacité au lieu d'un manque de panneaux PV, et donc une réduction dramatique des prix.

Comme on peut le voir dans le tableau 6-8, le coût du champ de panneaux PV de 100 % représente environ 20 % du coût total, alors que la batterie au lithium-ion 100 % représente 70 % du total.

Si la zone disponible (toit) ne présente pas de restriction, le champ de panneaux PV peut être considérablement agrandi avec un effet limité sur le coût total.

Si la réglementation locale récompense le renvoi dans le réseau, cela doit être évidemment fait. Le doublement de la surface entraînerait une autoconsommation de 50 % lors des jours d'ensoleillement en été, et l'énergie suffisante pour une latitude de jusqu'à 45 degrés sera récupérée durant la majeure partie de l'année afin d'alimenter la maison (en fonction du climat local, voir tableau 4).

Même si les réglementations locales ne récompensent pas les renvois dans le réseau, ou même l'interdisent, il peut être avantageux de disposer d'une capacité supplémentaire lors des jours d'ensoleillement en été afin de récupérer l'énergie durant les autres jours.

10.5. Exemples : coût des principaux composants

Les tableaux ci-dessous détaillent les options examinées pour l'autoconsommation, avec un coût indicatif pour chacun des principaux composants, reposant sur les prix aux consommateurs recommandés par Victron Energy.

10.5.1. Pour résumer :

Trois maisons ont été examinées, chacune détaillée dans l'un des tableaux suivants :

Foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement

Maison moyenne

Maison supérieure à la moyenne

Avec ces trois exemples, les exigences et les coûts pour d'autres applications, telles qu'un petit bureau ou un atelier, peuvent facilement être définis.

La feuille de calcul avec laquelle ont été créés les tableaux peut être téléchargée depuis

www.victronenergy.com.

Pour chaque maison, trois types de charges ont été identifiées :

Catégorie 1 : la charge de base, constituée principalement d'appareils électroménagers de faible puissance qui sont branchés en permanence ou pendant de longue période de temps chaque jour. Par conséquent, la charge de base a un coefficient kW/kWh faible et peut être efficacement alimentée par une batterie + un convertisseur de faible puissance. La charge de base est de loin la plus grande consommation électrique de la maison.

Catégorie 2 : appareils fonctionnant sur prise, qui peuvent être facilement déplacés d'une prise sur une autre (en particulier l'aspirateur), et qui sont utilisés pendant de courtes périodes de temps. Ces charges ont un coefficient kW/kWh élevé, mais il est difficile de les séparer de la charge de base.

Catégorie 3 : charges non déplaçables qui sont toujours branchées sur la même prise. Il est parfois possible de contourner le Centre, et de connecter ces charges directement au réseau, ce qui permet de réduire la puissance de crête requise. La puissance électrique de crête requise peut également être réduite en utilisant du gaz et/ou solaire thermique au lieu de l'électricité pour le chauffage de la maison.

Avec un **système de gestion de charge**, plusieurs charges de catégorie 3 peuvent être allumées quand le soleil brille. Cela permet d'augmenter l'autoconsommation sans qu'il ne soit nécessaire d'ajouter de la capacité de stockage aux batteries.

10.5.2. Les trois premiers tableaux (tableau 6-8) indiquent les exemples examinés dans la section 7

- **Champ de panneaux PV :**

Le champ a été dimensionné pour récupérer suffisamment d'énergie afin d'alimenter 100 % de l'énergie requise par une ou plusieurs catégories de charge lors des jours d'ensoleillement en été. Les raisons de ce choix sont les suivantes :

- Un jour d'ensoleillement en été, l'énergie récupérée depuis un panneau solaire est à peu près la même, partout dans le monde. Les tableaux peuvent donc s'appliquer de manière universelle.
- Avec un stockage suffisant dans les batteries, l'autoconsommation sera proche de 100 %, même les jours d'ensoleillement en été.

Cela signifie que le reste de l'année, la quantité d'énergie récupérée ne sera pas suffisante pour couvrir la consommation. L'énergie supplémentaire doit être fournie par le réseau. Cependant, l'autoconsommation sera toujours de 100 %.

- **Batterie au lithium-ion :**

La batterie au lithium-ion a été dimensionnée pour stocker l'énergie requise par une ou plusieurs catégories de charge durant une journée d'été. L'autoconsommation 100 % est donc garantie toute l'année. Mais la batterie sera surdimensionnée pour tous les jours de l'année quand moins d'énergie est récupérée.

La batterie au lithium-ion est à l'évidence l'élément le plus cher du système.

10.5.3. Tableau 9 à 11 : les trois maisons avec une batterie OPzS

- **Batterie OPzS :**

Dans ces tableaux, la batterie au lithium-ion a été remplacée par une batterie OPzS, une fois encore dimensionnée pour stocker l'énergie requise par une ou plusieurs catégories de charge les jours d'ensoleillement en été. L'autoconsommation 100 % est donc garantie toute l'année. Mais la batterie sera surdimensionnée le reste des jours de l'année quand moins d'énergie est récupérée. La capacité de stockage nominale est supérieure car la capacité utile est réduite de 50 % par rapport à 80 % dans le cas des batteries au lithium-ion (voir la section 10.3.3).

- **Champ de panneaux PV :**

Le champ a encore été dimensionné pour récupérer suffisamment d'énergie afin d'alimenter 100 % de l'énergie requise par une ou plusieurs catégories de charge un jour d'ensoleillement en été.

Le Pw du champ légèrement plus élevé reflète l'efficacité plus faible de la batterie OPzS par rapport à celle au lithium-ion.

Le coût total du système est cependant inférieur à l'option lithium-ion.

Avec une capacité de stockage dans les batteries de 100 % et un champ PV de 100 %, la colonne dénommée 1+2+3 dans les tableaux 6 à 11 est représentative pour une situation hors-réseau avec suffisamment de puissance PV pour éviter de faire fonctionner un système de microcogénération ou un générateur les jours d'ensoleillement en été. Les heures de fonctionnement du système de microcogénération ou du générateur peuvent être davantage réduites en surdimensionnant le champ PV et/ou la batterie.

10.5.4. Tableau 12 à 14 : Stockage d'énergie dans les batteries réduit à 30 % de la production PV

Les tableaux 12 à 14 sont tous composés de 5 sous-tableaux qui résument le coût de différentes solutions PV et batteries.

Les premiers sous-tableaux (a) sont une version résumée des tableaux 6 à 8.

La batterie au lithium-ion et le champ de panneaux PV sont tous les deux dimensionnés à 100 %.

Les trois sous-tableaux suivants (b, c et d) reposent sur une réglementation d'autoconsommation qui stipule qu'au moins 60 % de la puissance Wp du champ peut être renvoyée dans le réseau. Comme le montre la section 10.1, le stockage dans les batteries peut alors être réduit d'environ 30 % de la production kWh les jours d'ensoleillement.

Dans les sous-tableaux b, la taille du champ PV a été conservée à 100 % et le stockage dans les batteries a donc été réduit à 30 %.

Dans les sous-tableaux c et d, le champ PV a été augmenté à 200 % et 300 %, respectivement, et le stockage dans les batteries a été augmenté en conséquence.

Dans les sous-tableaux e, le champ PV a été dimensionné à 300 %, mais la batterie au lithium-ion a été remplacée par une batterie OPzS, dimensionnée à 100 %.

Remarque :

En ce qui concerne l'efficacité du système, le sujet devient compliqué dès que la batterie est trop petite pour stocker l'énergie quotidienne récupérée à partir du soleil (ou du vent). Et ce sera également le cas quand le stockage dans les batteries est réduit à 30 % de la production du champ PV, les jours d'ensoleillement. Dans ce cas, une partie de l'énergie potentielle récupérée sera gâchée (si le renvoi dans le réseau n'est pas possible), ou elle sera directement consommée par la charge (s'il y a une charge), ou elle sera renvoyée dans le réseau, en contournant la batterie.

Le renvoi direct dans le réseau augmente l'efficacité (pas de pertes en raison du cycle de batterie), et en même temps diminue l'autoconsommation.

Remarque :

Tous les jours ne sont pas des jours d'ensoleillement en été, dans la plupart des régions. Quand moins d'énergie est récupérée, il y aura relativement plus d'énergie qui « passera » à travers la batterie, ce qui réduira l'efficacité mais augmentera l'autoconsommation.

Pour faire les choses simples, les sous-tableaux ont été créés en considérant que 100 % de l'énergie récupérée passe par la batterie. L'hypothèse peut être proche de la réalité dans les zones à latitude élevée avec peu de jours d'ensoleillement, mais elle est pessimiste (en termes d'efficacité) dans le cas des zones à basse latitude ensoleillées.

Si nous prenons, par exemple, Séville (Espagne), le tableau 4 montre que la production annuelle moyenne représente 74 % de la production de jours d'ensoleillement en été. Si la batterie est dimensionnée pour stocker 30 % de la production PV des jours d'ensoleillement en été, environ $74 \% - 30 \% = 44 \%$ sera renvoyé dans le réseau et/ou alimentera une charge, en contournant la batterie et les pertes correspondantes (8 % dans le cas d'une batterie au lithium-ion, et environ 20 % dans le cas des batteries au plomb).

Remarque :

La capacité de la batterie se réduira peu à peu avec le temps. La capacité de fin de vie généralement acceptée est de 80 % de la capacité indiquée sur la plaque d'identification. Afin de disposer de la capacité requise toujours disponible quand la batterie atteint la fin de sa vie, une nouvelle batterie devra être surestimée par un facteur de $1/0,8 = 1,25$. Ce facteur n'est pas compris dans la capacité de stockage d'énergie calculée dans les tableaux suivants.

Foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement Batteries au lithium-ion			Catégorie 1 (charge de base)		Catégorie 1+2 (+ les charges pouvant être branchées)		Catégorie 1+2+3 (la maison complète)	
Consommation d'énergie électrique								
Été		S	4,37		5,73		6,08	kWh
Hiver		W	5,75		7,11		7,46	kWh
Annuelle	$E_y = 365 \cdot (S+W)/2$		1801		2286		2410	kWh
Batterie au lithium-ion avec une capacité de stockage suffisante pour stocker 100 % de la consommation quotidienne d'énergie électrique en été								
Capacité de stockage d'énergie	$S/(0,80 \cdot 0,94)$		5,81		7,62		8,09	kWh
Tension nominale			24		24		24	V
Capacité de stockage Ah	Esc/Nv		242		317		337	Ah
Coût	1233	€/kW		€ 7 165		€ 9 395		€ 9 969
Champ de panneaux photovoltaïques avec suffisamment de production pour alimenter 100 % de la charge un jour d'ensoleillement en été								
Production quotidienne requise du Centre	S*	1	4,37		5,73		6,08	kWh/jour
Production PV quotidienne requise	RdHo/0,85		5,14		6,74		7,15	kWh
Champ Wp	RdPVo/6		857		1124		1192	Wp
Coût	2,19	€/Wp		€ 1 877		€ 2 461		€ 2 611
Centre-1								
Efficacité contrôleur de charge solaire + câbles CC	$\eta_m \cdot \eta_w$		96		96		96	%
Courant de charge maximum	$\eta_m \cdot \eta_w \cdot A_{wp}/N_v$		34		45		48	A
Contrôleur de charge solaire		MPPT 70/50		€ 260	MPPT 70/50		€ 260	
Charge maxi.	L		660		2660		2660	W
Convertisseur/chargeur			Multi		Multi		Multi	
GridAssist requis					24/2000/50		24/2000/50	€ 1 454
GridAssist non nécessaire			24/1200/25		€ 969		24/3000/70	
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 10 271		€ 13 570		€ 14 294
Centre-2 ou 3								
Convertisseur PV			1,5 kW		1,5 kW		1,5 kW	€ 1 149 kW
Efficacité convertisseur PV + Convertisseur/chargeur	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$		90		90		90	%
Courant de charge maximum	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v \cdot A_{wp}/N_v$		32		42		45	A
Charge maxi.	L		660		2660		2660	W
Convertisseur/chargeur			Multi		Multi		Multi	
GridAssist non nécessaire			24/1600/40		€ 1 163		24/3000/70	€ 2 180
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 11 354		€ 15 185		€ 15 909

Tableau 6 : Foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement
Batterie au lithium-ion 100 % et PV 100 %

La colonne dénommée Catégorie 1+2+3 comprend les charges non déplaçables (= appareils toujours branchés sur la même prise).

Dans cet exemple, les charges non déplaçables consomment en moyenne uniquement 350 Wh par jour.

C'est parce que les choix suivants ont été faits :

- machine à laver, remplissage à eau chaude, meilleure de sa catégorie
- sèche-linge chauffé au gaz
- lave-vaisselle, remplissage à eau chaude
- plaque de cuisson à gaz
- chauffage central et chaudière alimentés au gaz

Maison moyenne Batteries au lithium-ion			Catégorie 1 (charge de base)		Catégorie 1+2 (+ les charges pouvant être branchées)		Catégorie 1+2+3 (la maison complète)	
Consommation d'énergie électrique								
Été		S	8,38		10,02		12,07	kWh
Hiver		W	11,14		12,78		14,83	kWh
Annuelle	$E_y = 365 \cdot (S+W)/2$		3475		4058		4788	kWh
Batterie au lithium-ion avec une capacité de stockage suffisante pour stocker 100 % de la consommation quotidienne d'énergie électrique en été								
Capacité de stockage d'énergie	$S/(0,80 \cdot 0,94)$		11,14		13,32		16,05	kWh
Tension nominale			24		48		48	V
Capacité de stockage Ah	Esc/Nv		464		278		334	Ah
Coût	1233	€/kW		€ 13 740		€ 16 429		€ 19 790
Champ de panneaux photovoltaïques avec suffisamment de production pour alimenter 100 % de la charge un jour d'ensoleillement en été								
Production quotidienne requise du Centre	S*	1	8,38		10,02		12,07	kWh/jour
Production PV quotidienne requise	RdHo/0,85		9,86		11,79		14,20	kWh
Champ Wp	RdPVo/6		1643		1965		2367	Wp
Coût	2,19	€/Wp		€ 3 598		€ 4 303		€ 5 183
Centre-1								
Efficacité contrôleur de charge solaire + câbles CC	$\eta_m \cdot \eta_w$		96		96		96	%
Courant de charge maximum	$\eta_m \cdot \eta_w \cdot A_{wp}/N_v$		66		39		47	A
Contrôleur de charge solaire		MPPT 150/75	€ 720	MPPT 150/75	€ 720	MPPT 150/75	€ 720	
Charge maxi.	L		1305		3305		3805	W
Convertisseur/chargeur		Multi		Multi		Multi		
GridAssist requis						48/3000/35	€ 2 180	
GridAssist non nécessaire		24/2000/50	€ 1 454	48/3000/35	€ 2 180	48/5000/70		
Centre-1 : coût des principaux composants			€ 19 513		€ 23 632		€ 27 873	
Centre- 2 ou 3								
Convertisseur PV		2 kW	€ 1 393	2 kW	€ 1 393	2,8 kW	€ 1 670	kW
Efficacité convertisseur PV + Convertisseur/chargeur	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$		90		90		90	%
Courant de charge maximum	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v \cdot A_{wp}/N_v$		62		37		45	A
Charge maxi.	L		1305		3305		3805	W
Convertisseur/chargeur		Multi		Multi		Multi		
GridAssist non nécessaire		24/3000/70	€ 2 180	48/3000/35	€ 2 180	48/5000/70	€ 2 907	
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants			€ 20 912		€ 24 305		€ 29 550	

Tableau 7 : Maison moyenne
Batterie au lithium-ion 100 % et PV 100 %

La colonne dénommée Catégorie 1+2+3 comprend les charges non déplaçables (= appareils toujours branchés sur la même prise) qui consomment en moyenne, dans cet exemple, 2050 Wh par jour :

- machine à laver avec chauffe-eau électrique
- Sèche-linge avec chauffe-eau électrique
- lave-vaisselle avec chauffe-eau électrique
- plaque de cuisson à gaz
- chauffage central et chaudière alimentés au gaz

Maison supérieure à la moyenne Batterie au lithium-ion			Catégorie 1 (charge de base)		Catégorie 1+2 (+ les charges pouvant être branchées)		Catégorie 1+2+3 (la maison complète)	
Consommation d'énergie électrique								
Été		S	18,96		20,88		27,98	kWh
Hiver		W	23,10		25,02		32,12	kWh
Annuelle	$E_y = 365 * (S+W)/2$		7487		8170		10698	kWh
Batterie au lithium-ion avec une capacité de stockage suffisante pour stocker 100 % de la consommation quotidienne d'énergie électrique en été								
Capacité de stockage d'énergie	$S/(0,80*0,94)$		25,21		27,77		37,21	kWh
Tension nominale			48		48		48	V
Capacité de stockage Ah	Esc/Nv		525		578		775	Ah
Coût	1233	€/kW		€ 31 087		€ 34 235		€ 45 877
Champ de panneaux photovoltaïques avec suffisamment de production pour alimenter 100 % de la charge un jour d'ensoleillement en été								
Production quotidienne requise du Centre	S^*	1	18,96		20,88		27,98	kWh/jour
Production PV quotidienne requise	RdHo/0,85		22,31		24,56		32,92	kWh
Champ Wp	RdPVo/6		3718		4094		5486	Wp
Coût	2,19	€/Wp		€ 8 142		€ 8 966		€ 12 015
Centre-1								
Efficacité contrôleur de charge solaire + câbles CC	$\eta_m * \eta_w$		96		96		96	%
Courant de charge maximum	$\eta_m * \eta_w * A_{wp}/N_v$		74		82		110	A
Contrôleur de charge solaire			MPPT 150/75	€ 720	2*MPPT 150/75	€ 1 440	2*MPPT 150/75	€ 1 440
Charge maxi.	L		2560		4560		10560	W
Convertisseur/chargeur			Multi		Multi		Multi	
GridAssist requis					48/3000/35	€ 2 180	48/5000/70	€ 2 907
GridAssist non nécessaire			48/3000/35	€ 2 180	48/5000/70		48/10000/140	
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 42 129		€ 46 822		€ 62 239
Centre- 2 ou 3								
Convertisseur PV			5 kW	€ 2 554	5 kW	€ 2 554	8 kW	€ 4 000 kW
Efficacité convertisseur PV + Convertisseur/chargeur	$\eta_c * \eta_{pv} * \eta_v$		90		90		90	%
Courant de charge maximum	$\eta_c * \eta_{pv} * \eta_v * A_{wp}/N_v$		70		77		103	A
Charge maxi.	L		2560		4560		10560	W
Convertisseur/chargeur			Multi		Multi		Multi	
GridAssist non nécessaire			48/5000/70	€ 2 907	48/8000/110	€ 4 748	48/10000/140	€ 5 233
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 44 690		€ 50 504		€ 67 125

Tableau 8 : Maison supérieure à la moyenne
Batterie au lithium-ion 100 % et PV 100 %

La colonne dénommée Catégorie 1+2+3 comprend les charges non déplaçables (= appareils toujours branchés sur la même prise) qui consomment en moyenne, dans cet exemple, 7100 Wh par jour :

- machine à laver avec chauffe-eau électrique
- Sèche-linge avec chauffe-eau électrique
- lave-vaisselle avec chauffe-eau électrique
- plaque de cuisson à induction électrique
- chauffage central et chaudière alimentés au gaz

Foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement Batteries OPzS			Catégorie 1 (charge de base)		Catégorie 1+2 (+ les charges pouvant être branchées)		Catégorie 1+2+3 (la maison complète)	
Consommation d'énergie électrique								
Été		S	4,37		5,73		6,08	kWh
Hiver		W	5,75		7,11		7,46	kWh
Annuelle	$E_y = 365 \cdot (S+W)/2$		1801		2286		2410	kWh
Batterie OPzS avec une capacité de stockage suffisante pour stocker 100 % de la consommation quotidienne d'énergie électrique en été								
Capacité de stockage d'énergie	$S/(0,50 \cdot 0,94)$		9,30		12,19		12,94	kWh
Tension nominale			24		24		24	V
Capacité de stockage Ah	Esc/Nv		387		508		539	Ah
Coût	312	€/kW		€ 2 901		€ 3 804		€ 4 036
Champ de panneaux photovoltaïques avec suffisamment de production pour alimenter 100 % de la charge un jour d'ensoleillement en été								
Production quotidienne requise du Centre	S*	1	4,37		5,73		6,08	kWh/jour
Production PV quotidienne requise	$RdHo/0,75$		5,83		7,64		8,11	kWh
Champ Wp	$RdPVo/6$		971		1273		1351	Wp
Coût	2,19	€/Wp		€ 2 127		€ 2 789		€ 2 959
Centre-1								
Efficacité contrôleur de charge solaire + câbles CC	$\eta_m \cdot \eta_w$		96		96		96	%
Courant de charge maximum	$\eta_m \cdot \eta_w \cdot Awp/Nv$		39		51		54	A
Contrôleur de charge solaire			MPPT 70/50	€ 260	MPPT 70/50	€ 260	MPPT 70/50	€ 260
Charge maxi.	L		660		2660		2660	W
Convertisseur/chargeur			Multi		Multi		Multi	
GridAssist requis					24/2000/50	€ 1 454	24/2000/50	€ 1 454
GridAssist non nécessaire			24/1200/25	€ 969	24/3000/70		24/3000/70	
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 6 257		€ 8 306		€ 8 709
Centre- 2 ou 3								
Convertisseur PV			1,5 kW	€ 1 149	1,5 kW	€ 1 149	1,5 kW	€ 1 149 kW
Efficacité convertisseur PV + Convertisseur/chargeur	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$		90		90		90	%
Courant de charge maximum	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v \cdot Awp/Nv$		32		42		45	A
Charge maxi.	L		660		2660		2660	W
Convertisseur/chargeur			Multi		Multi		Multi	
GridAssist non nécessaire			24/1600/40	€ 1 163	24/3000/70	€ 2 180	24/3000/70	€ 2 180
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 7 340		€ 9 921		€ 10 324

Tableau 9 : Foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement
Batterie OPzS 100 % et PV 100 %

La colonne dénommée Catégorie 1+2+3 comprend les charges non déplaçables (= appareils toujours branchés sur la même prise).

Dans cet exemple, les charges non déplaçables consomment en moyenne uniquement 350 Wh par jour.

C'est parce que les choix suivants ont été faits :

- machine à laver, remplissage à eau chaude, meilleure de sa catégorie
- sèche-linge chauffé au gaz
- lave-vaisselle, remplissage à eau chaude
- plaque de cuisson à gaz
- chauffage central et chaudière alimentés au gaz

Remarque : Afin de réduire le nombre de cellules de batterie, et d'augmenter les Ah par cellule, il est parfois préférable que la tension CC du système soit inférieure.

Maison moyenne Batterie OPzS			Catégorie 1 (charge de base)		Catégorie 1+2 (+ les charges pouvant être branchées)		Catégorie 1+2+3 (la maison complète)	
Consommation d'énergie électrique								
Été		S	8,38		10,02		12,07	kWh
Hiver		W	11,14		12,78		14,83	kWh
Annuelle	$E_y = 365 \cdot (S+W)/2$		3475		4058		4788	kWh
Batterie OPzS avec une capacité de stockage suffisante pour stocker 100 % de la consommation quotidienne d'énergie électrique en été								
Capacité de stockage d'énergie	$S/(0,50 \cdot 0,94)$		17,83		21,32		25,68	kWh
Tension nominale			24		48		48	V
Capacité de stockage Ah	Esc/Nv		743		444		535	Ah
Coût	312	€/kW		€ 5 563		€ 6 652		€ 8 012
Champ de panneaux photovoltaïques avec suffisamment de production pour alimenter 100 % de la charge un jour d'ensoleillement en été								
Production quotidienne requise du Centre	S*	1	8,38		10,02		12,07	kWh/jour
Production PV quotidienne requise	RdHo/0,75		11,17		13,36		16,09	kWh
Champ Wp	RdPVo/6		1862		2227		2682	Wp
Coût	2,19	€/Wp		€ 4 078		€ 4 876		€ 5 874
Centre-1								
Efficacité contrôleur de charge solaire + câbles CC	$\eta_m \cdot \eta_w$		96		96		96	%
Courant de charge maximum	$\eta_m \cdot \eta_w \cdot A_{wp}/N_v$		75		45		54	A
Contrôleur de charge solaire			MPPT 150/75	€ 720	MPPT 150/75	€ 720	MPPT 150/75	€ 720
Charge maxi.	L		1305		3305		3805	W
Convertisseur/chargeur			Multi		Multi		Multi	
GridAssist requis							48/3000/35	€ 2 180
GridAssist non nécessaire			24/2000/50	€ 969	48/3000/35	€ 2 180	48/5000/70	
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 11 330		€ 14 428		€ 16 786
Centre- 2 ou 3								
Convertisseur PV			2 kW	€ 1 393	2 kW	€ 1 393	2,8	€ 1 670 kW
Efficacité convertisseur PV + Convertisseur/chargeur	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$		90		90		90	%
Courant de charge maximum	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v \cdot A_{wp}/N_v$		62		37		45	A
Charge maxi.	L		1305		3305		3805	W
Convertisseur/chargeur			Multi		Multi		Multi	
GridAssist non nécessaire			24/3000/70	€ 2 180	48/3000/35	€ 2 180	48/5000/70	€ 2 907
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 13 214		€ 15 101		€ 18 463

Tableau 10 : Maison moyenne
Batterie OPzS 100 % et PV 100 %

La colonne dénommée Catégorie 1+2+3 comprend les charges non déplaçables (= appareils toujours branchés sur la même prise) qui consomment en moyenne, dans cet exemple, 2050 Wh par jour :

- machine à laver avec chauffe-eau électrique
- Sèche-linge avec chauffe-eau électrique
- lave-vaisselle avec chauffe-eau électrique
- plaque de cuisson à gaz
- chauffage central et chaudière alimentés au gaz

Remarque : Afin de réduire le nombre de cellules de batterie, et d'augmenter les Ah par cellule, il est parfois préférable que la tension CC du système soit inférieure.

Maison supérieure à la moyenne Batteries OPzS			Catégorie 1 (charge de base)		Catégorie 1+2 (+ les charges pouvant être branchées)		Catégorie 1+2+3 (la maison complète)		
Consommation d'énergie électrique									
Été		S	18,96		20,88		27,98		kWh
Hiver		W	23,10		25,02		32,12		kWh
Annuelle	$E_y = 365 \cdot (S+W)/2$		7487		8170		10698		kWh
Batterie OPzS avec une capacité de stockage suffisante pour stocker 100 % de la consommation quotidienne d'énergie électrique en été									
Capacité de stockage d'énergie	$S/(0,50 \cdot 0,94)$		40,34		44,43		59,53		kWh
Tension nominale			48		48		48		V
Capacité de stockage Ah	Esc/Nv		840		926		1240		Ah
Coût	312	€/kW		€ 12 586		€ 13 861		€ 18 574	
Champ de panneaux photovoltaïques avec suffisamment de production pour alimenter 100 % de la charge un jour d'ensoleillement en été									
Production quotidienne requise du Centre	S*	1	18,96		20,88		27,98		kWh/jour
Production PV quotidienne requise	RdHo/0,75		25,28		27,84		37,31		kWh
Champ Wp	RdPVo/6		4213		4640		6218		Wp
Coût	2,19	€/Wp		€ 9 227		€ 10 162		€ 13 617	
Centre-1									
Efficacité contrôleur de charge solaire + câbles CC	$\eta_m \cdot \eta_w$		96		96		96		%
Courant de charge maximum	$\eta_m \cdot \eta_w \cdot A_{wp}/N_v$		84		93		124		A
Contrôleur de charge solaire		MPPT 150/75	€ 720		2*MPPT 150/75	€ 1 440	2*MPPT 150/75	€ 1 440	
Charge maxi.	L		2560		4560		10560		W
Convertisseur/chargeur			Multi		Multi		Multi		
GridAssist requis					48/3000/35	€ 2 180	48/5000/70	€ 2 907	
GridAssist non nécessaire			48/3000/35	€ 2 180	48/5000/70		48/10000/140		
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 24 713		€ 27 642		€ 36 538	
Centre- 2 ou 3									
Convertisseur PV			5 kW	€ 2 554	5 kW	€ 2 554	8 kW	€ 4 000	kW
Efficacité convertisseur PV + Convertisseur/chargeur	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$		90		90		90		%
Courant de charge maximum	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v \cdot A_{wp}/N_v$		70		77		103		A
Charge maxi.	L		2560		4560		10560		W
Convertisseur/chargeur			Multi		Multi		Multi		
GridAssist non nécessaire			48/5000/70	€ 2 907	48/8000/110	€ 4 748	48/10000/140	€ 5 233	
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 27 274		€ 31 324		€ 41 424	

Tableau 11 : Maison supérieure à la moyenne
Batterie au lithium-ion 100 % et PV 100 %

La colonne dénommée Catégorie 1+2+3 comprend les charges non déplaçables (= appareils toujours branchés sur la même prise) qui consomment en moyenne, dans cet exemple, 7100 Wh par jour :

- machine à laver avec chauffe-eau électrique
- Sèche-linge avec chauffe-eau électrique
- lave-vaisselle avec chauffe-eau électrique
- plaque de cuisson à induction électrique
- chauffage central et chaudière alimentés au gaz

Remarque :

Afin de réduire le nombre de cellules de batterie, et d'augmenter les Ah par cellule, il est parfois préférable que la tension CC du système soit inférieure.

Foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement									
				Catégorie 1+2			Catégorie 1+2+3		
Batteries au lithium-ion	100 %	7,62	kW	€ 9 395	69 %	8,09	kW	€ 9 969	70 %
Champ PV	100 %	1 124	Wp	€ 2 461	18 %	1 192	Wp	€ 2 611	18 %
Contrôleur de charge solaire	MPPT 70/50			€ 260	2 %	MPPT 70/50		€ 260	2 %
Convertisseur/chargeur	24/2000/50			€ 1 454	11 %	24/2000/50		€ 1 454	10 %
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 13 570	100 %			€ 14 294	100 %
Convertisseur PV	1,5	kW		€ 1 149	8 %	1,5	kW	€ 1 149	8 %
Convertisseur/chargeur	24/3000/70			€ 2 180	16 %	24/3000/70		€ 2 180	15 %
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 15 185	112 %			€ 15 909	111 %

Tableau 12a
Version résumée
du tableau 6

Batteries au lithium-ion	30 %	2,29	kW	€ 2 819	40 %	2,43	kW	€ 2 991	41 %
Champ PV	100 %	1 124	Wp	€ 2 461	35 %	1 192	Wp	€ 2 611	36 %
Contrôleur de charge solaire	MPPT 70/50			€ 260	4 %	MPPT 70/50		€ 260	4 %
Convertisseur/chargeur	24/2000/50			€ 1 454	21 %	24/2000/50		€ 1 454	20 %
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 6 993	100 %			€ 7 316	100 %
Convertisseur PV	1,5	kW		€ 1 149	16 %	1,5	kW	€ 1 149	16 %
Convertisseur/chargeur	24/3000/70			€ 2 180	31 %	24/3000/70		€ 2 180	30 %
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 8 608	123 %			€ 8 931	122 %

Tableau 12b
Batterie au lithium-ion
optimisée pour
l'autoconsommation
(voir section 10.1)

Batteries au lithium-ion	60 %	4,57	kW	€ 5 637	42 %	4,85	kW	€ 5 981	42 %
Champ PV	200 %	2 247	Wp	€ 4 921	37 %	2 384	Wp	€ 5 222	37 %
Contrôleur de charge solaire	MPPT 150/70			€ 720	5 %	MPPT 150/70		€ 720	5 %
Convertisseur/chargeur	48/3000/35			€ 2 180	16 %	48/3000/35		€ 2 180	15 %
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 13 458	100 %			€ 14 103	100 %
Convertisseur PV	2,8	kW		€ 1 670	12 %	2,8	kW	€ 1 670	12 %
Convertisseur/chargeur	48/3000/35			€ 2 180	16 %	48/3000/35		€ 2 180	15 %
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 14 408	107 %			€ 15 053	107 %

Tableau 12c
Batterie au lithium-ion
optimisée pour
l'autoconsommation
avec un Champ PV de
200%

Batteries au lithium-ion	100 %	7,62	kW	€ 9 395	48 %	8,09	kW	€ 9 969	48 %
Champ PV	300 %	3 371	Wp	€ 7 382	38 %	3 576	Wp	€ 7 832	38 %
Contrôleur de charge solaire	MPPT 150/70			€ 720	4 %	MPPT 150/70		€ 720	3 %
Convertisseur/chargeur	48/3000/35			€ 2 180	11 %	48/3000/35		€ 2 180	11 %
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 19 677	100 %			€ 20 701	100 %
Convertisseur PV	4	kW		€ 2 241	11 %	4	kW	€ 2 241	11 %
Convertisseur/chargeur	48/5000/70			€ 2 907	15 %	48/5000/70		€ 2 907	14 %
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 21 925	111 %			€ 22 949	111 %

Tableau 12d
Batterie au lithium-ion
optimisée pour
l'autoconsommation
avec un Champ PV de
300%

Batteries OPzS	100 %	12,19	kW	€ 3 804	25 %	12,94	kW	€ 4 036	26 %
Champ PV	300 %	3 820	Wp	€ 8 366	56 %	4 053	Wp	€ 8 877	56 %
Contrôleur de charge solaire	MPPT 150/70			€ 720	5 %	MPPT 150/70		€ 720	5 %
Convertisseur/chargeur	48/3000/35			€ 2 180	14 %	48/3000/35		€ 2 180	14 %
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 15 070	100 %			€ 15 813	100 %
Convertisseur PV	4	kW		€ 2 241	15 %	4	kW	€ 2 241	14 %
Convertisseur/chargeur	48/5000/70			€ 2 907	19 %	48/5000/70		€ 2 907	18 %
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 17 318	115 %			€ 18 061	114 %

Tableau 12e
Batterie OPzS optimisée
pour
l'autoconsommation
avec un Champ PV de
300%

Tableau 12 Foyer composé de deux personnes soucieuses de protéger l'environnement

Maison moyenne			Catégorie 1+2			Catégorie 1+2+3		
Batteries au lithium-ion	100 %	13,32 kW	€ 16 429	70 %	16,05 kW	€ 19 790	71 %	
Champ PV	100 %	1 965 Wp	€ 4 303	18 %	2 367 Wp	€ 5 183	19 %	
Contrôleur de charge solaire		MPPT 150/70	€ 720	3 %	MPPT 150/70	€ 720	3 %	
Convertisseur/chargeur		48/3000/35	€ 2 180	9 %	48/3000/35	€ 2 180	8 %	
Centre-1 : coût des principaux composants			€ 23 632	100 %		€ 27 873	100 %	
Convertisseur PV		2 kW	€ 1 393	6 %	2,8 kW	€ 1 670	6 %	
Convertisseur/chargeur		48/3000/35	€ 2 180	9 %	48/5000/70	€ 2 907	10 %	
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants			€ 24 305	103 %		€ 29 550	106 %	

Tableau 13a
Version résumée du
tableau 7

Batteries au lithium-ion	30 %	4,00 kW	€ 4 929	41 %	4,82 kW	€ 5 937	42 %	
Champ PV	100 %	1 965 Wp	€ 4 303	35 %	2 367 Wp	€ 5 183	37 %	
Contrôleur de charge solaire		MPPT 150/70	€ 720	6 %	MPPT 150/70	€ 720	5 %	
Convertisseur/chargeur		48/3000/35	€ 2 180	18 %	48/3000/35	€ 2 180	16 %	
Centre-1 : coût des principaux composants			€ 12 131	100 %		€ 14 020	100 %	
Convertisseur PV		2 kW	€ 1 393	11 %	2,8 kW	€ 1 670	12 %	
Convertisseur/chargeur		48/3000/35	€ 2 180	18 %	48/5000/70	€ 2 907	21 %	
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants			€ 12 804	106 %		€ 15 697	112 %	

Tableau 13b
Batterie au lithium-ion
optimisée pour
l'autoconsommation
(voir section 10.1)

Batteries au lithium-ion	60 %	7,99 kW	€ 9 857	43 %	9,63 kW	€ 11 874	45 %	
Champ PV	200 %	3 929 Wp	€ 8 605	38 %	4 733 Wp	€ 10 366	39 %	
Contrôleur de charge solaire		2*MPPT 150/70	€ 1 440	6 %	2*MPPT 150/70	€ 1 440	5 %	
Convertisseur/chargeur		48/5000/70	€ 2 907	13 %	48/5000/70	€ 2 907	11 %	
Centre-1 : coût des principaux composants			€ 22 810	100 %		€ 26 587	100 %	
Convertisseur PV		4 kW	€ 1 670	7 %	5 kW	€ 2 554	10 %	
Convertisseur/chargeur		48/5000/70	€ 2 907	13 %	48/5000/70	€ 2 907	11 %	
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants			€ 23 040	101 %		€ 27 701	104 %	

Tableau 13c
Batterie au lithium-ion
optimisée pour
l'autoconsommation
avec un Champ PV de
200%

Batteries au lithium-ion	100 %	13,32 kW	€ 16 429	46 %	16,05 kW	€ 19 790	48 %	
Champ PV	300 %	5 894 Wp	€ 12 908	36 %	7 100 Wp	€ 15 549	37 %	
Contrôleur de charge solaire		2*MPPT 150/70	€ 1 440	4 %	2*MPPT 150/70	€ 1 440	3 %	
Convertisseur/chargeur		48/8000/110	€ 4 748	13 %	48/8000/110	€ 4 748	11 %	
Centre-1 : coût des principaux composants			€ 35 525	100 %		€ 41 527	100 %	
Convertisseur PV		6 kW	€ 2 800	8 %	8 kW	€ 4 000	10 %	
Convertisseur/chargeur		48/8000/110	€ 4 748	13 %	48/8000/110	€ 4 748	11 %	
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants			€ 36 885	104 %		€ 44 087	106 %	

Tableau 13d
Batterie au lithium-ion
optimisée pour
l'autoconsommation
avec un Champ PV de
300%

Batteries OPzS	100 %	21,32 kW	€ 6 652	24 %	25,68 kW	€ 8 012	25 %	
Champ PV	300 %	6 680 Wp	€ 14 629	53 %	8 047 Wp	€ 17 622	55 %	
Contrôleur de charge solaire		2*MPPT 150/70	€ 1 440	5 %	2*MPPT 150/70	€ 1 440	5 %	
Convertisseur/chargeur		48/8000/110	€ 4 748	17 %	48/8000/110	€ 4 748	15 %	
Centre-1 : coût des principaux composants			€ 27 469	100 %		€ 31 823	100 %	
Convertisseur PV		8 kW	€ 4 000	15 %	10 kW	€ 5 000	16 %	
Convertisseur/chargeur		48/8000/110	€ 4 748	17 %	48/10000/140	€ 5 233	16 %	
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants			€ 30 029	109 %		€ 35 868	113 %	

Tableau 13e
Batterie OPzS optimisée
pour
l'autoconsommation
avec un Champ PV de
300%

Tableau 13 La maison moyenne

Maison supérieure à la moyenne								
			Catégorie 1+2			Catégorie 1+2+3		
Batteries au lithium-ion	100 %	27,77 kW	€ 34 235	73 %	37,21 kW	€ 45 877	74 %	
Champ PV	100 %	4 094 Wp	€ 8 966	19 %	5 486 Wp	€ 12 015	19 %	
Contrôleur de charge solaire	2*MPPT 150/70		€ 1 440	3 %	2*MPPT 150/70		€ 1 440	2 %
Convertisseur/chargeur	48/3000/35		€ 2 180	5 %	48/5000/70		€ 2 907	5 %
Centre-1 : coût des principaux composants			€ 46 822	100 %	€ 62 239			100 %
Convertisseur PV	5 kW		€ 2 554	5 %	8 kW		€ 4 000	6 %
Convertisseur/chargeur	48/8000/110		€ 4 748	10 %	48/10000/140		€ 5 233	8 %
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants			€ 50 504	108 %	€ 67 125			108 %

Tableau 14a
Version résumée du tableau 8

Batteries au lithium-ion	30 %	8,33 kW	€ 10 271	44 %	11,16 kW	€ 13 763	46 %
Champ PV	100 %	4 094 Wp	€ 8 966	38 %	5 486 Wp	€ 12 015	40 %
Contrôleur de charge solaire		2*MPPT 150/70	€ 1 440	6 %	2*MPPT 150/70	€ 1 440	5 %
Convertisseur/chargeur		48/5000/70	€ 2 907	12 %	48/5000/70	€ 2 907	10 %
Centre-1 : coût des principaux composants			€ 23 584	100 %		€ 30 125	100 %
Convertisseur PV		5 kW	€ 2 554	11 %	8 kW	€ 4 000	13 %
Convertisseur/chargeur		48/8000/110	€ 4 748	20 %	48/10000/140	€ 5 233	17 %
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants			€ 26 539	113 %		€ 35 011	116 %

Tableau 14b
Batterie au lithium-ion optimisée pour l'autoconsommation (voir section 10.1)

Batteries au lithium-ion	60 %	16,66 kW	€ 20 541	45 %	22,32 kW	€ 27 526	47 %		
Champ PV	200 %	8 188 Wp	€ 17 932	40 %	10 973 Wp	€ 24 030	41 %		
Contrôleur de charge solaire	3*MPPT 150/70		€ 2 160	5 %	3*MPPT 150/70		€ 2 160	4 %	
Convertisseur/chargeur	48/8000/110		€ 4 748	10 %	48/10000/140		€ 5 233	9 %	
Centre-1 : coût des principaux composants			€ 45 381	100 %				€ 58 949	100 %
Convertisseur PV	10 kW		€ 5 000	11 %	12 kW		€ 6 000	10 %	
Convertisseur/chargeur	48/10000/140		€ 4 748	10 %	48/10000/140		€ 5 233	9 %	
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants			€ 48 221	106 %				€ 62 789	107 %

Tableau 14c
Batterie au lithium-ion optimisée pour l'autoconsommation avec un Champ PV de 200%

Batteries au lithium-ion	100 %	27,77 kW	€ 34 235	47 %	37,21 kW	€ 45 877	49 %		
Champ PV	300 %	12 282 Wp	€ 26 898	37 %	16 459 Wp	€ 36 045	38 %		
Contrôleur de charge solaire	4*MPPT 150/70		€ 2 880	4 %	5*MPPT 150/70		€ 3 600	4 %	
Convertisseur/chargeur	3*48/5000/70		€ 8 721	12 %	3*48/5000/70		€ 8 721	9 %	
Centre-1 : coût des principaux composants			€ 72 735	100 %				€ 94 243	100 %
Convertisseur PV	15 kW		€ 7 500	10 %	20		€ 10 000	11 %	
Convertisseur/chargeur	3*48/5000/70		€ 8 721	12 %	3*48/8000/110		€ 14 244	15 %	
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants			€ 77 355	106 %				€ 106 166	113 %

Tableau 14d
Batterie au lithium-ion optimisée pour l'autoconsommation avec un Champ PV de 300%

Batteries OPzS	100 %	44,43	kW	€ 13 861	25 %	59,53	kW	€ 18 574	26 %	
Champ PV	300 %	13 920	Wp	€ 30 485	54 %	18 653	Wp	€ 40 851	57 %	
Contrôleur de charge solaire		4*MPPT	150/70	€ 2 880	5 %	5*MPPT	150/70	€ 3 600	5 %	
Convertisseur/chargeur		3*48/5000/70		€ 8 721	16 %	3*48/5000/70		€ 8 721	12 %	
Centre-1 : coût des principaux composants				€ 55 947	100 %	€ 71 746				100 %
Convertisseur PV		15	kW	€ 7 500	13 %	20		€ 10 000	14 %	
Convertisseur/chargeur		3*48/5000/70		€ 8 721	16 %	3*48/8000/110		€ 14 244	20 %	
Centre-2 ou -3 : coût des principaux composants				€ 60 567	108 %	€ 83 669				117 %

Tableau 14e
Batterie OPzS optimisée pour l'autoconsommation avec un Champ PV de 300%

Tableau 14 La maison supérieure à la moyenne