

Responsable de l'étude : ALLERA Julien
Contact : 09 77 55 22 77 / contact@perma-batteries.com

**Nature du projet : électrification d'une ferme dans les Cévennes avec
solution de stockage.**



Rapport technique d'étude de projet



Introduction :

Cette analyse à visée technico-économique porte sur la scénarisation de différentes solutions de stockage dans le cadre d'un projet d'électrification d'un site isolé situé à Solpérière, 48400 VEBRON, dans les Cévennes, pour un besoin journalier d'énergie de 13.5 kWh.

La modélisation portera non seulement sur l'optimisation du COE ("cost of energy") qui correspond au coût amorti du kWh sur la durée de vie totale du système, mais aussi sur le choix de la solution de stockage la plus pertinente, en l'occurrence entre une solution TESVOLT (lithium) et une solution Nickel-Fer.



L'ensemble des résultats affichés à travers cette étude sont des valeurs approximatives destinées à donner des informations générales à l'utilisateur sur les résultats d'exploitation possibles. Les résultats sont calculés mathématiquement sur la base d'hypothèses standardisées et de données passées. Les résultats d'exploitation réels sont déterminés par les conditions réelles de rayonnement, l'efficacité réelle, les conditions d'exploitation des groupes électrogènes et le comportement individuel de consommation. Ils peuvent donc s'écarter des résultats calculés. PERMA-BATTERIES SASU DÉCLINE TOUTE RESPONSABILITÉ POUR TOUT RENDEMENT INFÉRIEUR EN CAS DE DIFFÉRENCE ENTRE LES RÉSULTATS D'EXPLOITATION RÉELS ET CALCULÉS.



Caractéristiques du projet :



Coordonnées GPS du projet : 44.359832, 3.637115.

Il est ici repris les informations du projet communiquées par le client, Mr. ROUX Guilhem, compilées par l'association ALECL (Agence Locale de l'Énergie et du Climat de la Lozère), pré-étude rédigée par Mr. BERTONE & Mr. PARENT.

La liste des consommateurs qui seront connectés au système est indiquée ci-dessous :

Utilisation	Appareil	Puissance maximale [W]	Consommation moyenne annuelle [kWh]	Consommation moyenne sur 1 jour [kWh]	Consommation moyenne sur 3 jours [kWh] (durée de l'autonomie)
Froid	Réfrigérateur	400	500	1,37	4,11
	Congélateur	300	400	1,10	3,30
Ménage	Aspirateur	2 500	300	0,82	2,46
	Lave-vaisselle	1 500	500	1,37	4,11
	Lave-linge	2 500	500	1,37	4,11
Cuisson	Déshydrateur	500	800	2,19	6,57
	Mixeur robot	800	300	0,82	2,46
	Stérilisateur	2 000	600	1,64	4,92
Eclairage	Ampoules	500	1 000	2,74	8,22
Total		11 000	4 900	13,42	40,26



Par ailleurs il est question de l'utilisation d'une pompe de forage pour l'adduction en eau de la propriété. En fonction de la profondeur de l'ouvrage (> 50 mètres), des pertes en charge et de la HMT, pour garantir un débit minimum de 2m³/heure, il est commun d'utiliser des pompes monophasés utilisant des moteurs submersibles développant une poussée axiale de 2000N / 2 Ch (1.5 kW), avec un rendement mécanique d'environ 65%, soit 2.3 kW (cosphi de 0.91) de puissance absorbée P_{nom}. Ce type de moteur asynchrone nécessite typiquement au démarrage 3x la puissance P_{nom} (~ 2.5 kVa), soit environ 7.5-8 kVA sur une durée inférieure à 1 seconde. Compte tenu de la capacité de surcharge des onduleurs retenus dans l'étude (près de 11 kVA par Sunny Island 6.0H pendant 3 secondes, et 21 kVa pendant 3 seconde pour un XTH-8000), ce type d'appel de puissance ne posera pas de problème sur la stabilité du système, même en utilisation foisonnée avec les consommateurs courants. Cette hypothèse demeure donc valide sous réserve de la connaissance de la profondeur définitive du forage, et du choix du type de pompe (pompe au fil du soleil CC ou pompe monophasé)

La puissance apparente maximale à développer pour les onduleurs batteries est donc de **11 kVA**. Il en découle donc le dimensionnement approprié de l'électronique de puissance et du parc batterie afin de pouvoir couvrir cet appel sans entraver la stabilité du système.

La consommation moyenne quotidienne est de **13.42 kWh**. Le client n'a pas fourni de profil de charge horaire, et nous n'avons donc pas connaissance de la répartition de la consommation sur 24h. L'autonomie minimale retenue correspond à 1 journée, ce qui ne respecte pas les bonnes pratiques de dimensionnement en site isolé sous nos latitudes, et sera donc portée jusqu'à 3 jours à travers d'autres scénario.

Le gisement solaire du site est estimée à **1415 kWh/m²**.

Méthodologie et objectifs :

Afin d'optimiser le dimensionnement des composants systèmes, des données, graphiques et simulations issues de différents logiciels (*HOMER Pro*, *Sunny Design*, *PVSOL*) seront utilisées à travers cet étude. L'objectif étant ici de pouvoir optimiser les 4 critères qualitatifs et quantitatifs ci-contre, qui sont de nature à la fois économique et techniques, afin d'orienter le client vers le meilleur choix possible en fonction de ses contraintes et de ses objectifs :



- **Coût amorti du kWh** sur la durée de vie totale du système ("*Cost of Energy*")
- **Coût total du système** à l'acquisition.
- **Autosuffisance** du site par rapport au générateur
- **Taux de disponibilité** système (ie : *redondance des points de défaillances potentiels*)

L'appui logiciel est ici indispensable afin de pouvoir modéliser rapidement une grande série de données et permet un arbitrage rapide entre les variables énumérées ci-dessus et le type de matériel retenu.

Descriptif matériel et technique :

2.1 Type de topologie système :

Nous explorons les différentes architectures systèmes possibles dans ce type de projet, et nous faisons la distinction entre les systèmes à couplage AC total et les systèmes hybrides (couplage AC partiel).

Ci-contre une topologie dite "**AC-Coupling**" : l'onduleur photovoltaïque couvre les consommateurs tout en redirigeant la surproduction PV vers un onduleur qui rechargera les batteries pour une utilisation différée. C'est notamment la configuration proposée avec les solutions de stockage TESVOLT / SMA.



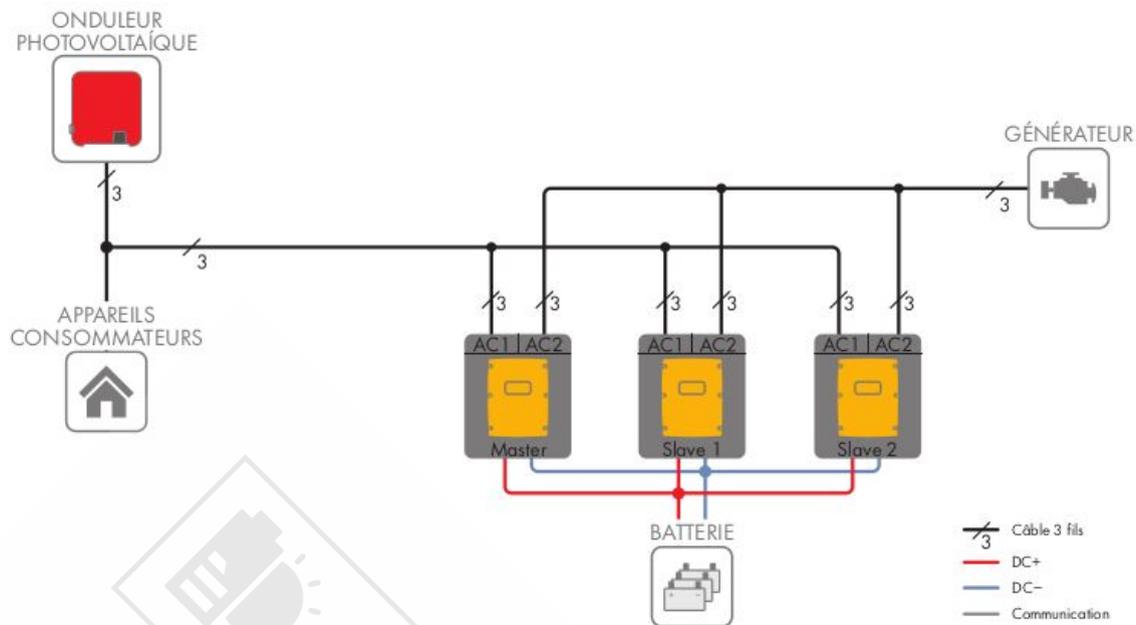


Fig 1. Couplage AC avec 3x Sunny Island et un onduleur Sunny Boy. Extrait du guide SMA "Réseaux en sites isolés avec Sunny Island". 2016

L'avantage principal de ce type de système réside dans la possibilité de **consommer directement l'énergie produite par le champ solaire en journée sans passer par une conversion DC** (batterie). Il est ainsi évité le micro-cyclage des batteries, augmentant donc leur longévité, mais aussi le rendement global énergétique, puisque les pertes de conversion DC-AC sont évitées. De plus, un champ solaire dimensionné pour couvrir les besoins en énergie sur le mois le plus défavorable (Décembre) produira 3 à 4x plus d'énergie en été. Avec un système conventionnel en couplage DC, le facteur limitant reste le tampon batterie qui lui seul peut absorber un tel surplus d'énergie quotidien, ce qui nécessiterait un surdimensionnement trop coûteux (non seulement au niveau du stockage mais aussi de l'électronique qui l'accompagne). Avec le couplage AC, l'ensemble de l'énergie produite en été reste disponible à l'utilisateur final et n'est pas "fatale" dans la mesure où il peut l'utiliser, et le parc batterie peut être dimensionné plus précisément afin d'assurer uniquement l'autonomie souhaitée du système.



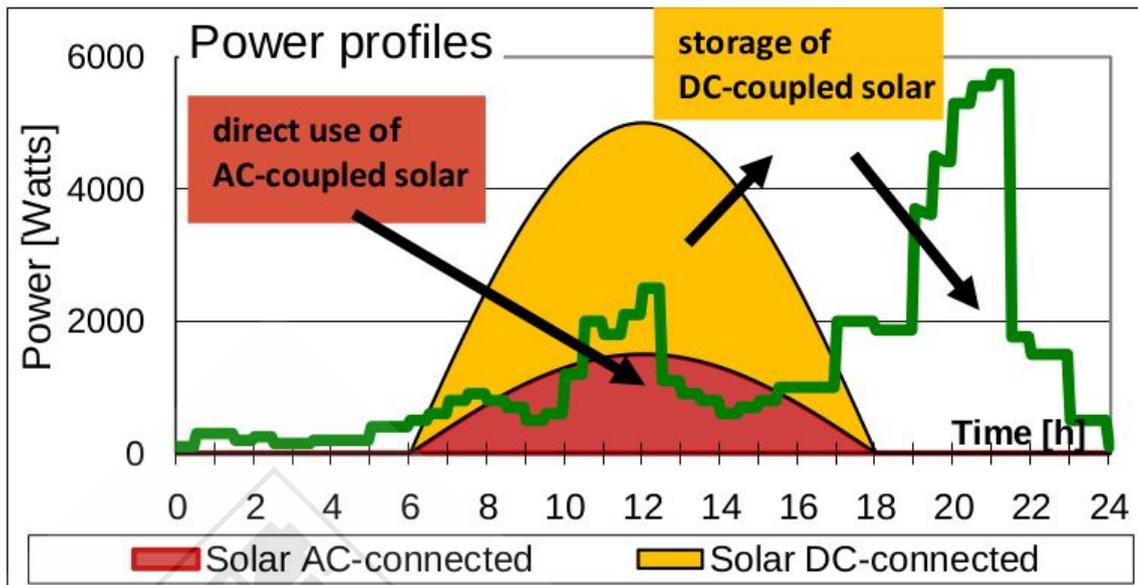


Fig 2. Courbe de consommation sur un système en **couplage AC**. L'énergie consommée en journée via l'onduleur est représentée dans la zone rouge. Celle stockée pour une utilisation nocturne est représentée en orange.

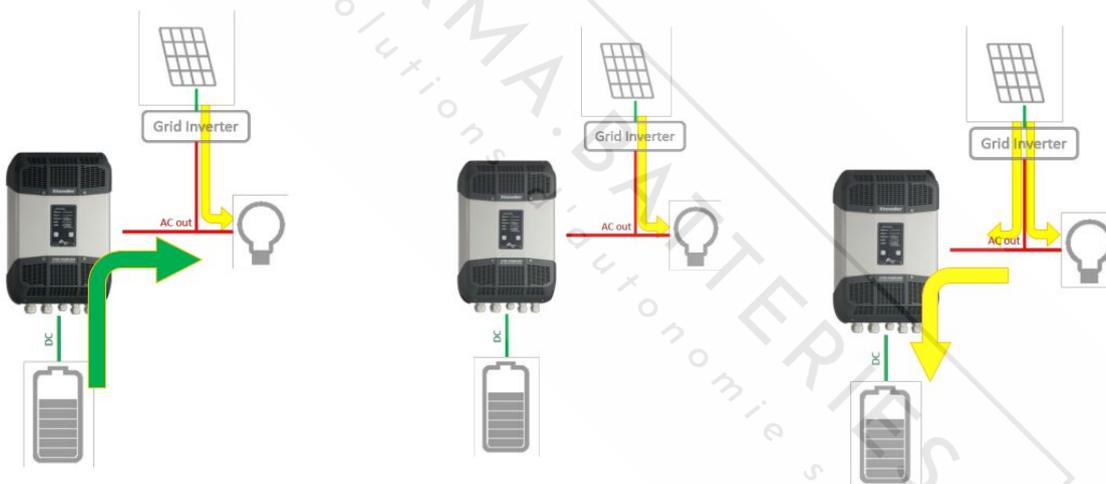


Fig 3. De gauche à droite : **Production PV < consommation**, appel batterie. **Production PV = consommation** : pas de cyclage batterie. **Production > consommation** : recharge des batteries et alimentation des consommateurs. Source : Studer Innotec "AC Coupling with Xtender, Application note 008"



Cependant, les points de défaillance d'une telle architecture reposent non seulement sur l'onduleur photovoltaïque mais aussi sur les onduleurs batteries. En effet, à terme, la probabilité de défaillance de l'onduleur augmente sensiblement (10-15 ans), et dans la mesure où l'ensemble du champ solaire est connecté à celui-ci, une panne entraînerait une cascade d'évènement donnant lieu à l'arrêt total de la production du système, selon la séquence suivante : *onduleur OFF → production PV 0 → recharge des batteries inopérante → arrêt des onduleurs batteries → black-out système.*

Afin de mitiger ces risques, il est néanmoins possible d'ajouter de la redondance en utilisant **plusieurs onduleurs de puissance inférieure à un onduleur unique** (exemple : 3x onduleurs Sunny Boy 3.6 plutôt qu'un seul Fronius Primo 8.2). La répartition de la production solaire est ainsi assurée sur 3x onduleurs et la probabilité de défaillance simultanée des 3 machines est plus faible.

Il est également possible d'atteindre un degré de redondance encore supérieur en optant pour le couplage **AC partiel**. La encore, un onduleur photovoltaïque AC couvre les besoins du site en journée sans passer par le bus DC (batteries), cependant une partie du champ solaire est couplé directement à un ou plusieurs chargeurs-régulateurs MPPT connectés en DC sur les batteries afin d'assurer la recharge de celles-ci quoi qu'il arrive. La redondance système est ainsi maximisée : en cas de défaillance des onduleurs AC, la relève est assurée par les régulateurs MPPT qui maintiennent la recharge des batteries, ce qui permet d'avoir un onduleur batterie opérationnel et une continuité de l'alimentation du site, en attendant le remplacement de ou des onduleurs AC défectueux (avec une extension de garantie par exemple allant jusqu'à 20 ans pour SMA ou FRONIUS). Ce type d'architecture reste la plus robuste et permet d'assurer une grande longévité du système.



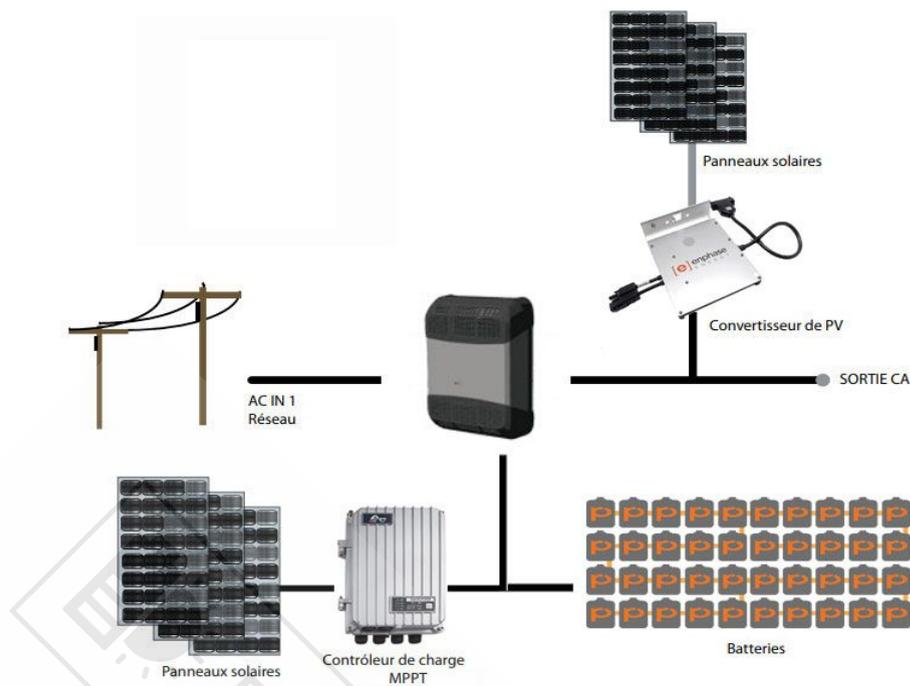


Fig 4. Couplage AC partiel avec un **contrôleur de charge MPPT** ajouté sur le bus DC. Le champ solaire est donc scindé en deux parties. NB : la présence du réseau AC-IN n'est pas indispensable et peut-être remplacée par un générateur.
Source Perma-Batteries 2018.

L'architecture en couplage AC partiel peut être uniquement réalisée avec une solution de stockage Nickel-Fer, couplé avec de l'électronique de puissance Studer INNOTEC. En effet, à ce jour TESVOLT possède un partenariat technique uniquement avec SMA, ce qui nécessite donc l'utilisation d'un système Sunny Island + Sunny Boy (SMA), qui ne peut être configuré en couplage AC partiel. TESVOLT présente donc l'inconvénient d'imposer une topologie système qui ne fait pas partie des plus robustes et des plus redondantes.

Dans cette étude, nous proposons donc des solutions de différentes capacités en TESVOLT, avec un couplage AC avec de l'électronique SMA, ainsi que deux solutions en Nickel-Fer, en couplage AC partiel, avec de l'électronique STUDER Innotec / Fronius.



2.2 Choix de la puissance PV et des modules :

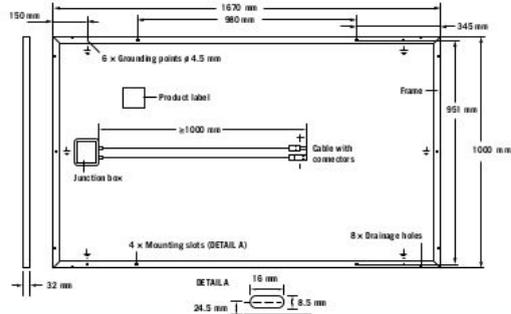
L'étude préliminaire fournie par le client rapporte 3 classes de puissances solaires étudiées :

- 72 modules mono C-si de 275Wc pour une puissance totale installée de 19800 Wc.
- 56 modules mono C-si de 275Wc pour une puissance totale installée de 15400 Wc
- 28 modules mono C-si de 275Wc pour une puissance totale installée de 7700 Wc.

N'ayant pas de précisions quant au modèle ni aux performances des modules utilisés en exemple, nous reprenons ici le dimensionnement du champ PV avec des modules monocristallins de rendement et de puissance supérieure. Perma-Batteries distribue uniquement un panel restreint de marques de panneaux solaires qui sont parmi les meilleures sur le marché (par ordre de prix) : Sharp, Q-CELLS, Panasonic, LG, SUNPOWER, qui répondent tous de manière satisfaisante à des critères de fiabilité et de performances. Les modules PV retenus pour l'étude sont de la marque milieu de gamme Allemande Q-CELLS, de fabrication sud-coréenne, possédant un excellent ratio qualité-prix, et disposant d'une garantie constructeur de **12 ans et 25 ans** de performance linéaire à 83.6%. Régulièrement plébiscités, ce sont des cellules monocristallines **p-type** ayant un rendement STC de 18.3% et un coefficient de température Pmpp de -0.39% / K. Le module utilisé pour les simulations et dans les offres est le **Q-CELLS Q.PEAK-G4.1 305W**.



MECHANICAL SPECIFICATION	
Format	1670mm x 1000mm x 32mm (including frame)
Weight	18.8kg
Front Cover	3.2mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Black anodised aluminium
Cell	6 x 10 monocrystalline Q.ANTUM solar cells
Junction box	66-77 mm x 115-90mm x 15-19mm Protection class IP67, with bypass diodes
Cable	4 mm ² Solar cable; (+) 1000mm, (-) 1000mm
Connector	Multi-Contact, MC4, IP65 and IP68



ELECTRICAL CHARACTERISTICS		290	295	300	305	
POWER CLASS		290	295	300	305	
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC ¹ (POWER TOLERANCE +5W / -0W)						
Minimum	Power at MPP ²	P_{MPP} [W]	290	295	300	305
	Short Circuit Current*	I_{SC} [A]	9.63	9.70	9.77	9.84
	Open Circuit Voltage*	V_{OC} [V]	39.19	39.48	39.76	40.05
	Current at MPP*	I_{MPP} [A]	9.07	9.17	9.26	9.35
	Voltage at MPP*	V_{MPP} [V]	31.96	32.19	32.41	32.62
	Efficiency ²	η [%]	≥ 17.4	≥ 17.7	≥ 18.0	≥ 18.3
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NOC ³						
Minimum	Power at MPP ²	P_{MPP} [W]	214.6	218.3	222.0	225.7
	Short Circuit Current*	I_{SC} [A]	7.77	7.82	7.88	7.94
	Open Circuit Voltage*	V_{OC} [V]	36.65	36.92	37.19	37.46
	Current at MPP*	I_{MPP} [A]	7.12	7.20	7.27	7.35
	Voltage at MPP*	V_{MPP} [V]	30.14	30.33	30.52	30.70

¹1000W/m², 25°C, spectrum AM 1.5 G ²Measurement tolerances STC $\pm 3\%$; NOC $\pm 5\%$ ³800W/m², NOCT, spectrum AM 1.5 G * typical values, actual values may differ

Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY		PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE			
	<p>At least 98% of nominal power during first year. Thereafter max. 0.6% degradation per year.</p> <p>At least 92.6% of nominal power up to 10 years.</p> <p>At least 83.6% of nominal power up to 25 years.</p> <p>All data within measurement tolerances. Full warranties in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organisation of your respective country.</p>		<p>Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25°C, 1000W/m²).</p>		
	<p>Standard terms of guarantee for the 1.0 PV companies with the highest production capacity in 2014 (as of September 2014)</p>				
TEMPERATURE COEFFICIENTS					
Temperature Coefficient of I_{SC}	α [%/K]	+0.04	Temperature Coefficient of V_{OC}	β [%/K]	-0.28
Temperature Coefficient of P_{MPP}	γ [%/K]	-0.39	Normal Operating Cell Temperature	NOCT [°C]	45

Fig 5. Caractéristiques techniques. Extrait de la brochure Q-CELLS.



Current Efficiencies of Selected Commercial PV Modules Sorted by Bulk Material, Cell Concept and Efficiency

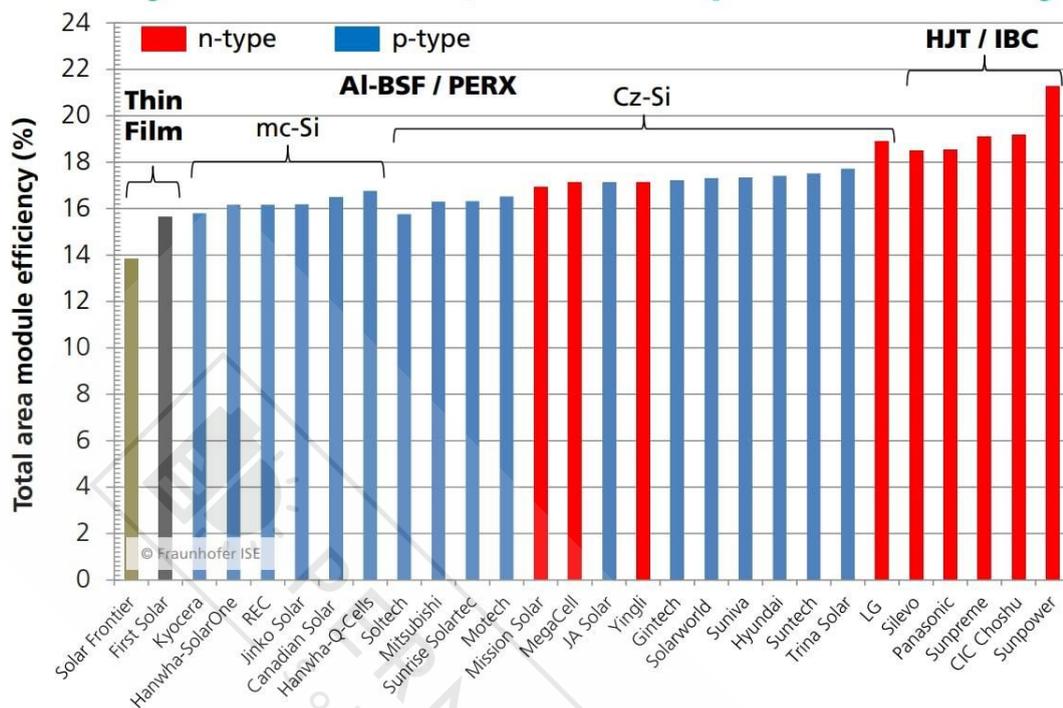


Fig 6. Etude Fraunhofer 2018 recensant les rendements des meilleures modules du marché.

Nous faisons le choix d'utiliser les modules Q-CELLS pour leur prix au Watt-crête (~ **0.51 cts d'€ HT**) relativement bas malgré un niveau de performance global élevé. La fabrication coréenne est qualitative et leur confère une réputation de leader sur le marché global du PV. Leur robustesse mécanique (**5400 Pa de neige**) est également plus élevée par exemple que les PANASONIC.

Nous laissons cependant l'option au client de choisir pour des modules plus haut de gamme, possédant des rendements supérieurs et des technologies de cellules les rendant plus robuste à très long terme (> 25 ans). Les panneaux PANASONIC à hétérojonction (HIT) et les LG NeON R sont dotés de cellules nouvelles générations à silicium N-type, les rendant insensibles aux dégradation de type LID / PID (Light-induced degradation / Potential induced degradation) qui peuvent induire des chutes de rendement dans le temps. Leur prix nettement plus élevé (de **0.72 cts d'€ par watt-crête pour Panasonic** et **0.97 cts d'€ le watt-crête pour LG**) peut se justifier par une garantie constructeur étendue à 25 ans, des performances exceptionnelles (rendement jusqu'à 21% et coefficients de température très bas, comportement à faible luminosité amélioré pour la technologie HIT) et un taux record de défaillance (0.0035%) pour Panasonic. En terme de rendement, de puissance, de garantie constructeur et de résistance mécanique, les modules LG NeON R sont les mieux placés mais aussi les plus coûteux. En termes de comportement à la température et à faible luminosité, les Panasonic HIT sont les plus intéressants, mais leur



résistance mécanique est inférieure (2400 Pa). En effet ,compte tenu de la météo du site, il peut être opportun d’opter pour des modules à la résistance mécanique la plus élevée qui soit.

Ce tableau reprend de manière synthétique les caractéristiques principales de 3 catégories de performances de modules solaires. Il sera possible d’envisager les offres avec des modules Panasonic ou LG si le client le souhaite.

STC (Standard Test Conditions): AM 1.5.Irradiation 1000W/m². Température : 25°

NOCT (Normal Operating Conditions) : AM 1.5. Irradiation : 800W/m². Température : 20°.

Temp. coefficient : facteur de baisse de rendement en fonction de la température. Pour chaque degré supplémentaire à partir de 20°, la puissance diminue.

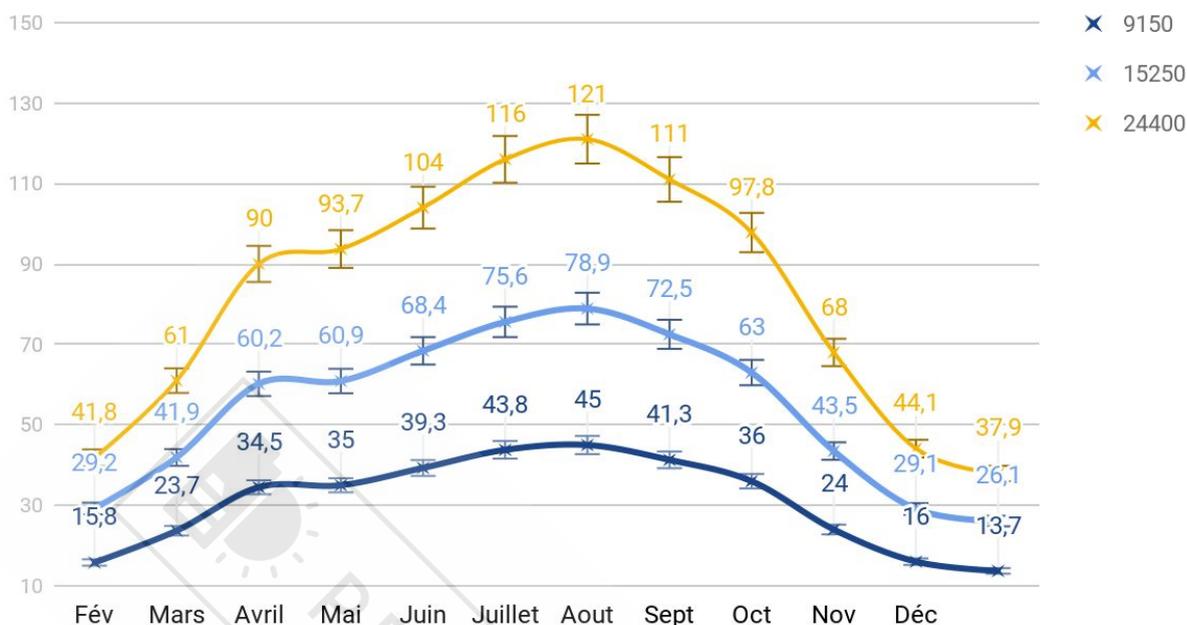
	LG NeON R 360W	Q.PEAK-G4.1 305W	Panasonic HIT 330
Puissance STC (Wc)	360	305	330
Puissance NOCT (Wc)	271	225.7	251.9
Type de cellule	n-type	p-type	n-type
Rendement (%)	20.8	18.3	19.7
Temp. coefficient [%/°C]	-0.30	-0.39	-0.258
Garantie performance	87% à 25 ans.	83.6% à 25 ans.	80% à 25 ans
Garantie constructeur	25 ans	12 ans	25 ans
Prix HT du Watt-crête (€)	~ 0.97	~ 0.51	~ 0.72
Dimensions et poids (mm)	1617 x 1617 x 40. 18.5 Kg.	1670x1000x32. 18.8 Kg.	1053x1590x35. 18.5 Kg.
Résistance mécanique neige / vent (Pa)	6000	5400	2400

Concernant le dimensionnement du champ solaire, nous proposons 3 puissances :

- 30x modules de 305 Wc, soit **9150 Wc** de puissance STC (50.1 m²)
- 50x modules de 305 Wc, soit **15250 Wc** de puissance STC. (83.5 m²)
- 80x modules de 305 Wc, soit **24400 Wc** de puissance STC. (133.6 m²).



Rendement estimatif moyen journalier (en kWh)



Source : PVGIS. Inclinaison du champ : 25°. Azimut 0°. Pertes systèmes totales intégrées : 23.5%

Seul les 80x modules (24400 Wc) peuvent répondre à une autonomie de 3 jours sur site en Hiver, ce qui est une base de dimensionnement couramment employé en site isolé. Nous nous baserons néanmoins sur les 3 puissances PV pour scénariser différentes configurations afin de trouver la capacité optimale vis-à-vis de la consommation en carburant du groupe électrogène et du coût au kWh amorti, afin de proposer différentes solutions au client.

2.3 Choix du type de stockage :

Nous proposons dans cette étude deux technologies de stockage bien distinctes : les batteries TESVOLT (Lithium), dont nous sommes installateurs agréés, et les batteries Nickel-Fer, proposées en exclusivité en France par PERMA-BATTERIES. Nous allons à présent passer en revue les différents avantages et inconvénients de chaque technologie.



2.3.1 TESVOLT (Samsung SDI) :

TESVOLT est une start-up allemande créée en 2016 qui propose des solutions de stockage basées sur la chimie NMC (Nickel-Manganèse-Cobalt), utilisant des cellules SAMSUNG SDI prismatiques utilisées notamment dans certains véhicules électriques (BMW). L'assemblage des cellules dans les armoires rack est effectué en Allemagne, et la distinction technique qu'apporte TESVOLT se situe au niveau de la gestion électronique de la batterie (BMS, battery management system), unique en son genre car de type actif, ce qui permet un suivi individuel de chaque cellule et de ses paramètres propres (SOC, EOL, température, voltage, etc...) et une optimisation inter-cellule de la charge afin de maximiser la durée de vie de l'ensemble des batteries. Cette technologie distingue TESVOLT des autres fabricants de batteries lithium qui proposent des solutions moins onéreuses mais dotées de BMS passif (PYLONTECH, BYD) qui impactent fortement le rendement global du système mais aussi la durée de vie de chaque cellule.

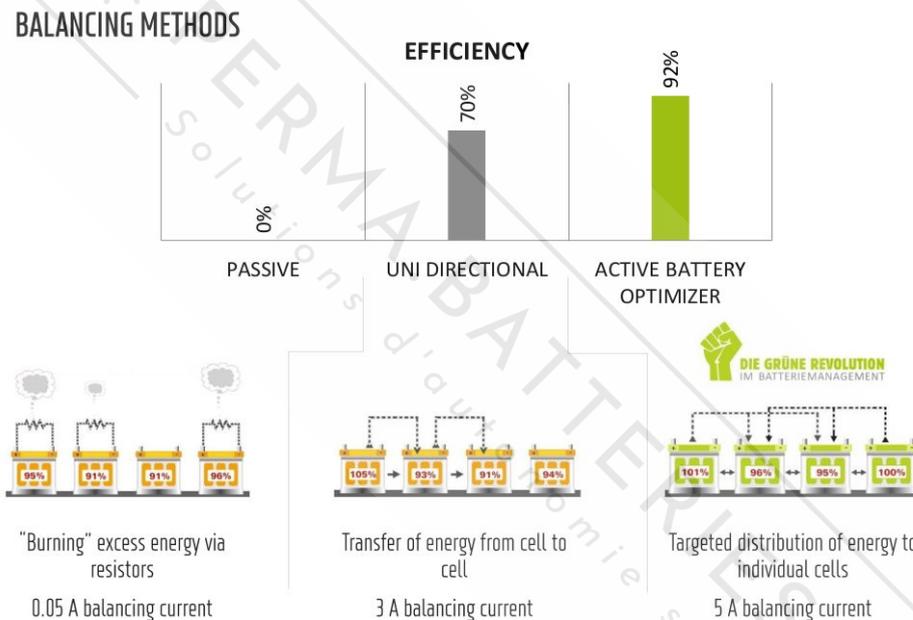


Fig 7. Extrait du pdf de la formation à Lyon St-Priest TESVOLT/SMA sur le BMS de type actif.

Ce BMS a été également optimisé au niveau de la consommation, qui est très faible (de l'ordre de 3 à 5 W pour un APU). Une faible consommation du système permet de dégager plus d'énergie pour les consommateurs du système et optimise ainsi l'efficacité globale.



Le système de BMS propriétaire de TESVOLT permet une vue rapide de l'ensemble des cellules, l'état de charge de celles-ci, le SOH ("state of health") et permet un diagnostic rapide en cas de dysfonctionnement.

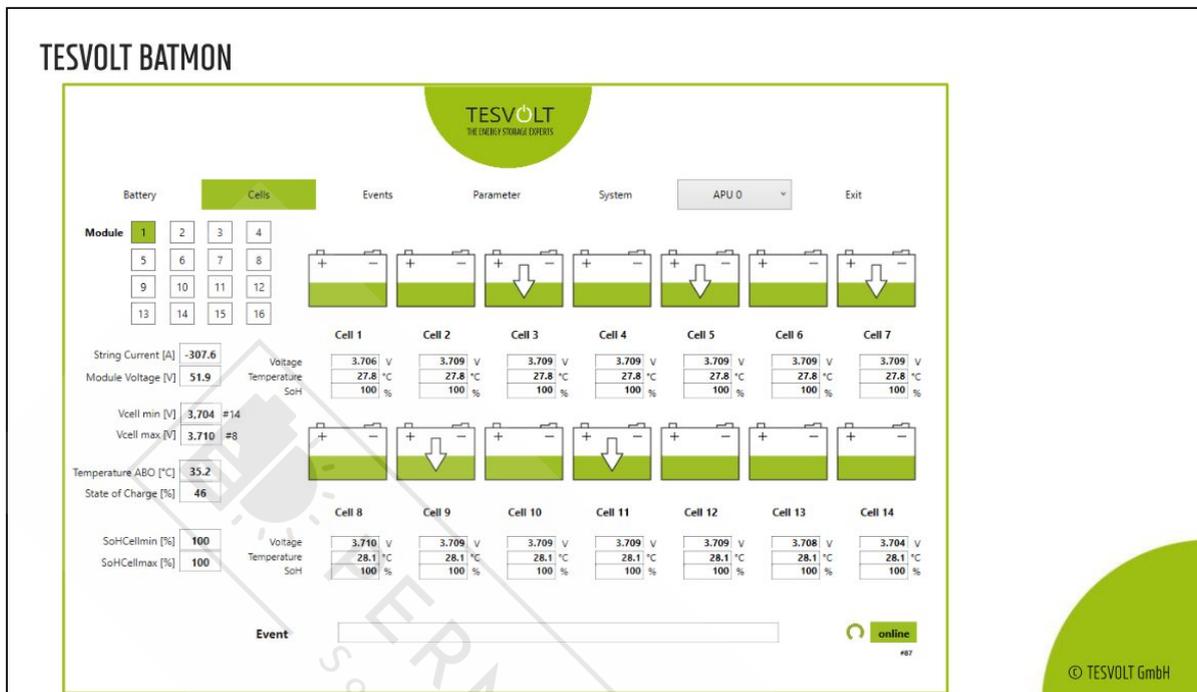


Fig 8. Extrait du pdf de la formation à Lyon St-Priest TEVOLT/SMA sur le monitoring de la batterie au niveau de chaque cellule.

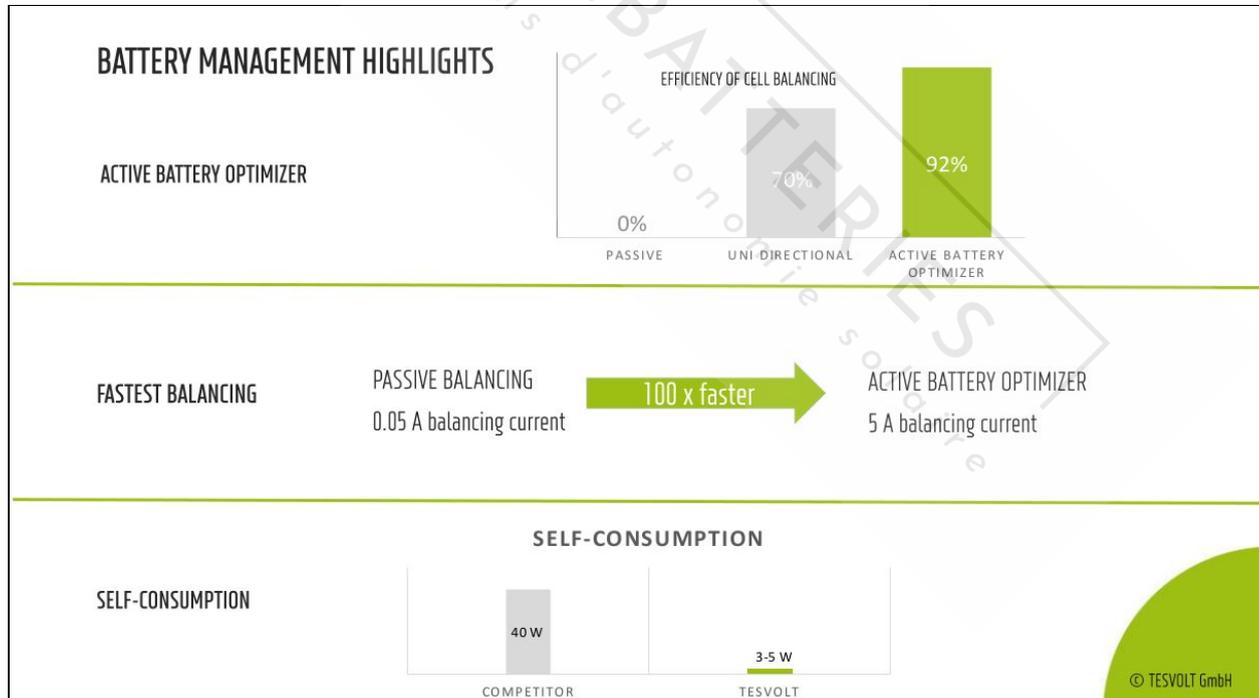


Fig 10 Extrait du pdf de la formation à Lyon St-Priest TEVOLT/SMA sur les avantages du BMS actif.



En outre, TESVOLT à fait le choix des batteries SAMSUNG pour leur durabilité et leur fonctionnement sécuritaire. Les cellules de type prismatique disposent de la meilleure durée de vie, contrairement aux cellules de type poches ou cylindriques que l'on retrouve chez d'autres fabricants, la encore moins onéreuses (LG CHEM, KOKAM) :

LITHIUM CELL DESIGN

POUCH-BAG



- ++ Energy density
- Safety
- + Cooling
- + Durability
- + Cell costs
- Packaging costs

10-20 years

e.g. Kokam, LG Chem

CYLINDRIC



- + Energy density
- + Safety
- Cooling
- Durability
- + Cell costs
- Packaging costs

10-20 years

e.g. Sony, Saft, Panasonic

PRISMATIC



- + Energy density
- ++ Safety
- + Cooling
- + Durability
- +/- cell costs
- ++ Packaging costs

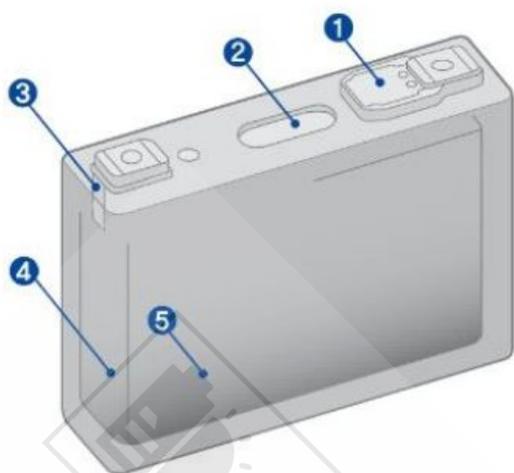
30+ years

e.g. Samsung SDI, Sanyo, BYD,

Fig 11. Extrait du pdf de la formation à Lyon St-Priest TEVOLT/SMA sur les différents types de batteries lithium.

La cellule prismatique offre la meilleur longévité, un bon comportement à la température et une durabilité élevée. SAMSUNG intègre 5 dispositifs différents dans chaque cellule pour éviter tout risque d'emballement thermique, permettant d'avoir une solution batterie lithium qui est la plus sécuritaire et durable du marché actuellement.





Multi-layered protection on cell

- ❶ OSD (Overcharge Safety Device)
- ❷ Vent
- ❸ Fuse
- ❹ SFL (Safety Functional Layer)
- ❺ NSD (Nail Safety Device)

© TESVOLT GmbH

Fig 12. Extrait du pdf de la formation à Lyon St-Priest TESVOLT/SMA sur les 5 dispositifs de sécurité intégrés sur chaque cellule.

Chaque système TESVOLT est composé d'un ou plusieurs modules de **4.8 kWh**, ainsi que d'un **ABO** (Active Battery Optimizer) et d'un **APU** (Active Power Unit) pouvant contrôler jusqu'à 16 modules de 4.8 kWh, le tout intégré dans un format rack dans une armoire. Grâce au BMS actif, le système est modulaire et peut **accueillir des modules de 4.8 kWh supplémentaires ultérieurement**, ce qui est un gros avantage par rapport à d'autres constructeurs.



© TESVOLT GmbH

Fig 12. Extrait du pdf de la formation à Lyon St-Priest TEVOLT/SMA. Chaque module de 4.8 kWh est composé de plusieurs cellules SAMSUNG SDI individuelles reliés en série afin d'obtenir un voltage de 51.2V / 91 Ah.



Complete system										
Number of battery modules		2	3	4	5	6	7	8	9	10
TS 25 (2 – 5 modules)	1300x600x600mm (HxWxD)									
TS 40 (6 – 8 modules)	1900x600x600mm (HxWxD)									
TS 50 (9 – 10 modules)	2300x600x600mm (HxWxD)									
TS Flex (energy as required)		Flexibly configure your system according to your requirements.								
Energy [kWh]		9.6	14.4	19.2	24.0	28.8	33.6	38.4	43.2	48.0
Capacity [Ah]		188	282	376	470	564	658	752	846	940
Maximum output power		1C (4C max. 20 sec.)								
Selfconsumption (standby)		3 watt (TESVOLT TS complete system)								
Weight [kg]		192	228	264	300	386	422	458	514	550
System		1-phase, 3-phase								
Protection class		IP 20 (indoor use)								
System compatibility		SMA Sunny Island (SMA Solar Technology AG)								



Fig 13. Extrait du pdf de la formation à Lyon St-Priest TESVOLT/SMA. Trois types d'armoires (TS 50, 40 et 25) avec des capacités de stockage allant de 9.6 jusqu'à 48 kWh.

Chaque système TESVOLT doit être associé à un onduleur de batterie SMA Sunny Island. Celui-ci existe en trois classes de puissance :

- **Sunny Island 4.4M** : Puissance nominale (Unom) : **3300 W**. Puissance AC à 25° pendant 30min / 5 min / 3 sec : 4400W / 4600W / 5500W.
- **Sunny Island 6.0H** : Unom : 4600W. P30 min / 5 min / 3 sec : 6000W / 6800W / 11000W
- **Sunny Island 8.0H** : Unom : 6000W. P30 min / 5 min / 3 sec : 8000W / 9100W / 11000W

Ces onduleurs batteries doivent respecter un dimensionnement en adéquation avec la capacité de la batterie TESVOLT afin que celle-ci puisse répondre aux pics de courants d'appels que les Sunny Island peuvent réclamer. Le tableau ci-contre récapitule le nombre de SI à utiliser en fonction de la capacité de la batterie :



3,686.4 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
230.4 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
211.2 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
192.0 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
172.8 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
153.6 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
134.4 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
115.2 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
96.0 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
76.8 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
57.6 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
38.4 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
24.0 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
19.2 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
14.4 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
9.6 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4.8 kWh	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
↑ Energy TESVOLT TS	3.3 kW	4.6 kW	6.0 kW	9.9 kW	13.8 kW	18 kW	36 kW	54 kW	72 kW	90 kW	108 kW	126 kW	144 kW	162 kW	180 kW	198 kW	216 kW		
SMA → Sunny Island	1x 4.4M	1x 6.0H	1x 8.0H	3x 4.4M	3x 6.0H	3x 8.0H	Over 18kW of output, only Sunny Island 8.0H (6.0kW) inverters are depicted in the table.												

The company logo SMA, SMA and Sunny Island are registered trademarks of SMA Solar Technology AG in many countries worldwide.

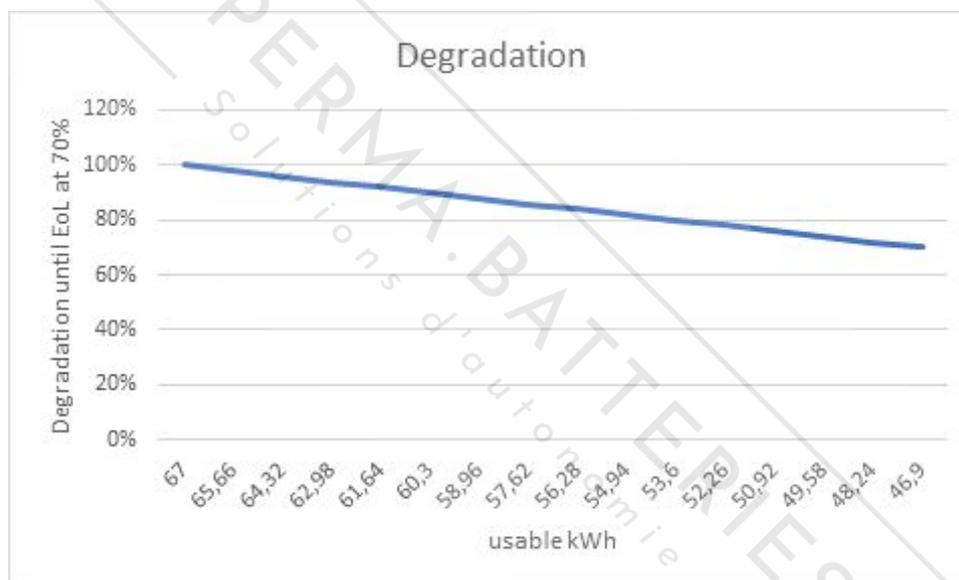
Dimensionnement des Sunny Island en fonction de la capacité batterie.

Pour une capacité batterie de 14.4 kWh, il faut donc 1x Sunny Island 8.0H si l'on veut pouvoir tirer 6 kW de puissance en continue. Compte tenu du pic de puissance apparente que nous avons retenu pour le système (11 kVA), il faut donc utiliser **3x Sunny Island 6.0H (13.8 kW de puissance continue)** en parallèle pour satisfaire aux besoins du système.

Les batteries TESVOLT sont garanties **10 ans sur la performance et 5 ans de garantie constructeur**. Leur capacité de cyclage est élevée et peut atteindre jusqu'à 8000 cycles à 100% de DOD ("depth of discharge") à 0.5C. Leur puissance spécifique est très élevée et permet de travailler jusqu'à des décharges / recharges en 1 heure seulement (**1C**, soit $376 \text{ A} \times 51\text{V} = 14 \text{ kW}$ sur une batterie TS 25 14.4 kWh de capacité), ce qui permet de faire face à n'importe quel pic de puissance instantanée.



TESVOLT ne communique pas sur les courbes de cyclabilité détaillées (données confidentielles de chez SAMSUNG), néanmoins, leur durée de vie calendaire peut être estimé à environ **une vingtaine d'année**, sous réserve de ne pas avoir de fluctuations de températures importantes (+/- 20°). Le graphique ci-contre de dégradation linéaire à travers le temps est basé sur un cycle complet (100%) par jour à 1C (donc en la déchargeant en 1 heure, ce qui n'est jamais le cas en site isolé, les taux de décharges sont de l'ordre du C/20, soit la capacité de la batterie déchargée sur 20 heures). Le critère "EOL" (end of life, fin de vie de la batterie), est atteint au bout de 16 ans. Evidemment, avec un taux de décharge plus faible (C/20), on peut raisonnablement atteindre l'EOL au bout de 20 ans environ. L'EOL est un critère arbitraire de fin de vie d'une batterie qui indique que la capacité initiale est suffisamment diminuée pour la considérer comme inutilisable. Il est généralement fixé à **70% de la capacité initiale**, c'est à dire que lorsque la batterie TESVOLT a atteint son EOL, sa capacité initiale n'est plus que de 70%. Il faut néanmoins bien garder à l'esprit que les chimies lithium sont sujettes à d'autres phénomènes de dégradation chimique irréversibles (oxydation de l'électrolyte, altération structurales des anodes-cathodes) qui font que la durée de vie calendaire (c'est à dire la durée de vie d'une batterie que l'on s'en serve ou non) n'est guère plus longue que la durée de vie cyclique (EOL).



Dégradation linéaire d'une batterie TESVOLT sur la base d'un cycle à 100% DOD quotidien @ 1C. EOL atteint au bout de 16 ans.

Il est indéniable que les batteries TESVOLT se positionnent donc aujourd'hui comme la solution de stockage stationnaire la plus qualitative et durable du marché parmi les batteries lithium.



2.3.2 NICKEL-FER (Edison) :

Les batteries Ni-Fe, développées aux Etats-Unis par Thomas A. Edison & Waldemar Jungner en 1901, sont la chimie par excellence en termes de robustesse et de longévité. Il existe en effet des cas documentés de reconditionnement de batteries Ni-Fe datant de 1934 où la capacité initiale fut récupérée à 50% (soit un facteur de dégradation annuel d'environ 0.6% dans des conditions de stockage sub-optimales). Historiquement utilisées dans des conditions difficiles (lignes de métro, mines, aviation, usage militaire), leur résistance mécanique et électrique (sur-charges, décharges profondes, court-circuitage, gel) en fait une solution de premier choix pour des applications stationnaires pour stockage d'énergie renouvelable, en particulier pour des configurations en site isolés ("off-grid").

Méconnues du grand public, elles tombèrent en désuétude dans les années 1970, après l'abandon de leur fabrication par l'entreprise américaine Exide, au profit principalement du plomb, meilleur marché.

Elles utilisent un électrolyte alcalin à base d'eau, c'est à dire non-acide, qui n'intervient pas dans les réactions chimiques de charges-décharges, contrairement aux batteries plomb. De ce fait, la solubilité très faible des matériaux des électrodes (oxyhydroxyde de nickel et oxyde de fer) évite les phénomènes de dégradation structurelle bien connus dans les batteries au plomb (sulfatation, stratification de l'électrolyte, court-circuitage interne) et leur confère ainsi leur durée de vie très élevée.

La formulation basique de l'électrolyte (KOH + eau distillée + LiOH) leur confère une recyclabilité maximale et un fonctionnement sécuritaire. Une conception de type ouverte permet le renouvellement complet de l'électrolyte tous les 10-15 ans, qui est la clef de leur longévité.





Batterie Nickel-Fer

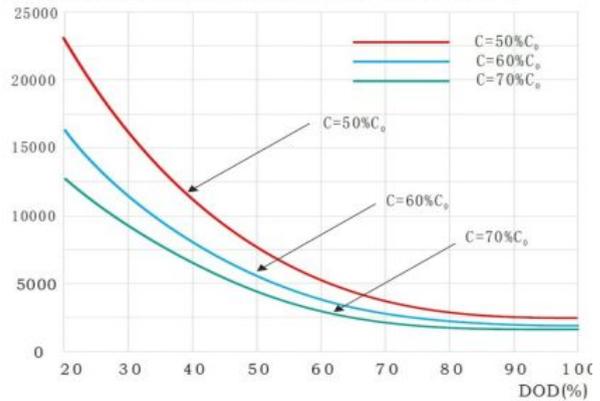


CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

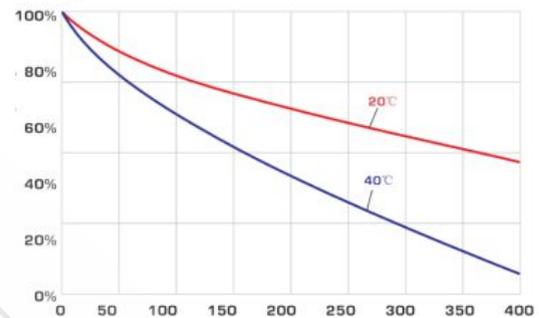
GÉNÉRAL	
Type de batterie	Alcaline, ouverte (flooded)
Couple redox	NiOOH / FeOH
Voltage circuit ouvert (OCV)	1.45V
Électrolyte (1.21g/cm ³)	KOH (25%) + LiOH (3%)
Voltage nominal (EMF)	~ 1.2V
Auto-décharge en circuit-ouvert	~ 10% par mois (20°)
Garantie produit	10 ans
Intervalle de maintenance	~ 3 mois
Auto-remplissage	Disponible sur demande
COMPOURTEMENT	
Température de décharge (C°)	-15 à + 40°
Température de charge (C°)	-15 à + 40°
Température de stockage (C°)	-30 à + 45°
Humidité maximale	5 à 95%, sans condensation
Compensation de température	-3mV/C°
DoD recommandé	30%
DoD toléré	jusqu'à 100%
Voltage OCV à 0% SOC	0.9v par cellule
PERFORMANCES	
Rendement global (Wh)	~ 75%
Facteur de Peukert	~ 1.12
Cyclabilité (20°, 80% DoD)	> 2000
Cyclabilité (20°, 30% DoD)	> 9000
Durée de vie calendaire ("shelf life")	> 30 ans
CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES	
Type de charge recommandée	courant-constant (CC)
Voltage bulk/absorption	~ 1.60V - 1.70V
Voltage OCV (100% SOC)	~ 1.40V
Courant de charge optimal	C/5 (15-20A / 100Ah)
Courant de charge minimum	C/20
Courant de charge maximum	C/2 (électrolyte < 40°)
Courant de décharge optimal	C/10
Courant de décharge crête (15 min)	C/3
Energie spécifique	30 Wh /Kg

GRAPHIQUES

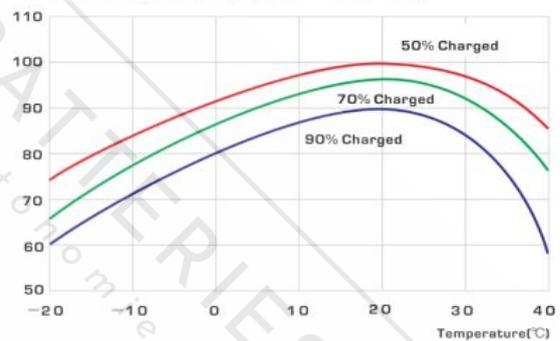
1. Capacités de cyclabilité à EOL 70, 60 & 50%. (C/10, 20°)



2. Taux d'auto-décharge à 20° et 40°. Sur les X, les jours, sur les Y, le % de capacité initiale restant.



3. Rendement global (Wh). (SOC en ordonnées)



Caractéristiques techniques des batteries Nickel-Fer.

A l'inverse des batteries lithium, la chimie nickel-fer ne nécessite pas d'être régulée électroniquement (BMS) car elle s'auto-équilibre. Ainsi, elle ne craint ni les surcharges, ni les décharges profondes, ni le gel, ni les court-circuitages ou les états de charges partiels, et possède ainsi une robustesse à toute épreuve. Cependant, elles sont dotées d'un rendement inférieur à celui du lithium, d'environ 80%, ce qui les rends moins efficace lors des cycles de charges-décharges (une partie de l'énergie est dissipée sous formes de génération de gaz O² et H). Elles nécessitent également une maintenance trimestrielle qui consiste à rajouter de l'eau



distillée, perdue lors de l'électrolyse provoquée par le cyclage. Une batterie Ni-Fe ne possède pas une grande puissance spécifique contrairement au lithium, ce qui veut dire qu'elles ne peuvent être déchargées à des courants supérieurs à C/5. Concrètement, une batterie de 800Ah ne pourra débiter plus de 160A en continue, soit 7680 W en 48V. Ce facteur limitant est également à prendre en compte dans le dimensionnement d'un stockage Ni-Fe, afin de pouvoir couvrir les appels de puissances éventuels du système et des onduleurs batteries. Leur sensibilité aux températures est de l'ordre de 1.3% par degré en dessous de 20° ce qui veut dire que la capacité C/5 sera diminuée d'environ 26% à un fonctionnement à 0° celsius.

L'un des avantages réside également dans le fait qu'elles soient sécuritaire au niveau de leur fonctionnement, car tout emballement thermique est impossible, contrairement au lithium NMC, qui n'est pas stable intrinsèquement sans protection électronique. L'absence de métaux stratégiques, la non-toxicité de son électrolyte (composé de potasse KOH et de LiOH) et la possibilité de reconditionner (changement de l'électrolyte) la batterie sur le long terme (15 ans), la rend virtuellement indestructible.

Aussi volumineuses que des batteries plomb-acide, elles nécessitent 40x éléments connectés en série (1.2V x 40) afin d'obtenir un système en 48V. L'encombrement et le poids doit donc être pris en compte dans le choix d'un emplacement, tout comme l'isolation du local technique afin de ne pas descendre à des températures inférieures à 0°, afin de ne pas grever leur capacité. Par ailleurs, une ventilation adéquate doit être mise en oeuvre afin de ventiler les gaz explosifs générés lors du cyclage (oxygène et hydrogène).



Batteies Edison originales (boitier métallique) de 1924 reconditionnées en 2011. Leur capacité fut récupérée à 50% au bout de 6 mois. Source : Peter J.Demar. Battery Research & Testing. "Looking for the most durable battery". pjd@batteryresearch.com, 2011.



2.3.3 Tableau récapitulatif :

Afin de fournir au client une meilleure compréhension des avantages et inconvénients des deux technologies, le tableau suivant résume les caractéristiques des chimies lithium-NMC et nickel-fer :

	Nickel-Fer	Lithium (NMC)
PERFORMANCE		
Rendement global moyen (Wh)	~ 72-86 %	> 95%
Energie Spécifique (Wh/kg)	30	150 - 220
Fourchette moyenne de cyclabilité constatée	> 10000	6000-8000
Plage de DOD supportée	0-100%	0-100%
Temps de charge rapide (heures)	4	1
Auto-décharge mensuelle	~ 5-20 %	< 5%
CONDITIONS D'UTILISATION		
Périodicité de maintenance	3 - 4 mois	Néant
Tolérance aux abus (décharge / surcharges)	Excellente	Mauvaise
Température maximale de fonctionnement (° celsius)	-10° / +45°	-10° / +50°
Stockable à long terme (> 2 ans)	Possible	Néant
Voltage nominal	1,2	3,7
Stabilité thermique	Bonne	BMS obligatoire
Durée de vie calendaire	> 25 ans	> 10 ans
Effet mémoire	Inexistant	Inexistant
Risque de défaillance spontanée	Inexistant	Possible
Régulation électronique (BMS)	Néant	Obligatoire
CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES		
Voltage cutoff de décharge (V/cellule, 1C)	1	2,5
Courant de décharge maximum	C/3	2C
Courant de décharge optimal	C/10	1C
Voltage cutoff de charge (V/cellule)	~ 1,65	4,2

Il en ressort donc que la solution TESVOLT (Lithium NMC) reste la plus performante en termes de courants d'appels, de rendement et de rapidité de charges/décharges. Il n'y a par ailleurs pas de baisse de tension importante même sur des DOD profondes, contrairement au Nickel-Fer où la résistance interne augmente avec la baisse du SOC (*plus une batterie ni-fe est déchargée, plus sa résistance interne augmente ce qui rend difficile des courants d'appels élevés sur une batterie quasiment vide*). Néanmoins, l'ensemble de ces caractéristiques est rendue possible grâce à un



appui électronique sophistiqué (BMS actif) dont la défaillance à long terme ne peut être totalement exclue (20 ans), rendant ainsi l'ensemble de la batterie inopérante, voir dangereuse pour l'utilisateur (risque d'emballement thermique si la batterie n'a pas été mise en sécurité au préalable). L'hypothèse de pouvoir remplacer le module BMS TESVOLT complet d'ici 15 ou 20 ans reste aussi largement sujet à débat (i.e : sera-il toujours disponible ? l'entreprise sera t-elle toujours en activité ?). Diamétralement opposée à cette conception technicisé, la batterie Nickel-Fer, bien que nécessitant une maintenance régulière, et présentant des performances plus modestes (courants d'appels, rendement), possède une robustesse et une longévité exceptionnelle qui a déjà été prouvée par le passé, permettant ainsi une totale tranquillité d'esprit sur le long terme.

	Nickel-Fer	TESVOLT (Lithium NMC)
Recul temporel	Important (1904)	Faible (2016)
Degré de technicité	Bas	Élevé (électronique embarquée)
Degré de performance	Correct	Exceptionnel
Maintenance	Obligatoire	Sans maintenance
Composition chimique	Ni, Fe, KOH, LiOH, PP	Ni, Mn, Co, Li, LiPF ₆ , Diethyl Carbonate, Graphite, PP,
Energie nécessaire par kWh de batterie produite (en mJ)	500 - 800	~ 1030
Émissions de gaz à effet de serre par Kg de batterie produite (kG CO₂ eq/kWh)	8	12-15

Tableau récapitulatif de l'impact carbone des deux technologies. Source : "The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries" IVL, Swedish Environmental Institute. 2017.



Dimensionnement et scénarisation technique :

4.1 Système TESVOLT / SMA :

Les deux premiers scénarios portent sur une solution de stockage TESVOLT interfacée avec une électronique SMA (Sunny Island & Sunny Boy) :

- **Scénario A** : 9150Wc de PV (30x modules) couplé à un TESVOLT TS 25 de **14.4 kWh**, soit une autonomie donnée pour **1 jour**.
- **Scénario B** : 15250 Wc de PV (50x modules) couplés à un TESVOLT TS 40 de **28.8 kWh**, soit une autonomie donnée pour **2 jours**.

Scénario TESVOLT	Stockage	Onduleur batterie	Onduleur string PV (bus AC)	Champ PV
Variante A	TESVOLT TS 25 14.4 kWh	3x SMA SI 6.0H	2x Sunny Boy 4.0	30x modules Q.PEAK-G4.1 305W
Variante B	TESVOLT TS 40 28.8 kWh	3x SMA SI 6.0H	3x Sunny Boy 5.0	50x modules Q.PEAK-G4.1 305W

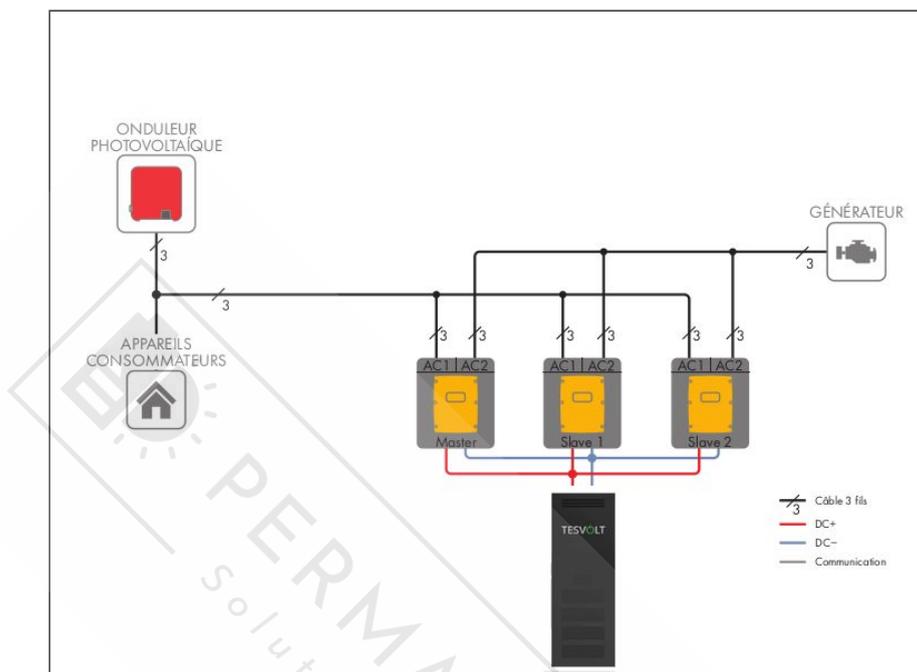
Le rendement en Décembre avec 9150 Wc de PV en moyenne est de 13.7 kWh / jour, ce qui couvre à peine une journée de consommation. Dès lors, l'ajout d'un groupe à démarrage automatisé est indispensable afin de pouvoir d'une part recharger les batteries lorsque le SOC est trop faible ("state of charge") et d'autre part de pouvoir maintenir l'alimentation des consommateurs. Il est probable que le groupe fonctionnera très régulièrement durant la période hivernale afin de couvrir les charges.

Le rendement en Décembre avec 15250 Wc en moyenne est de 26.10 kWh / jour, ce qui couvre deux journées de consommation. Bien que dans cette hypothèse la le groupe reste également indispensable, cette solution est plus confortable car elle autorise une décharge profonde des



batteries sur une journée de mauvaise météo, puis la recharge immédiate de ces dernières le lendemain si la météo l'autorise.

L'architecture système est de type couplage AC total, composée de **3x onduleurs Sunny Island 6.0H** en parallèle, couplés à 2x onduleurs string **Sunny Boy** pour la variante A et 3x Sunny Boy pour la variante B.



Les caractéristiques électriques de l'onduleur batterie Sunny Island 6.0 H sont les suivantes :

- *Puissance assignée (Unom à 25°) : 4.6 kW*
- *Puissance AC à 25° pendant 30 min / 5 min / 3 sec : 6 kW / 6.8 kW / 11 kW.*
- *Rendement maximal : 95%*
- *Garantie constructeur : 10 ans.*

Etant donné la présence de 3x SI 6.0H, la puissance assignée Unom passe à **13.8 kW**, afin de couvrir la puissance crête des consommateurs (11 kVA).





Données techniques	Sunny Island 6.0H
Sortie AC (appareil/site isolé)	
Tension de réseau assignée / plage de tension AC	230 V / 202 V ... 253 V
Fréquence assignée / plage de fréquence (réglable)	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz
Puissance assignée (pour U_{nom} , f_{nom} / 25 °C / $\cos \varphi = 1$)	4 600 W
Puissance AC à 25 °C pendant 30 min / 5 min / 3 s	6 000 W / 6 800 W / 11 000 W
Courant assigné / courant de sortie maximal (crête)	20 A / 120 A
Taux d'harmoniques de la tension de sortie / facteur de puissance à la puissance assignée	< 4 % / -1 ... +1
Entrée AC (générateur, réseau ou MC-Box)	
Tension d'entrée assignée / plage de tension d'entrée AC	230 V / 172,5 V ... 264,5 V
Fréquence d'entrée assignée / plage de fréquence d'entrée admissible	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz
Courant d'entrée AC maximum	50 A
Puissance d'entrée AC maximum	11 500 W
Entrée DC batterie	
Tension d'entrée assignée / plage de tension DC	48 V / 41 V ... 63 V
Courant de charge maximal de la batterie / courant de charge assigné DC	110 A / 100 A
Type de batterie / capacité de la batterie (plage)	FLA, VRLA / 100 Ah ... 10 000 Ah
Régulation de charge	Procédé de charge IUoU avec pleine charge et charge d'égalisation automatiques
Rendement / autoconsommation	
Rendement maximal	95 %
Autoconsommation sans charge / mode veille	< 26 W / < 4 W
Dispositif de protection (appareil)	
Court-circuit AC / surcharge AC	● / ●
Protection contre l'inversion de polarité DC / fusible DC	- / -
Surtempérature / décharge profonde de la batterie	● / ●
Classe de surtension selon IEC 60664-1	III
Données générales	
Largeur / Hauteur / Profondeur	467 mm x 612 mm x 242 mm
Poids	63 kg
Plage de température de fonctionnement	-25 °C ... +60 °C
Classe de protection selon IEC 62103	I
Catégorie climatique selon IEC 60721	3K6
Indice de protection selon IEC 60529	IP54

Les caractéristiques électriques d'un onduleur Sunny Boy 5.0 sont les suivantes :

- *P_{max} du générateur PV : 7500Wp*
- *Plage de tension MPP : 175 à 500V*



- Tension d'entrée min. / tension d'entrée de démarrage : 100 V / 125 V
- Puissance assignée AC OUT (pour 230 V, 50 Hz) : **5 kW**
- Puissance apparente AC OUT : 5 kVA
- Pas de séparation galvanique.
- Rendement maxi : 97%.
- Garantie standard **5 ans** extensible jusqu'à 20 ans (payante).

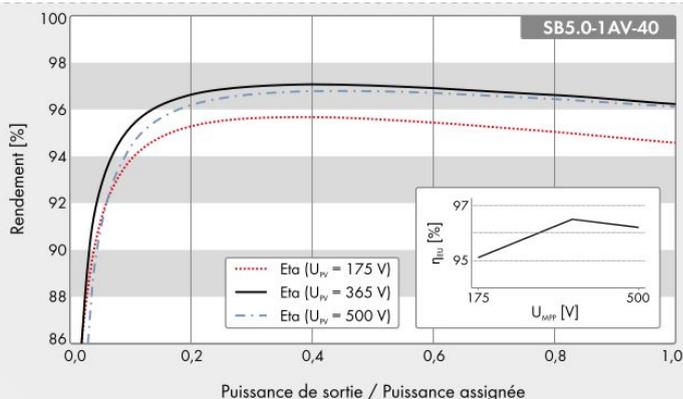


Caractéristiques générales

Dimensions (L/H/P)	435 mm / 470 mm / 176 mm (17,1 pouces / 18,5 pouces / 6,9 pouces)
Poids	16 kg (35,3 lb)
Plage de température de fonctionnement	-25 °C à +60 °C (-13° F à +140 °F)
Émission sonore, typique	25 dB(A)
Autoconsommation (nuit)	1,0 W
Topologie	Sans transformateur
Système de refroidissement	Convection
Indice de protection (selon IEC 60529)	IP65
Classe climatique (selon IEC 60721-3-4)	4K4H
Valeur maximale admissible d'humidité relative de l'air (sans condensation)	100 %



Courbe de rendement



Données techniques	Sunny Boy 3.0	Sunny Boy 3.6	Sunny Boy 4.0	Sunny Boy 5.0
Entrée (DC)				
Puissance max. du générateur photovoltaïque	5500 W _p	5500 W _p	7500 W _p	7500 W _p
Tension d'entrée max.	600 V			
Plage de tension MPP	110 V à 500 V	130 V à 500 V	140 V à 500 V	175 V à 500 V
Tension d'entrée assignée	365 V			
Tension d'entrée min. / tension d'entrée de démarrage	100 V / 125 V			
Courant d'entrée max. entrée A / entrée B	15 A / 15 A			
Courant d'entrée max. par string entrée A / entrée B	15 A / 15 A			
Nombre d'entrées MPP indépendantes / strings par entrée MPP	2 / A:2 ; B:2			
Sortie (AC)				
Puissance assignée (pour 230 V, 50 Hz)	3 000 W	3 680 W	4 000 W	5 000 W ¹⁾
Puissance apparente AC max.	3 000 VA	3 680 VA	4 000 VA	5 000 VA ¹⁾
Tension nominale AC / plage	220 V, 230 V, 240 V / 180 V à 280 V			
Fréquence du réseau AC / plage	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz à +5 Hz			
Fréquence de réseau assignée / tension de réseau assignée	50 Hz / 230 V			
Courant de sortie max.	16 A	16 A	22 A ²⁾	22 A ²⁾
Facteur de puissance pour la puissance assignée	1			
Facteur de déphasage réglable	0,8 inductif à 0,8 capacitif			
Phases d'injection / phases de raccordement	1 / 1			
Rendement				
Rendement max. / rendement européen	97,0 % / 96,4 %	97,0 % / 96,5 %	97,0 % / 96,5 %	97,0 % / 96,5 %

4.2 Ventilation des coûts systèmes :

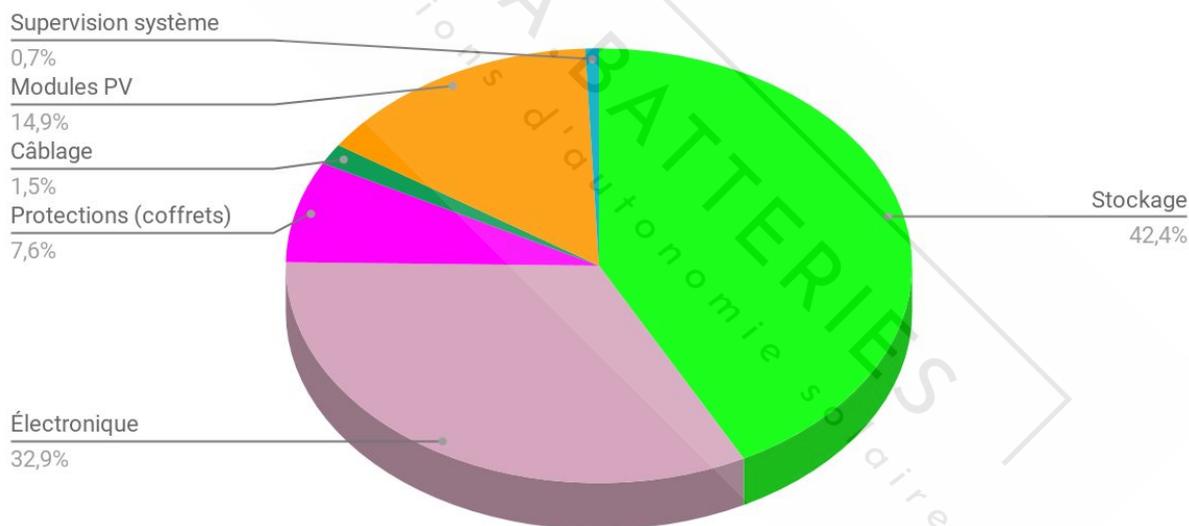
Les coûts du système variante A se décomposent ainsi (hors coûts liés à la main d'oeuvre / installation et aux systèmes de fixation pour une pose en toiture ISB / surimposition ou structure sol) :

En € (Hors Taxes)	Quantité	Prix unitaire (HT)	Prix total (HT)
TESVOLT TS 25 14.4	1	13608	13608
Sunny Island 6.0H	3	2670	8010
Sunny Boy 4.0	2	1199	2398



Coffret DC ENWITEC protection batterie BAT-FUSE UTE C-15-712-2	1	750	750
QCELLS Q.PEAK-G4.1 305W	30	160	4800
Coffret BJP DC 4x strings UTE	1	1400	1400
Coffret AC-OUT 12 kVA UTE	1	280	280
Sunny Remote Control	1	225	225
Câblage divers		495.2	495
TOTAL			31966 €

Répartition des coûts du système A

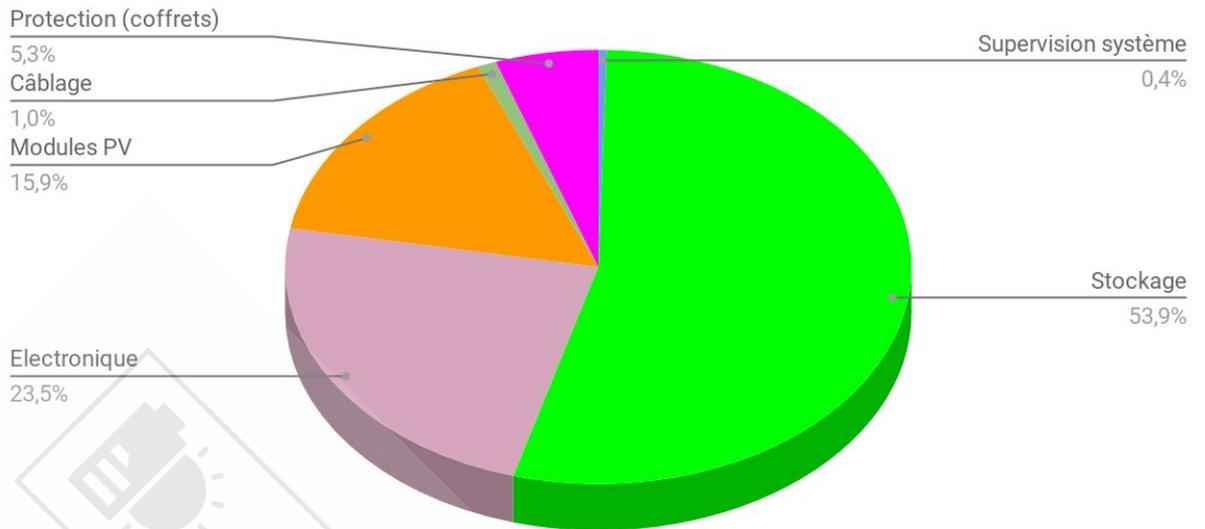


Les coûts du système **variante B** se décompose ainsi (hors coûts liés à la main d'oeuvre et aux systèmes de fixation pour une pose en toiture ISB / surimposition ou structure sol) :

En € (Hors Taxes)	Quantité	Prix unitaire (HT)	Prix total (HT)
TESVOLT TS 40 28.8	1	27216	27216
Sunny Island 6.0H	3	2670	8010
Sunny Boy 5.0	3	1280	3840
Coffret ENWITEC protection batterie BAT-FUSE UTE C-15-712-2	1	1000	1000
QCELLS Q.PEAK-G4.1 305W	50	160	8000
BJP DC 4x strings UTE	1	1400	1400
coffret AC-OUT 12 kVA UTE	1	280	280
Sunny Remote Control	1	225	225
Câblage divers		495.2	495
TOTAL			50466 €



Répartition des coûts du système B

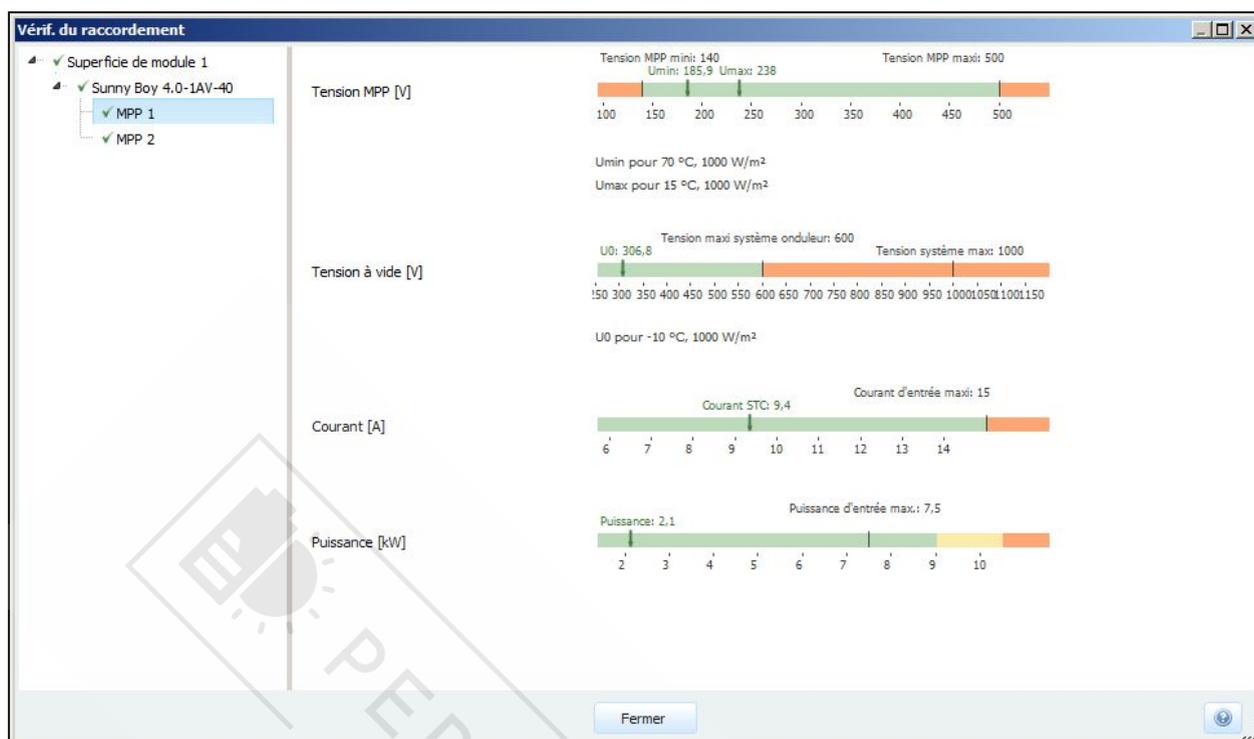


4.3 Simulation & résultats Scénario A :

Pour le scénario A, nous dimensionnons **2x onduleurs string Sunny Boy 4.0**. Chaque tracker fournira 4.58 kWp de puissance, avec un coefficient de dimensionnement de 114% (PVSOL) :



Vérification du dimensionnement des onduleurs (PVSOL).



Vérification de la qualité du raccordement sur les trackers MPP1 et 2.(PVSOL)

Pour l'ensemble des simulations, nous avons choisi un générateur **SDMO DIESEL 10000 E SILENCE** consommant **2.1 L/heure à 75%** de la puissance nominale).

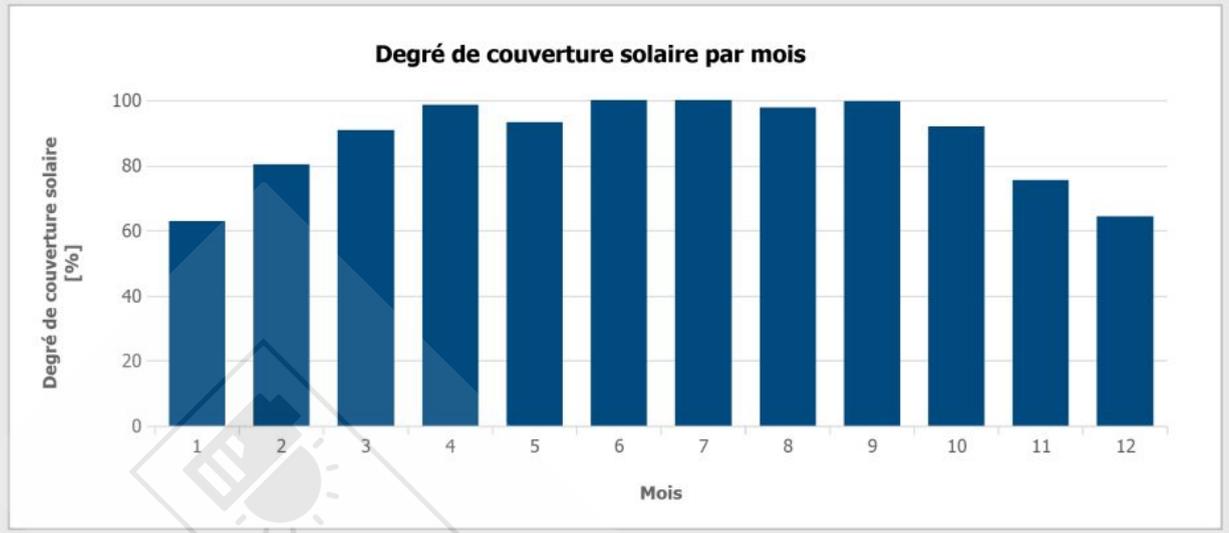
La fraction d'énergie couverte par le groupe en moyenne annuelle s'élève à **895 kWh** (18,26% de la consommation d'énergie annuelle) , soit une consommation de carburant de **605L** (efficacité du générateur d'environ 3 kWh / litre).

Comme attendu, le scénario A se révèle être dans une plage de conception limite qui génère des avertissements sur notre logiciel de modélisation quant à la stabilité du système, compte tenu de la capacité stockage et de la puissance solaire trop faiblement dimensionné pour couvrir les besoins énergétiques en Hiver. L'énergie de la batterie TESVOLT de 14.4 kWh suffira à couvrir une seule journée de consommation.

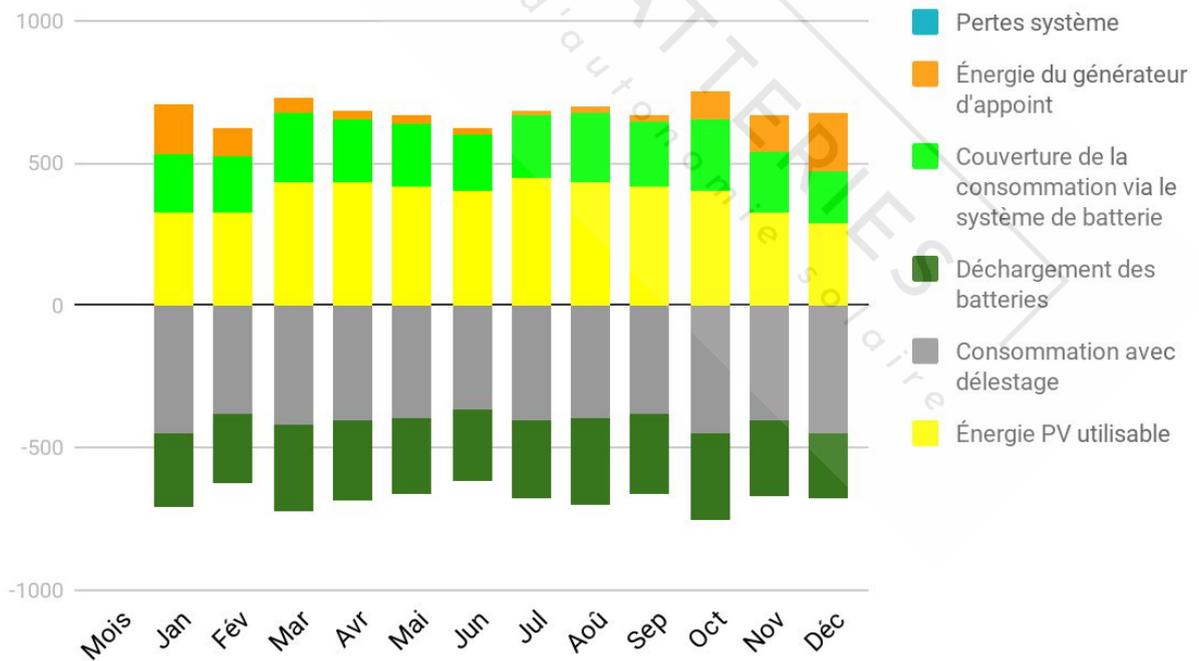
Ainsi, le degré de couverture solaire annuel tombe à **63% en Janvier**, ce qui implique une utilisation du groupe relativement intensive. Le degré de couverture annuel moyen est de **83.9%**.



Diagramme



Prévision de rendement avec consommation



Synthèse SCÉNARIO A :

Coûts de carburant à l'année*	Conso. combustible	Energie du générateur PV	Rendement annuel spécifique	Taux de couverture solaire	Coût COE*	Coefficient PR*	Emissions CO2 évitées / an
846.31 €	605 L	4659 kWh / an	1400 kWh / kWc	83,9 %	0.56 €	90,7 %	2403 Kg

*Le ratio de performance (PR) correspond au rapport entre la puissance délivrée et le rayonnement solaire, en fonction de la surface du panneau. Il dépend d'une multitude d'éléments : distribution des capteurs, orientation et inclinaison du panneau photovoltaïque, qualité des diodes, des câbles et de l'onduleur... Il est généralement compris entre 0,7 et 0,8 pour des installations classiques correctement conçues.

*sur une base de 1.40 € le litre de gasoil.

* COE, cost of energy, est le coût du kWh délivré par le système sur la durée de vie totale.

En conclusion, le scénario A peut être considéré comme **viaable à long terme uniquement en considérant l'ajout ultérieur de capacité batterie**. Compte tenu de la possibilité d'adjoindre des modules de 4.8 kWh TESVOLT afin d'augmenter la capacité jusqu'à 28.8 kWh (2 jours d'autonomie) il faudrait rajouter **3x modules supplémentaires**. L'impact positif sur l'autonomie et les performances est détaillé ci-contre :

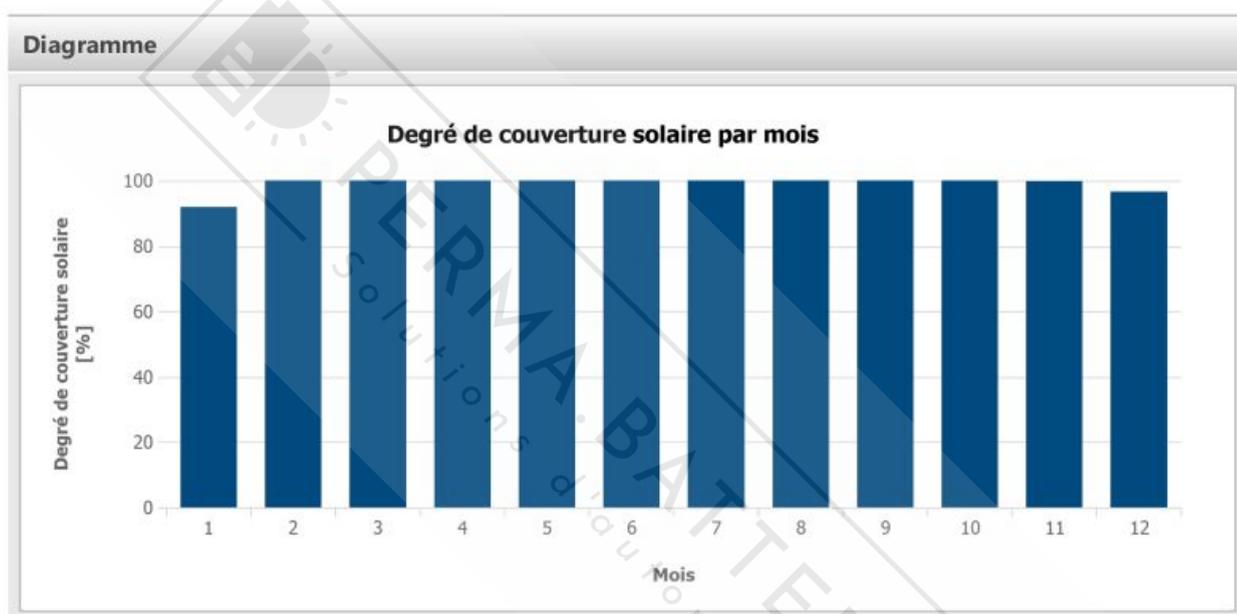
Comparaison avec le doublement de la capacité batterie :

	Coût supplémentaire	Coûts de carburant à l'année*	Conso. combustible	Energie du générateur PV	Rendement annuel spécifique	Taux de couverture solaire	Coût COE*	Coefficient PR*	Emissions CO2 évitées / an
Scénario A (14.4 kWh TESVOLT)		846.31 €	605 L	4659 kWh / an	1400 kWh / kWc	83,9 %	0.56 €	90,7 %	2403 Kg
Scénario A (28.8 kWh TESVOLT)	+13608 €	483.48 €	345 L	5106 kWh / an	1400 kWh / kWc	90,8 %	0.57 €	90,7 %	2629 Kg

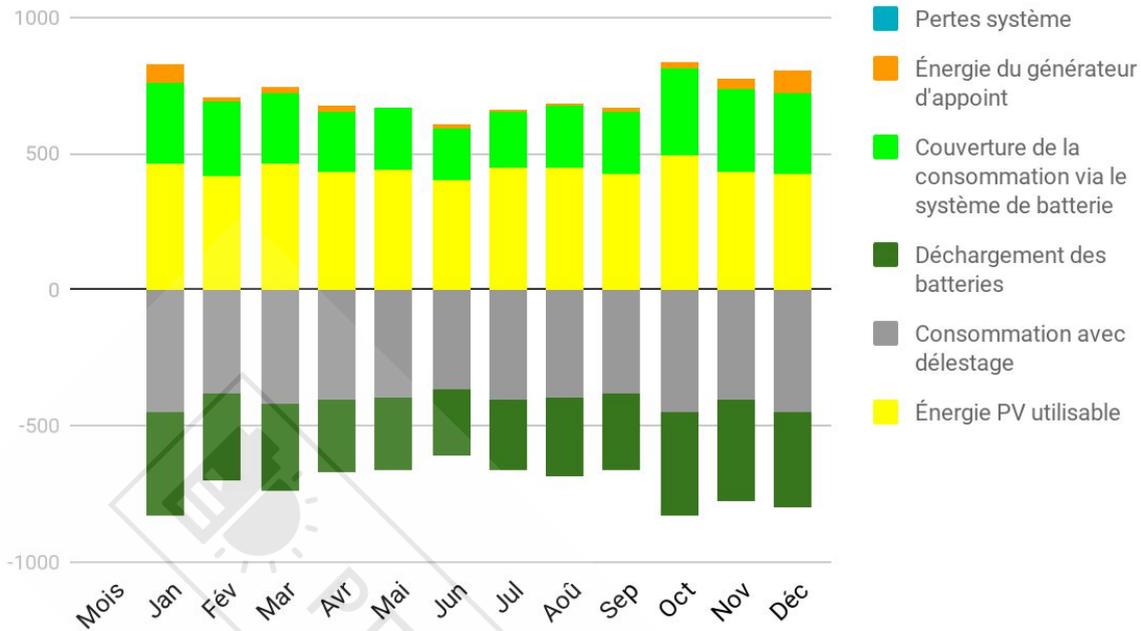


4.3 Simulation & résultats Scénario B :

Le scénario B reprend les mêmes caractéristiques systèmes que le A, mais propose un champ PV plus important, qui se compose de **50x modules pour une puissance totale de 15250 Wc**. Nous dimensionnons 3x onduleurs Sunny Boy 5.0. Le stockage de 28.8 kWh permet d'obtenir 2 jours d'autonomie. Les résultats sont améliorés, notamment sur la couverture solaire, qui monte à **100% mis à part sur Décembre & Janvier**, ainsi que la consommation du groupe, qui baisse nettement :



Prévision de rendement avec consommation



Par conséquent les coûts en carburant à l'année sont réduits à **292 €**, et le taux de couverture solaire monte à 94.3%. Le coût COE bénéficie de la baisse de ces intrants et se voit réduit à **0.51 € le kWh**.

Synthèse SCÉNARIO B :

Coûts de carburant à l'année*	Conso. combustible	Energie du générateur PV	Rendement annuel spécifique	Taux de couverture solaire	Coût COE*	Coefficient PR*	Emissions CO2 évitées / an
292,89 €	209 L	5300 kWh / an	1400 kWh / kWc	94,3%	0.51 €	91,5 %	2748 Kg

La fraction d'énergie couverte par le groupe en moyenne annuelle s'élève à **320 kWh** (6.5 % de la consommation d'énergie annuelle) , soit une consommation annuelle de carburant de **209L** (efficacité du générateur d'environ 3 kWh / litre).

On remarquera la baisse du COE en comparaison avec le Scénario A+, qui consistait à maintenir le parc PV tout en augmentant la capacité TESVOLT jusqu'à 28.8 kWh. En effet, compte tenu du faible coût du module solaire, il est économiquement plus rationnel d'augmenter le champ PV



afin de couvrir les charges plutôt que d'augmenter le parc batterie et garder une puissance solaire qui ne permet pas de couvrir les besoins à l'année du système.

COMPARAISON DES SCÉNARIOS SMA / TESVOLT A & B :

	Coûts de carburant à l'année*	Conso. combustible	Energie du générateur PV	Rendement annuel spécifique	Taux de couverture solaire	Coût COE *	Coefficient PR*	Emissions CO2 évitées / an
Scénario A	846.31 €	605 L	4659 kWh / an	1400 kWh / kWc	83,9 %	0.56 €	90,7 %	2403 Kg
Scénario A+	483.48 €	345 L	5106 kWh / an	1400 kWh / kWc	90,8 %	0.57 €	90,7 %	2629 Kg
Scénario B	292,89 €	209 L	5300 kWh / an	1400 kWh / kWc	94,3%	0.51 €	91,5 %	2748 Kg

5. Système NICKEL-FER / STUDER INNOTECH :

Les deux derniers scénarios portent sur une solution de stockage NICKEL-FER interfacée avec une électronique **STUDER INNOTECH / FRONIUS** de type couplage AC partiel :

- **Scénario C** : 15250 Wc de PV (50x modules) couplé à **39x éléments NI-FE de 1200AH**, soit une capacité nominale de **57 kWh**, pour une autonomie jusqu'à 4 jours. **32x modules** seront connectés via **2x régulateurs de charge batterie MPPT Studer VT-80** sur le bus DC (soit 9760Wc). Les **18x modules** restants (5490 Wc) seront connectés via un onduleur PV Fronius Primo 5.0 pour un couplage AC qui permettra non seulement une recharge batterie mais aussi la consommation directe de l'énergie produite en journée.
- **Scénario D** : 24400 Wc de PV (80x modules) couplé à **39x éléments NI-FE de 1200AH**, soit une capacité nominale de **57 kWh**, pour une autonomie jusqu'à 4 jours. **64 modules**



seront connectés via **4x régulateurs de charge batterie MPPT Studer VT-80** sur le bus DC batterie (soit 19520 Wc). Les **16x** modules restants seront connectés via un onduleur PV Fronius Primo 4.6 (soit 4880Wc) en couplage AC.

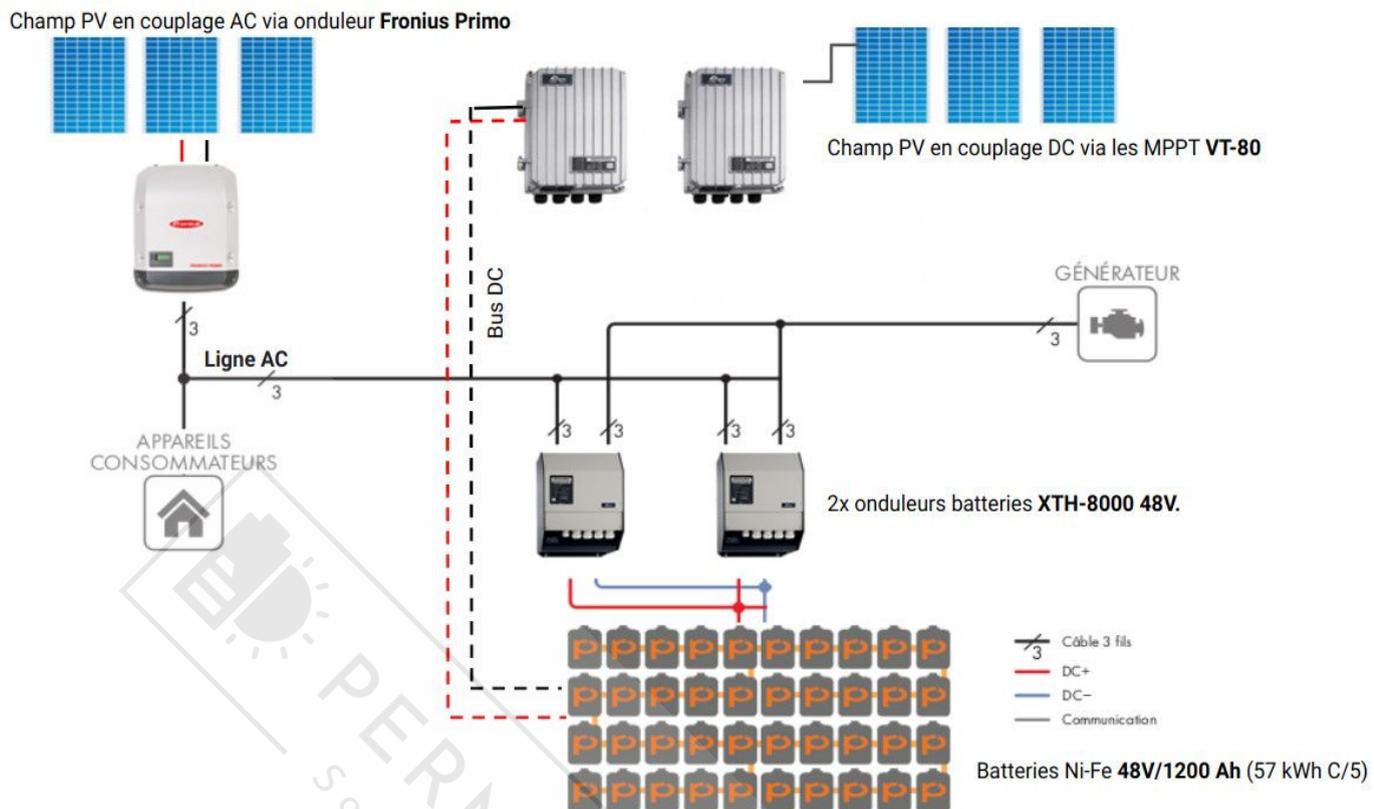


En fonction de l'établissement définitif du profil de charge avec le client (quels appareils sont utilisés la journée) la puissance PV couplé en AC pourra être modulée afin de couvrir les charges de manière optimale et d'éviter le cyclage batterie en journée.

Scénario NICKEL-FER	Stockage	Onduleur batterie	Régulateur DC MPPT Batterie	Onduleur string PV (bus AC)	Champ PV
Variante C	NICKEL-FER 1200Ah - 57 kWH	2x Studer XTH 8000-48	2x Studer VT-80	1x Fronius Primo 5.0	50x modules Q.PEAK-G4.1 305W
Variante D	NICKEL-FER 1200Ah - 57 kWh	2x XTH 8000-48	4x Studer VT-80	1x Fronius Primo 4.6	80x modules Q.PEAK-G4.1 305W

Dans cette configuration la, nous optons pour de l'électronique de puissance Studer INNOTECH, de fabrication Suisse, et dont la garantie constructeur est de 10 ans sur tous leurs appareils. Réputés pour leur fiabilité et leur robustesse, les appareils Studer sont fabriqués en Suisse depuis plus de 30 ans. L'onduleur PV quant à lui est un Fronius Primo, une marque autrichienne qui fait partie des références sur le marché et dont la fiabilité est aussi éprouvée. La topologie système choisie est un couplage AC partiel, qui comme nous l'avons vu précédemment, permet une meilleure robustesse système et élimine les points de défaillance unique, en répartissant la charge batterie entre le bus AC et DC :





Architecture système couplage AC partiel.

Nous proposons 2x onduleurs batteries Studer XTH-8000 48V, garantis 10 ans, qui sont les plus puissants de la gamme, dont les caractéristiques sont énumérées ci-contre. La puissance cumulée en continue de 14 kVA permettra de répondre aisément aux appels de charge du système (11 kVA).

- Puissance continue (à 25°) en AC : **7000 VA**
- Puissance 30 min / 3 sec : 8000 VA / 21 kVA
- Rendement max : 96%
- Poids : 46 Kg.





Modèle	XTH 3000-12	XTH 5000-24	XTH 6000-48	XTH 8000-48
Onduleur				
Tension nominale de la batterie	12 Vdc	24 Vdc	48 Vdc	
Plage de tension d'entrée	9.5 - 17 Vdc	19 - 34 Vdc	38 - 68 Vdc	
Puissance continue @ 25°C	2500 VA	4500 VA	5000 VA	7000 VA
Puissance 30 min. @ 25°C	3000 VA	5000 VA	6000 VA	8000 VA
Puissance 3 sec. @ 25°C	7.5 kVA	12 kVA	15 kVA	21 kVA
Charge maximale	Jusqu'au court-circuit			
Charge asymétrique	Jusqu'à Pcont			
Détection de charge (Stand-by)	2 à 25 W			
Cos φ	0.1-1			
Rendement max.	93 %	94 %	96 %	
Puissance à vide OFF/Stand-by/ON	1.2 W / 1.4 W / 14 W	1.4 W / 1.8 W / 18 W	1.8 W / 2.2 W / 22 W	1.8 W / 2.4 W / 30 W
Tension de sortie	Sinus pur 230 Vac (± 2 %) / 120 Vac ⁽¹⁾			
Fréquence de sortie	Réglable 45 - 65 Hz ⁽¹⁾ ± 0.05 % (contrôlée par quartz)			
Distorsion harmonique	< 2 %			
Protection de surcharge et de court-circuit	Déconnection automatique puis 3 essais de démarrage			
Protection de surchauffe	Alarme avant coupure et redémarrage autom.			

Les chargeurs de batterie sont des régulateurs solaires **MPPT VT-80**, garantis 10 ans, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Puissance solaire maximum STC en 48V : 5000W
- Rendement : > 99%
- Courant de sortie maximal : 80A





Modèle	VT-65			VT-80		
Performance de l'appareil						
Rendement de conversion maximum (Dans un système typique de 48V)	>99%					
Rendement MPPT	>99%					
Détection de mise à terre	Programmable					
Étages de charge	4 étapes : Bulk, Absorption, Maintien, Égalisation					
Compensation de temp. batterie (disponible avec accessoire BTS-01)	-3mV/°C/cellule (réf. à 25°C) Valeur de défaut réglable entre -8 et 0 mV/°C					
Consommation max. en Stand-by (48V)	25 mA < 1,2 W					
Consommation max. en Stand-by (24 V)	30 mA < 0.8 W					
Consommation max. en Stand-by (12 V)	35 mA < 0.5 W					
Caractéristiques électriques côté champ PV						
Tension nominale de la batterie	12 Vdc	24 Vdc	48 Vdc	12 Vdc	24 Vdc	48 Vdc
Puissance solaire maximum recommandée (@STC)	1000 W	2000 W	4000 W	1250 W	2500 W	5000 W
Tension de circuit ouvert maximum (Voc)	80 Vdc	150 Vdc	80 Vdc	150 Vdc		
Tension de fonctionnement maximum	75 Vdc	145 Vdc	75 Vdc	145 Vdc		
Tension solaire min. de fonctionnement	Au dessus de la tension de la batterie					
Tension nominale de la batterie						
Courant de sortie maximal	65 A			80 A		
Tension nominale de la batterie	12, 24 ou 48Vdc					
Plage de tension	7-68 Vdc					
Sonde de temp. de batterie (opt.)	BTS-01 or BSP 500/1200					
Possibilités de mise à terre de la batterie	Batt +, Batt -, flottant					

L'onduleur string retenu est un Fronius de la gamme Primo, respectivement un 5.0 pour le scénario C et un 4.6 pour le scénario D, dotés d'une garantie de 5 ans extensible jusqu'à 20 ans :



- PV Max (4.6 / 5.0) : 6.9 / 7.5 kWc.
- Rendement : 97.1 %
- Puissance nominale AC (4.6 / 5.0) : **4600 / 5000W**



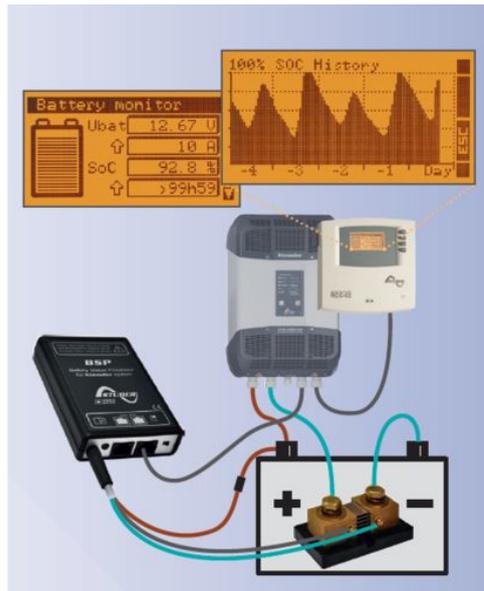
DONNÉES D'ENTRÉE	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Courant d'entrée max. ($I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$)			12.0 A / 12.0 A		
Courant de court-circuit max. du champ de modules (MPP ₁ /MPP ₂)			18.0 A / 18.0 A		
Tension d'entrée min. ($U_{dc\ min}$)			80 V		
Tension de démarrage d'injection ($U_{dc\ start}$)			80 V		
Tension d'entrée nominale ($U_{dc,r}$)			710 V		
Tension d'entrée max. ($U_{dc\ max}$)			1 000 V		
Plage de tension MPP ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)		200 - 800 V		210 - 800 V	240 - 800 V
Nombre de trackers MPP			2		
Nombre de connecteurs DC			2 + 2		
Max. puissance crête générateur PV ($P_{dc\ max}$)	4.5 kWc	5.3 kWc	5.5 kWc	6.0 kWc	6.9 kWc
DONNÉES DE SORTIE	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Puissance de sortie nominale AC ($P_{ac,r}$)	3 000 W	3 500 W	3 680 W	4 000 W	4 600 W
Puissance de sortie max.	3 000 VA	3 500 VA	3 680 VA	4 000 VA	4 600 VA
Courant de sortie AC ($I_{ac\ nom}$)	13.0 A	15.2 A	16.0 A	17.4 A	20.0 A
Couplage au réseau (plage de tension)	1-NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)				
Fréquence (plage de fréquence)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Taux de distorsion harmonique	< 5 %				
Facteur de puissance ($\cos\ \varphi_{ac,r}$)	0.85 - 1 ind. / cap.				

Nous intégrons également un moniteur de batterie (BSP-1200), ainsi qu'une télécommande de supervision système RCC-02 et un module d'accès à distance XCOM LAN permettant le suivi du système et le dépannage à distance du client si besoin. La



XCOM LAN permet en effet un paramétrage total du système à partir de l'interface web Studer XCOM Connect.





5.1 Ventilation des coûts systèmes :

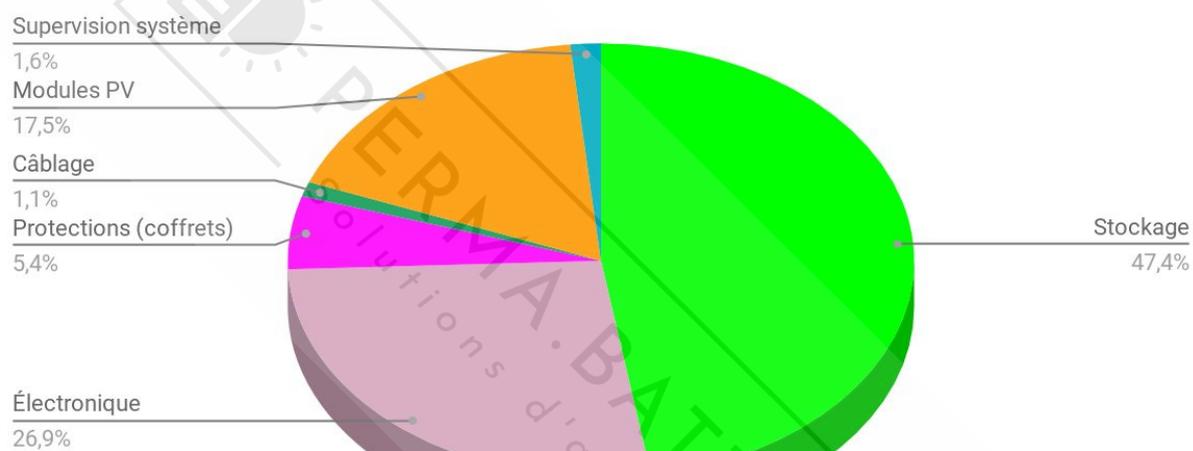
Les coûts du **système variante C** se décomposent ainsi (hors coûts liés à la main d'oeuvre / installation et aux systèmes de fixation pour une pose en toiture ISB / surimposition ou structure sol) :

En € (Hors Taxes)	Quantité	Prix unitaire (HT)	Prix total (HT)
NIFE 1200AH-48V	39	555	21645
XTH 8000-48	2	4886	9772
Variotrack VT-80	2	635	1270
Fronius Primo 5.0	1	1250	1250
Coffret DC ENWITEC protection batterie BAT-FUSE UTE C-15-712-2	1	800	800
QCELLS Q.PEAK-G4.1 305W	50	160	8000



Coffret BJP DC 4x strings UTE	2	700	1400
Coffret AC-OUT 12 kVA UTE	1	280	280
RCC-02 / BSP-500 / XCOM	1	716	716
Câblage divers		495.2	495
TOTAL (€, HT)			45628

Répartition des coûts du système C

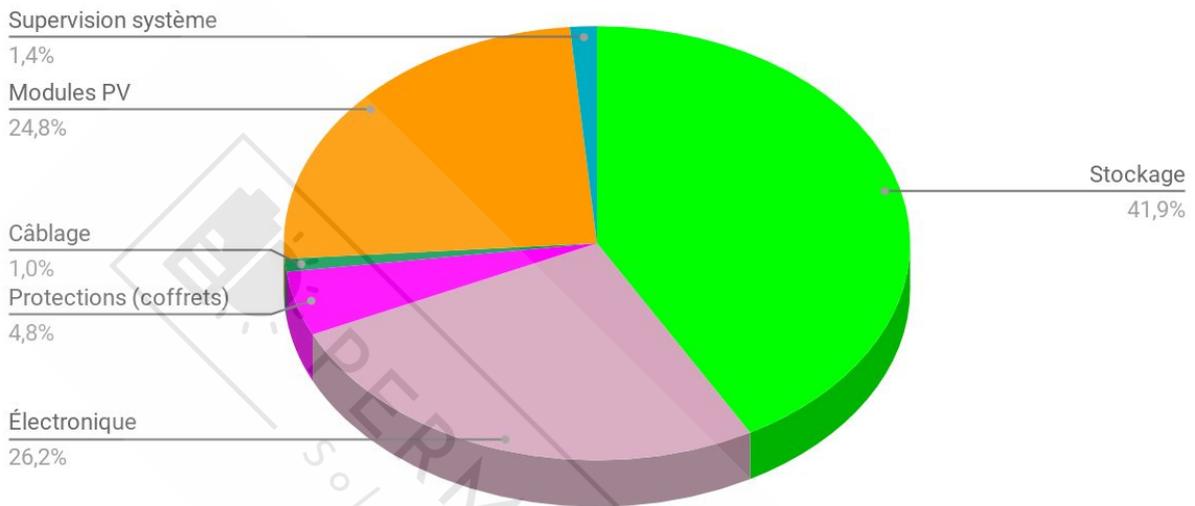


Les coûts du **système variante D** se décomposent ainsi (hors coûts liés à la main d'oeuvre / installation et aux systèmes de fixation pour une pose en toiture ISB / surimposition ou structure sol) :

En € (Hors Taxes)	Quantité	Prix unitaire (HT)	Prix total (HT)
NIFE 1200AH-48V	39	555	21645
XTH 8000-48	2	4886	9772
Variotrack VT-80	4	635	2540
Fronius Primo 4.6	1	1250	1250
Coffret DC ENWITEC protection batterie BAT-FUSE UTE C-15-712-2	1	800	800
QCELLS Q.PEAK-G4.1 305W	80	160	12800
Coffret BJP DC 4x strings UTE	1	950	950
Coffret AC-OUT 12 kVA UTE	1	280	280
Coffret BJP 1x string UTE	2	700	1400
RCC-02 / BSP-500 / XCOM	1	716	716
Câblage divers		495	495
TOTAL			52648



Répartition des coûts du système D



5.2 Simulation & résultats Scénario C & D:

Pour le scénario C, nous dimensionnons avec un onduleur PV string alimenté par **18x modules, soit 5490Wc.**



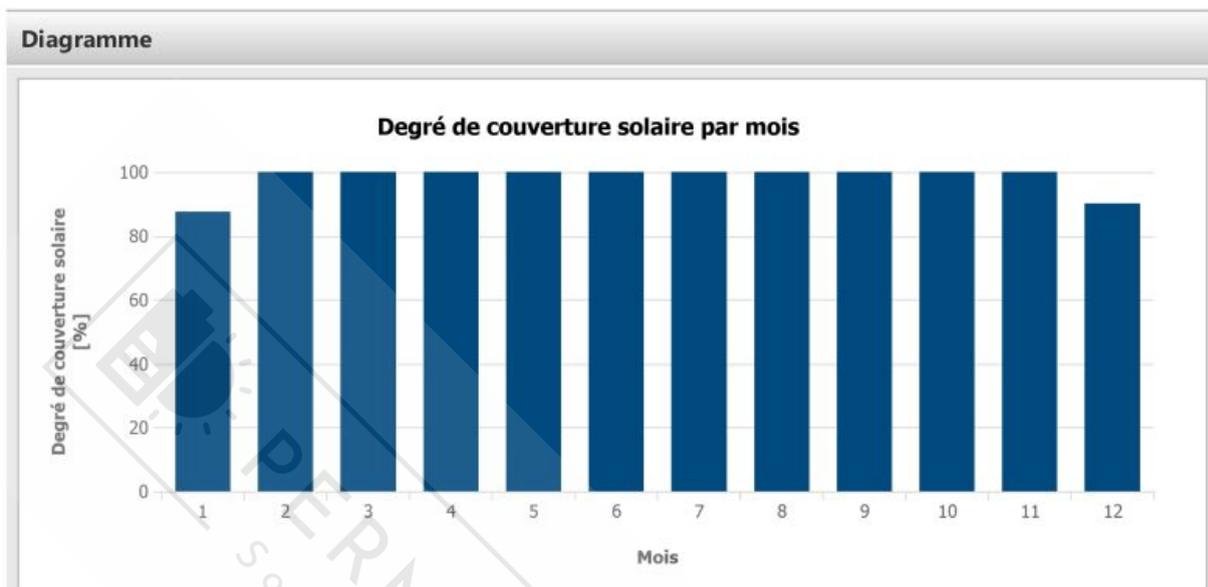


Vérification du dimensionnement des onduleurs. (PVSOL)

Vérification de la qualité du raccordement sur les trackers MPP1 et 2 (PVSOL).



La capacité batterie importante permet d'augmenter le taux de couverture solaire à l'année, qui monte à plus de **97%**.



Le degré élevé de couverture solaire permet en outre de diminuer la consommation du groupe annuelle, qui ne génère plus que **137 kWh sur Décembre et Janvier** (soit 2.7% de l'énergie consommée à l'année) et de garantir une autonomie de 3 jours sur batteries.

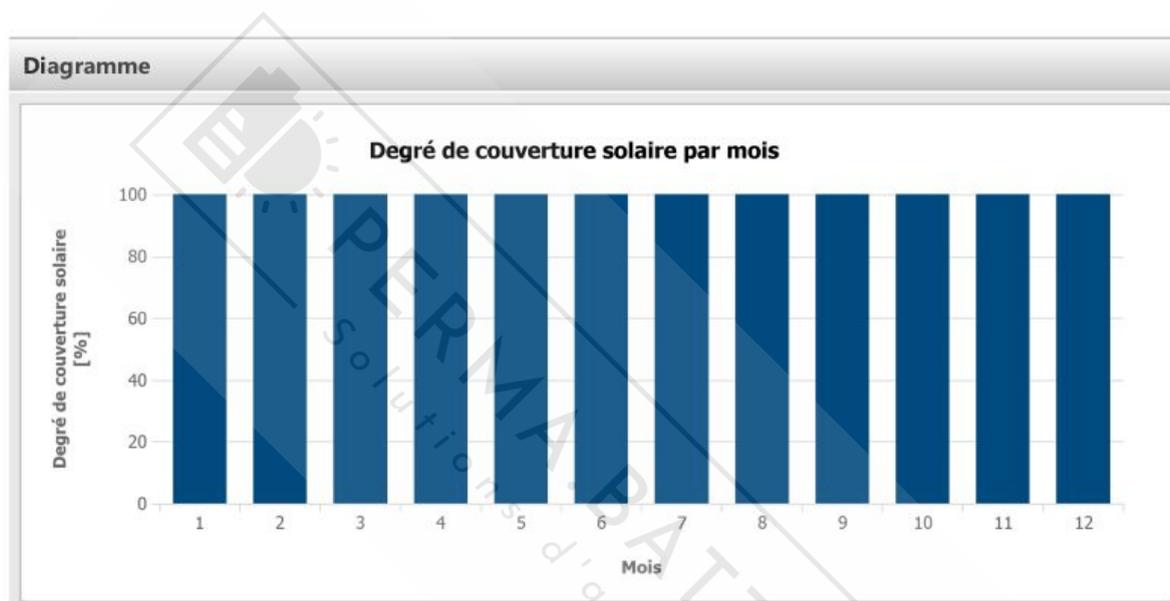
Synthèse SCÉNARIO C :

Coûts de carburant à l'année*	Conso. combustible	Energie du générateur PV	Rendement annuel spécifique	Taux de couverture solaire	Coût COE*	Coefficient PR*	Emissions CO2 évitées / an
53.20 €	38 L	6076 kWh / an	1400 kWh / kWc	97,8%	0.49 €	90.3 %	3348 Kg



Pour le scénario D, nous dimensionnons avec un onduleur PV string alimenté par **16x modules, soit 4480Wc**. Le reste du champ solaire, composé de 64 modules, sera relié via 4x régulateurs MPPT VT-80 aux batteries via le bus DC.

Il est évident qu'avec une puissance PV de 25 kWc, correspondant à la production en une journée en Hiver des besoins du site sur 3 jours, le taux de couverture solaire est virtuellement de 100%, quel que soit le mois de l'année.



Un tel degré de couverture solaire permet de s'affranchir théoriquement d'un groupe électrogène. Dans les faits, il reste judicieux, compte tenu de la configuration du site, de s'équiper d'un groupe de taille plus réduite, afin de faire face à des aléas météorologiques qui ne peuvent être pris en compte dans les simulations. Le client pourra se contenter d'un groupe moins onéreux essence (SDMO TECHNIC 6500 par exemple), dont le coût avoisine les 2000 €.



Synthèse SCÉNARIO D :

Coûts de carburant à l'année*	Conso. combustible	Energie du générateur PV	Rendement annuel spécifique	Taux de couverture solaire	Coût COE*	Coefficient PR*	Emissions CO2 évitées / an
0€	0L	6145 kWh / an	1400 kWh / kWc	100%	0.48 €	91.8 %	4450 Kg

Synthèse et conclusion :

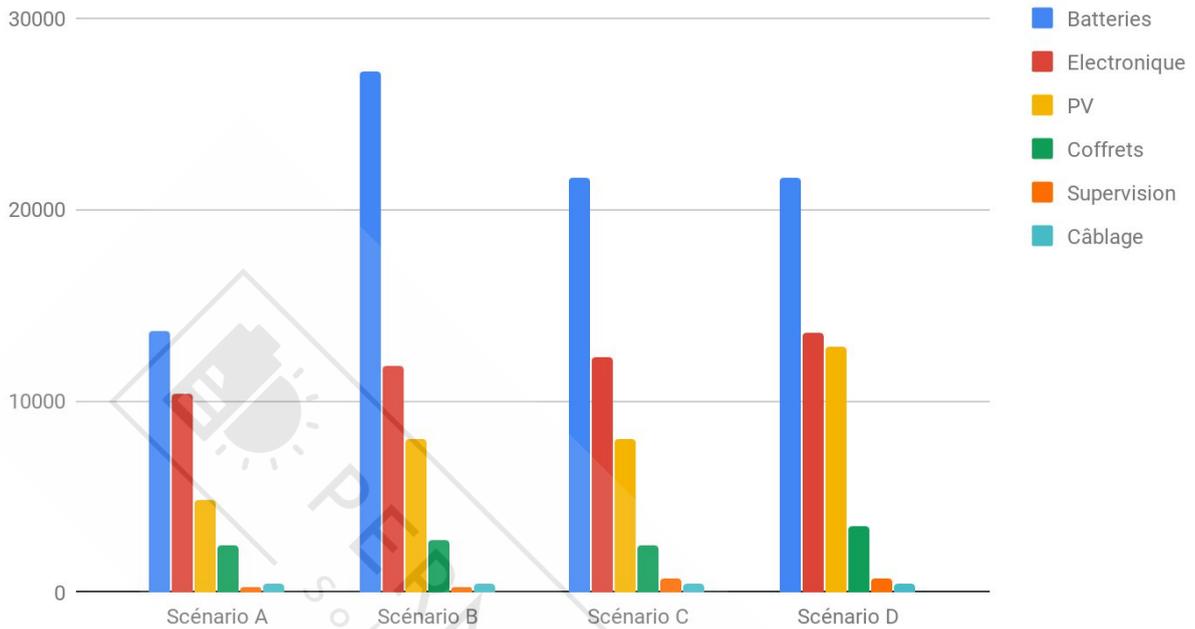
Le tableau ci-contre reprend les résultats de performance des différents scénarios étudiés :

Type de stockage	Scénario	Coûts carburant à l'année*	Conso. combustible	Energie du générateur PV	Taux de couverture solaire	COE*	Coefficient PR*	Emissions CO2 évitées / an
TESVOLT	A	846.31 €	605 L	4659 kWh / an	83,9 %	0.56 €	90,7 %	2403 Kg
TESVOLT	A+ (rajout ultérieur de 3x modules)	483.48 €	345 L	5106 kWh / an	90,8 %	0.57 €	90,7 %	2629 Kg
TESVOLT	B	292,89 €	209 L	5300 kWh / an	94,3%	0.51 €	91,5 %	2748 Kg
NI-FE	C	53.20 €	38 L	6076 kWh / an	97,8%	0.49 €	90.3 %	3348 Kg
NI-FE	D	0€	0L	6145 kWh / an	100%	0.48 €	91.8 %	4450 Kg



L'analyse détaillée des coûts d'acquisition de chaque système est présentée dans le tableau ci-contre :

Analyse comparative des coûts systèmes



Nous reprenons les critères technico-économiques listés en début d'étude afin de classer les scénarios en fonction des 4 critères qui sont le coût amorti du kWh (COE), le coût total du système à l'acquisition, le coût en entretien et maintenance, l'autosuffisance du site par rapport au générateur, et le taux de disponibilité système.

- **Coût amorti du kWh** sur la durée de vie totale du système ("Cost of Energy")
- **Coût total du système** à l'acquisition.
- **Autosuffisance** du site par rapport au générateur
- **Taux de disponibilité / robustesse** système (ie : *redondance des points de défaillances potentiels*)



Scénario	COE (€ / kWh)	Coût à l'acquisition (€, TTC)	Taux d'auto-suffisance	Robustesse système*
A (TESVOLT)	0.56	36 282,62	83,9%	Moyenne
C (NIFE)	0.49	51 071,12	97,8%	Maximale
B (TESVOLT)	0.51	56 392,82	94,3%	Moyenne
D (NIFE)	0.48	58 922,12	100%	Maximale

Le critère de robustesse s'appuie surtout sur la topologie système retenue. En l'occurrence une configuration en couplage AC total (TESVOLT) présente des points de défaillances qui peuvent compromettre la continuité du système et l'alimentation des charges. A l'inverse les solutions Nickel-Fer sont intégrées dans une architecture mixte qui permet la redondance des composants, permettant ainsi de supprimer les points de défaillance unique. En outre la chimie nickel-fer est reconnue comme étant la plus durable et la plus robuste.

Bien que le **scénario A reste le moins onéreux**, son COE est le plus élevé et affiche un taux d'auto-suffisance qui devra être compensé par une utilisation intensive d'un générateur durant la période hivernale. La batterie sera également sollicitée à pleine capacité de cyclage, ce qui ne permet pas d'optimiser sa durée de vie sur le long terme. C'est donc un scénario viable dans une perspective d'ajout ultérieur de capacité de stockage (3x modules TS 4.8 kWh supplémentaires), afin de pouvoir composer avec des contraintes budgétaires éventuelles et de répartir les coûts en deux temps.

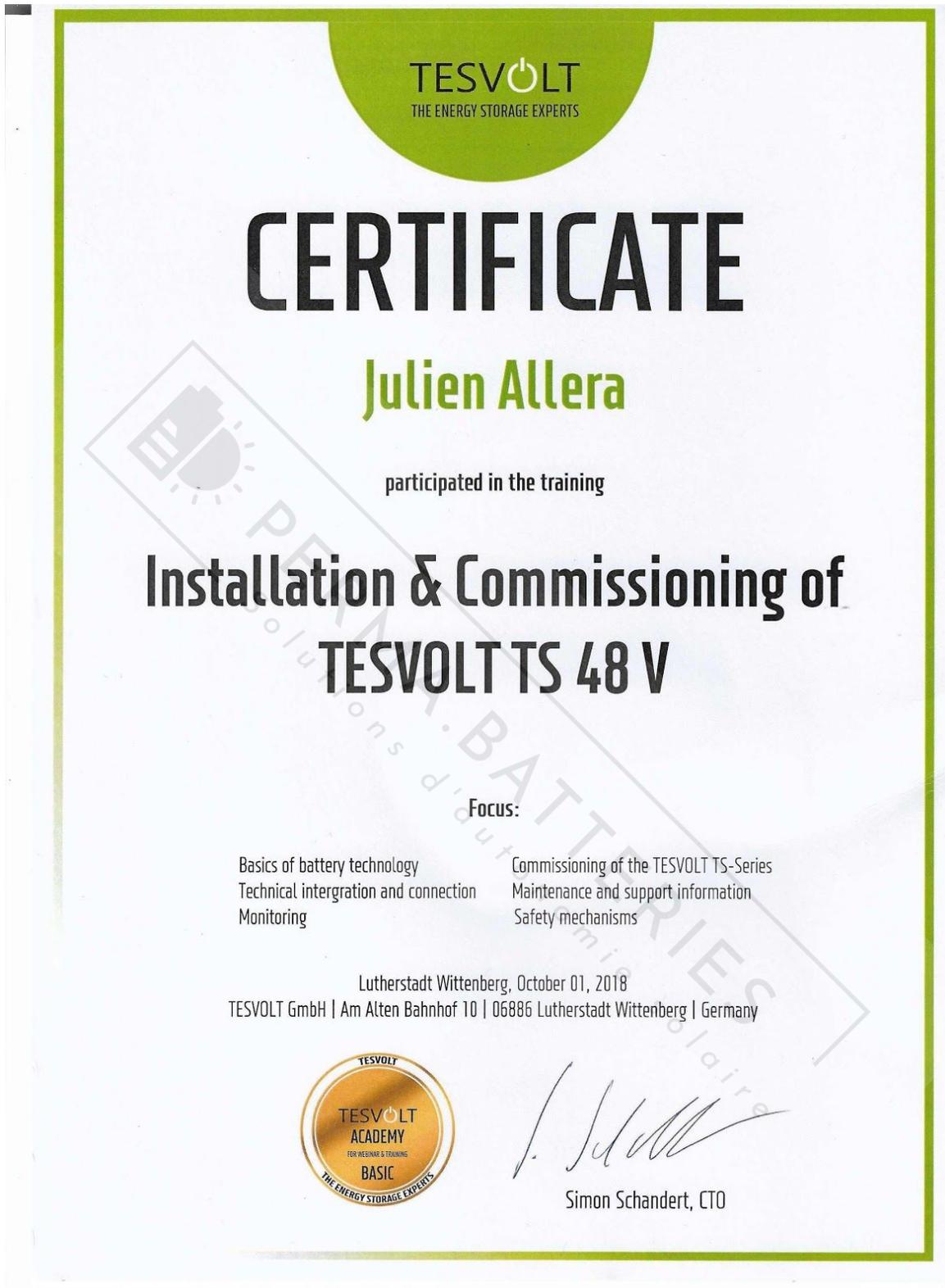
Le scénario B affiche des bonnes performances et un taux d'auto-suffisance élevé. C'est une configuration idéale si l'on souhaite s'orienter vers une solution TESVOLT, qui présente certains avantages techniques uniques que nous avons détaillés à travers cette étude (hautes performances en charge/décharge, faible emprise au sol, poids réduit, zéro maintenance). Dans la mesure où les exigences du client sont en adéquation avec les caractéristiques énumérées, la solution TESVOLT reste pertinente.

L'avantage des scénarios C & D repose essentiellement sur l'amélioration de la robustesse du système et le taux d'auto-suffisance du site. Le coût du système reste maîtrisé, car les batteries Nickel-Fer sont approximativement 2x moins coûteuses que les TESVOLT (~ 400-500 € du kWh contre 900-1000 €), ce qui permet de dimensionner non seulement 25 kWc de



modules solaires, mais aussi un parc conséquent de 1200Ah sous 48V, pour disposer de plus de 57 kWh de capacité de stockage. Une telle capacité permet d'assurer 3 jours d'autonomie en Hiver, tout en permettant en été l'auto-consommation en journée via le couplage AC du champ PV, allant jusqu'à plusieurs dizaines de kWh d'énergie en surplus. Cela permettrait l'utilisation d'une PAC, de bornes de recharges de véhicules électriques, etc...

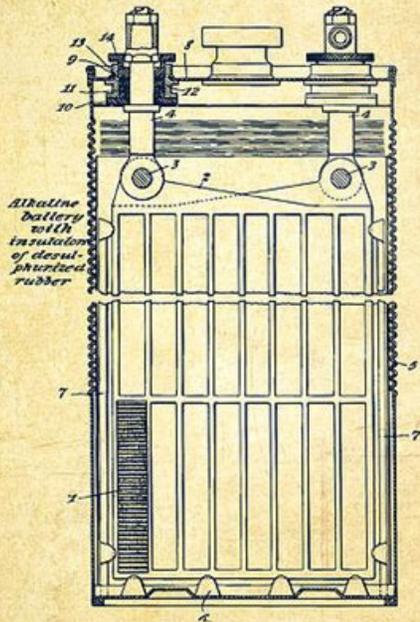






ALKALINE BATTERY

THOMAS A. EDISON
PATENTED JULY, 31, 1906
NO. 827,297



WITNESSES:
J. Frank D. Lewis
Otto Holden

INVENTOR
Thomas A. Edison
BY
Grant T. Am
ATTORNEY

Batterie Nickel-Fer Pourquoi & comment ?

La durabilité comme priorité.

Nous sommes spécialistes
en solutions de stockage
énergétique à très longue
durée de vie.



Tél : 0033 (0)9 72 62 84 21
contact@perma-batteries.com
www.perma-batteries.com

SASU PBA
SIRET 83794895900015
6 Mas de Baffol, 46310 ST-CHAMARAND



Nos batteries
en service

La société Perma-Batteries est la seule en France à proposer des solutions d'indépendance énergétique intégrant des batteries durables Nickel-Fer.

Nous proposons des batteries Ni-Fe, ainsi que des systèmes complets (panneaux & électronique), afin de pouvoir fournir des solutions matérielles cohérentes, économiquement rationnelles, et à la durée de vie maximisée.

Une batterie qui dure une vie

Jamais égalées pour leur robustesse et leur longévité depuis leur invention en 1901 par Thomas Edison & W. Jungner, elles tombèrent cependant en désuétude dans les années 1970, détrônées par le plomb, meilleur marché,

La longévité exceptionnelle des batteries NiFe s'explique chimiquement. La dégradation structurelle des éléments qui la compose (électrode de Fer et électrode de Nickel) est évitée grâce à un électrolyte alcalin qui n'attaque pas les métaux, permettant ainsi une durée de vie de plusieurs décennies et un fonctionnement robuste.

Un système pérenne

Le CTP ("Coût Total de Possession") est un critère important car il permet d'évaluer le coût réel d'un parc batterie. Il inclut le prix d'achat initial, les coûts d'entretien (préventifs et correctifs), les coûts d'exploitation et les frais de remplacement éventuels. Les batteries Ni-Fe sont les seules sur le marché à posséder une durée de vie alignée sur celle des panneaux solaires (> 30 ans), permettant ainsi une maîtrise totale des coûts liés à l'exploitation d'un système solaire.

NOTRE GAMME

Notre large gamme d'équipements rigoureusement sélectionnés, à la pointe du marché, couvrant la production et le stockage mais aussi la conversion d'énergie, nous permet de mettre au point des systèmes à hautes performances et longue durée de vie pour répondre à des applications variées (sites isolés, micro-grids, auto-consommation optimisée).

Batteries	Panneaux
NICKEL-FER ENCELL AHI SODIUM TESVOLT LECLANCHE FORTELION	SUNPOWER LG PANASONIC SHARP QCELLS
Onduleurs batteries	Onduleurs
STUDER INNOTECH VICTRON SCHNEIDER FRONIUS SMA	SMA KACO KOSTAL ENPHASE ABB SOLAREEDGE

*Listing non exhaustif.

NOTRE APPROCHE

Étude préalable

Quel besoin énergétique ?
Définition d'un profil de charge.

Choix techniques

Sélection du matériel adapté (capacité batterie, puissance PV, etc...)
Choix de l'architecture système (AC ou DC couplage)

Dimensionnement

Optimisation des composants en fonction des besoins du client (degré d'autonomie souhaité, localisation, etc...)

Validation

Simulation logicielle des données du projet.
Analyse des variables (rendement, coût amorti au kWh...)

Dossier technique

Schéma unifilaire.
Protections électriques DC/AC normes UTE.
Notice de montage.

Une solution optimisée et adaptée aux besoins.