

RAPPORT D'AUDIT

Diagnostic & préconisations

Nature du système :

Champ solaire de 60x modules de 300W STC, en configuration MLPE triphasé en couplage AC sur un parc batterie lithium-ion avec onduleurs-chargeurs Victron, à visée d'optimisation de l'autoconsommation avec contrat de réinjection OA.



Commanditaire	Client final	Lieu
Mr FOURNIER / SASU POSS ELEC	Mr. PREZIOSO Edouard	1005 rue de Mordant 38370 SAINT CLAIR DU RHONE

Date	Référence	Révision	Auteur
03/11/2020	POSS16124	1.0	Julien ALLERA

PERMA-BATTERIES – Solutions d'autonomie électro-énergétique

6 Mas de Baffol
46310 ST-CHAMARAND
SASU au capital de 3000 €
RCS n° 837 948 959 CAHORS

Tél : 09-77-55-22-77
contact@perma-batteries.com
www.perma-batteries.com



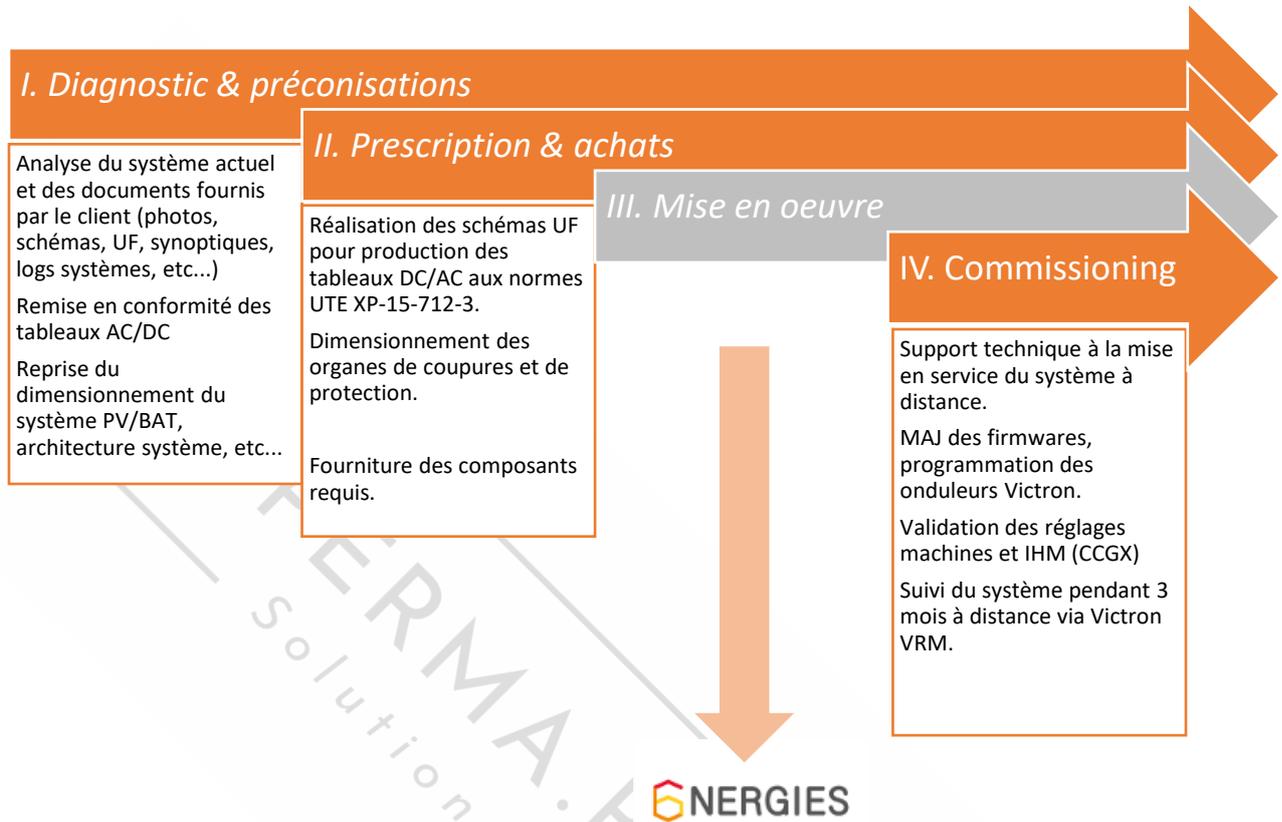
TABLE DES MATIERES

Objet de l'offre & cadrage du projet	I
Description du système	1.1
Eléments fournis	1.2
Objectifs & finalité.....	1.3
Etat actuel	II
Architecture du système / SLT	2.1
Conversion AC/DC	2.2
Stockage	2.3
Protections	2.4
Supervision & acquisition.....	2.5
Analyse	III
Champ PV	3.1
Architecture du système	3.2
Conversion AC/DC	3.3
Stockage	3.4
Protections	3.5
Divers (programmation, contrôle)	3.6
Conclusion	IV
Annexes	V

I. Objet de l'offre & cadrage projet :

Nous avons été mandaté par Mr FOURNIER Bertrand, par l'intermédiaire de sa société POSS ELEC, pour le compte de son client final Mr. PREZIOSO, afin d'établir au travers de cet audit à distance la prescription des différents postes nécessaires à la remise en l'état post-sinistre du système du client, en respectant les règles de l'art au niveau non seulement du dimensionnement des composants (capacité batterie, onduleur, champ PV) mais aussi au niveau des organes de coupure et de protection AC/DC, aux normes UTE C-15-100 / C-15-712 applicables.

Sous réserve de l'avancement du projet, nous serons également en mesure d'accompagner POSS ELEC sur les deux autres phases, à savoir l'étape « II. PRESCRIPTION » et l'étape « IV. COMMISSIONING ». La phase exécutoire (« III. MISE EN ŒUVRE ») sera à sous-traiter à l'entreprise 6ENERGIES avec laquelle nous pourrions collaborer, et qui sera en mesure d'effectuer l'ensemble des travaux électriques. Ces étapes auront comme finalité de livrer un système solaire hybride conforme aux exigences opérationnelles du client final. Les différentes phases du projet se décomposent ainsi :



Compte tenu du fait que nous intervenons uniquement à distance pour les prestations susmentionnées, et que nous n'avons pas vocation à effectuer de travaux électriques ni de diagnostic sur place, nous avons convenu d'une collaboration avec l'entreprise 6NERGIES, représentée par Luc Pasquier. La société 6NERGIES sera à même de prendre en charge toute la partie exécution, et de procéder ainsi à l'installation des divers éléments qu'ils fourniront au client final (tableaux électriques, onduleurs, batteries, etc..), soit par notre intermédiaire, soit en achat direct conformément à nos prescriptions. De même 6NERGIES sera en mesure d'intervenir pour le commissioning, avec notre appui à distance, via l'accès à la plateforme VRM Victron (une connexion internet sera obligatoire), Teamviewer et si besoin en visioconférence.

Il est précisé que le système n'a jamais été remis sous tension suite au sinistre (incendie), nous n'avons de ce fait été en mesure d'effectuer un télédiagnostic via la plateforme Victron VRM, ni de télécharger les logs du système. Nous retiendrons donc à travers l'audit que les 3x batteries Pylontech sont fonctionnelles, tout comme le Color Control GX et les onduleurs Multiplus.

Par ailleurs notre champ de compétence se situant uniquement sur la partie **DCPV/BAT et AC en AMONT** du TGBT, nous ne serons pas en mesure d'effectuer un quelconque audit, diagnostic, ou remise en état du tableau électrique général du client. De même, nous ne sommes pas compétents sur la gestion et la configuration de l'EMS tiers du client, en l'occurrence une plateforme MyLight. Le coffret MyLight sera donc reconnecté au système en l'état, sans modifications, diagnostics, ou conseils apportés sur l'utilisation ou le bon paramétrage de ce dernier :

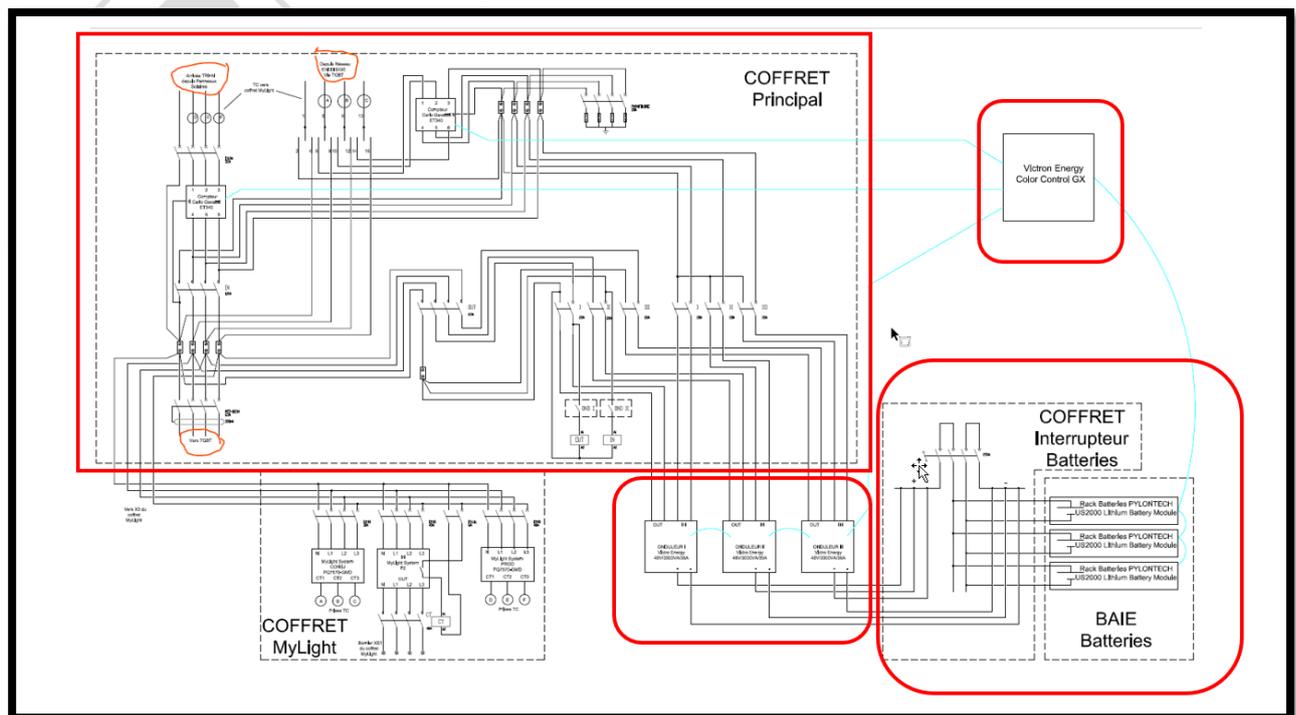


Fig. 1. Multifilaire du système fourni par le client. En rouge les éléments audités.

1.1 Description du système :

Le système du client est de type ESS, avec un champ PV en MO Enphase en couplage AC sur les entrées des onduleurs-chargeurs Multiplus, ainsi qu'un délestage sur certaines charges pilotables via l'EMS MyLight. Côté DC nous avons 3x onduleurs-chargeurs 48V connectés à 3x batteries LFP PYLONTECH US2000B. Voici ci-contre le synoptique de fonctionnement :

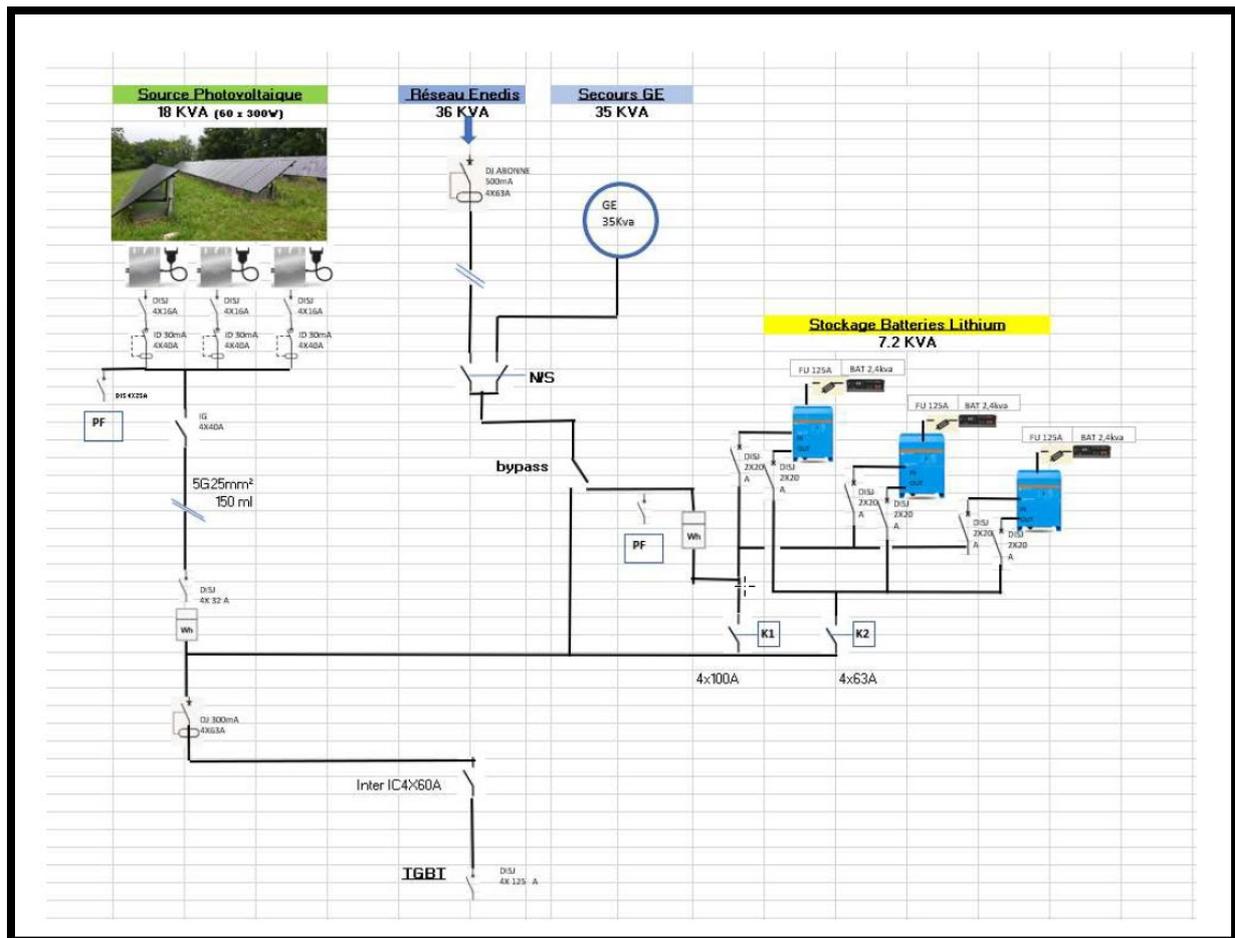


Fig.2. Synoptique du système actuel.

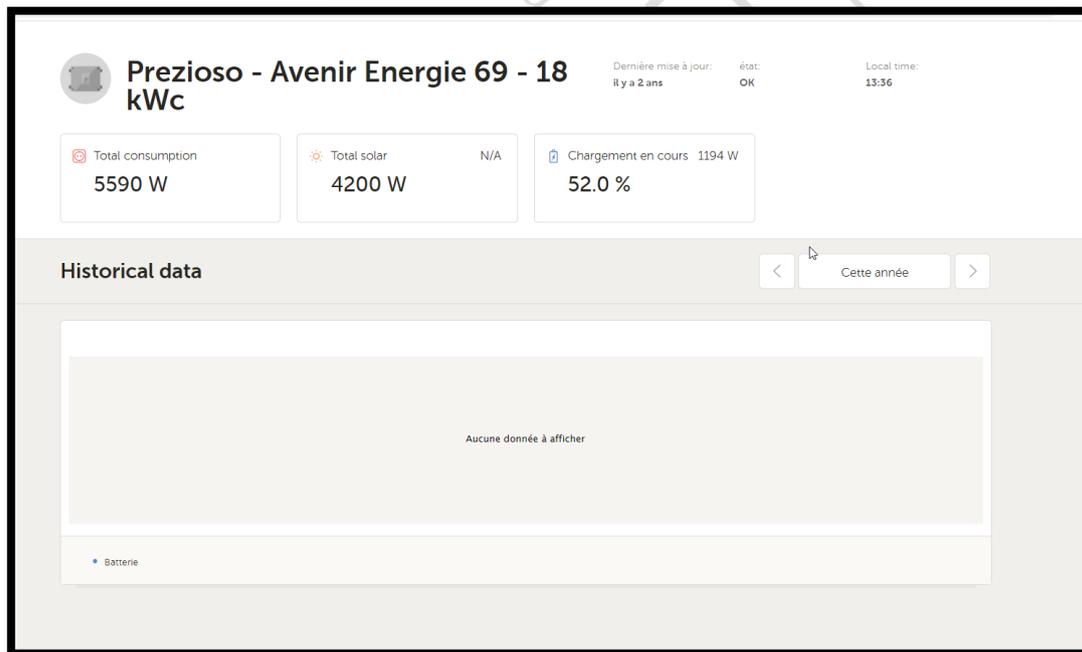
Il apparaît donc que le système avait pour but d'optimiser l'auto-consommation du client en journée, en stockant le surplus d'énergie produit par le champ PV sur les batteries, et de fournir également un mode secours du fait de son branchement en série sur le TGBT. Il y'avait également la possibilité d'interfacer les Multiplus à un générateur de secours de 35kva.

1.2 Eléments fournis :

Voici la liste des éléments fournis par POSS ELEC à ce jour, visibles en annexe du rapport.

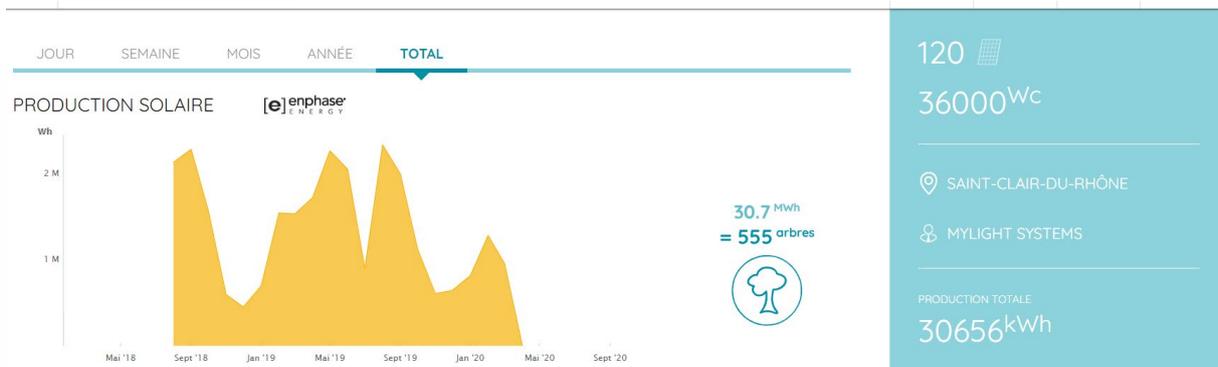
Type de document	Détails
Photos de l'installation	Coffret DCBAT, onduleurs, armoire batterie, champ PV, Coffret AC, micros Enphase, étiquette des modules PV,
Accès portail Victron VRM	Logins & mdp
Accès portail MyLight	Logins et mdp
Schémas, unifilaire, multifilaires	1x Synoptique de principe, 1x schéma multifilaire

Après connexion sur le VRM, nous n'avons pas été en mesure de récupérer les logs du système, la dernière mise à jour ayant été faite il y a 2 ans, et en l'absence de stockage local sur le Color Control GX (MicroSD ou Clef USB), les données n'ont pas pu être conservées. Cela implique donc que le système n'était pas connecté en permanence au portail VRM via la connexion internet du client, en RJ45 par défaut.



Extrait du portail VRM de l'installation.

En revanche le système MyLight mis en service en Septembre 2018 a enregistré les données de production du champ PV, le monitoring semble à priori fonctionner correctement jusqu'à la coupure intervenue au premier trimestre 2020. Notons que le calcul du champ solaire total à l'air erronée, $36000/300 = 120x$ modules, or le client n'en dispose que de 3x groupes de 20.



1.3 Objectifs & finalité :

Le client à travers ce rapport d'audit préliminaire, souhaite d'une part connaître le coût global de l'opération de remise en état de son système, et d'autre part retrouver la pleine fonctionnalité des différents éléments qui n'ont jamais fonctionné correctement (basculement en mode secours en cas de coupure réseau, optimisation de l'autoconsommation à travers les batteries), selon le rapport préliminaire effectué par POSS ELEC. Il apparaîtra effectivement à travers l'audit que le système souffre d'un dimensionnement inadéquate et d'une conception non adaptée, auquel il faudra remédier notamment par le changement de certains composants (onduleurs, coffrets, révision de l'architecture système, etc...).

II. Etat actuel :

Le système comporte les éléments suivants :

- Un champ solaire d'une puissance nominale de 18kVA, composé de 60x modules solaires monocristallins installés en plein-champ, de la marque **SYSTOVI (référence PS18300N06)**, connectés à des MLPE de type Enphase, modèle **M250-60-NLL**.



- **3x onduleurs-chargeurs Victron Multiplus-3000VA-48V-35-16**. Pnom par onduleur : 2400W, puissance du relais de transfert : 16A.



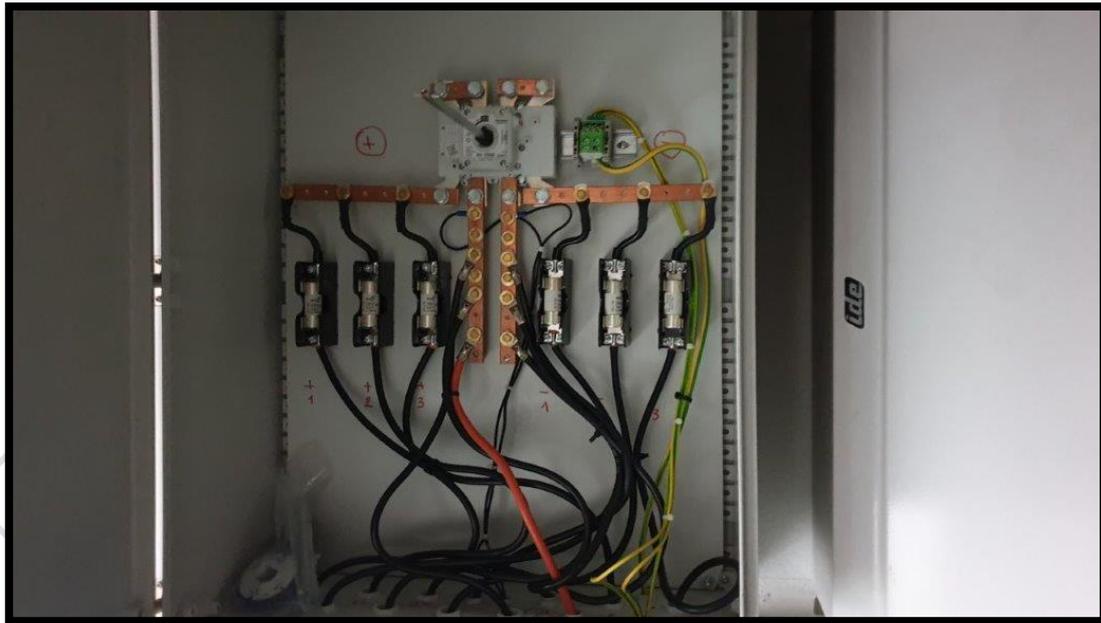
- **3x batteries LFP Pylontech US2000** d'une capacité nominale de 2.4 kWh sous 48V (50Ah).



- **Un IHM Color Control GX**, centrale de supervision et d'acquisition de données temps réel, ainsi que de paramétrage du système :



- **Un tableau DC** regroupant une protection par string de batterie omnipolaire en fusibles Gg 22x58 de calibre inconnu, ainsi qu'une coupure omnipolaire de calibre inconnu manœuvrable en façade.



- **Un tableau AC**, regroupant les répartiteurs tétra / DDR / disjoncteurs, ainsi que deux compteurs de mesure Gavazzi ET340 3ph connectés au CCGX (un pour la mesure de la production des Enphase, un deuxième pour la mesure en sortie de l'AGCP).



2.1 Architecture du système & SLT :

La conception du système est de type couplage AC via les micro-onduleurs Enphase, avec un branchement en série sur L1/L2/L3 des trois onduleurs-chargeurs Multiplus afin de pouvoir secourir l'ensemble du TGBT en cas de coupure de courant. Le régime de neutre est de type TT, l'abonnement du client est en triphasé, puissance souscrite de 36kVA, soit 60A par phase.

Nous n'avons pas connaissance du mode de rétablissement du SLT du système en cas de basculement en îlotage. Il est prévu que ce type d'onduleurs-chargeurs soit capable de fonctionner en régime TT, la mise en œuvre d'un joncteur de neutre étant interne aux Multiplus, ces derniers prévoient la connection du neutre à la terre sans chevauchement avec la mise à la terre du neutre en amont pour éviter tout déclenchement intempestif des DDR et assurer la protection des personnes. Dans le cas de plusieurs onduleurs fonctionnant en parallèle, la mise à la terre du neutre doit se faire en un seul point externe et commun aux onduleurs. Dans ce cas-là, le neutre sera fixé à la terre par le relais interne des Multiplus, rétablissant un régime TT en cas de coupure réseau.¹

En l'absence d'informations supplémentaires, nous retiendrons l'hypothèse que le relais de neutre interne des Multiplus est bien activé et permet le bon fonctionnement des DDR en cas d'îlotage.

2.2 Conversion AC/DC

La conversion AC/DC est assurée par 3x **Victron Multiplus-3000VA-48V-35-16**, Pnom de 2400W par phase, puissance de transfert de 16A. Il est à noter que ces **onduleurs ne disposent pas d'un relais de découplage VDE 0126-1-1 aux normes en vigueur (VFR2019)**. La version du firmware interne ainsi que des numéros de série des appareils n'ont pas été communiqués par le client. En outre nous ne sommes pas en mesure de savoir si les installateurs avaient préchargés un mode de fonctionnement type hybride (ESS, HUB3, programmation des relais K1/K2, démarrage automatisé d'un groupe par contact sec, etc...). Victron ayant mis en place le mode ESS fin 2016 au profit des modes Hub obsolètes, nous supposons que les installateurs ont chargés ce mode de fonctionnement qui aurait permis au client de bénéficier d'un fonctionnement hybride avec optimisation du taux d'autoconsommation, l'arbitrage des différents flux d'énergie étant fait par le module GX.

2.3 Stockage

La partie stockage est assurée par 3x batteries lithium-ion de type LiFePO4, **de marque Pylontech, modèle US2000**, délivrant 1200W en continu par unité (0.5C). Chaque module dispose d'une capacité nominale de 2.4 kWh, et de 2.2 kWh restituable (80% DOD), connectés en parallèle sur les bus-bar du coffret DCBAT. Les numéros de série des batteries ne sont pas communiqués, nous faisons remarquer au client qu'afin de pouvoir bénéficier d'une garantie de 10 ans (7+3), leur enregistrement en ligne est obligatoire à la mise en service, ce qui n'a probablement pas été effectué. Compte tenu de l'absence de données et d'accès live au VRM, nous n'avons été en mesure de consulter les variables internes remontées par le BMS (SOH, état des alarmes, etc...), et nous ne saurons donc nous prononcer sur leur état de fonctionnement sans remise sous tension.

2.4 Protections

Les organes de coupure et de protection coté DCBAT sont assurée par un coffret polyester comportant des bus-bar permettant la mise en parallèle des 3x batteries, ainsi que leur protection contre les sur-intensités et courts-circuits en cas de défaut via des socles fusibles sans IP. Les sections de câble de puissance ne sont pas communiquées par le client. La coupure omnipolaire est assurée par un INS 3P+N manœuvrable en façade de type Socomec/Telergon. Les caractéristiques de l'INS et des fusibles Gg (Icw, Icm, Ith) ne sont pas communiquées.

2.5 Divers (supervision & acquisition).

La centrale d'acquisition et de supervision est une **Victron Color Control GX**. Cette dernière étant au centre du système, elle était selon le synoptique connectée au BMS des Pylontech en CANBUS, mais aussi aux 3x Multiplus via VE.BUS et aux compteurs d'énergie Gavazzi ET340 via des câbles RS485-USB.

III. Analyse :

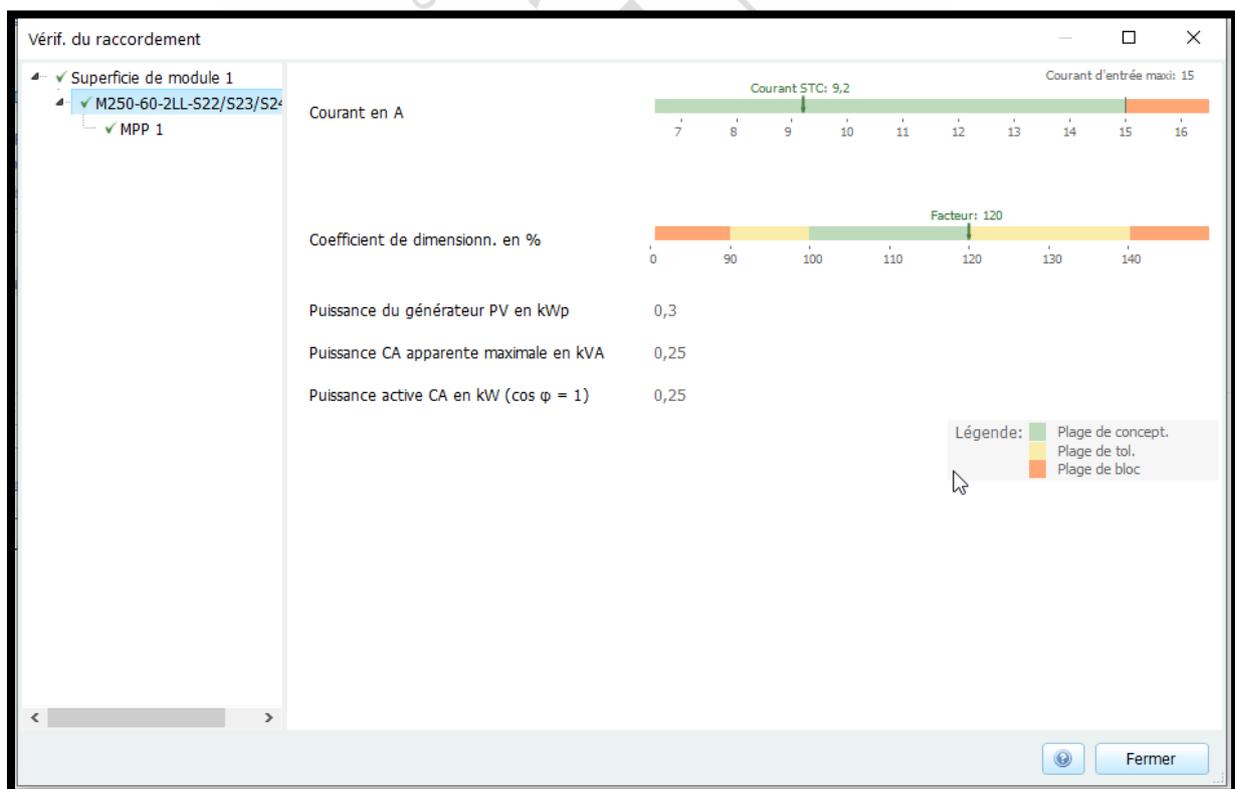
Compte tenu du fait que le système n'a pas été remis sous tension suite au sinistre, nous ne sommes pas en mesure d'affirmer le bon état de marche des différents composants, afin de déterminer si le client pourra en conserver certains à l'issue de la remise en état. Ces derniers devront donc être testés en les remettant sous tension sous notre supervision à distance, afin que nous puissions interroger notamment l'état de charge (SOC, SOH) des batteries lithium pour valider leur état, via l'interface VRM. De plus, l'absence de passerelle de supervision Enphase Envoy ne nous permettra pas d'obtenir un diagnostic individuel de chaque panneau solaire ni d'accéder à l'ensemble des possibilités de supervision offert par Enphase, mais la date de mise en service (2018) de ces derniers laisse supposer une absence de dysfonctionnement quelconque. Nous retenons donc pour ce rapport les hypothèses suivantes :

	Système Enphase	Color Control GX	3x US2000	3x Multiplus-3KVA
Etat à ce jour	Fonctionnel	Fonctionnel	Fonctionnel	Fonctionnel
Log système	N/A	N/A – stockage local inexistant – aucune donnée sur VRM	N/A – aucune donnée sur VRM	N/A – accès impossible via VRM.

3.1 Champ PV :

Le client possède un système solaire d'une puissance nominale de 18kVA, composé de 60x modules solaires monocristallins installés en plein-champ, de la marque SYSTOVI (référence PS18300N06), connectés à des MLPE de type Enphase, modèle M250-60-NLL. Nous avons procédé aux vérifications du dimensionnement sous PVSOL, qui apparaît comme correct, avec un coefficient de de 120%. Dès lors, le changement de la topologie du champ solaire en MLPE vers un onduleur centralisé type Fronius Symo que nous avons évoquée lors de nos premiers échanges avec POSS ELEC paraît injustifiée, les modules Enphase pouvant être utilisés en couplage AC-OUT sur les onduleurs-chargeurs en fonctionnement normal (réseau en AC-IN), ces derniers pouvant alors réinjectant le surplus de courant vers le réseau.

En revanche en fonctionnement en îlotage avec présence du générateur, les MO doivent *impérativement être découplés du système pour éviter un retour de courant vers le générateur.*ⁱⁱ Cette manœuvre pourra être automatisée via un contacteur de puissance programmé qui sera actionné par les Quattro lorsque le générateur sera enclenché et que la perte du réseau sera détectée. Le synoptique actuel ne prévoit pas de protection de ce type, qui devra donc être rajoutée au système.



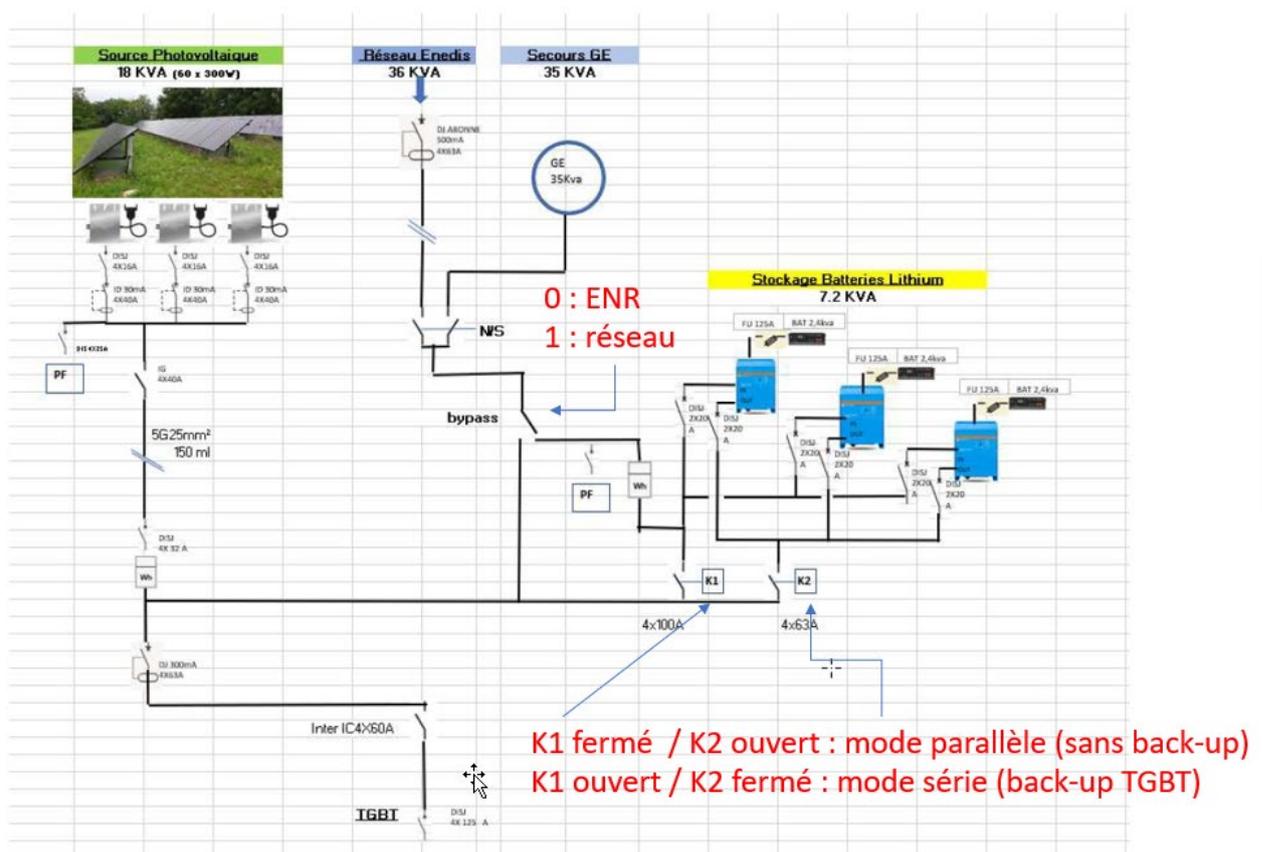
3.2 Topologie du système :

Les synoptiques ainsi que le multifilaire fournis révèle des incohérences techniques quant au câblage des éléments et de la topologie retenue. Nous rappelons que dans le cadre d'une utilisation en hybride avec des onduleurs Victron, deux options s'offrent à l'utilisateur/installateur :

- **Câblage en parallèle du TGBT**, avec AC-IN en AVAL TGBT, ACOUT1 en back-up UPS, et ACOUT2 en délestage uniquement si ACIN présent. Ce type de montage est préconisé en cas de forte puissance amont (bridée par le relais de transfert), et/ou lorsque le client ne souhaite protéger qu'une partie de ses consommateurs. Ce type de montage nécessite en outre un smart meter de type EM24/ET112 Gavazzi en amont afin de mesurer la puissance prélevée/injectée à l'instant T par le système.
- **Câblage en série du TGBT**, avec AC-IN en AMONT TGBT, connecté sur l'AGCP, avec l'ensemble des charges prise en back-up via ACOUT1. La sortie ACOUT2 n'est sous tension uniquement en présence réseau/gen ou selon conditions programmables. Il n'y a pas besoin de compteur externe de type Gavazzi, car tout le courant transite par les onduleurs.

Il conviendra donc de préciser le branchement décrit dans les schémas fournis afin de savoir si les Multiplus sont connectés en sortie sur l'**ACOUT1, secourue, ou sur l'ACOUT2, délestée**. POSS ELEC n'ayant fourni cette information la jusqu'à présent (cela nécessite le démontage du capot des Multiplus), **nous retiendrons par défaut l'hypothèse du branchement en ACOUT1.**

Le synoptique (Fig.2) décrit plusieurs modes de fonctionnement possibles, détaillés ci-contre :



- **Avec le bypass enclenché en position Réseau (position 0)**, on shunt complètement le système hybride afin de rester connecter au réseau. Le champ PV réinjecte vers le réseau et/ou vers les consommateurs de l'habitation.
- **Avec le bypass enclenché en position ENR (position 1)**, le système bascule sur un branchement **en série ou en parallèle**, en fonction de la position des contacts K1 et K2. Avec K1 fermé et K2 ouvert, le système bascule en fonctionnement parallèle sans back-up du TGBT (puisque la ligne ACOUT est ouverte par K2), avec autoconsommation en journée depuis PV et/ou batteries. Avec K1 ouvert et K2 fermé, on bascule en mode série avec un back-up du TGBT, avec le réseau en amont le cas échéant, et en mode îlotage en cas de coupure ENEDIS. Ce type de mode implique nécessairement le transfert aval de toute la puissance compteur à travers le relai des Multiplus, soit 60A par onduleur (36kVA) en AC-IN, dans le but d'alimenter les consommateurs et/ou de recharger les batteries. Or chaque Multiplus dispose d'une puissance de transfert de **seulement 16A**, ce qui ne permettrait pas de fournir potentiellement toute la puissance appelée par le client et rendrait le système instable (puissance absorbée > Pnom des onduleurs → surcharge des onduleurs → coupure système). Par ailleurs dans le mode série, le champ PV se retrouve désormais couplé en ACOUT1, pouvant alimenter à nouveau les consommateurs, sans cyclage batterie, et pouvant aussi réinjecter sa production vers le réseau.
- **En cas de coupure réseau**, le client avait la possibilité de commuter entre RESEAU et GE (35kVA), auquel cas le groupe se synchroniserait avec les onduleurs Multiplus, la encore dans la limite de la puissance du relais de transfert, soit 16A par onduleur.

Problématiques afférentes ?

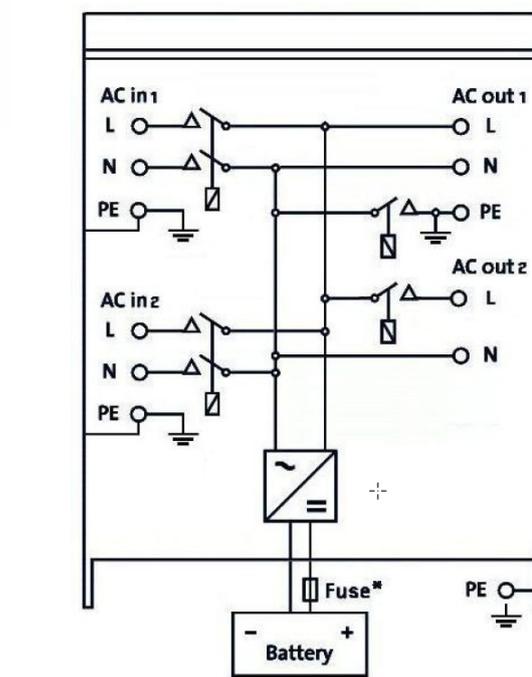
- **Le découplage VDE n'est pas respecté.** Avec un point de connexion au RPD, tout système solaire hybride doit faire l'objet d'un relai intégré ou externalisé de découplage type DIN VDE 0.126-1-1 aux normes VFR2019. ⁱⁱⁱLes onduleurs Multiplus de cette série-là ne disposent pas d'un tel relai, et les schémas communiqués ne font nul mention d'un relai externe sur la ligne principale.
- **La complexité de fonctionnement :** la présence de relais K1/K2 pilotés par les Multiplus, implique une programmation complexe des assistants, tout comme la manipulation de plusieurs inverseurs de sources, qui donnent lieu à des scénarisations complexes qui manquent de clarté pour un opérateur non aguerri. Les systèmes hybrides étant par nature complexe, les modes opératoires les plus directs et simples doivent être privilégiés pour assurer un fonctionnement fiable et compréhensible par les utilisateurs, mais aussi par les opérateurs qui en assureront la maintenance future.
- **La coupure des micro-onduleurs en cas de basculement en mode secours.** En effet, Enphase recommande la déconnexion des MO en cas d'îlotage pour éviter tout courant de retour vers

le groupe électrogène et aussi pour protéger directement les micro-onduleurs^{iv}. Le groupe électrogène se comportant comme générateur de tension, les Quattro ne peuvent donc plus assurer la modulation de fréquence pour limiter la puissance de sortie des MO.

- **En mode série avec back-up du TGBT, l'absence de sélectivité des consommateurs secourus peut également provoquer une instabilité système** voire un arrêt des Multiplus, comme expliqué précédemment, du fait de la limitation de la puissance batterie disponible, en cas d'appel de puissance trop important non géré par le client.

Solutions préconisées :

- **Remplacement des onduleurs-chargeurs par 3x Victron Quattro** dotés de deux entrées ACIN pouvant accueillir le GE et le réseau. Ainsi nul besoin d'avoir recours à un inverseur de source (sélection GEN/RESEAU) et le fonctionnement du système s'en trouve simplifié et automatisé.



Principe de fonctionnement d'un Quattro.

Les Quattro pourront ainsi fonctionner en présence du réseau en mode optimisation de l'autoconsommation en chargeant un mode ESS, via le cyclage batterie et le rechargement de celles-ci via le PV et/ou le réseau si nécessaire. En fonctionnement normal, le système sera synchronisé sur ACIN2 (grid), et nous disposons donc en sortie ACOUT2 les générateurs PV+BAT+GRID à pleine puissance, soit ~ 90A maximum théorique vers TGBT. (60A de transfert + 20A PV+10A BAT). En fonctionnement îlotage, les charges TGBT seront coupées, le démarrage du générateur pourra s'automatiser via un contact sec piloté par les Quattro dès que la perte de la ligne sera détectée, s'en

suivra la resynchronisation du système sur l'ACIN1, et le redémarrage des charges sur ACOUT2 qui pourront être alimentée par le générateur et les batteries (le champ Enphase devra être coupé en ilôtage).

- **Mise en place d'un boîtier de découplage VDE** en amont des 3x Quattro sur la ligne réseau, et ce afin de répondre aux normes UTE obligatoires.
- **Suppression des relais K1 et K2**, suppression de l'inverseur de source GE/GRID, et ce afin d'obtenir un système plus simple et plus lisible.
- **Rajout d'un contacteur de puissance permettant la coupure automatique du champ Enphase** en cas de basculement sur le générateur.
- **Rajout d'un inverseur de source général** permettant au client de bypasser entièrement le système hybride (Victron + batteries) en cas d'urgence (position 0 = réseau, position 1 = ENR).
- **Suppression du compteur Gavazzi ET340** qui était sur la ligne aval de l'AGCP.
- **Branchement en série du système**, grâce aux relais de transfert de puissance suffisante, permettant un mode de fonctionnement simplifié et automatisé via une reprogrammation des Quattro, sans commandes externes.

3.3 Conversion

Le choix des 3x onduleurs-chargeurs Quattro permet comme nous l'avons vu de simplifier l'architecture système en supprimant les inverseurs de source entre GE/GRID, mais aussi les contacteurs K1/K2, tout en permettant un transfert de toute la puissance des sources amont connectées, que soit le réseau (60A) ou le générateur que souhaite mettre en place POSS ELEC, d'une puissance de 45kVA (65A), grâce au **relais de transfert de 100A**.

Il est à noter qu'en cas de coupure ENEDIS, **les charges en ACOUT2 vers TGBT ne seront pas en mode UPS et le système n'assurera pas de continuité de service**, le temps du démarrage du groupe électrogène afin que ce dernier puisse réalimenter l'ACIN. Une fois cette étape effectuée, les Quattro réalimenteront les charges non secourues via ACOUT2.

Le client aura la possibilité toutefois d'utiliser la sortie non délestée, ACOUT1, en mode UPS, sous réserve d'y brancher des consommateurs triphasés ne **dépassant pas 10A** ($300\text{AH} \times 0.5\text{C} = 150 \times 48 = 7.2\text{kVA}/0.692$), ce qui correspond à la **puissance du bus DC en continue sur 6x batteries US2000B**.

Problématiques afférentes ?

- **L'instabilité potentielle du système liée au sous-dimensionnement des onduleurs-chargeurs par rapport aux charges aval, aux générateurs amonts, et au champ solaire.** Les Multiplus utilisés possèdent en effet une capacité de transfert de seulement 16A, or, selon le mode de fonctionnement retenu, ces derniers peuvent être rapidement surchargés, d'une part parce qu'ils ne disposent pas suffisamment de puissance batterie disponible sur le bus DC (1x US2000B par Multiplus, soit 25A en continu disponible = 1200W < 2400W du Pnom), et d'autre part parce que le ratio de dimensionnement en AC couplage de 1 :1^v n'est pas respecté, avec 15 kVA de puissance solaire théorique maximale sur 9kVA d'onduleurs (le ratio kVA coté photovoltaïque doit être égal ou inférieur à la puissance apparente des onduleurs auxquels ils sont couplés). En effet, les Multiplus n'étant pas capable de moduler la puissance de sortie des Enphase, tout le courant potentiel de ces derniers peuvent transiter vers l'étage de conversion AC/DC pour aller recharger les batteries, pouvant ainsi endommager non seulement les Pylontech (dépassement du courant maximum admis par les BMS), mais aussi l'étage de puissance des Multiplus.

Solutions préconisées :

- **Remplacement des 3x onduleurs-chargeurs Multiplus par 3x Quattro 48/5000VA/70-100/100 configurés en triphasé, doté d'une puissance de transfert de 100A en ACIN.** Nous respectons ainsi le ratio d'AC Couplage de 1 :1 (15Kva coté PV / 15kva coté onduleurs) et il n'y a plus de limitation en ACIN sur la puissance transférable, permettant ainsi un branchement en série du système.

3.4 Stockage

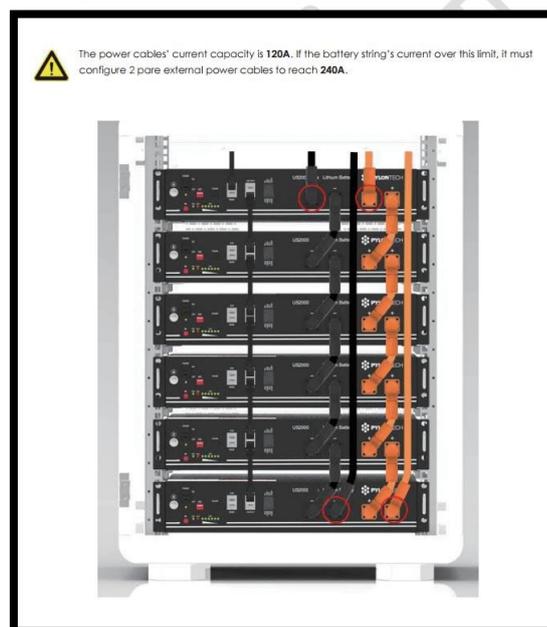
Le client possédant déjà 3x batteries US2000, sous réserve de leur bon état de fonctionnement et de leur capacité résiduelle qui sera à établir via consultation sur VRM (SOH), nous préconisons **le rajout de 3x batteries US2000B** afin de disposer de **100Ah par onduleur-chargeur** (2x batteries par Quattro) et de pouvoir ainsi disposer d'un dimensionnement BAT/DC avec une marge de sécurité. Bien que Victron recommande *officiellement 4x batteries US2000 par onduleur de 5kVA* en situation off-grid^{vi} (= îlotage), compte tenu du fait que le client n'a pas de besoin UPS (le TGBT sera connecté en ACOUT2) et du coût substantiel qu'un tel rajout de capacité représenterait (> 8 batteries implique le rajout d'un BMU LV-HUB), le rajout de seulement 3x batteries pour les 3x Quattro est une alternative techniquement viable, et qui permettra malgré tout de disposer d'une **sortie UPS sur ACOUT1 à condition que le client n'y connecte pas des charges en triphasé supérieures à 10A.**

Pour le rajout des 3x batteries, *la mise à niveau est conditionnée par l'état de capacité résiduelle (« SOH », state of health)* qui sera fourni lorsque le système sera réinitialisé et remis sous tension via

l'IHM CCGX. En effet, Pylontech préconisant un délai maximal de rajout de capacité environ 1 ans après la mise en service initiale, et ce pour éviter des différences de capacité trop importante entre chaque module, il est indispensable de valider cette variable en amont. Un écart trop important entre les anciennes et les nouvelles batteries rendrait l'équilibrage passif inter-module impossible à effectuer, et aggraverait de ce fait les différences entre cellules, dégradant plus rapidement les nouvelles que les anciennes, et limitant de ce fait la capacité utile. Par ailleurs, un parc batterie lithium non homogène entraîne des instabilités systèmes (alarmes liés au BMS) qui annuleraient aussi la garantie constructeur. Dans la mesure où le client final souhaite optimiser les coûts liés à l'opération de remise en état, il conviendra donc d'effectuer ces mesures avec POSS ELEC pour valider ou non la possibilité de rajout de capacité. Si les 3x batteries en service affichent un SOH déjà grevé, il faudra dans ce cas les changer.

Problématiques afférentes ?

- **Sous-dimensionnement du parc batterie**, qui peut provoquer des instabilités systèmes (surcharges onduleur), des coupures d'urgence effectués par le BMS si dépassement du DCL (discharge current limit) et une annulation de la garantie constructeur (inscription dans le log des batteries).
- **Branchement incorrect des 3x Pylontech**, ces dernières devant être mise en série en AMONT du coffret DC, or dans l'état leur mise en parallèle s'effectue sur le jeu de barre, ce qui ne permet pas d'avoir un équilibrage efficace inter-module par les BMS et ne respecte pas les consignes d'utilisation du manuel, pouvant également entraîner une annulation de garantie.



Exemple de branchement conforme de batteries LFP Pylontech.

Solutions préconisées :

- **Rajout de 3x batteries Pylontech US2000**, pour porter la capacité totale du système à 300Ah.
- **Recâblage de l'ensemble des batteries** conformément aux instructions du fabricant^{vii}.

3.5 Protections

La refonte des coffrets DC/AC s'impose pour plusieurs raisons. La photo du tableau DCBAT révèle un sous-dimensionnement manifeste des jeux de barre de puissance DC, des branchements non conformes (voir ci-dessus), et une utilisation de plusieurs portes-fusibles de type Gg. Les fusibles type NH1 à haut pouvoir de coupure sont favorisés dans le cas d'utilisation de batteries li-ion.

Quant à l'armoire AC, compte tenu du changement d'architecture système, nous préconisons son remplacement afin qu'elle soit conforme aux prescriptions que nous établirons dans la suite de l'étude. L'ensemble des tableaux AC/DC seront donc mis aux normes UTE en vigueur.

Problématiques afférentes ?

- **Aspect sécuritaire** : protections non conformes n'assurant pas la protection contre les surcharges et court-circuit en cas de défaut (si le BMS est inopérant).
- **Pertes en ligne** : le grand nombre de câble de puissance et leur redondance (car la mise en parallèle des modules a été faite dans l'armoire) et par conséquent de portes fusibles entraîne des pertes par effet joule inutiles qui peuvent entraîner une chute de tension du bus DC, qui doit être idéalement inférieure à 2%.

Solutions préconisées :

- **Remplacement des armoires AC/DC** par une armoire DC regroupant les protections & organes de coupure pour l'étage batterie et les Quattro, et une armoire AC regroupant les protections coté ACIN/ACOUT.
- **Optimisation des longueurs de câble de puissance** afin de limiter les pertes en ligne (« DC ripple^{viii} »).

3.6 Divers (programmation, contrôle)

Comme précisé à travers le rapport, nous n'avons été en mesure de valider la bonne programmation du système puisque ce dernier n'a pas été remis sous tension suite au sinistre. Cela n'a dans les faits pas de conséquence, étant donné que si le client souhaite poursuivre le projet de remise en état et donc de passer à l'étape « PRESCRIPTION & ACHATS », les onduleurs seront changés au profit des Quattro, qui seront reprogrammés par nos soins à distance lors du commissioning système.

La programmation interviendra lors de la phase dite de commissioning, et aura pour but :

- **L'implantation d'un mode de gestion hybride dit « ESS »**, permettant au système l'optimisation de l'autoconsommation en journée via la production PV, et le cyclage batterie en appoint, et en dernier lieu via de l'apport réseau si nécessaire.
- **La mise en place d'un démarrage automatisé du groupe de secours**. Ce dernier devra disposer de l'option démarrage par contact sec, il est convenu que nous n'intervenons pas dans le choix du groupe, POSS ELEC étant compétent en la matière. A titre d'exemple les groupes électrogènes que nous prescrivons typiquement en démarrage automatisés sont de marque SDMO avec tableau de contrôle MICS APM202.
- **La programmation d'un relais de coupure des Micro-onduleurs Enphase** en cas de démarrage du groupe en mode secours.
- **La connexion du système au portail VRM Victron** afin d'assurer un suivi et une supervision temps réel au client et à toute personne tierce. Nous serons de ce fait en mesure de valider le bon fonctionnement à l'issue de la mise en service via des tests, et de procéder à des réglages ultérieurs si nécessaire.

IV. Conclusion :

Nous avons pu soulever au travers de cet audit plusieurs anomalies, à la fois de nature technique, mais aussi conceptuelle, qui peuvent être résolues par le remplacement de certains composants, le rajout de capacité batterie, la revue de l'architecture système, et la reprise totale des armoires AC/DC du client, afin de répondre aux normes en vigueur. Afin que POSS ELEC soit en mesure de communiquer au client final le coût de l'opération, le tableau ci-dessous récapitule le matériel qui devra être fourni à 6NERGIES pour l'installation, et leur coût respectif :

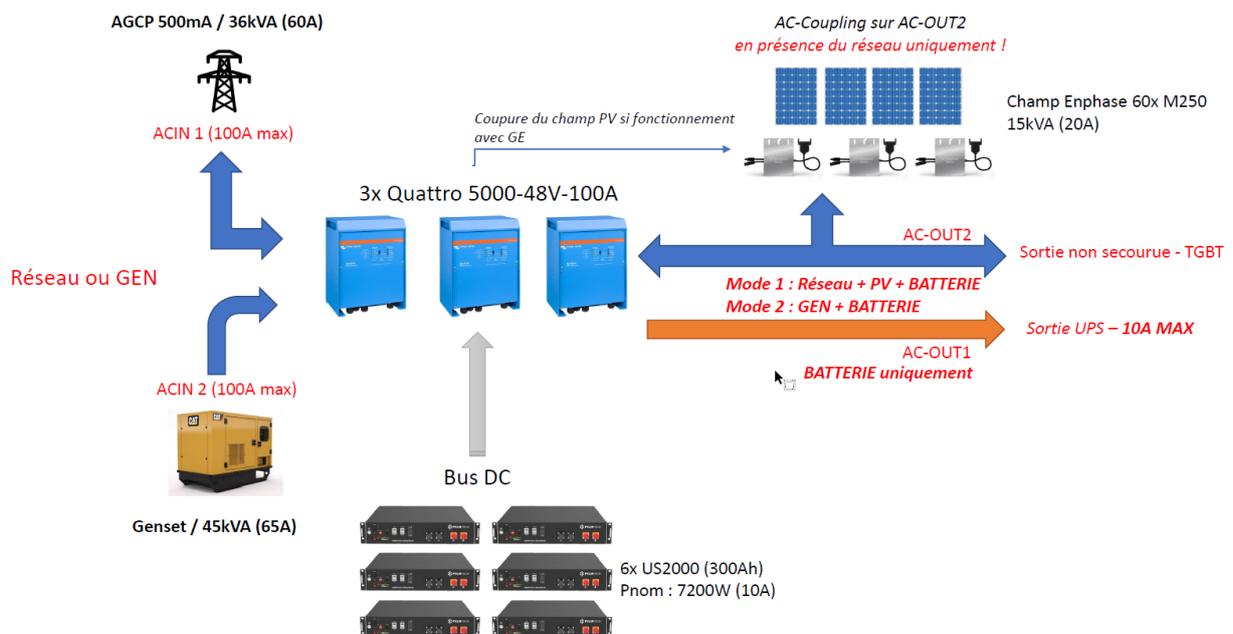
	MATÉRIEL				ÉTUDES	
Type	Quattro 48/5000/70- 100/100	Pylontech US2000	Armoire AC	Armoire DCBAT	Phase « PRESCRIPTION & ACHATS »	Phase « COMMISSIONING »
Quantité	3	3	1	1	1	1
Prix unitaire (HT)	2374 €	875 €	4500 €	3940 €	1250 €	1700 €
Total (HT)	7122 €	2625 €	4500 €	3940 €	1250 €	1700 €
Total matériel (HT)	18 187 €					
Total études (HT)	2950 €					
Total (MATÉRIEL + ÉTUDES)	21 137 €					

Il est précisé que le chiffrage de la phase exécutoire par 6NERGIES ainsi que leur main d'œuvre et toute prestation nécessaire à la mise en œuvre du projet, ne sont pas inclus et devront faire l'objet d'un devis séparé en consultant 6NERGIES.

Sont également résumés les correctifs envisagés à travers le rapport dans le tableau ci-contre :

Type de correctif	MATÉRIEL	LOGICIEL
Conversion AC/DC	Remplacer les 3x Multi par 3x Quattro 48V/5000VA-100A	Reprogrammation des Quattros, implantation du mode ESS, démarrage automatisé du GE.
Topologie système	Branchement en série du système car relais de transfert de 100A	N/A
Commande	Contacteur coté PV / Inverseur de source de secours RESEAU/ENR	Programmation des Quattro pour coupure automatique des Enphase dès la détection de perte du réseau.
Découplage DIN VDE	Coffret de découplage avec contacteur + relais Zielh UFR	Programmation du relais selon la norme VFR2019
Protections AC/DC	Armoire DCBAT + Armoire AC à changer	N/A
Stockage	Rajout de 3x modules US2000 (300Ah)	Vérification du SOH des batteries pour capacité résiduelle avant rajout.

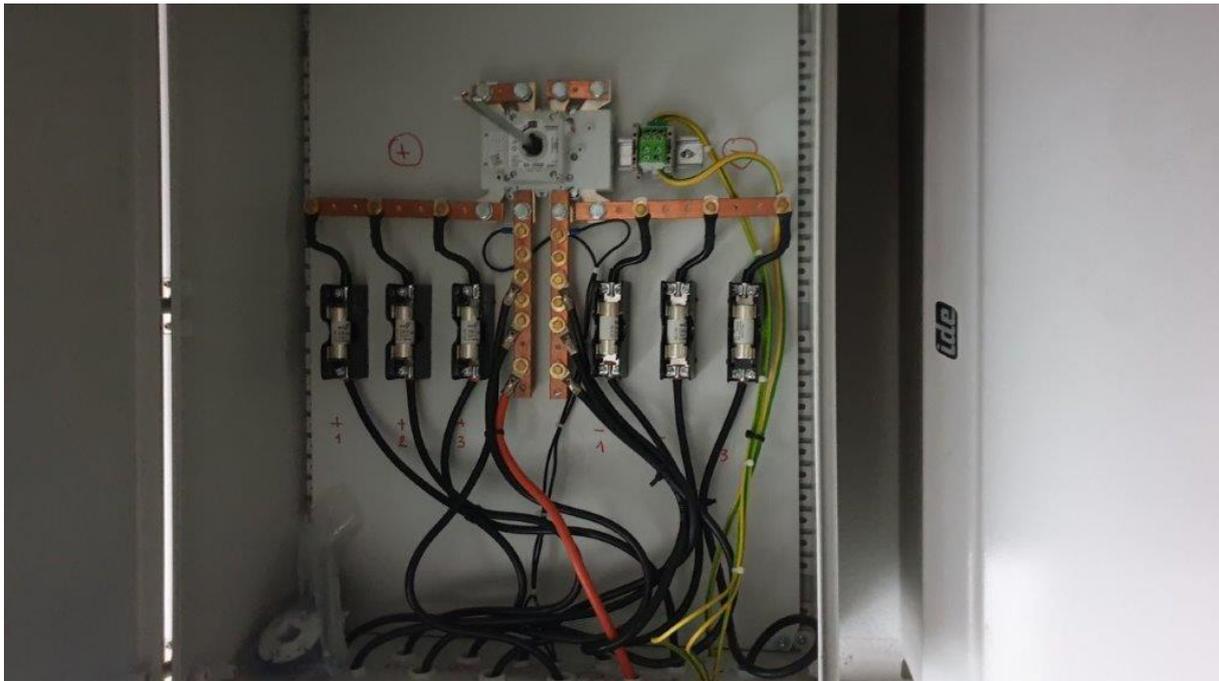
Synoptique de fonctionnement :



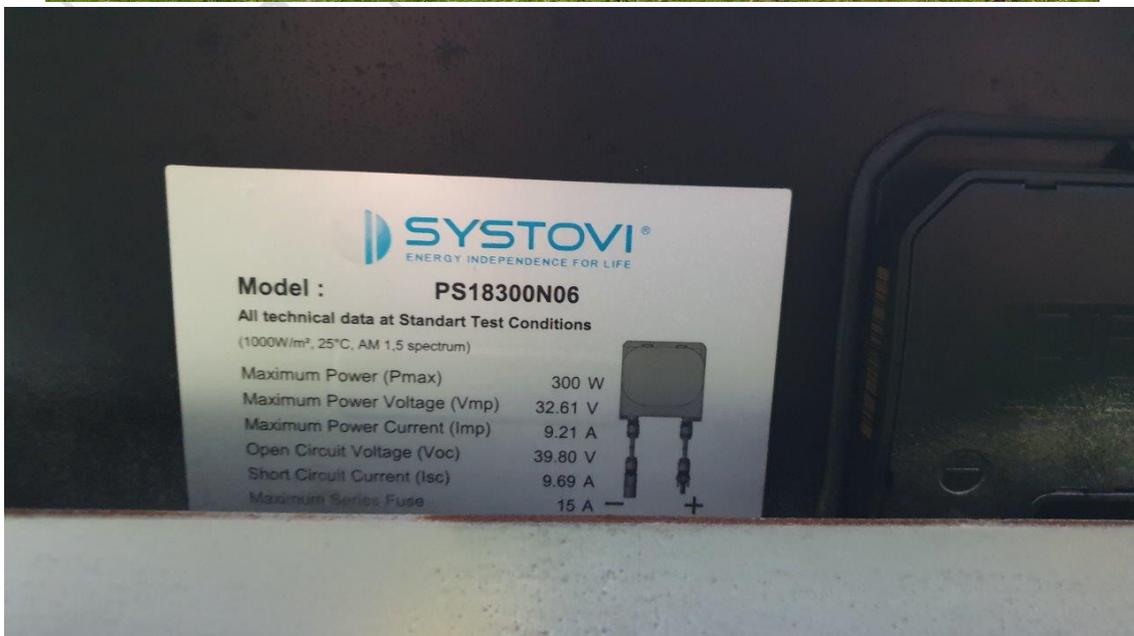
V. Annexes :

Photos remises par le client :













ⁱ Guide UTE XP C-15-712-3, section 9.4

ⁱⁱ Enphase « Design Considerations When AC Coupling IQ Micros to Battery-Based Systems, 2018 »

ⁱⁱⁱ Guide UTE XP C-15-712-3, section 9.2

^{iv} Enphase « TECHNICAL BRIEF – Americas, AC Coupling of Enphase Microinverters to Battery Based Systems , 2018 ».

^v https://www.victronenergy.com/live/ac_coupling:start

^{vi} https://www.victronenergy.com/live/battery_compatibility:pylontech_phantom

^{vii} https://www.rpc.com.au/pdf/pylontech_us2000_manual.pdf

^{viii} https://www.victronenergy.com/live/_media/ve.bus:4._ripple_in_a_ac_battery_system.pdf

