



## Etude de dangers

# INSTALLATION DE STOCKAGE D'ENERGIE ELECTRIQUE – GRANDE BATTERIE DE BOULOUPARIS

-AKUO-

0	29/03/24	C.DELORME	CAPSE	G.DEMARQUET	CAPSE	T.REGUILLOT J. GINOT SEUX	AKUO	Création	
Révision	Date	Rédaction		Vérification		Approbation client		Commentaires	

## TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>3</b>
<b>LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>8</b>
<b>1. PREAMBULE.....</b>	<b>10</b>
<b>2. GLOSSAIRE ET BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>11</b>
<b>3. OBJET DE L'ETUDE.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Introduction.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. Contexte réglementaire .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3. Démarche de l'étude de danger.....</b>	<b>13</b>
<b>3.4. Périmètre de l'étude.....</b>	<b>14</b>
<b>3.5. Auteur de l'étude.....</b>	<b>14</b>
<b>4. DESCRIPTION DE L'EXPLOITANT AKUO.....</b>	<b>15</b>
<b>5. DESCRIPTION GENERALE DE LA CENTRALE DE STOCKAGE D'ENERGIE .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1. Objectif de l'installation .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2. Classement ICPE du projet .....</b>	<b>18</b>
<b>5.3. Localisation du projet et avantages .....</b>	<b>19</b>
<b>5.4. Plan de Masse.....</b>	<b>20</b>
<b>6. ENVIRONNEMENT DU SITE D'IMPLANTATION DU PROJET.....</b>	<b>23</b>
<b>6.1. Environnement industriel et infrastructure .....</b>	<b>23</b>
<b>6.2. Environnement urbain .....</b>	<b>24</b>
<b>6.3. Environnement naturel.....</b>	<b>24</b>
<b>7. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS ET DES PRODUITS.....</b>	<b>35</b>
<b>7.1. Schéma unifilaire .....</b>	<b>35</b>
<b>7.2. Caractéristiques techniques des principaux équipements.....</b>	<b>40</b>
<b>7.2.1 Batteries.....</b>	<b>40</b>
<b>7.2.2 Unités de conversion (PCS).....</b>	<b>56</b>
<b>7.2.3 Transformateurs .....</b>	<b>59</b>
<b>7.2.4 PDLs.....</b>	<b>61</b>
<b>7.2.5 SCADA, Communication &amp; Data.....</b>	<b>62</b>
<b>7.3. Principes de fonctionnement .....</b>	<b>66</b>
<b>7.4. Dimensionnement et performances .....</b>	<b>71</b>

7.4.1 Configuration principale, Pmax_injection = 50 MW, FP ≤ 0,8, et I <sub>max</sub> ≥ 1,2 × I <sub>n</sub>	71
7.4.2 Câbles HTA/BT.....	72
<b>7.5 Description des produits .....</b>	<b>72</b>
<b>7.6 Organisation de la prévention et protection .....</b>	<b>75</b>
7.6.1 Organisation générale de la sécurité.....	75
7.6.2 Moyens de prévention.....	76
7.6.3 Moyens de protection .....	80
7.6.4 Organisation de l'alerte.....	82
<b>7.7 Gestion de fin de vie de l'installation .....</b>	<b>83</b>
7.7.1 Démantèlement.....	83
7.7.2 Gestion des équipements et matériaux récupérés .....	84
7.7.2.1 Conteneurs de batterie.....	85
7.7.2.2 Equipements électriques.....	87
7.7.2.3 Structures métalliques et fondations .....	87
7.7.2.4 Réhabilitation du site .....	87
7.7.3 Gestion des équipements défectueux avant la conclusion du Contrat ....	87
<b>8. ACCIDENTOLOGIE ET RETOUR D'EXPERIENCE.....</b>	<b>89</b>
<b>8.1 Accidentologie interne .....</b>	<b>89</b>
<b>8.2 Accidentologie externe.....</b>	<b>90</b>
8.2.1 Incendie de conteneur de batterie .....	90
8.2.2 Incendie de poste de transformation à l'huile .....	92
<b>9. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES .....</b>	<b>96</b>
<b>9.1 Définition et cotation des situations dangereuses .....</b>	<b>96</b>
9.1.1 Situations dangereuses liées à l'environnement du site .....	98
9.1.2 Situations dangereuses liées générés par l'environnement industriel .....	100
9.1.3 Situations dangereuses générées par l'environnement humain .....	100
9.1.4 Situations dangereuses liées aux produits et aux installations .....	100
<b>9.2 Tableaux d'analyse élémentaire des risques .....</b>	<b>101</b>
<b>9.3 Synthèse de l'analyse préliminaire des risques .....</b>	<b>101</b>
<b>10. MODELISATION DES INTENSITES DES PHENOMENES DANGEREUX .....</b>	<b>104</b>
<b>10.1Seuils des effets considérés .....</b>	<b>104</b>
10.1.1 Effets thermiques .....	104
10.1.2 Effets de surpression .....	105
10.1.3 Effets toxiques .....	105
<b>10.2Scénario incendie d'un conteneur – SC1 .....</b>	<b>106</b>

<b>10.3 Scénario propagation de l'incendie du conteneur à plusieurs conteneurs – SC2</b>	<b>110</b>
<b>10.4 Scénario explosion d'un conteneur – SC3 .....</b>	<b>111</b>
<b>10.5 Scénario incendie d'un transformateur – SC4.....</b>	<b>115</b>
<b>10.6 Scénario propagation de l'incendie du transformateur à plusieurs conteneurs – SC5</b>	<b>118</b>
<b>10.7 Scénario des effets toxiques lors d'un incendie de deux conteneurs de batteries – SC6</b>	<b>118</b>
<b>10.8 Synthèse des phénomènes dangereux.....</b>	<b>121</b>
<b>11. DEMARCHE DE MAITRISE DES RISQUES .....</b>	<b>123</b>
<b>11.1 Evaluation de la gravité .....</b>	<b>123</b>
<b>11.2 Evaluation de la probabilité .....</b>	<b>124</b>
<b>11.3 Caractérisation de la cinétique .....</b>	<b>128</b>
<b>11.4 Effets dominos .....</b>	<b>128</b>
<b>11.5 Classement des scénarios et analyse des conditions d'acceptabilité .....</b>	<b>129</b>
<b>12. CONCLUSIONS.....</b>	<b>132</b>
<b>13. ANNEXES .....</b>	<b>133</b>

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Plan de masse .....	134
Annexe 2 : Plan de 35 m.....	135
Annexe 3 : Étude d'inondabilité de SOPRONER.....	136
Annexe 4 : Caractéristiques des conteneurs de batteries .....	137
Annexe 5 : SOC calibration BESS Narada .....	138
Annexe 6 : Fiche technique de l'onduleur .....	139
Annexe 7 : Fiche technique d'un onduleur SMA SCS 3450 UP et son transformateur....	140
Annexe 8 : Fiche des Données Sécurité des différents produits .....	141
Annexe 9 : Résultats des tests des cellules, modules et racks selon le standard UL 9540A .....	142
Annexe 10 : Tableaux d'analyse élémentaire des risques (TAER).....	143
Annexe 11 : Notes de calculs Flumilog.....	144
Annexe 12 : Rapport détaillé de la modélisation des effets toxiques et des effets de surpression.....	145
Annexe 13 : Fiche technique détecteur gaz.....	146

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Présentation du projet en 3D	20
Figure 2 : Plan de masse	21
Figure 3 : Représentation des 5m de distance minimum entre chaque composante de la centrale, et de 7m minimum entre deux conteneurs BESS.	22
Figure 4 : Localisation des ERP à proximité du site, source : georep	23
Figure 5 : Extrait de la carte des servitudes du PUD de Boulouparis	24
Figure 6 : Direction journalière du vent à Bouraké, sources : météo.nc	26
Figure 7 : Courbes de températures moyennes à Bouraké, sources : météo.nc	26
Figure 8 : Courbes des hauteurs des précipitations moyennes, source : météo.nc	27
Figure 9 : Nombre d'éclairs nuage-sol en 2021 (maille 10kmx10km), source : météo.nc	29
Figure 10 : Feux recensés entre 2014 et 2023, source : oeil.nc	30
Figure 11 : Localisation de la zone inondable sur Boulouparis, source : georep.nc, CAPSE	32
Figure 12 : Représentation des aléas de la zone de projet	33
Figure 13 : Schéma unifilaire d'un PDL	35
Figure 14 : Schéma unifilaire des PDLs	36
Figure 15: Schéma unifilaire entre le PDL	36

Figure 16 : Dispositif de comptage BT	37
Figure 17 : Schéma de communication	38
Figure 18 : Schéma de communication	38
Figure 19 : Schéma de fonctionnement des onduleurs	39
Figure 20 : Les projets de Narada à travers le monde	41
Figure 21 : Répartition des projets de Narada entre différents types d'applications	42
Figure 22 : Configuration d'un twin conteneur Narada, avec armoires DC, AC et HVAC	49
Figure 23 : Représentation 3D d'un twin conteneur de Narada	50
Figure 24 : Informations principales d'un conteneur twin 0.5C de Narada Liquid cooling	51
Figure 25 : Connexion électrique, mécanique et anti-intempéries entre conteneurs	51
Figure 26 : Schéma d'implantation des équipements de détection d'incendie	55
Figure 27 : Éléments visuels du système anti-incendie	55
Figure 28 : Informations sur SMA	57
Figure 29 : Le projet solaire-stockage Gannawarra avec onduleurs SMA	57
Figure 30 : Projet Pelham, 64MVA d'onduleurs SMA pour un projet BESS	58
Figure 31 : Photo d'un onduleur SCS-3450 UP	59
Figure 32 : Capabilités de l'onduleur	59
Figure 33 : MV skid MVPS-4000-S2 composé de deux onduleurs SMA SCS 3450 UP et leur transformateur.	60
Figure 34 : Les couches d'un système SCADA	62
Figure 35 : Contraintes de précision des données pour le SCADA	65
Figure 36 : Contraintes de précision de rendement, énergie et disponibilité pour le SCADA	66
Figure 37 : Partenaires de recyclage dans le monde.	85
Figure 38 : Démantèlement d'un module de batterie en matières premières recyclables	86
Figure 39 : Exemple de tableau d'analyse des risques	97
Figure 40 : Distance d'isolement entre les conteneurs batteries, auxiliaires et poste de livraison	109
Figure 41 : Incendie conteneur avec paroi REI 90 à proximité de la limite de propriété ouest du site	109
Figure 42 : Incendie conteneur avec paroi REI 90 à proximité du poste de livraison au centre du site	110
Figure 43 : Explosion conteneur avec effet de suppression de la limite de propriété ouest du site	112

Figure 44 : Explosion conteneur avec effet de surpression à proximité du poste de livraison au centre du site	113
Figure 45 : Modélisation des effets thermiques suite à un incendie post-explosion d'un conteneur, sous Flumilog	113
Figure 46 : Incendie conteneur avec chute de paroi à proximité de la limite de propriété ouest du site	114
Figure 47 : Incendie conteneur avec chute de parois à proximité du poste de livraison au centre du site	115
Figure 48 : Modélisation des effets thermiques suite à un incendie du bac de rétention à l'air libre, sous Flumilog	116
Figure 49 : Incendie d'un transformateur à proximité de la limite de propriété sud-ouest du site	117
Figure 50 : Incendie d'un transformateur à proximité du poste de livraison au centre du site	117
Figure 51 : Graphique des distances au seuil des effets irréversibles des fumées toxiques produites par un incendie de stockage de batteries Li-ion (technologie NMC)	119
Figure 52 : Effets toxiques d'un incendie de conteneur batterie à proximité de la limite de propriété sud-ouest du site	120
Figure 53 : Effets toxiques d'un incendie de conteneur batterie à proximité du poste de livraison au centre du site	121
Figure 54 : Grille d'analyse des mesures de maîtrise des risques – circulaire du 10 mai 2010	131

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Rubriques ICPE du site .....	19
Tableau 2 : Cyclones ayant impacté Bouloparis, sources : DAVAR, météo.nc, formatage CAPSE.....	28
Tableau 3 : Caractéristiques principales de l'onduleur sélectionné .....	58
Tableau 4 : Caractéristiques principales du transformateur .....	60
Tableau 5 : Informations principales sur le BESS .....	71
Tableau 6 : Les principales caractéristiques et dangers associés à leur mise en œuvre des produits sur site .....	74
Tableau 7 : Méthode de démantèlement des composantes du BESS .....	84
Tableau 8 : Les principales mesures de maîtrise des risques, intégrées dans la conception des installations de batteries.....	92
Tableau 9 : Les principales mesures de maîtrise des risques, intégrées dans la conception des installations de transformateurs .....	94
Tableau 10 : Analyse élémentaire des risques.....	101
Tableau 11 : Synthèse de l'analyse préliminaire des risques .....	102

Tableau 12 : Compilation des justifications sur les gravités déterminées pour les scénarios retenus .....	103
Tableau 13 : Seuils d'effets thermiques de l'arrêté métropolitaine du 29 septembre 2005 sur la gravité d'un phénomène dangereux sur l'Homme et sur les structures.....	104
Tableau 14 : Seuils d'effets thermiques sur l'Homme .....	105
Tableau 15 : Effets de surpression de l'arrêté métropolitaine du 29 septembre 2005 sur la gravité d'un phénomène dangereux sur l'Homme et sur les structures .....	105
Tableau 16 : Seuils des effets toxiques de référence par l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 .....	106
Tableau 17 : Inventaire des produits présents par conteneur de batteries .....	107
Tableau 18 : Distances des effets thermiques pour chaque cas .....	108
Tableau 19 : Distances d'une explosion d'un conteneur cellules .....	112
Tableau 20 : Distances des effets d'un incendie conteneur cellules avec chute de parois .....	114
Tableau 21 : Distances des effets d'un incendie du bac de rétention pour chacun cas .....	116
Tableau 22 : Distances des effets toxiques en hauteur suite à un incendie pour chaque cas.....	120
Tableau 23 : Distances des différents effets thermiques, de surpression et toxique dans divers scénarios .....	121
Tableau 24 : Valeur de la gravité en fonction des zones et du nombre de personnes exposées.....	123
Tableau 25 : Distances des effets thermiques d'un incendie d'un conteneur de batteries avec chute des parois.....	124
Tableau 26 : Échelle de cotation associé à l'arrêté métropolitain du 29 septembre 2005 .....	124
Tableau 27 : Liste et niveau de confiance des barrières de sécurité pour divers scénarios .....	126
Tableau 28 : Seuils d'effets dominos de l'arrêté du 29 septembre 2005 des effets de surpression et des effets thermiques.....	128
Tableau 29 : Effets dominos sur les équipements internes au site .....	129
Tableau 30 : Synthèse de l'ensemble des scénarios, les effets attendus, le distances, l'intensité, la gravité et la cinétique .....	130
Tableau 31 : Grille de positionnement des accidents majeurs du site .....	131

## 1. PREAMBULE

Le présent document a été établi sur la base des informations transmises à CAPSE NC. La responsabilité de CAPSE ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations fournies par Akoo.

Ce document doit être analysé en prenant en compte les connaissances disponibles au moment de la rédaction, la réglementation en vigueur, les retours d'expérience connus. CAPSE NC ne peut être tenu responsable de la non prise en compte ou de l'évolution de certains éléments postérieurement à la rédaction de l'étude.

La présente analyse a été réalisée conjointement avec l'exploitant Akoo. Différentes mesures ont été proposées à l'exploitant pour prévenir et maîtriser ses risques, CAPSE NC ne peut pas être tenu responsable des choix de l'exploitant.

## 2. GLOSSAIRE ET BIBLIOGRAPHIE

Acronyme	Définition
<b>AC</b>	Alternative Current
<b>APR</b>	Analyse Préliminaire des Risques
<b>ARIA</b>	Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
<b>ATEX</b>	Atmosphère explosive
<b>BARPI</b>	Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels
<b>BBMS</b>	Bank Battery Management System
<b>BESS</b>	Battery Storage System
<b>BT</b>	Basse Tension
<b>DC</b>	Direct Current
<b>DIMENC</b>	Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Énergie de la Nouvelle-Calédonie
<b>DTU</b>	Document Technique Unifié
<b>EDD</b>	Etude de Dangers
<b>EI</b>	Evènement initiateur
<b>EPI</b>	Equipements de Protection Individuelle / Equipe de Première Intervention
<b>ERP</b>	Etablissement Recevant du Public
<b>FDS</b>	Fiches de Données de Sécurité
<b>HTA</b>	Haute Tension A
<b>HTB</b>	Haute Tension B
<b>ICPE</b>	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
<b>INERIS</b>	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
<b>LFP</b>	Lithium Fer Phosphate
<b>MBMS</b>	Module Battery Management System
<b>MMR</b>	Mesure de Maitrise des Risques
<b>NF</b>	Norme Française
<b>PCS</b>	Power Conversion System
<b>PhD</b>	Phénomène Dangereux
<b>PMS</b>	Power Management System

Acronyme	Définition
PUD	Plan d'Urbanisme Directeur
RBMS	Rack Battery Management System
SEI	Seuil des effets irréversibles
SEL	Seuil des effets létaux
SELS	Seuil des effets létaux irréversibles
SSEE	Système de Stockage d'Energie Electrique
SOC	Etat de charge de la batterie (State Of Charge)
TAER	Tableau d'analyse élémentaire de risques

### 3. OBJET DE L'ETUDE

#### 3.1. Introduction

L'intégration des énergies renouvelables dans le réseau électrique représente un défi majeur pour la stabilité de sa fréquence. Celle-ci est influencée par la production et la consommation, variables en fonction des conditions climatiques et du nombre d'utilisateurs. Pour contrer les variations de fréquence et minimiser les risques de coupures, Akoo propose la mise en place d'une centrale de stockage d'énergie. Ce dispositif vise à équilibrer instantanément l'offre et la demande, en atténuant les fluctuations de production. Il joue un rôle crucial dans la régulation et la fiabilisation du réseau, répondant ainsi aux enjeux du développement des énergies renouvelables.

#### 3.2. Contexte réglementaire

Le projet BESS est soumis au régime de déclaration au regard de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement selon le code de l'environnement de la province Sud. A la demande de la DIMENC, lors d'une réunion de cadrage de présentation du projet, l'administration a demandé à Akoo de produire une étude de dangers associée au dépôt du dossier de déclaration.

Pour rappel, les objectifs et le contenu de l'étude de danger sont définis dans le chapitre étude de dangers des installations classées du code de l'environnement de la province Sud.

Les textes réglementaires pris en référence dans le cadre de la rédaction de la présente étude de dangers sont :

- **L'arrêté du 29 septembre 2005**, relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation ;
- **La circulaire du 10 mai 2010**, récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

#### 3.3. Démarche de l'étude de danger

L'étude de dangers est composée des chapitres suivants :

- **Description de l'exploitant** : il est présenté son expertise, son retour d'expérience, ses capacités à opérer cette installation ;
- **Description de la centrale de stockage d'énergie** : elle présente l'installation, son organisation et sa situation administrative, dans le contexte de cette étude de dangers ;
- **Description de l'environnement du site d'exploitation** : les enjeux autour du site, éléments vulnérables en cas d'accident majeur, l'environnement en tant que source potentielle de l'agression pour prévenir les phénomènes dangereux associés ;

- **Description des installations et des produits** : elle permet une connaissance des installations avec identification des substances et des modes d'exploitation mis en œuvre qui servira à identifier et caractériser les potentiels de dangers de l'établissement ; les mesures de maîtrise des risques sont par ailleurs reprises dans les analyses de risques ;
- **Retour d'expérience – accidentologie** : le retour d'expérience sur des installations similaires constitue le point d'entrée de l'analyse préliminaire des risques ; il permet l'identification des phénomènes dangereux pouvant survenir sur les installations ;
- **Analyse préliminaire des risques** : la méthodologie mise en œuvre est décrite ; elle aboutit à la sélection des installations et équipements à l'origine des phénomènes dangereux pouvant sortir du site et qui sont retenus pour une analyse plus détaillée ;
- **Modélisation des intensités des phénomènes dangereux** : la méthodologie utilisée pour modéliser les effets des phénomènes dangereux retenus à l'issue de l'analyse de risques est décrite, avec la détermination des classes de gravité ;
- **Démarche de maîtrise des risques** : les intensités sont réévaluées en fonction des mesures mises en œuvre, de l'étude des probabilités d'occurrence en fonction des mesures choisies et de la confiance associée à la mesure ; de la cinétique des phénomènes et de l'identification des effets dominos ;
- **Classement des phénomènes dangereux potentiels** : la liste complète des phénomènes dangereux retenus, ainsi que la matrice G/P regroupant l'ensemble des accidents, sont présentées, ainsi que la liste après exclusion des phénomènes pouvant être écartés de la règle de cumul des 5 MMR rang 2.

### 3.4. Périmètre de l'étude

Le périmètre de la présente étude de dangers couvre l'installation de stockage d'énergie par batteries chimique de Boulouparis pour Akouo en Nouvelle-Calédonie.

### 3.5. Auteur de l'étude

La présente étude a été réalisée par :

- CAPSE NC : Glen Demarquet, chargé d'affaires CAPSE NC ; Catherine Delorme, ingénieur en risques industriels CAPSE NC ;
- AKOUO : Théo Réguillot et Jérémie Ginot Seux, chargés d'affaires en charge du développement du projet de centrale de stockage d'énergie à Boulouparis pour Akuo.

## 4. DESCRIPTION DE L'EXPLOITANT AKUO

Akuo est l'un des principaux producteurs indépendants d'énergie renouvelable en France avec plus de 1 800 MW de capacité solaire, éolien et hydro en exploitation ou en construction début 2024, et des revenus consolidés de plus de 230 millions d'euros, équivalent à 27.4 milliards de XPF, provenant uniquement de la vente d'énergie propre. Akuo s'engage à développer des projets exemplaires, qui vont au-delà de la simple production d'électricité pour créer des bénéfices sociaux supplémentaires pour les communautés locales.

En Nouvelle Calédonie, Akuo a trois centrales en opération : (i) Focola, une centrale de serres photovoltaïques Agrinergie® de 1,7 MWc, en opération depuis avril 2019 ; (ii) Agrinergie de Ouaco, une centrale combinant la technologie de tables photovoltaïques au sol et de serres photovoltaïques Agrinergie® de 5 MWc, en opération depuis octobre 2020; (iii) Kwita Wije, une centrale de 6 MWc solaire avec 3 MW / 3 MWh de stockage d'énergie, en opération depuis avril 2022. Enfin, Akuo a récemment été lauréat de trois autres projets en cours de développement : Tabor, un projet solaire de 4 MWc sur terrain coutumier, Soleil de l'Aiguillon, un projet solaire de 35 MWc, et Vent de l'Aiguillon, un projet éolien de 30 MW.

En plus de son expertise dans la production d'électricité verte, Akuo s'appuie sur d'autres domaines spécifiques de connaissances exclusives, notamment le stockage d'énergie.

A ce jour, et depuis une décennie, Akuo a déjà mis en service 99 MWh de capacité de stockage à travers une dizaine de projets, et avec environ 100 MWh additionnels actuellement en cours de financement ou de construction. Ces projets, tous installés sur des îles, ont permis à Akuo de développer une compréhension approfondie des spécificités liées aux projets de stockage, incluant les défis associés aux « petits » réseaux, à la culture locale et aux exigences opérationnelles. Akuo a la capacité et l'expertise d'agir également comme contractant EPC et opérateur et mainteneur pour ses propres projets.

Fort de son expérience et de sa réputation, Akuo a su construire des partenariats solides avec les principaux fabricants de batteries et de convertisseurs de puissance, sélectionnés spécifiquement pour chaque projet en fonction de leurs particularités.

Notre équipe d'ingénieurs est hautement qualifiée dans la conception de systèmes sur mesure répondant aux besoins complexes des réseaux électriques modernes : écrêtage des pointes, contrôle du taux de rampe, régulation de fréquence et de tension, amélioration de la stabilité du réseau et de la qualité de l'énergie, renforcement de la capacité, déplacement de charge, blackstart, etc. Nous concevons nos projets de stockage d'énergie de sorte à être modulaires (et donc très fiables), adaptés aux conditions climatiques locales et conformes aux normes et standards en vigueur. Conscients que nos projets ont pour but d'apporter des bénéfices aux gestionnaires de réseaux ainsi qu'aux populations, nous savons aussi rester à l'écoute des partenaires de nos projets et s'adapter afin de répondre aux besoins exprimés.

Nos principes de conception s'articulent autour de plusieurs piliers fondamentaux :

## Sécurité

Pour Akoo, la sécurité occupe une place centrale, se positionnant comme le pilier fondamental de notre approche opérationnelle. Cette importance est d'autant plus cruciale dans le domaine du stockage d'énergie, où les risques technologiques liés à l'utilisation de batteries chimiques, en particulier le danger d'incendie, requièrent une attention et une vigilance constantes. Forts d'une expérience accumulée sur plus d'une décennie, nos ingénieurs ont développé une expertise remarquable en matière de stratégies préventives et de réponses aux incidents.

Dès les premières étapes de conception, en passant par la sélection rigoureuse de nos fournisseurs et la détermination de l'emplacement des installations, la sécurité est intégrée à chaque décision. Cette philosophie de précaution se poursuit tout au long de la mise en œuvre et de l'exploitation des projets, impliquant une formation approfondie et un soutien continu de tous les acteurs impliqués.

- **Modularité**

Les BESS sont constitués de composants identiques (tels que les racks de batteries et les modules PCS) qui peuvent fonctionner indépendamment. Cette modularité permet une installation facile, un remplacement rapide et aisément des composants, une gestion simplifiée des pièces de rechange, et permet un fonctionnement très granulaire du système pour répondre aux exigences du cahier des charges.

- **Redondance & Disponibilité**

Les éléments les plus critiques au niveau des unités de stockage, des onduleurs, du système de contrôle commande ("SCADA") et du Poste De Livraison ("PDL") sont doublés afin d'assurer une disponibilité maximale. La modularité, la redondance et l'utilisation d'un Management System ("EMS") intelligent permettent d'atteindre les meilleurs taux de disponibilité du marché.

## Système de contrôle, de pilotage et de supervision personnalisé

Non seulement Akoo maîtrise les activités de conception, développement, financement, construction et opération d'un projet de stockage, mais l'entreprise possède également une compétence avancée dans les systèmes de contrôle-commande et de supervision. Cette expertise permet à nos équipes internes de travailler en étroite collaboration avec nos partenaires pour concevoir et mettre en œuvre des solutions sur mesure en matière de SCADA et d'EMS, assurant une adaptabilité et une réactivité optimales face aux exigences spécifiques de chaque projet.

## Capacités d'exécution

Akuo s'appuie sur une équipe internationale de plus de 300 ingénieurs et techniciens hautement qualifiés, répartis à travers le monde, y compris en Nouvelle Calédonie. Cette équipe est consacrée à l'excellence dans le développement de projets, offrant une expertise pointue en analyse technique, ingénierie, approvisionnement, construction ainsi qu'en opérations et maintenance.

Pour garantir la qualité et l'efficacité de nos projets, Akoo a mis en place une unité spécialisée dans l'ingénierie et l'approvisionnement. Cette division se distingue par sa méthodologie rigoureuse de sélection des fournisseurs et sous-traitants, avec un focus sur la qualité, l'optimisation des coûts, et le respect strict des délais. En Nouvelle Calédonie,

notre présence est renforcée par une équipe d'experts spécialement formés aux technologies de stockage d'énergie, aptes à gérer tous les aspects du développement, de la construction et de l'exploitation de nos projets.

## 5. DESCRIPTION GENERALE DE LA CENTRALE DE STOCKAGE D'ENERGIE

Pour  $P_{max\_injection}$  de 50 MW, un facteur de puissance inférieur ou égal à 0,8, et un courant  $I_{max}$  supérieur ou égal à  $1,2 \times I_h$ , le système de stockage proposé par Akoo sur le site de Boulouparis est comme suit :

- 223 MWh de capacité de batteries en début de vie, composés de 60 conteneurs 20 pieds de 3,73 MWh chacun ;
- 103,5 MVA de capacité brute d'onduleurs, composés de 30 onduleurs de 3,45 MVA chacun;
- 14 transformateurs 33kV/0.66kV de 5 000 kVA, et 2 transformateurs 33kV / 0,66kV de 2500 kVA ;
- Deux Postes de Livraison, avec les protections adéquates ;
- Deux transformateurs auxiliaires 33kV/400V de 1250kVA ; et
- Les auxiliaires et branchements nécessaires au fonctionnement de l'installation ;
- Deux conteneurs avec des équipements en spare.

L'exploitation de la centrale de stockage d'énergie sera réalisée par Akoo en collaboration avec ses partenaires sous-traitants. Les opérations quotidiennes se dérouleront de 7h à 16h. En outre, un dispositif d'astreinte sera mis en place pour couvrir les besoins en dehors de ces heures, y compris les nuits et les week-ends, garantissant une intervention rapide et efficace en cas d'urgence.

Pour assurer la sécurité et l'intégrité du site, un système de surveillance composé de caméras à infrarouges sera opérationnel en continu. Ce dispositif permet non seulement de superviser l'activité opérationnelle mais aussi de prévenir et de détecter toute tentative de malveillance, de réaliser une levée de doute à distance sur un potentiel départ de feu (nécessitant une coupure au plus vite des installations) assurant ainsi une protection optimale de la centrale de stockage d'énergie.

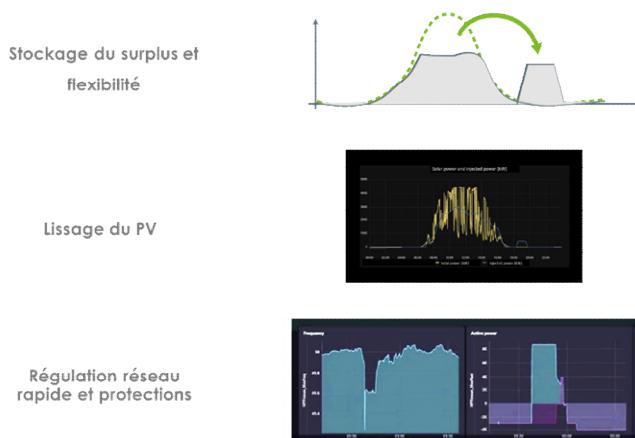
Le site est surveillé en permanence par un système de caméra infra-rouges permettant à la fois de surveiller l'exploitation et la malveillance.

### 5.1. Objectif de l'installation

- a) Économie et écologie:
  - i) Limite l'écrêtage de la production PV au maximum. **Maximiser l'intégration d'énergie solaire en redistribuant l'excédent généré en milieu de journée durant les heures du soir**
  - ii) **Stabilisation de la production d'énergies renouvelables intermittentes**, facilitant leur intégration dans le mix énergétique et donc une diminution de la dépendance vis-à-vis des sources d'énergie thermique coûteuses et carbonées.

b) Technicité et flexibilité:

- i) Le BESS peut réagir en moins d'1s, passant de 50MW absorbés à 50MW injectés, permettant une régulation rapide et une stabilité renforcée du réseau (tant en tension qu'en fréquence)
  - ii) Le profil d'injection peut varier chaque jour en fonction des besoins. L'électricité peut être **réinjectée lorsque c'est le plus pertinent, grâce au pilotage par le responsable d'équilibre du réseau (Enercal)**
  - iii) Fonctionnement analogue à une **ligne HT virtuelle**, minimisant ainsi les nécessités d'investissements lourds en d'infrastructures
  - iv) Contribution à la sécurité globale du réseau grâce à l'activation de mécanismes de protection, avantage distinctif par rapport à un BESS décentralisé.
- c) Général :
- i) Capacité d'injection : Jusqu'à 50 MW de puissance et 150 MWh par jour dans le réseau électrique calédonien.
  - ii) **Plus grand projet en France** : Le projet de stockage d'électricité par batterie le plus important en France.
  - iii) Priorité à la gestion de risques : engagement fort envers la **prévention des incendies et la gestion responsable des déchets**.



## 5.2. Classement ICPE du projet

Le projet est assujetti à la rubrique 2925 « Atelier de charge d'accumulateurs électriques ». La puissance maximale de l'installation étant de 224 MW, l'établissement est sous le régime de la déclaration au sens de la réglementation ICPE du code de l'environnement de la province Sud.

**Tableau 1: Rubriques ICPE du site**

<b>Rubrique de la nomenclature</b>	<b>Nature et volume des activités</b>	<b>Puissance de l'installation</b>	<b>Régime ICPE</b>
<b>2925</b>	<p><b>Ateliers de charge d'accumulateurs électriques</b></p> <p>2. Lorsque la charge ne produit pas d'hydrogène, la puissance maximale de courant continu utilisable pour cette opération (1) étant supérieure à 600 kW, (1) Puissance de charge délivrable cumulée de l'ensemble des infrastructures des ateliers.</p>	224 MW	D

### 5.3. Localisation du projet et avantages

La centrale de stockage d'énergie sera stratégiquement implantée à proximité immédiate du poste source d'Enercal de la commune de Boulouparis, en bordure de RT1. Le poste source est l'infrastructure d'Enercal permettant de connecter ensemble le réseau de distribution (33kV) et celui de transport (150kV).

Les bénéfices de cette localisation sont multiples :

- Proximité avec le poste source de Boulouparis** : les coûts de raccordement au réseau sont significativement minimisés.
- Fiabilité accrue** : La distance réduite entre la centrale de stockage et le poste source diminue le risque de perturbations électriques ou de problèmes de communication, grâce à l'utilisation de câbles électriques et de fibres optiques de courte longueur.
- Flexibilité de connexion** : L'emplacement permet à la centrale de stockage d'injecter l'électricité aussi bien dans le réseau de distribution que de transport, offrant une régulation efficace des deux réseaux. En cas de maintenance sur l'un des réseaux, le système peut continuer à fonctionner en s'appuyant sur l'autre réseau.
- Synergie avec les énergies renouvelables** : La centrale de stockage sera localisée à proximité d'une nouvelle centrale photovoltaïque de 60MWc, et facilitera l'intégration de cette production d'énergie solaire au réseau, assurant une alimentation stable et à la demande.
- Conditions géographiques favorables** : Le terrain choisi est principalement plat, ne présente pas de risque d'inondation ou de tsunami, et présente des caractéristiques géotechniques compatibles avec l'infrastructure de stockage.
- Proximité des centres de consommation** : La localisation près de Nouméa et de la SLN, importants centres de consommation, réduit les coûts associés au transport de l'électricité, optimisant ainsi l'efficacité énergétique globale.

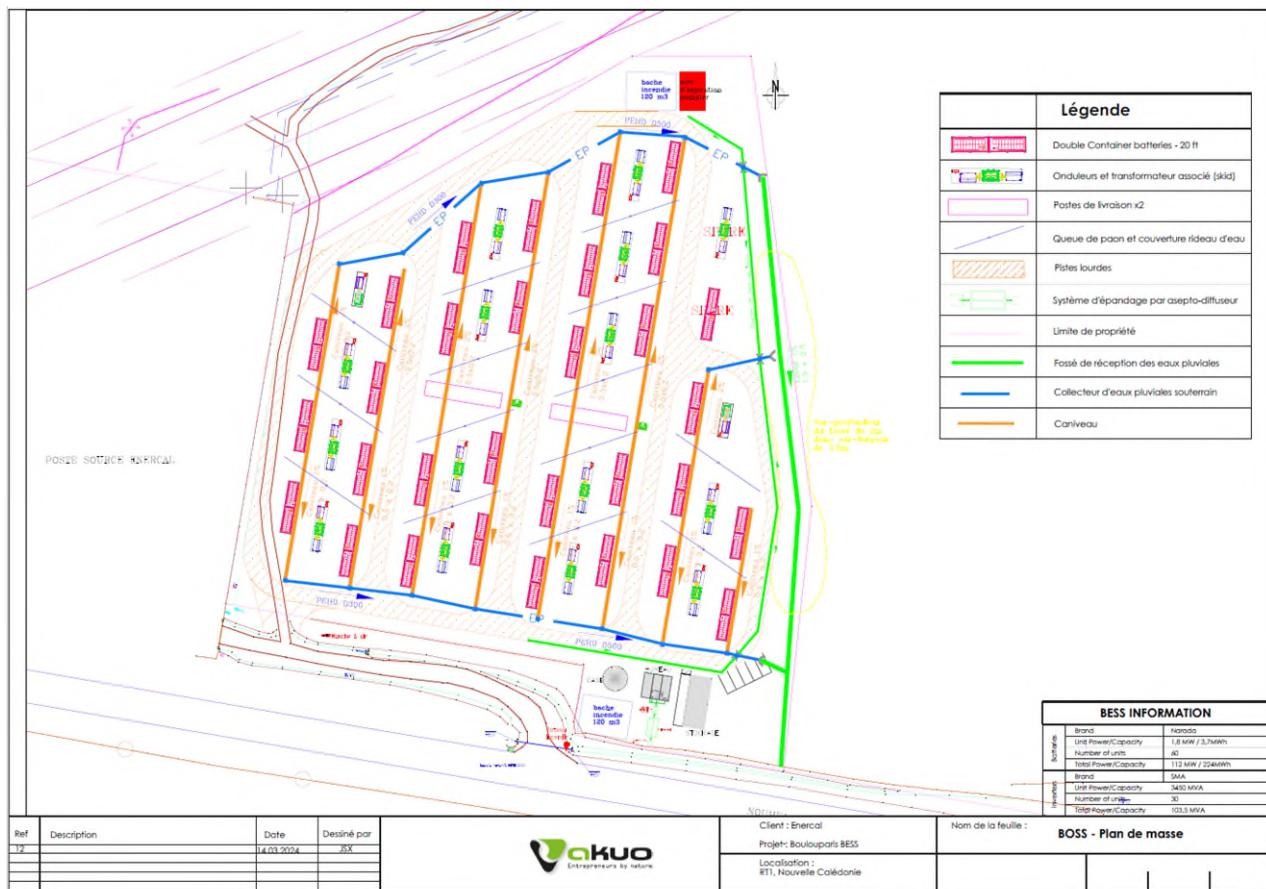
g. **Intégration et accessibilité** : Bien que le site soit éloigné des zones résidentielles et des Établissements Recevant du Public (ERP), sa proximité avec la RT1 facilite l'accès tout en préservant son esthétique et réduisant l'impact visuel depuis la route principale (voir Figure ci-après).



Figure 1 : Présentation du projet en 3D (source Akuo)

#### 5.4. Plan de Masse

Le plan de masse se présente comme suit, et pourra être optimisé en phase de développement du projet, et notamment en prenant connaissance des contraintes techniques du foncier attribué au projet.

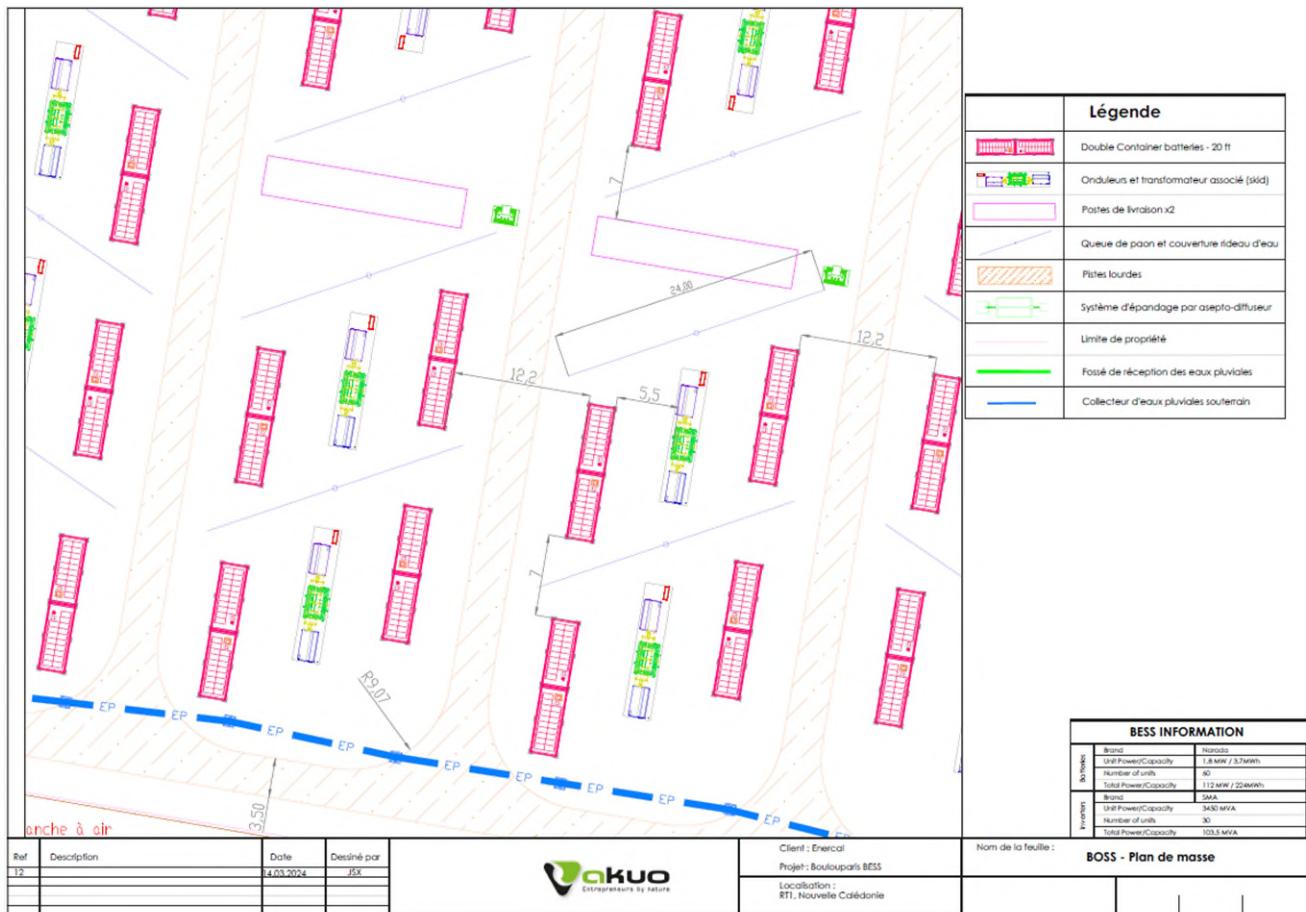


**Figure 2 : Plan de masse**

Outre l'installation principale des infrastructures de stockage (conteneurs BESS, onduleurs, transformateurs, etc.), un espace suffisant sera conservé pour le stockage de pièces de rechange, des aires de stationnement, des espaces de vie pour le personnel, et pour des potentiels équipements complémentaires (installation de filtres harmoniques ou de compensateurs de puissance inductifs, si leur présence s'avère nécessaire).

Ce plan de masse est conçu de manière à garantir un espace minimal de 5 mètres entre chaque composant, conformément aux directives spécifiques du projet de prescriptions ICPE applicables aux unités de stockage d'énergie électrique par batterie d'accumulateurs. Cette disposition est stratégique pour réduire de manière significative le risque de propagation en cas d'incendie, assurant ainsi une sécurité optimale de l'installation.

L'illustration du plan de masse ci-dessous en montre les détails :



**Figure 3 : Représentation des 5m de distance minimum entre chaque composante de la centrale, et de 7m minimum entre deux conteneurs BESS.**

Dans la conception de ce plan de masse, nous avons intégré des mesures de sécurité incendie rigoureuses, comprenant l'installation d'une borne incendie à proximité du site, et de deux réservoirs d'eau d'une capacité de 120m<sup>3</sup> chacun distribuant un système de queue de paon maillé, afin d'établir un rideau d'eau permettant de refroidir les conteneurs voisins et garantir une réserve d'eau suffisante en cas incendie. Ces réservoirs sont situés à une distance sécuritaire de 6 mètres des premiers éléments composant le SSEE, mais à moins de 200m de chacun de ces éléments. Le réseau des queues de paon est maillé permettant d'établir d'un côté ou de l'autre de la centrale en fonction du lieu de l'incendie.

La planification a également pris en compte l'optimisation des voies d'accès pour les services d'urgence, notamment les pompiers. Un accès principal sera établi depuis la RT1, complété par la création d'un accès secondaire situé au nord du site. Ces accès sont conçus pour faciliter l'intervention rapide des services d'urgence, incluant des aires de retour adéquates pour les véhicules de secours, assurant ainsi une réponse efficace et coordonnée en cas d'incendie.

Le plan d'ensemble et le plan de 35 mètres sont respectivement disponibles en Annexe 1 et Annexe 2.

## 6. ENVIRONNEMENT DU SITE D'IMPLANTATION DU PROJET

La centrale de stockage d'énergie est située sur la commune de Boulouparis à la sortie du village, à 70 km au Nord de Nouméa. Cette commune est en plein développement de ses activités touristiques.

### 6.1. Environnement industriel et infrastructure

Le site est situé à 280 m de la ferme photovoltaïque de Total Energies située au nord de la RT1 et à proximité immédiate (< 150 m) de la ferme photovoltaïque Kwita Wije opérée par Akoo située au sud de la RT1. Le poste de raccordement Enercal est situé à l'ouest à environ 40 m du projet de centrale de stockage d'énergie, à l'Ouest. Aucune autre activité industrielle n'est présente dans un rayon de 1km autour du site. La plus proche sera l'activité SICA de traitement de céréales situé à plus de 2km du site.

Les établissements recevant du public recensés dans l'environnement de la centrale de stockage d'énergie sont :

- Station-service Mobil : 750 m à l'est,
- Supermarché Tran Duc : 750 m à l'est,
- Pêche et passion : 750 m à l'est,
- Restaurant Gros la Cale : 800 m à l'est,

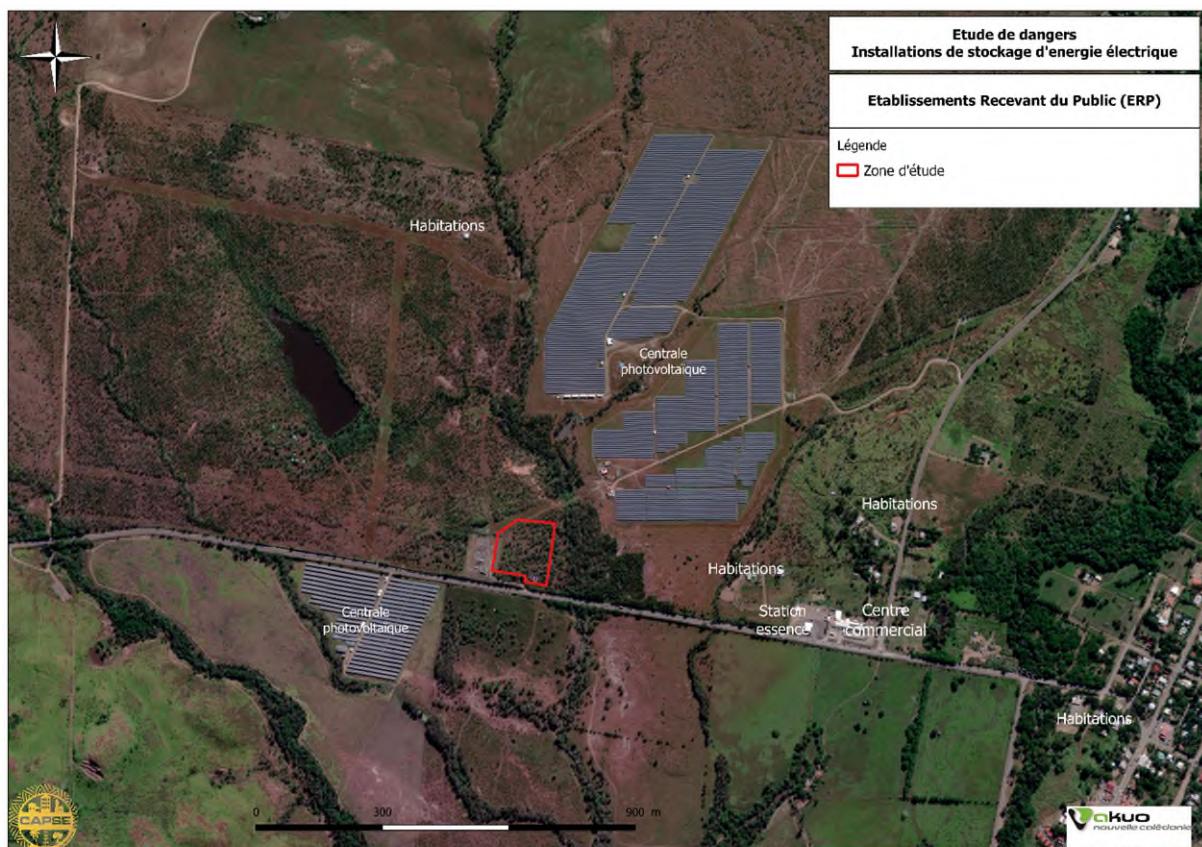
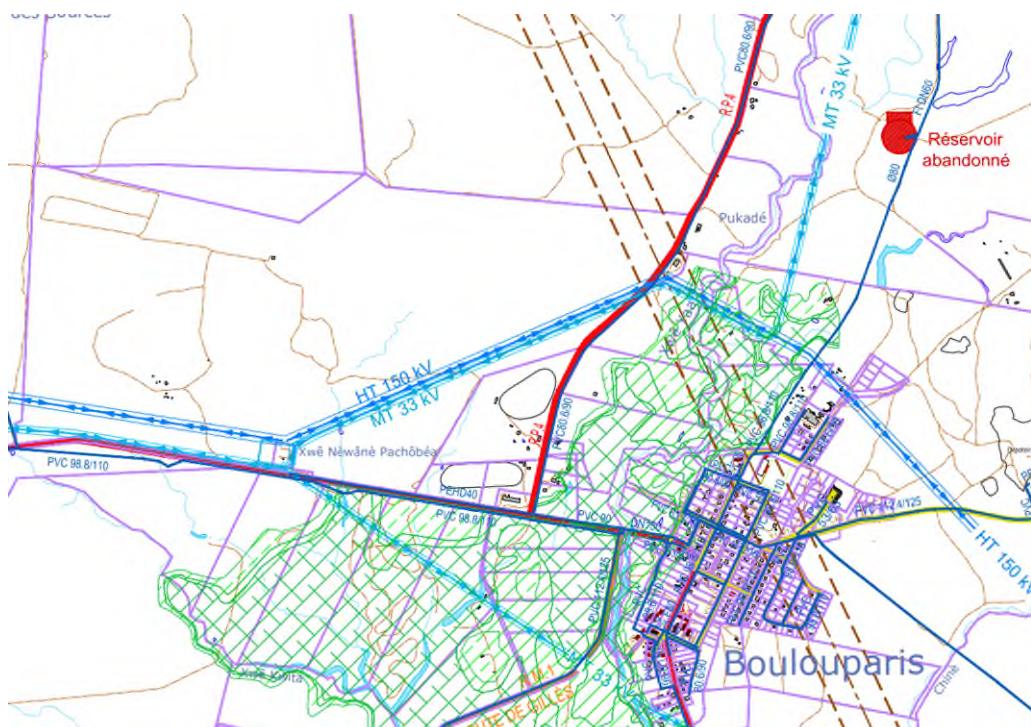


Figure 4 : Localisation des ERP à proximité du site, source : georep

La principale route desservant la centrale de stockage est la RT1. Elle présente un dénivelé positif permettant d'éloigner la centrale de manière topographique par rapport à la RT1. La voie secondaire non revêtue bordant la ferme photovoltaïque au nord du site permet également d'accéder au site. Aucune désignation n'a été attribuée à cette voie privée jusqu'à présent.

La RT1 présente un fort trafic routier estimé à 1194 véhicules / jour. Il s'agit de l'axe principal du territoire permettant de se rendre du sud (capitale Nouméa) vers les différentes communes de la côte ouest et est.

La centrale de stockage n'est pas située sur une zone de servitudes aériennes, et n'est donc jamais survolé à basse altitude. La seule servitude existante est associée à la ligne HT située au nord de la parcelle.



**Figure 5 : Extrait de la carte des servitudes du PUD de Boulouparis**

Le premier port est un port de plaisance situé sur la presqu'île de Bouraké à 12 km de la centrale de stockage d'énergie.

## 6.2. Environnement urbain

Les effectifs recensés de la population de Boulouparis sont de 3315 habitants (2019). Les premières habitations autour de la centrale de stockage d'énergie sont situées à l'est à plus de 500 m du site. Le centre du village est localisé à 1,4 km du site.

## 6.3. Environnement naturel

### a. Climatologie

La Nouvelle Calédonie se situe dans la zone intertropicale au nord du tropique du Capricorne qui est caractérisée par un climat tropical tempéré par les influences

océaniques. Quatre saisons peuvent être identifiées même si le territoire est poétiquement qualifié d'île de l'éternel printemps :

- Un été austral de novembre à avril aussi appelé saison chaude.

La région climatique abritant la grande terre reçoit beaucoup plus de rayonnement que le reste du globe. De fait, de fortes chaleurs sont recensées durant la période chaude estivale. La température ressentie durant cette période est très élevée car l'humidité de l'air et la hausse des températures viennent amplifier la sensation de chaleur. Cette saison est propice à la formation de cyclones et de dépressions tropicales.

- Un hiver de mai à septembre correspondant à la saison fraîche où, les normales de températures minimales approchent 15° dans les zones les plus froides.
- Première intersaison de septembre à novembre correspondant à la saison sèche.
- Deuxième intersaison d'avril à mai où les températures et la pluviométrie chutent.

La Nouvelle Calédonie est également concernée par le phénomène ENSO qui désigne les modifications de la circulation atmosphérique dans le Pacifique équatorial ainsi que les anomalies de température de l'océan qui y sont associées. On distingue 3 phases ENSO : la phase neutre, la phase El Niño et la phase La Niña.

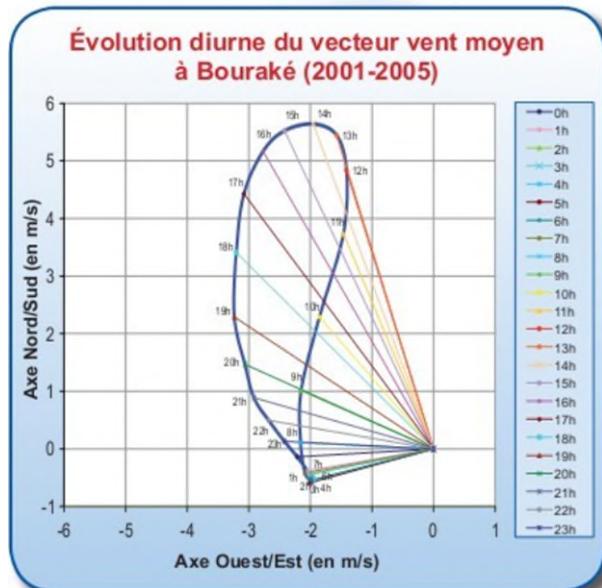
La commune de Boulouparis compte 4 stations météorologiques supervisées par météo nc :

- 2 stations climatologiques : BOULOUPARIS\_DOUBLE et LA OUENGHI
- 2 stations automatiques : BOURAKE et BOULOUPARIS

Les fiches climatiques associées permettent de synthétiser les tendances détaillées ci-dessous. Les tendances détaillées dans les paragraphes suivants s'expliquent notamment par la topographie de Boulouparis avec un littoral protégé par la baie de St Vincent et ses îlots. A partir du littoral, s'étend une grande et large plaine agricole et d'élevage où la végétation est peu présente, ce qui renforce entre-autre, la sensation de chaleur. A noter que moins de 50% du territoire de Boulouparis est recouvert d'espaces naturels (hors sols nu, dégradés, anthropisés, savanes et zone cultivée de labour, de plantation et verger).

#### b. Vents

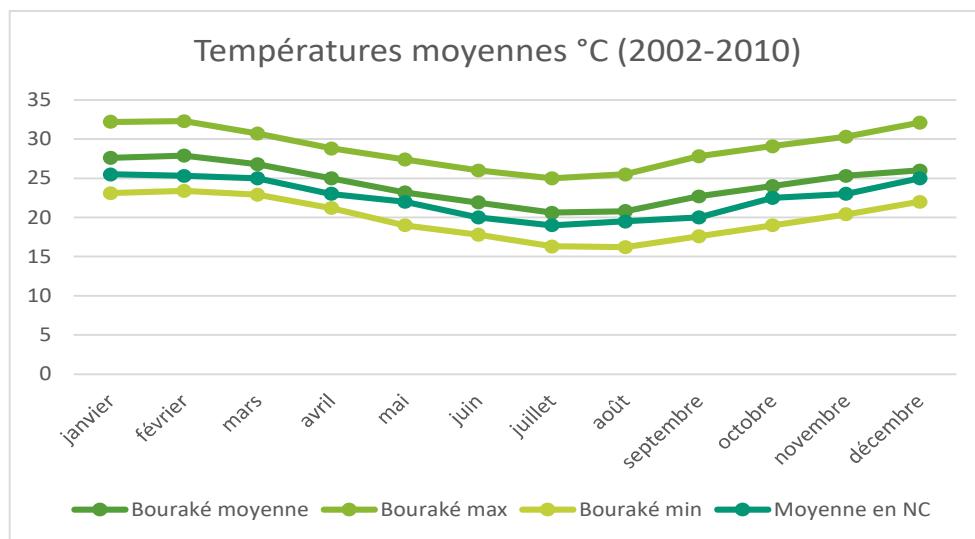
La rose des vents de Bouraké est typique de la côte ouest avec des vents faibles et de secteur est la nuit, puis une rotation vers le sud accompagnée d'augmentation progressive de la vitesse jusqu'en début d'après-midi. Ensuite, le vent tourne vers l'est et sa vitesse diminue progressivement.



**Figure 6 : Direction journalière du vent à Bouraké, sources : météo.nc**

### c. Températures

Le réchauffement climatique mondial impacte également le territoire avec une hausse des normales minimales et maximales des températures relevées. La station de Bouraké détient d'ailleurs le record de la température la plus élevée du territoire atteignant 38,7°C en 2002 et 2004. La température minimum la plus faible de 8°C relevée à la Ouenghi est supérieure au record minimal de Bourail de 2,3°C.

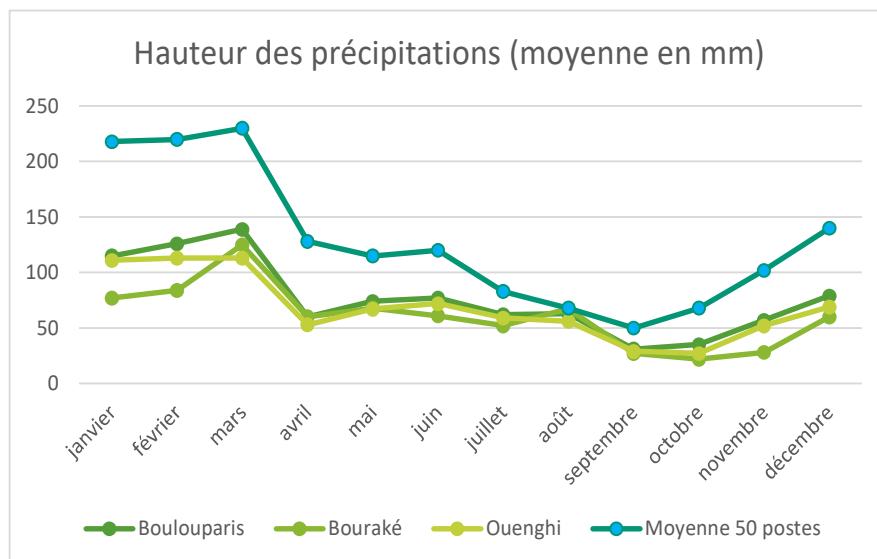


**Figure 7 : Courbes de températures moyennes à Bouraké, sources : météo.nc**

### d. Précipitations

Le relief de la chaîne, les vents dominants et la convection sont des phénomènes météorologiques qui expliquent les différences géographiques des pluviométries en Nouvelle Calédonie. Ainsi, la côte ouest est moins arrosée que la côte est. Le cumul des précipitations à Boulouparis (823mm) se situe dans la moyenne basse de la côte ouest (800mm à 1200mm) car la commune est sous le vent par rapport à la chaîne.

En complément, le graphique met en exergue le fait que les courbes vertes sont en dessous de la courbe bleue présentant la moyenne de 50 stations météorologiques de la Nouvelle Calédonie, notamment en été de novembre à avril où la commune est deux fois moins arrosée.



**Figure 8 : Courbes des hauteurs des précipitations moyennes, source : météo.nc**

Le cycle de pluviométrie annuel de Boulouparis est cohérent avec la répartition saisonnière de la Nouvelle Calédonie, soit une période pluvieuse en été et une période sèche en hiver d'août à octobre. Les hauteurs maximales de précipitation sont enregistrées à Boulouparis en février 2009 avec 190,5mm de pluie et en mars 1996 à la Ouenghi avec 180,7mm. Bouraké semble être la zone recensée étant la moins impactée par les précipitations avec une pluviométrie  $\leq$ 50mm durant 4 mois sur 12 et  $\leq$ 80mm toute l'année sauf en mars.

#### e. Cyclone

Compte tenu de sa position géographique, la Nouvelle Calédonie est soumise à des dépressions tropicales pendant la saison chaude, soit de novembre à avril.

Deux phénomènes caractérisent ce type de phénomènes naturels :

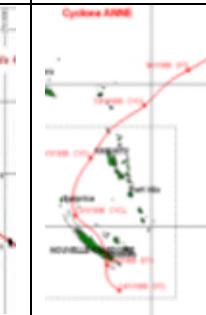
- Les vents forts pouvant générer des risques sur les structures et les équipements,
- Les précipitations denses pouvant générer des risques d'inondation des mêmes cibles.

Une étude issue de l'atlas climatique de la Nouvelle Calédonie ne dénombre pas moins de 16 dépressions actives sur 25 saisons cycloniques dont 6 passages de cyclone.

Lors du cyclone Erica, le 14 mars 2003, les vents moyens ont été estimés à 202 km/h en rafales (56 m/s) dans la zone de Nouméa (234 km/h à Koniambo). Il s'agit du dernier événement climatique d'ampleur sur le territoire.

Le tableau ci-dessous synthétise les cyclones qui ont particulièrement touchés la commune de Boulouparis avec des chiffres représentatifs de leurs intensités (liste non exhaustive) :

**Tableau 2 : Cyclones ayant impacté Bouloparis, sources : DAVAR, météo.nc, formatage CAPSE**

Cyclones	Niran	Cook	Erica	Anne	/
Date	01/03/2021 07/03/2021	07/04/2017 14/04/2017	13/03/2003 14/03/2003	12/01/1988 13/01/1988	24/02/ 1932
Données	Catégorie IV Vent : rafales max à Bouraké à 163 km/h	Vent : rafales max à Bouraké à 163 km/h	Crue Chabérongo Inondations d'habitations jusqu'à 30 cm	Crue Ouenghi habitats légères détruites	Crue Tontouta (+7,40m).
Trajets					

Les progrès de la météorologie permettent aujourd'hui de détecter et de suivre l'évolution d'un cyclone avant son arrivée. Meteo NC et la DSCGR (Direction de la Sécurité Civile et de la Gestion des Risques) transmettent des niveaux d'alertes préalables à l'arrivée de phénomènes cycloniques selon l'intensité du phénomène. En fonction du niveau d'alerte, l'exploitant de la centrale de stockage d'énergie mettra en œuvre ses procédures spécifiques de mise en sécurité des installations, type rangement de l'ensemble du site, ancrage des installations les plus légères, vérification du bon fonctionnement des alimentations de secours, ...

Le risque cyclonique est considéré même si des procédures de gestion de ce risque sont mises en place et sont testées régulièrement.

#### f. Foudre

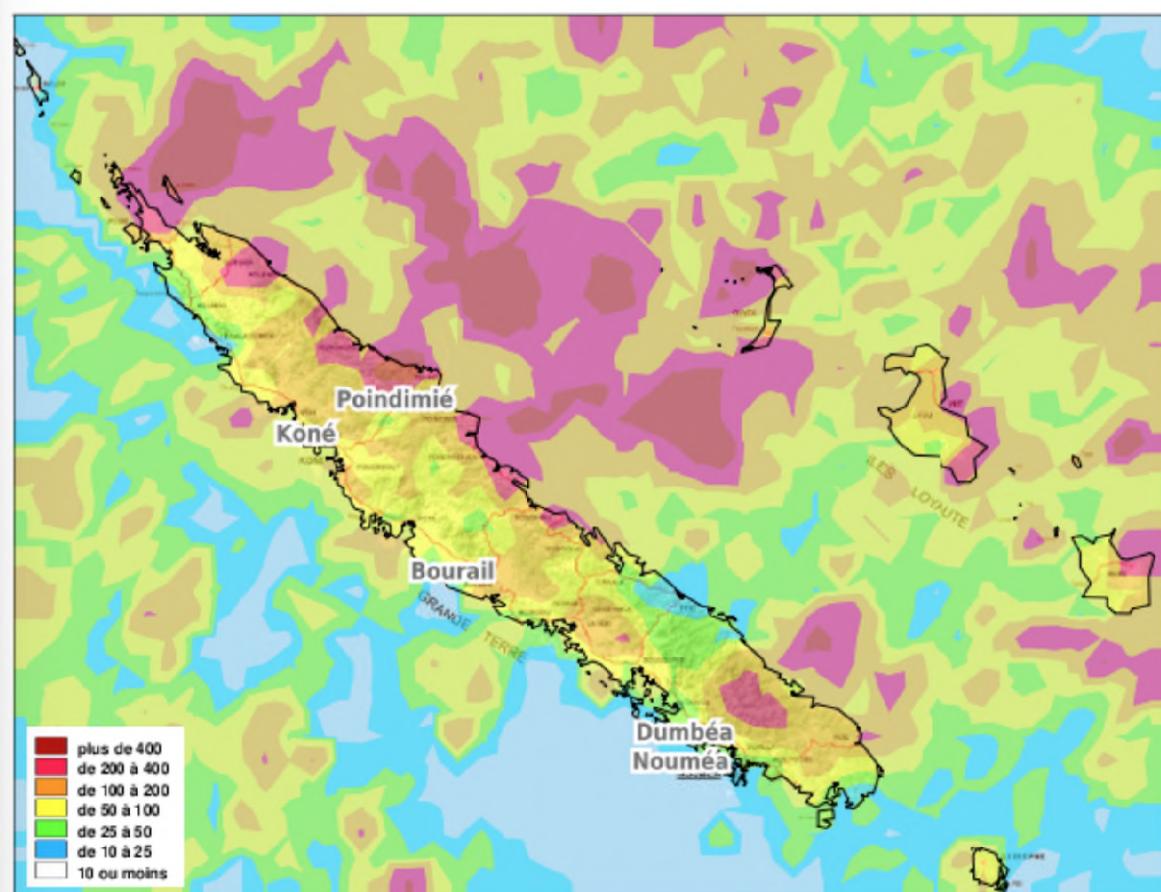
La foudre est un phénomène naturel, présent lors de phénomènes orageux, assimilable à un courant électrique, pouvant avoir sur les matériaux des effets directs (coup de foudre) ou des effets indirects (montées en potentiel générant des amorçages, ondes électromagnétiques induisant des tensions...).

La sévérité des risques de chute de foudre dans une région est caractérisée par un ensemble de critères dont les plus utilisés sont :

- le niveau kéraunique ( $T_d$ ) qui est le nombre de jours d'orage par an,
- la densité de foudroiement ( $N_g$ ) qui est le nombre de coups de foudre au sol par  $\text{km}^2$  et par an.

Le niveau kéraunique a été enregistré par Météo France sur des périodes allant de 8 à 19 ans, aux emplacements des stations météorologiques.

L'année 2021 se place ainsi au 3<sup>ème</sup> rang des années les plus foudroyées au cours de la période 2014-2021. 9 099 éclairs nuage-sol ont été comptabilisés sur l'ensemble terrestre de la Nouvelle-Calédonie.



**Figure 9 : Nombre d'éclairs nuage-sol en 2021 (maille 10kmx10km), source : météo.nc**

en l'absence de données précises sur la densité de foudroiement ( $Ng$ ) (ce qui est le cas pour la Nouvelle Calédonie) une approximation peut être faite avec la relation :  $Ng = 0,1 \text{ Td}^1$ . Avec un niveau kéraunique moyen estimé à 12, on estime la densité de foudroiement à environ 1,2 coups de foudre/km<sup>2</sup>/an.

Sur Nouméa, le niveau Kéraunique est de 8,5 et la densité de foudroiement de 0,85 coups de foudre/km<sup>2</sup>/an.

Ces chiffres confirment que le risque d'impact lié à la foudre existe sur le territoire bien que plus faiblement qu'en d'autres régions de la planète.

Une étude d'analyse du risque foudre et une étude technique seront réalisées sur la centrale de stockage d'énergie selon les nécessités identifiées.

A ce stade, il apparaît que le risque foudre sera limité sur la centrale de stockage notamment grâce à la mise en place de dispositifs de protection adéquats, incluant:

- ✓ L'installation de parafoudres à l'intérieur de chaque tableau électrique avec descente de mise à la terre,

<sup>1</sup> Norme NF EN 62305-2:2006 Protection contre la foudre - Evaluation du risque.

- ✓ La pose de paratonnerres adaptée selon les besoins spécifiques du site,
- ✓ La vérification régulière de l'efficacité et de la conformité des systèmes de protection.

Des contrôles périodiques seront effectués, notamment pour évaluer le bon fonctionnement du système de drainage de la foudre et vérifier l'intégrité du réseau de mise à la terre. Ces contrôles annuels seront effectués par une entité spécialisée agréée.

#### g. Feux de brousse

Les risques de feu de brousse sont réels sur la zone de Boulouparis, surtout en période sèche. Le site est entouré de grandes plaines agricoles, mises en valeur pour les différentes cultures ou pour les installations photovoltaïques à proximité. Ces zones font l'objet de nombreux départs de feu pouvant potentiellement se propager vers la centrale de stockage d'énergie.

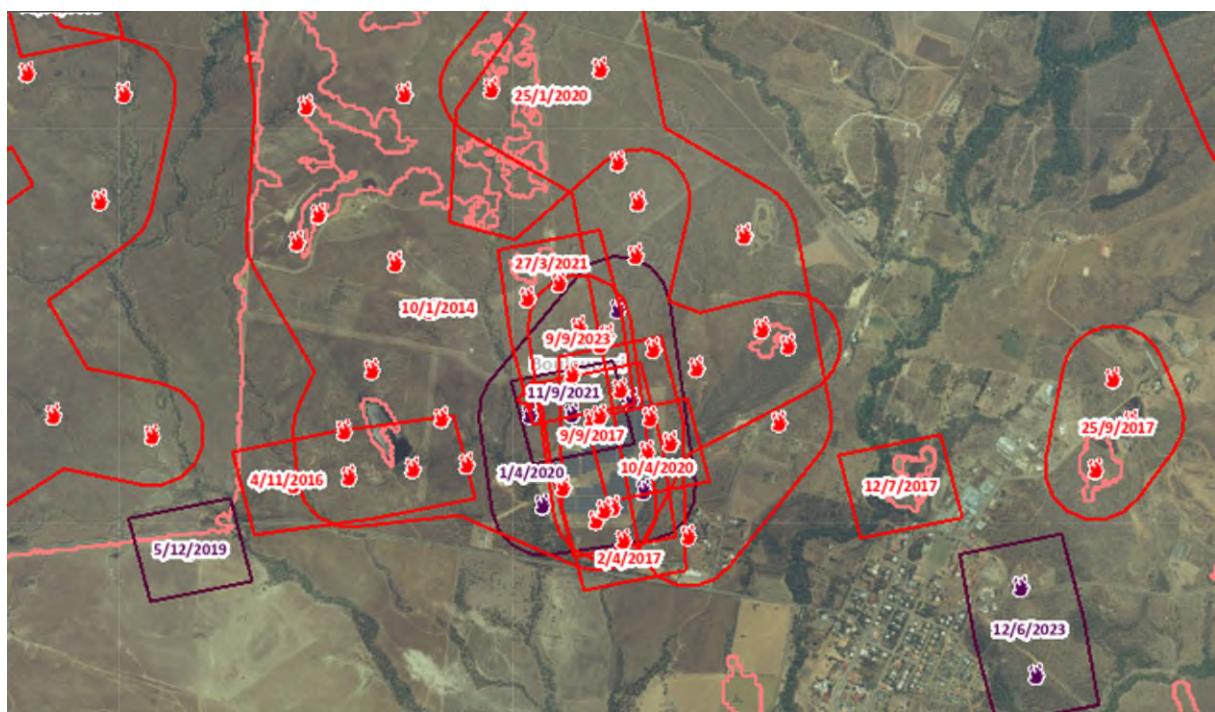


Figure 10 : Feux recensés entre 2014 et 2023, source : oeil.nc

Pour réduire ce risque, la végétation aux abords la centrale de stockage d'énergie est défrichée et l'herbe maintenue rase sur les 10m entre l'installation et la limite de propriété.

#### h. Sismicité

L'évaluation de l'aléa sismique revient à quantifier la possibilité pour un site ou une région, d'être exposé à une secousse sismique de caractéristiques connues. Les paramètres à prendre en compte pour définir un séisme sont :

- L'intensité estimée en un lieu donné à partir de l'ensemble des effets engendrés par la secousse sismique, sur la population, les ouvrages et l'environnement.

- Les paramètres de mouvement de sol : accélération, vitesse, déplacement, spectre du signal, mesurés à partir d'appareillages spécifiques.

La région du Sud Pacifique est limitée à l'ouest par le craton Australien et à l'est par le domaine océanique du Pacifique. C'est une zone complexe composée de bassins marginaux et de lanières continentales où actuellement deux subductions à polarités opposées se développent. Une à vergence est, pour la fosse du Vanuatu et l'autre à vergence ouest pour la fosse des Tonga-Kermadec. C'est donc au niveau de ces zones de contact que se situe la majeure partie des séismes de la région.

La Nouvelle-Calédonie correspond à une ancienne zone de collision qui a été active entre -100 et -20 Millions d'années.

Les observations faites par l'IRD ont montré qu'il existait une micro sismicité principalement localisée au niveau de la chaîne et des failles bordières récifales.

La Nouvelle-Calédonie est considérée comme une zone tectoniquement stable, très peu sismique. La majorité des séismes qui y sont ressentis ont leur épicentre situé sur la zone de subduction. Quelques séismes locaux sont malgré tout ressentis, mais l'intensité n'excède jamais V ou VI sur les échelles EMS 98 ou MSK 64.

Bien que n'étant pas incluse dans le zonage sismique français défini dans le décret n° 91-461 du 14 mai 1991 modifié, la Nouvelle Calédonie est considérée, par assimilation, comme étant en zone 0 de « sismicité négligeable mais non nulle ». Ce classement correspond à une zone où aucune secousse d'intensité supérieure à VIII n'a été observée.

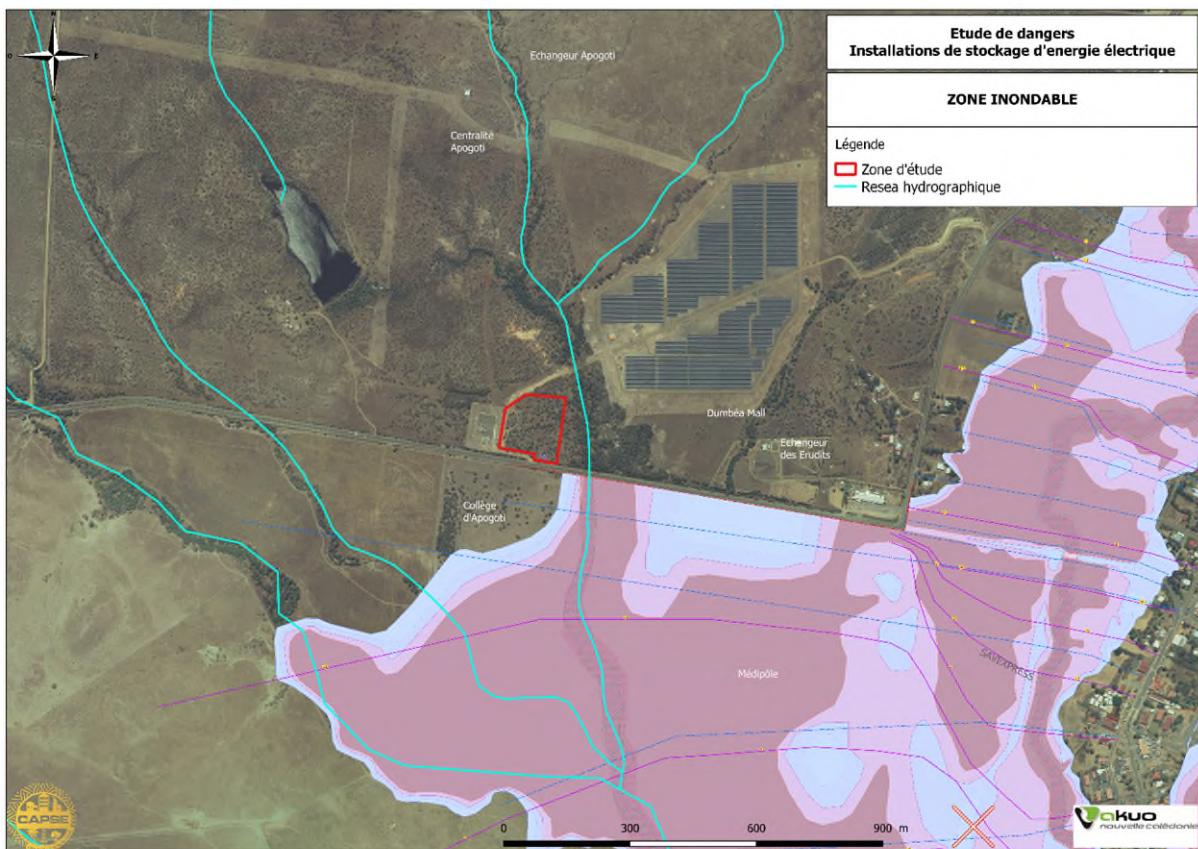
Par conséquent, il n'y a pas de prescriptions parasismiques particulières applicables la centrale de stockage d'énergie.

#### i. Mouvements de terrain

Les mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie dépendent de plusieurs facteurs : la topographie, le climat, la géologie. Le site n'est pas assujetti aux mouvements de terrain du fait de sa topographie plane. Aucun signe de mouvement de terrain n'a été observé historiquement.

#### j. Inondabilité

La centrale de stockage d'énergie se situe sur une zone présentant des signes d'inondabilité à proximité selon les informations d'une étude d'inondabilité historique disponible sur Georep NC .



**Figure 11 : Localisation de la zone inondable sur Boulouparis, source : georep.nc, CAPSE**

Pour lever cette incertitude, l'exploitant a réalisé une étude d'inondabilité de la zone du projet par le bureau d'études Soproner pour affiner l'implantation de la centrale de stockage d'énergie.

La méthodologie utilisée dans le cadre de l'étude réalisée par Soproner est d'analyser les données existantes sur la zone c'est-à-dire des données topographiques, pluviométriques, hydrologiques. Puis de caractériser le fonctionnement des cours d'eau dans la configuration actuelle (débit de pointe, temps de concentration des bassins versants, débit moyen) et enfin de cartographier la zone inondable en crues de périodes de retour 10, 20 et 100 ans en utilisant la modélisation hydraulique pour construire un modèle des creeks sur l'emprise de la zone d'étude, afin de simuler les crues de référence théoriques.

Les résultats de l'étude sont donnés dans les représentations suivantes. Un aléa est la probabilité d'occurrence en un point donné d'un phénomène naturel de nature et d'intensité définies. Les inondations, glissements de terrains, tornades sont des exemples de phénomènes naturels.

La carte des aléas inondation résulte ici du croisement entre la hauteur d'eau et la vitesse selon les critères suivants:

Hauteur d'eau	Vitesse	
	Faible à modérée $\leq 1\text{m/s}$	Forte à très forte $> 1\text{m/s}$
$H \leq 1\text{ m}$	Moyen	Fort
$1 < H \leq 1,5\text{ m}$	Fort	Très fort
$H > 1,5\text{ m}$	Très fort	

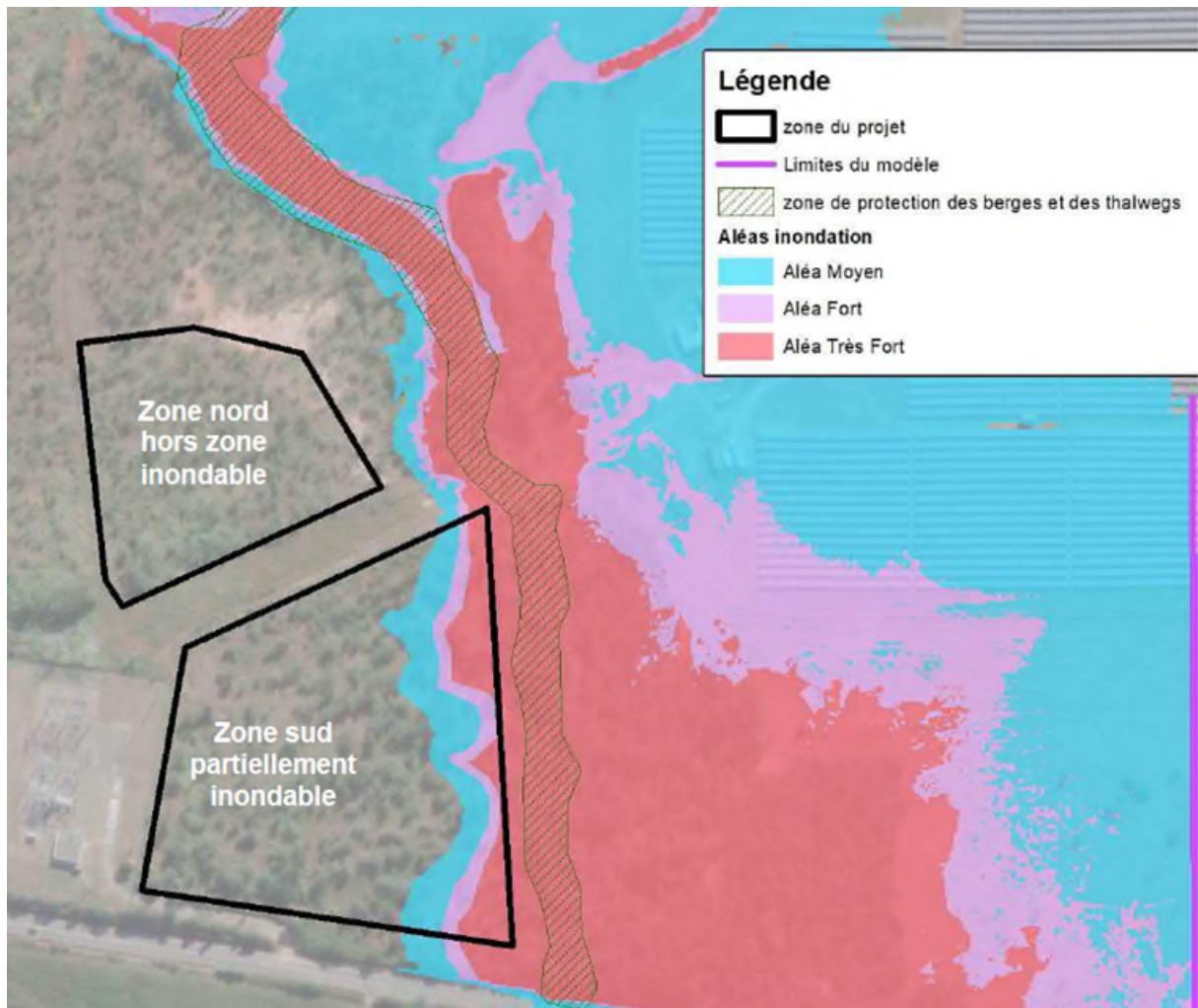


Figure 12 : Représentation des aléas de la zone de projet

La zone nord du projet est hors zone inondable (1.26 ha). La zone sud est en dehors de la zone de protection des berges et des thalwegs. La majorité de la zone sud du projet (72% de la surface de la zone sud, soit 1.88 ha) se trouve hors zone inondable.

Sur la zone sud du projet :

- 13% de la surface de la zone du projet ( $3343\text{ m}^2$ ) se trouve en aléa moyen,
- 6% de la surface de la zone du projet ( $1572\text{ m}^2$ ) se trouve en aléa fort,
- 9% de la surface de la zone du projet ( $2437\text{ m}^2$ ) se trouve en aléa très fort.

Akuo a pris en compte le résultat de cette étude pour réaliser l'implantation, le design de son installation avec mise en oeuvre des conteneurs sur longrines d'environ 25cm, et positionner hors zone aléa moyen tous les équipements de la centrale de stockage.

L'intégralité de cette étude d'inondabilité est disponible en Annexe 3.

k. Tsunami

La Nouvelle Calédonie est exposée principalement aux tsunamis d'origine locale ou régionale provoqués par des séismes se produisant au niveau des zones de subduction au sud des Salomons et du Vanuatu.

La probabilité de survenue d'un tsunami en Nouvelle Calédonie, dans un terme non défini, est considérée comme forte, en particulier sur la côte Est et les Loyautés étant exposées plus ou moins directement aux activités de l'arc du Vanuatu.

Une cartographie d'intensité de l'aléa risque tsunami est en cours de mise à jour par le gouvernement de la Nouvelle Calédonie. La côte Ouest est moins exposée de par la protection du lagon.

A l'échelle de la commune de Boulouparis, les risques tsunami les plus élevés (risque très fort) sont situés à faible altitude et à proximité des côtes comme à Bouraké, Tomo ou encore Port-Ouenghi même si la baie de St Vincent est protégée par sa barrière de corail et ses îlots. Le risque diminue et devient inexistant au sein des terres, hormis au niveau du lit majeur des rivières de la Ouaya, Ouenghi ou Tontoua au sein desquels un risque tsunami faible est observé jusqu'à la route territoriale (RT1).

Par conséquent, et au regard de la distance du site avec le trait de côte, aucune prescription particulière n'est applicable à l'installation.

## 7. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS ET DES PRODUITS

### 7.1. Schéma unifilaire

Le schéma unifilaire se décompose en plusieurs parties, représentant ensemble toute l'installation, incluant la partie courant continu (« DC »), courant alternatif (« AC »), Basse Tension ("BT"), Haute Tension ("HT"), communications, comptage et protections.

Les différents schémas SLD sont présentés ci-dessous.

- I. Schéma unifilaire principal :
- i. Le PDL

L'installation est faite de deux sous-systèmes 1 et 2 et B identiques. Afin de faciliter la lecture du document, nous n'illustrons dans cette partie qu'un des deux sous-systèmes.

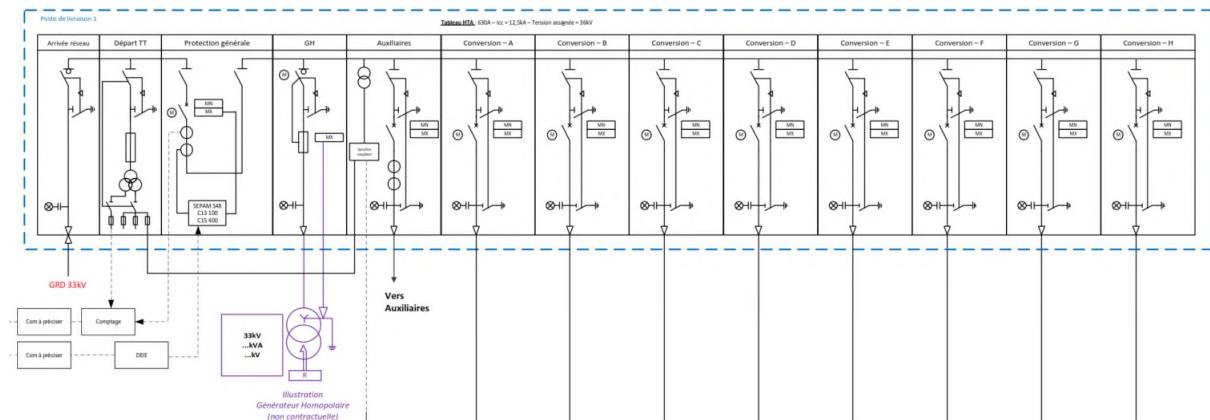


Figure 13 : Schéma unifilaire d'un PDL

Les 15 skids sont connectés en antenne<sup>2</sup>, avec des protections permettant de les isoler depuis le PDL.

Afin d'assurer une synchronisation efficace lors du couplage (qui sera effectué au niveau des onduleurs), il est prévu d'installer un TT (Transformateur de Tension) au niveau de la cellule d'arrivée d'Enercal qui communiquera avec le relais de la cellule de couplage de la centrale. Le relais aura pour fonction d'exécuter un contrôle de synchronisation (synchro-check) pour autoriser le couplage de la centrale lorsque les conditions spécifiées dans la convention de raccordement seront satisfaites. Il y aura donc une cellule TT de part et d'autre de la cellule de protection.

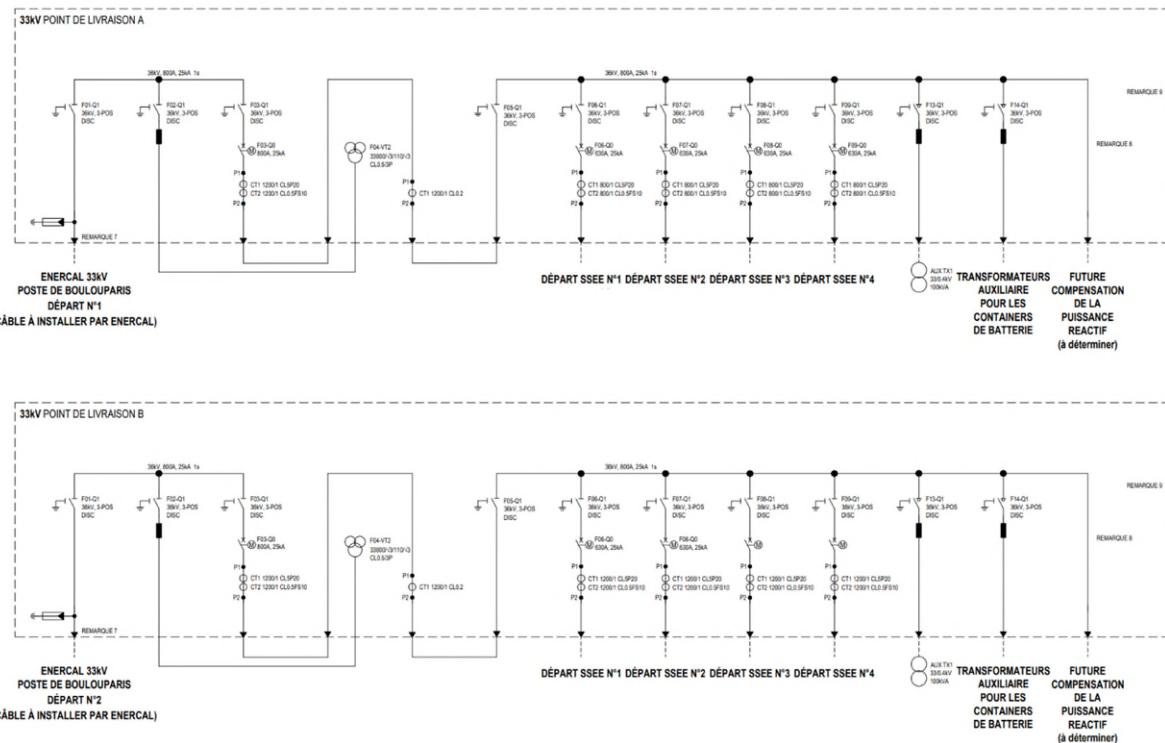


Figure 14 : Schéma unifilaire des PDLs

## ii. Du PDL aux BESS

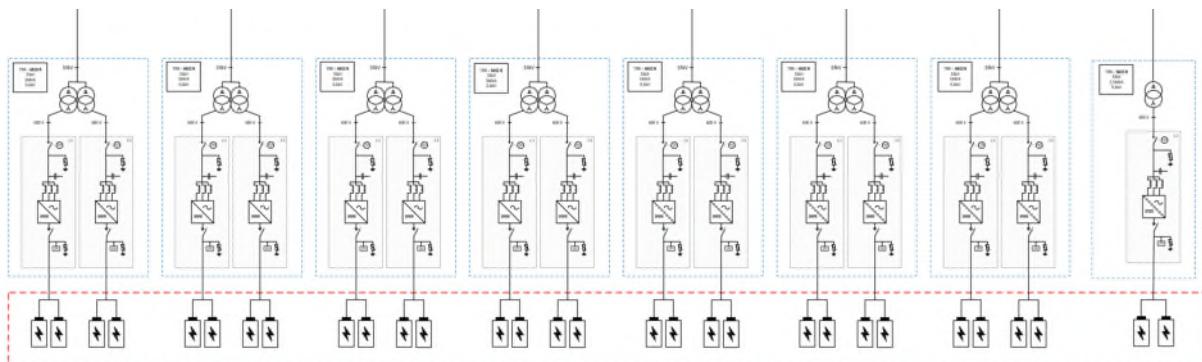


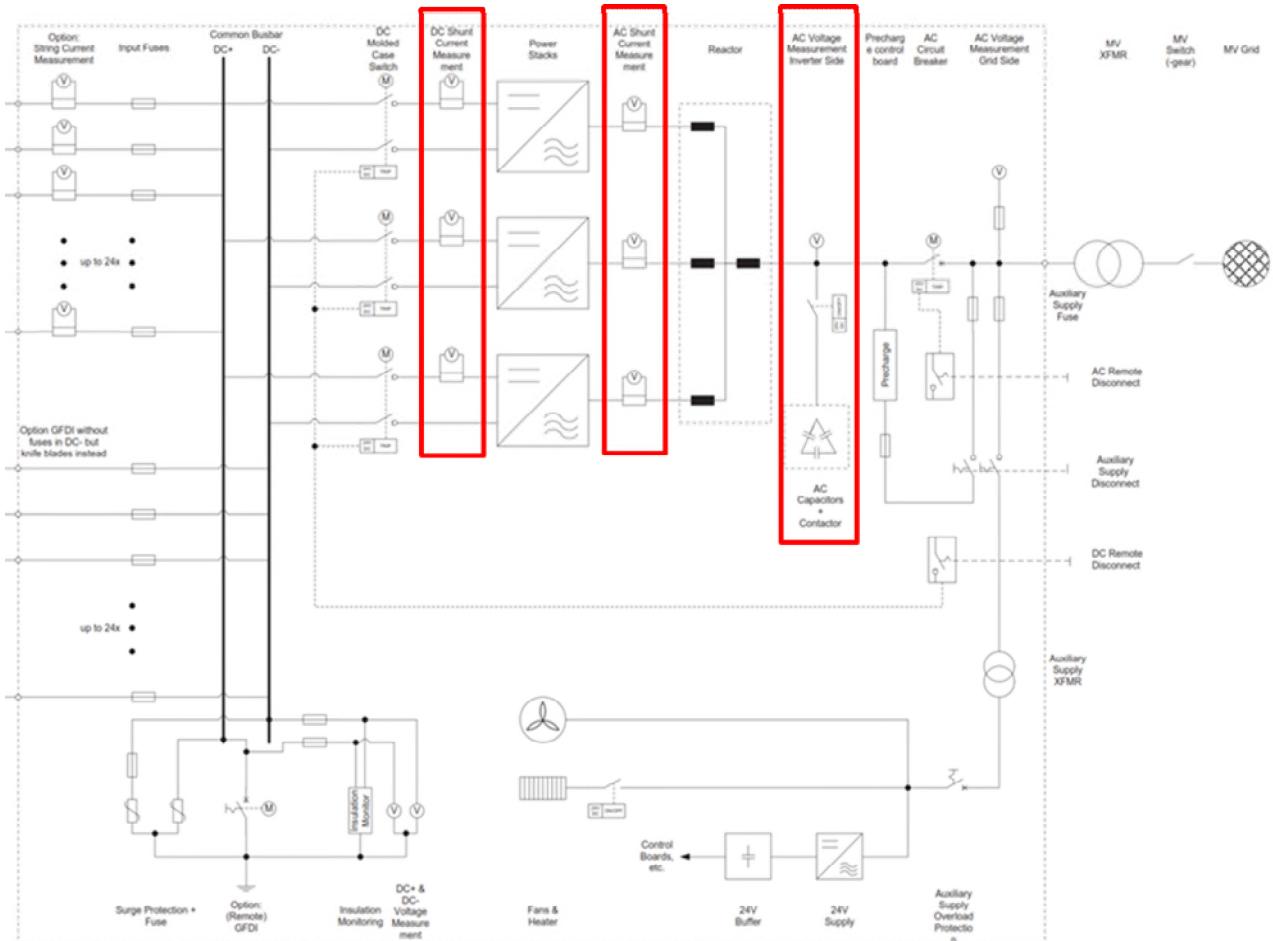
Figure 15: Schéma unifilaire entre le PDL

Les différents blocs de batteries sont connectés directement aux PCS. Chaque conteneur de batterie a deux sorties DC.

Chacune des sorties est connectée aux onduleurs par un câble 1x2cx500mm2 Al.

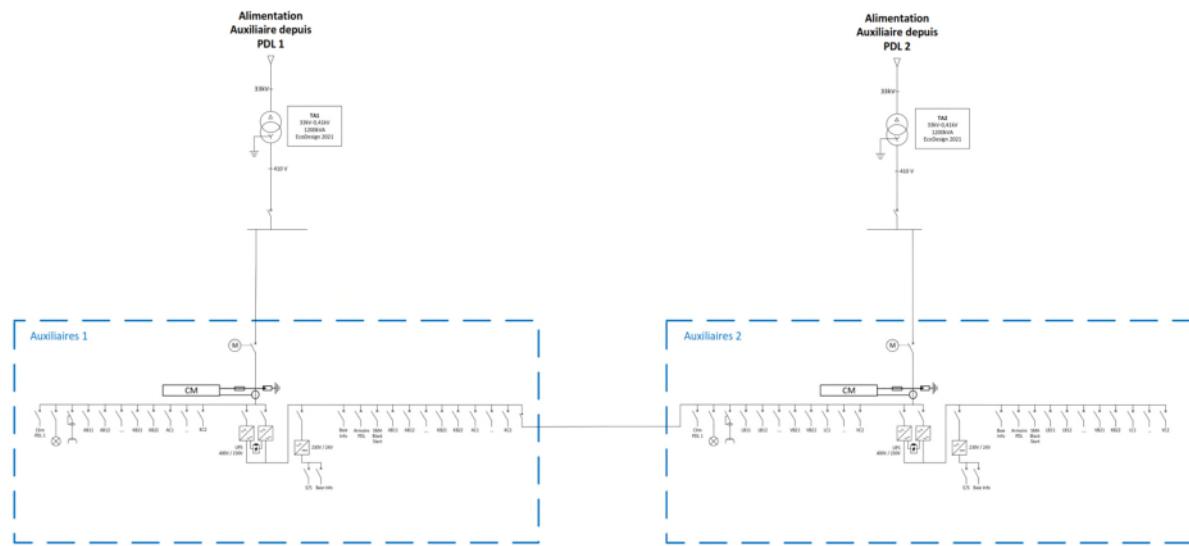
### iii. Dispositif de comptage BT :

Comme montré dans le schéma unifilaire de SMA ci-dessous, les onduleurs disposent d'un dispositif de mesure de courant (AC et DC), ainsi que d'un dispositif de mesure de tension. Le BESS dispose donc d'un dispositif de comptage BT, situé dans chaque onduleur.



**Figure 16 : Dispositif de comptage BT**

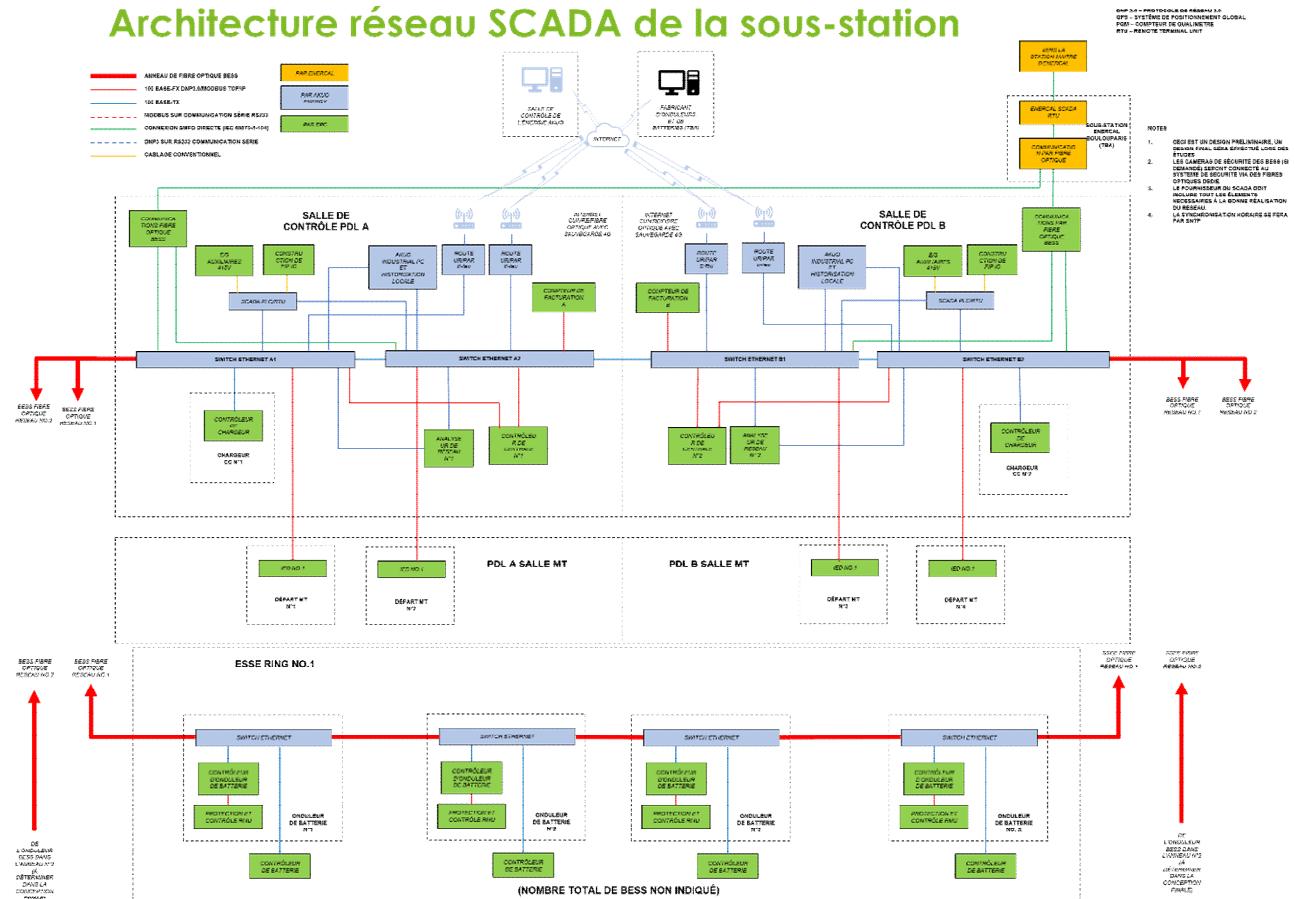
m. Schéma unifilaire des auxiliaires :



**Figure 17 : Schéma de communication**

n. Schéma unifilaire de communication :

## Architecture réseau SCADA de la sous-station

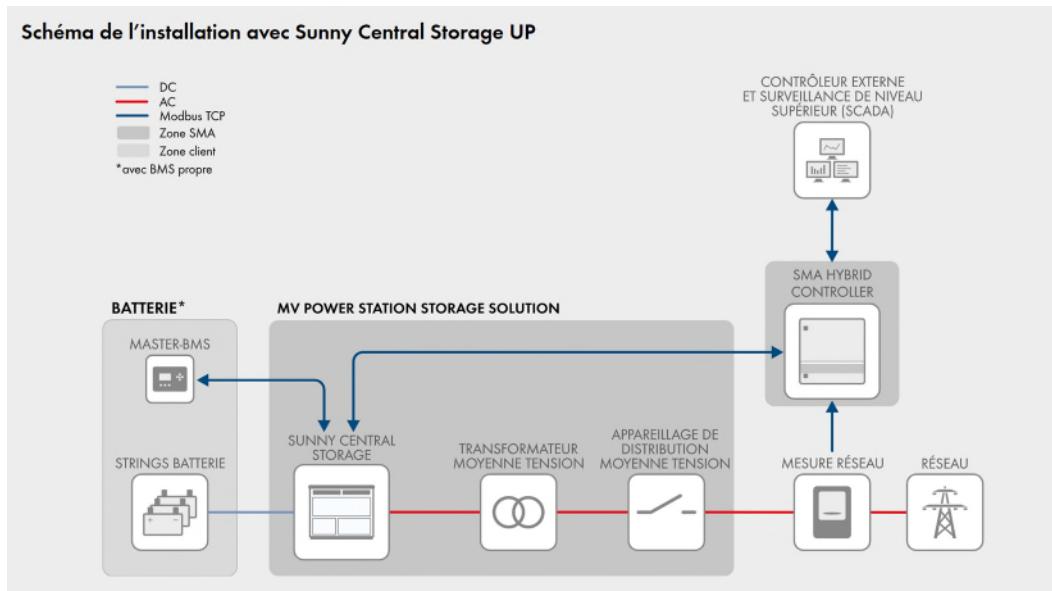


**Figure 18 : Schéma de communication**

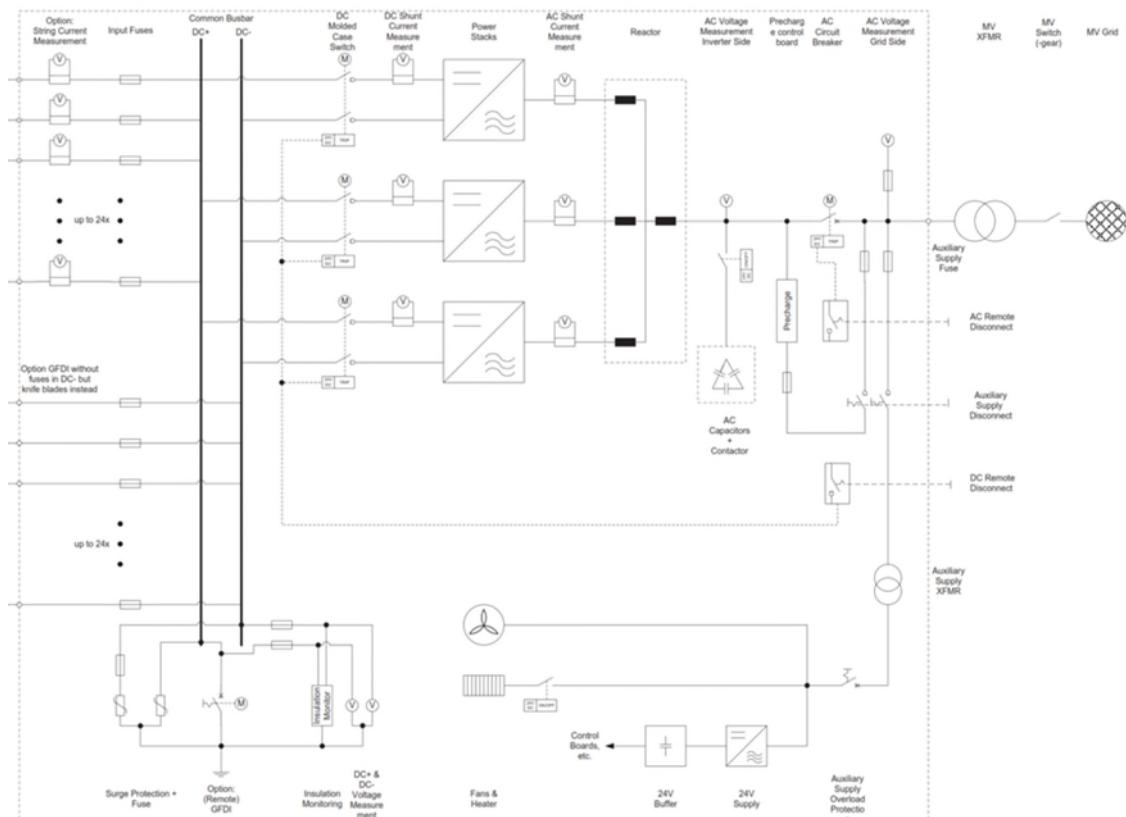
### o. TGBT :

Les onduleurs et les transformateurs sont organisés en skids, de la manière suivante :

Chaque onduleur est connecté directement à un transformateur sur un skid, tel qu'illustré ci-dessous. Il n'y a donc pas de mise en parallèle des onduleurs avant la connexion aux transformateurs, et donc pas besoin de TGBT à cet endroit.



Par ailleurs, les onduleurs disposent de multiples protections, tel que montré ci-après.



**Figure 19 : Schéma de fonctionnement des onduleurs**

La mise en parallèle est effectuée au niveau des cellules HTA, où les protections nécessaires sont en place, dans le PDL.

## 7.2. Caractéristiques techniques des principaux équipements

Le Système de Stockage d'Énergie Électrique appelé « SSEE » ou encore « BESS » sera composé de plusieurs parties. Le SSEE se compose de :

- Batteries
- Onduleurs
- Transformateurs
- Postes de Livraison
- Un système de contrôle-commande SCADA

L'architecture du BESS est décomposée en deux sous-systèmes SSEE A et SSEE B, identiques en tous points. Les éléments et dimensionnement de ceux-ci sont décrits ci-dessous.

### 7.2.1 Batteries

Le stockage Lithium-Ion est la technologie la plus avancée pour l'application de stockage d'énergie stationnaire, qui plus est, de taille conséquente.

Pour l'application demandée, une analyse extensive du marché des leaders mondiaux de la fourniture de batteries Li-ion a été lancée. L'indépendance du groupe Akouo vis-à-vis de tout fournisseur de batteries nous a permis de choisir le fournisseur le plus adapté.

Cette analyse nous a permis de comparer de nombreux fournisseurs français et internationaux (Narada, SAFT, Huawei, SYL, Wartsila, Fluence, Sungrow parmi d'autres). Nous avons notamment pu considérer pour chacun des fournisseurs et leur produit :

- La quantité d'énergie installée afin de permettre de respecter les requis du réseau
- L'expérience du fournisseur, la qualité du produit proposé, ses offres de garantie et support technique ;
- Les caractéristiques techniques du produit (rendement, redondance, compatibilité avec les onduleurs, possibilités de transport, plage très importante de SoC à  $P_{maxabs}$  et  $P_{maxinj}$  de 100%, systèmes anti-incendie, normes) ;
- La fiabilité du fournisseur vis-à-vis de ses engagements, ses propositions commerciales et garanties de délais afin d'assurer le bon déroulement du projet.

Nous avons conclu de tous ces échanges que la technologie la plus adaptée au projet est celle de Narada Power, qui répond à tous nos critères et ceux de l'appel d'offre avec leur solution de conteneurs ISO 20 pieds avec refroidissement par liquide (R 410 A).

### a. Présentation du fournisseur de batterie

La société **Narada Power** a été créée en 1994 et est spécialisée dans la fourniture de systèmes de stockage d'énergie intégrés pour différents marchés tels que celui des véhicules électriques et celui des énergies renouvelables. Présente dans plus de 40 pays à travers le monde depuis son siège en Chine, la société emploie plus 8 000 personnes en Chine et en dehors, et est aussi active sur le marché domestique Chinois que le marché international. Au total, ce sont plus de 170 projets, dont 60 hors de Chine, qui ont été mis en œuvre depuis 2010.

A fin 2021, leur capacité installée dépassait déjà les 2 300 MWh, et leur capacité de production de batteries lithium-ion était de plus de 8,2 GWh/an. Leurs revenus en 2020 étaient de USD 10,3 milliards.

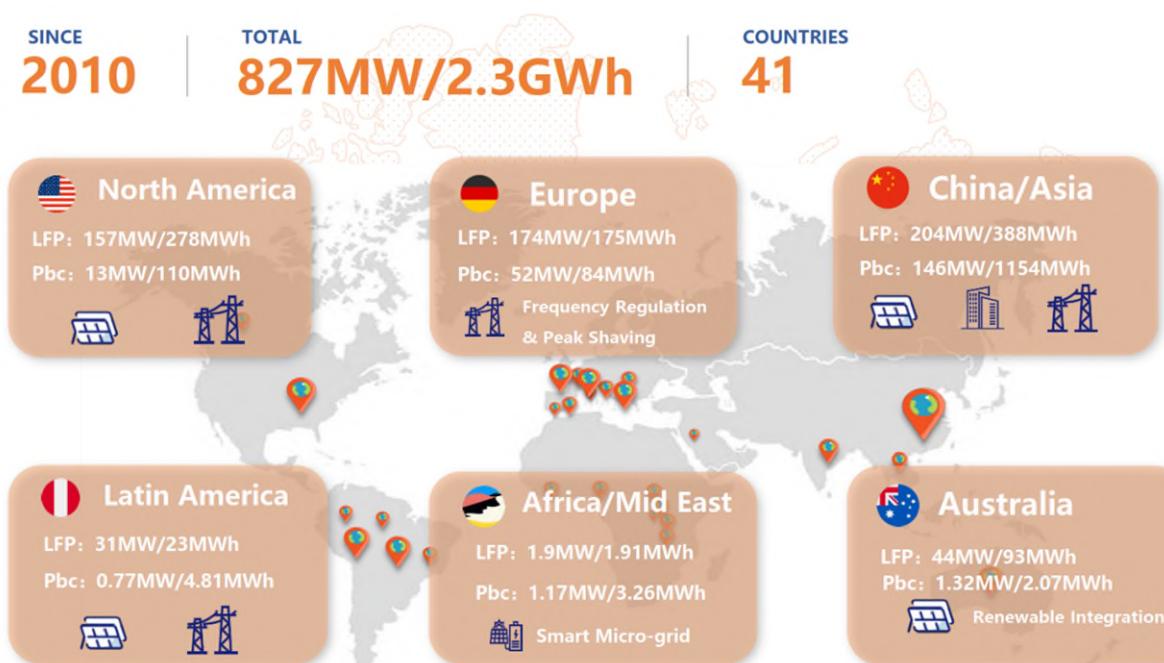
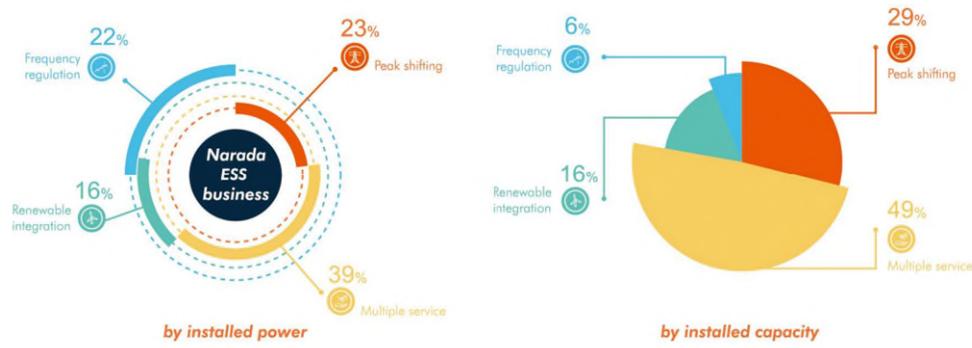


Figure 20 : Les projets de Narada à travers le monde

Les clients de Narada incluent des entreprises comme Sungrow, Enel green power, Ingeteam, Engie ou encore EDF énergies nouvelles.

Les batteries Narada installées à ce jour sont pour tous types d'applications, incl. l'intégration d'énergies renouvelables, la régulation de fréquence ou encore le stockage d'énergie, capacités qui seront toutes utiles pour le réseau néo-calédonien.



**Figure 21 : Répartition des projets de Narada entre différents types d'applications**

Le rapport de DNV « 2022 Battery Scorecard » (25 pages, disponible sur demande) a placé Narada dans le **top 3 des fournisseurs de batterie LFP** dans les deux catégories évaluées : décharge de moins de 2h pour du support réseau et décharge de 4h pour du déplacement de production solaire. C'est exactement dans ce cadre que s'inscrit le SSEE envisagé à Boulouparis.



**INDEPENDENT ENGINEERING REPORT  
BANKABILITY STUDY FOR BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM**

Un rapport d'audit d'UL (norme de sécurité pour un système de stockage d'énergie) daté de mars 2022 préparé spécifiquement pour Narada conclue que « la ligne de production est propre et hautement automatisée. Le processus de fabrication, de l'approvisionnement des matières premières à la livraison finale, est bien géré avec des procédures opératoires normalisées qui améliore l'efficacité et la qualité du processus. Narada a une gestion moderne des ressources humaines qui garantit une présence de ressources qualifiées en quantité suffisante pour la production et la Recherche et Développement.

L'équipe d'UL a examiné l'historique de la société Narada, sa part de marché et sa compétitivité, sa situation financière, sa propriété intellectuelle, etc. UL considère que la société est très compétitive en Chine ainsi que sur le marché mondial des batteries, où la société se maintient dans la liste des 10 premiers fournisseurs au cours des dernières années. UL note que la stratégie à court terme de la société consiste à augmenter sa capacité de production de batteries, en particulier de batteries lithium-ion, à améliorer la qualité des produits par la R&D et le contrôle de la qualité, ainsi qu'à construire une chaîne industrielle en boucle fermée. Cette stratégie lui permettra de maintenir sa compétitivité sur le marché de premier rang et de renforcer la bancabilité de ses produits».

Le rapport complet (75 pages) est disponible sur demande.

## b. LFP

Les batteries LFP, pour lithium-fer-phosphate appartenant à la famille des batteries lithium-ion, se distinguent par leur longévité supérieure et leur sécurité accrue, en particulier concernant les risques d'auto-inflammation. Un avantage significatif de ces batteries est l'absence de nickel et de cobalt dans leur composition, deux éléments qui peuvent causer des préjudices environnementaux notables.

### **3.1.1.1. Principe général**

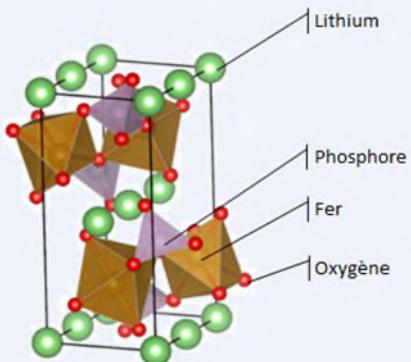
Une batterie est constituée d'un assemblage de cellules de base, appelées accumulateurs, enfermées dans une enveloppe protectrice. Les accumulateurs LFP, variantes des accumulateurs lithium-ion, fonctionnent sur le même principe d'échange d'ions lithium ( $\text{Li}^+$ ), qui naviguent à travers un électrolyte entre une électrode positive et une électrode négative. L'électrode positive se caractérise par une affinité élevée pour le lithium, permettant son accumulation pendant la décharge et son retour vers l'électrode négative pendant la charge. Ce principe est universel pour toutes les technologies d'accumulateurs lithium-ion.

### **3.1.1.2. Particularités des accumulateurs LFP**

La singularité des accumulateurs LFP repose sur le composé formant l'électrode positive : le Lithium-Fer Phosphate ( $\text{LiFePO}_4$ ).

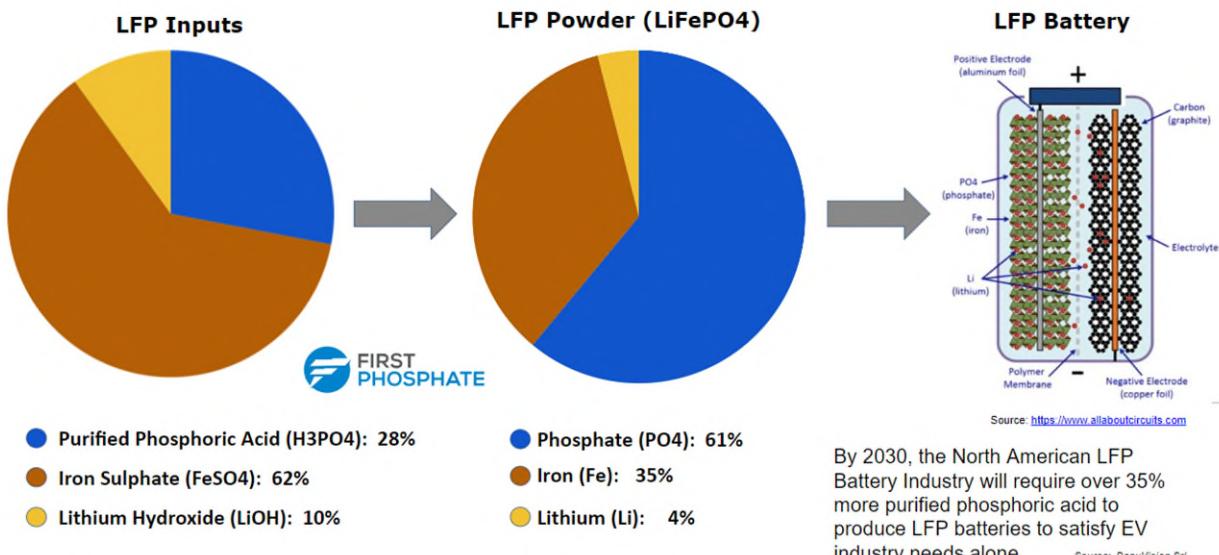
Ce composé chimique est structuré de manière que le fer et le phosphate, liés à l'oxygène, s'alternent, créant des interstices qui accueillent les atomes de lithium dans un réseau tridimensionnel. Cette configuration diffère notablement des matériaux utilisés pour les électrodes positives d'autres technologies lithium-ion, telles que le LCO (Lithium Cobalt Oxide), qui sont agencés en couches bidimensionnelles.. Lorsque l'accumulateur est pleinement chargé, le lithium est entièrement extrait de la structure du  $\text{LiFePO}_4$ , transformant le composé en phosphate de fer ( $\text{FePO}_4$ ). L'électrode négative est, comme pour d'autres technologies lithium-ion, constituée de graphite, un carbone organisé en feuillets qui héberge les atomes de lithium. L'électrolyte, non aqueux en raison de la réactivité du lithium avec l'eau, sert exclusivement de conducteur ionique, facilitant le déplacement des ions lithium à l'intérieur de l'accumulateur.

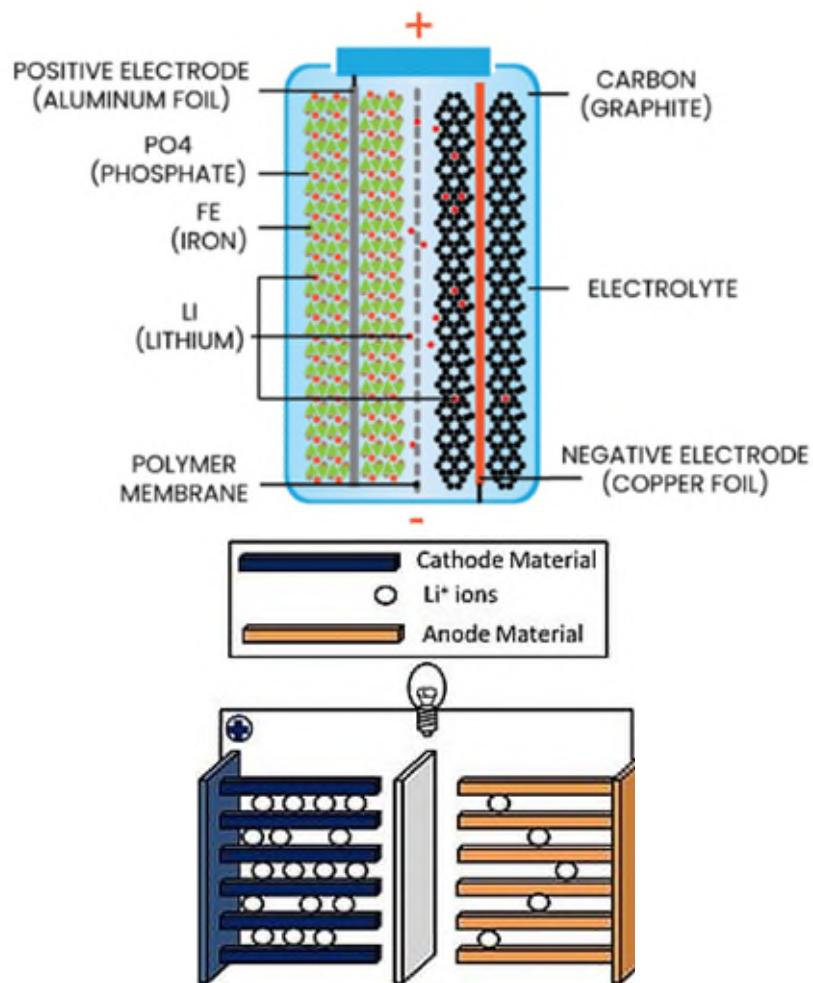
### STRUCTURE CRISTALLINE DU LFP



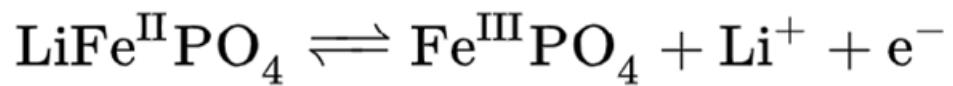
Dans la structure du LFP, de formule  $\text{LiFePO}_4$ , le fer occupe le centre de sites dits « octaédriques » (en marron), le phosphore occupe des sites dits « tétraédriques » (en violet). L'oxygène est représenté sous la forme de sphères rouges. Le lithium (sphères vertes) occupe l'espace disponible entre ces sites, selon un réseau tridimensionnel.

Structure chimique du Lithium-Fer-Phosphate Image : Origine : structure du LFP (gauche) : Tolganbek et al 2021 [1], structure du LCO : Ben Mills pour Wikimédia, composition, texte et légende par Révolution Énergétique.

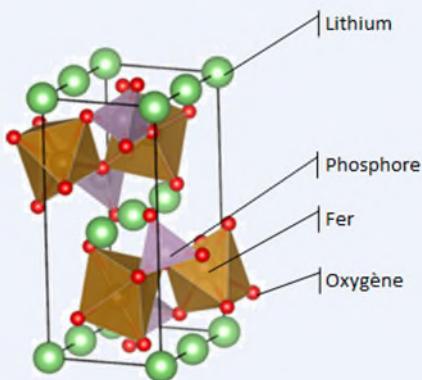




### About the LFP Battery - First Phosphate

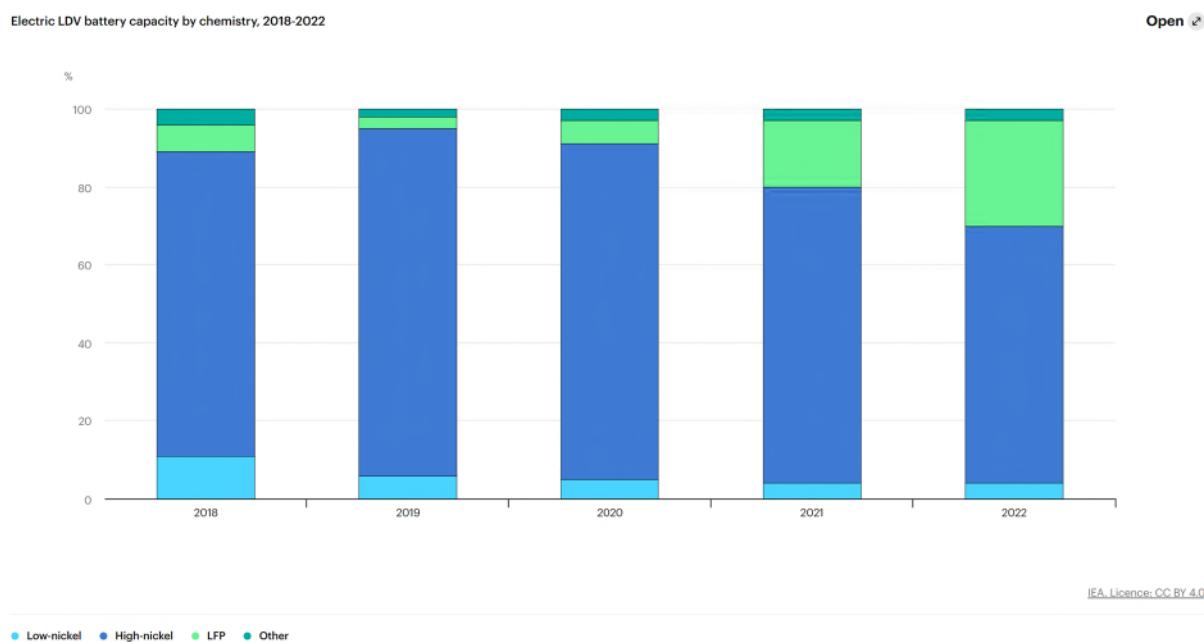


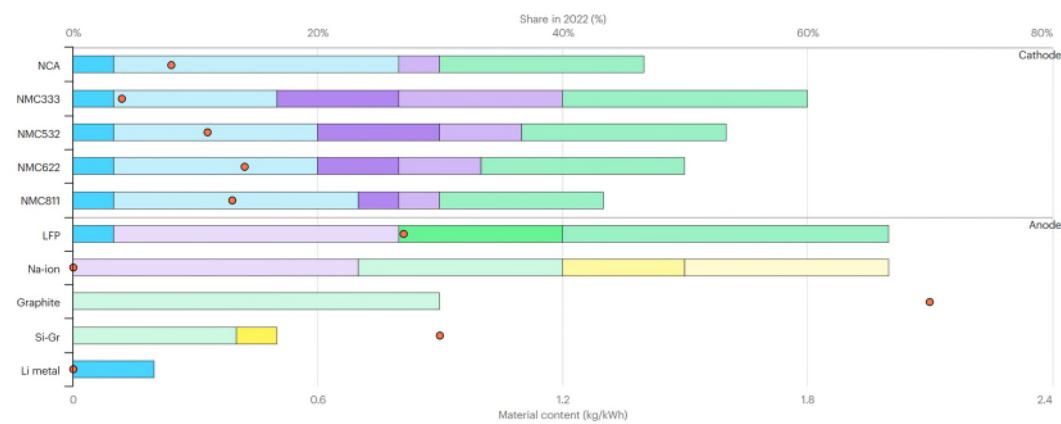
### STRUCTURE CRISTALLINE DU LFP



Dans la structure du LFP, de formule  $\text{LiFePO}_4$ , le fer occupe le centre de sites dits « octaédriques » (en marron), le phosphore occupe des sites dits « tétraédriques » (en violet). L'oxygène est représenté sous la forme de sphères rouges. Le lithium (sphères vertes) occupe l'espace disponible entre ces sites, selon un réseau tridimensionnel.

Face aux batteries NMC (Nickel, Manganèse, Cobalt), les batteries LFP gagnent en popularité, en raison de leurs avantages en termes de sécurité, durabilité, et moindre impact environnemental. )





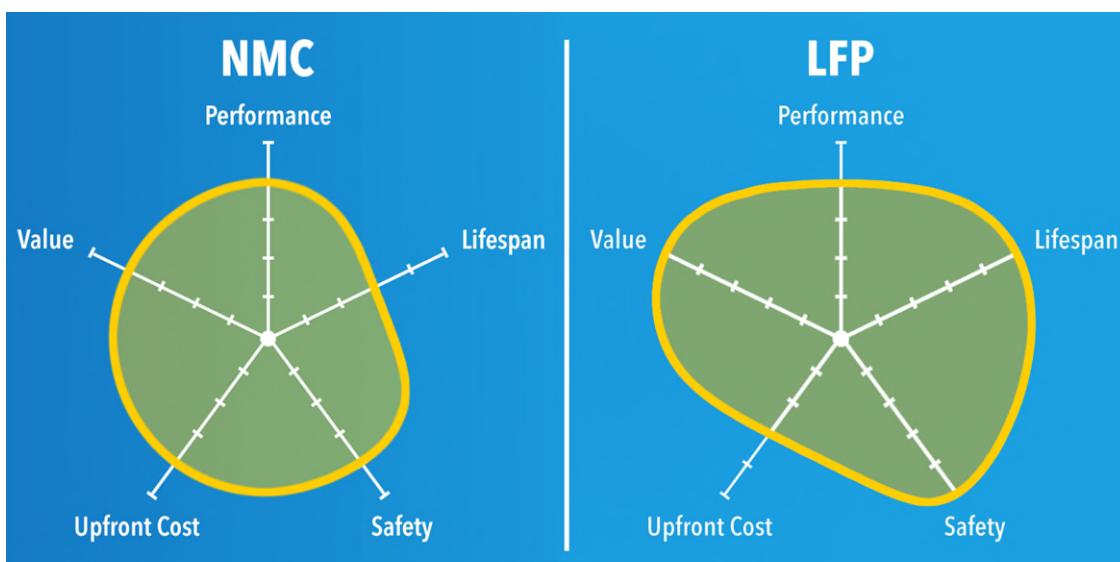
IEA Licence: CC BY 4.0

● Lithium ● Aluminium ● Nickel ● Manganese ● Cobalt ● Iron ● Phosphorous ● Oxygen ● Carbon ● Silicon ● Sodium ● Nitrogen ● Share in 2022

« L'un des principaux avantages d'une batterie LFP est sa sécurité. La combinaison lithium-phosphate de fer est plus stable que le nickel-cobalt manganèse à des températures plus élevées.

En outre, les batteries LFP peuvent mieux supporter des consommations d'énergie plus importantes. Pour cette raison, les batteries LFP sont moins susceptibles de subir un emballement thermique. En résumé, les piles LFP sont moins susceptibles de prendre feu que les piles NMC.

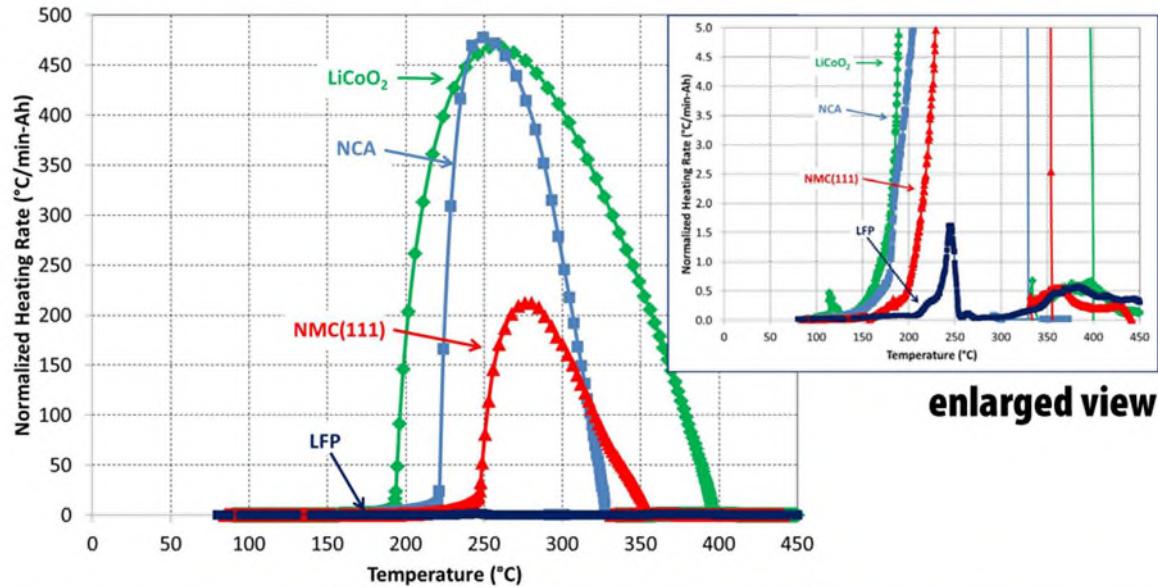
Cela ne veut pas dire que si vous installez une batterie NMC, elle va s'enflammer spontanément. Mais si une batterie NMC est trop sollicitée ou si elle est mal manipulée, le risque de dérapage est plus élevé. C'est pourquoi il est important de faire appel à un installateur agréé et digne de confiance pour votre batterie afin de minimiser les risques de dérapage. »



Source : « [Battle of the Batteries: NMC vs LFP. Which is Best for Solar? \(solarreviews.com\)](https://www.solarreviews.com/battle-of-the-batteries-nmc-vs-lfp-best-for-solar/) »

# Thermal Runaway: Impact of Cell Chemistry

*Accelerating rate calorimetry (ARC) of 18650 cells with different cathode materials*



- All measurements at 100% SOC and for cells with 1.2 M LiPF<sub>6</sub> in EC:EMC (3:7)
- Differences in runaway profiles are related to oxygen release and combustion at different cathodes

« On peut constater que parmi les technologies lithium-ion mentionnées ci-dessus, le LCO et le NCA sont les produits chimiques les plus dangereux du point de vue de l'emballement thermique, avec une augmentation de la température d'environ 470°C par minute.

La chimie NMC émet environ la moitié de l'énergie, avec une augmentation de 200°C par minute, mais ce niveau d'énergie provoque dans tous les cas la combustion interne des matériaux et l'inflammation de la cellule.

Par ailleurs, on constate que la technologie LiFePO<sub>4</sub> - LFP est peu sujette aux phénomènes d'emballement thermique, avec une élévation de température d'à peine 1,5°C par minute.

Avec ce très faible niveau d'énergie libérée, l'emballement thermique de la technologie Lithium Fer Phosphate est intrinsèquement impossible en fonctionnement normal, et même quasiment impossible à déclencher artificiellement.

Associé à un BMS, le lithium-phosphate de fer (LifePO<sub>4</sub> - LFP) est actuellement la technologie lithium-ion la plus sûre du marché »

Source : « [Safety of Lithium-Ion batteries - PowerTech Systems](#)”

### c. Présentation technique de la solution de stockage

La solution de stockage de Narada est une solution conteneurisée en conteneurs de 20 pieds.

Chaque conteneur se compose de :

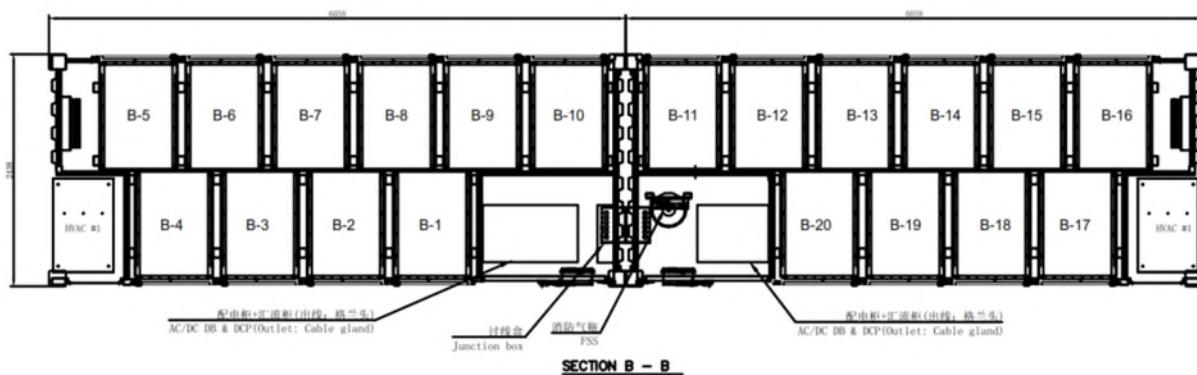
- 10 racks avec 8 modules de batterie par rack, contrôlés par un Système de management de la batterie (Battery Management System, ou « BMS »), assurant une surveillance et une gestion précises de chaque cellule pour optimiser performance et durabilité,
- Un système d'extinction incendie dédié, pour garantir une réaction rapide et efficace en cas de départ de feu, minimisant ainsi les risques pour l'équipement et le personnel,
- Deux unités de climatisation par liquide (« liquid cooling »), assurent la régulation thermique interne, maintenant les batteries dans leurs conditions de fonctionnement idéales et prolongeant leur durée de vie, et
- Une armoire DC, qui, équipée des protections nécessaires, centralise la gestion des flux d'énergie au sein du conteneur.

Les modules de batterie composant la base du conteneur offrent une capacité d'injection de puissance de 0.5C, signifiant qu'ils peuvent délivrer jusqu'à 75 MW à partir d'une capacité totale de 150 MWh. Pour le projet à Boulouparis, cela permet une flexibilité opérationnelle significative, avec la capacité d'absorber ou d'injecter 50 MW au niveau du PDL. Ces modules sont certifiés IP67, assurant une protection complète contre l'eau et les particules.

Pour des projets de plus grande envergure, tels que celui de Boulouparis, deux conteneurs de 20 pieds sont assemblés sur site pour former un module combiné de 40 pieds.

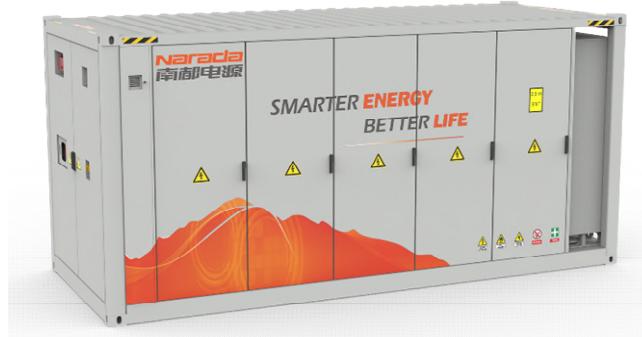
Chaque conteneur est conçu avec un haut niveau de sécurité incendie, avec des matériaux classés REI 90 sur les 5 faces (le dessus et les 4 côtés).

A l'intérieur, chaque conteneur est divisé en deux compartiments principaux : l'un abritant les modules de batterie, équipé de capteurs de température, de détecteurs de gaz et de fumée, ainsi que le BMS pour les modules et racks ; et l'autre, hébergeant l'armoire des auxiliaires, le système anti-incendie, et le système de refroidissement, assurant ainsi une gestion intégrée et sécurisée de l'ensemble du système de stockage d'énergie.



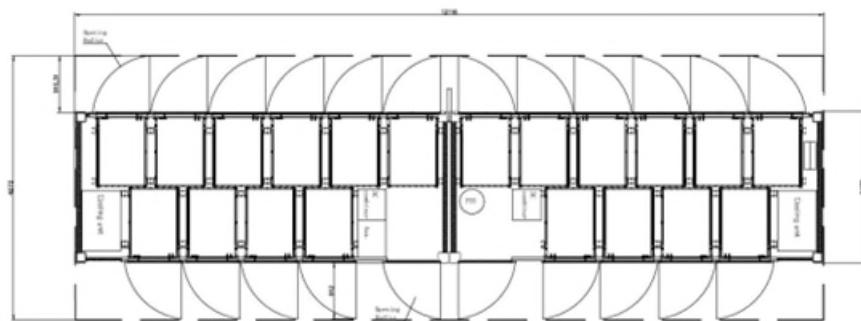
**Figure 22 : Configuration d'un twin conteneur Narada, avec armoires DC, AC et HVAC**

En trois dimensions, le double conteneurs 20 pieds de batterie se présente de la manière suivante (annexe Narada Center-L liquid cooling BESS-202304 (1) et 0. 20ft Joint Liquid Cooling System Description)



**Figure 23 : Représentation 3D d'un twin conteneur de Narada**

Son système d'ouverture se présente ainsi, avec une ouverture porte à porte :



**Center-L Liquid Cooling BESS**
**Narada**

Item	Cell-280Ah	Module	Container
Configuration	/	1P52S	20P832S
Size (W*D*H) (mm)	174.6*72.1*207.1	1150*760*237	12116 *2896 *2438
Weight (kg)	5.5	315	72000
Rated voltage (V)	3.2	166.4	1331.2
Voltage Range (V)	2.8~3.6	145.6 ~ 187.2	1164.8~1497.6
Rated Energy (kWh)	0.896	46.592	7454.72

**Figure 24 : Informations principales d'un conteneur twin 0.5C de Narada Liquid cooling**

La connexion de deux conteneurs 20 pieds se fait par des connecteurs mécaniques spécifiques empêchant la circulation d'eau dans les containers (voir image ci-dessous).



**Figure 25 : Connexion électrique, mécanique et anti-intempéries entre conteneurs**

Cette solution permet d'offrir une solution compacte et optimisée tout en bénéficiant des avantages d'un conteneur de 20 pieds plus petit pour la logistique et les manipulations sur site.

Le conteneur de stockage est pré-intégré en usine ce qui permet d'éviter les activités excessives sur site, favorisant ainsi la qualité et la sécurité du travail final.

Plus de détails sont disponibles en Annexe 4.

#### **Recalibration du SoC :**

Les batteries se recalibreront automatiquement lorsque la batterie sera complètement chargée (SOC=100%) ou complètement déchargée (SOC=0%). Ces recalibrations s'effectuent sur 180s.

Leur fréquence dépend de :

- (1) Tolérance aux erreurs de SOC, qui dépend de la fenêtre de fonctionnement SOC et du mode de fonctionnement du système de stockage d'énergie ;
- (2) L'erreur cumulée du SOC, qui dépend de la précision de mesure du courant, la précision de l'horloge et l'état de la batterie ;
- (3) Puissance de charge et de décharge quotidienne, plus la puissance de charge et de décharge quotidienne de la batterie est grande, plus l'erreur accumulée est grande ;
- (4) Si le SOC atteint 100% ou 0%, afin de provoquer cette recalibration automatique.

Si le BESS n'atteint pas les valeurs de SOC de 0% ou 100% après 90 jours depuis la dernière recalibration, alors nous provoquerons une recalibration en laissant la batterie se charger à 100%.

Plus de détails sont dans l'annexe « SOC calibration BESS Narada » (Annexe 5).

La recalibration devra être réalisée sans modifications des plans de production émis par le GR. Cette recalibration pourra être réalisée en adéquation avec ces plans grâce à une charge à 100% des batteries conteneur par conteneur (charge d'un conteneur de batteries à 100% pour recalibration avant de charger de manière équilibrée les autres conteneurs lors d'une demande de charge du BESS). Le pilotage de chaque conteneur associé à un skid sera fait individuellement par les BMS pour cette recalibration.

#### **d. Sécurité incendie**

Pour Akuo, la sécurité incendie occupe une place centrale dans la conception et la mise en œuvre de tous ses projets de stockage d'énergie.

En choisissant Narada pour la fourniture des batteries et en élaborant le design de l'installation, Akuo s'est appuyé sur **cinq piliers essentiels visant à maximiser la prévention des incendies** :

1. **Conformité aux Standards de Sécurité** : L'installation de stockage est conçue en respect des normes de sécurité incendie les plus exigeantes, notamment UL1973 et UL9540, ainsi qu'une approbation selon la procédure d'essai approfondie UL9540A, garantissant une protection incendie de premier ordre.
2. **Système de Gestion de Batterie Avancé** : L'installation intègre un système de contrôle et de gestion des batteries conforme à la norme IEC61508, enrichi par une surveillance en temps réel de l'État de Sécurité (State of Safety), permettant une réaction rapide et adaptée à tout incident potentiel.

3. **Exigence Qualitative du Processus de Conception et de Fabrication :** Chaque étape, du design à la production des unités de stockage, est soumise à un contrôle qualité strict, assurant la fiabilité et la sécurité des composants et de l'installation globale.
4. **Disposition Stratégique des Éléments de l'Installation :** Le site est agencé de manière à maintenir un écart minimal de 7 mètres entre les éléments constitutifs, prévenant efficacement la propagation d'un incendie d'une unité à l'autre.
5. **Formation et Préparation des Équipes :** Le personnel opérationnel et les services de secours, notamment les pompiers, bénéficieront de formations spécialisées et de simulations d'intervention régulières, renforçant leur capacité à réagir efficacement en cas d'urgence incendie.

Les risques incendies au niveau des conteneurs Narada sont identifiés et adressés de la façon suivante :

Source	Résolution
Court-circuit interne, avec une cellule qui surchauffe	Deux tests court-circuit sont effectués à la fabrication des modules. Le système répond aux normes UL9540, IEC62619, UL1973, EMC safety tests.
Surchauffe/point chaud à l'intérieur du conteneur	L'air intérieur du conteneur est piloté par un logiciel, l'aéraulique est optimisée grâce à des ailettes et une protection sur température est implémentée. Les simulations CFD montrent que la température intérieure est maintenue entre 20°C et 30°C avec des différences entre les racks de moins de 3°C (14-NARADA Center L Battery Conteneur (10racks) CFD Simulation Report 20230718).
Source d'incendie ou chaleur extérieur	Isolation thermique, retardement de feu pendant 90 minutes en accord avec la réglementation EN1364-1 et plan de masse de la centrale (5m d'espacement minimum entre les composants de la centrale)

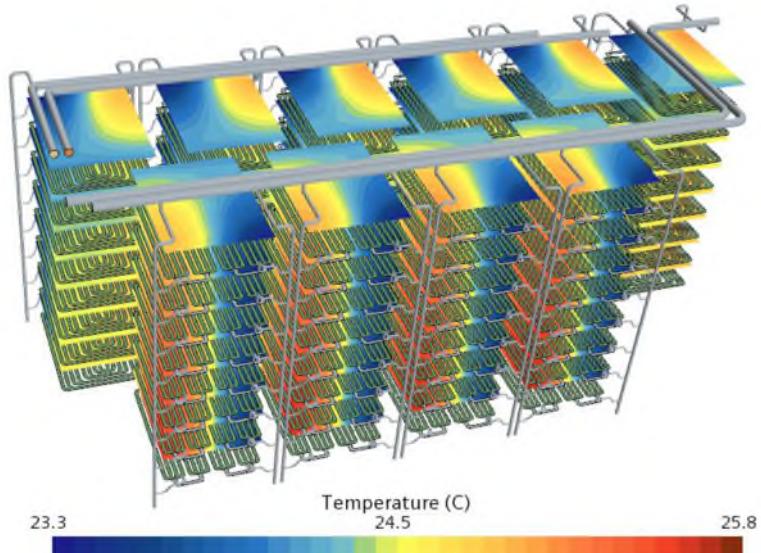


Figure 3.2.2 Temperature Cloud Map Of Temperature Monitoring Points

Problème d'installation (mauvais serrage)	Inspection de la chaîne de montage en amont de la fabrication par un bureau de contrôle. Réception usine systématique par un bureau de contrôle et par Akouo. Installation sur site réalisée par des équipes expérimentées, formées au produit et sensibilisées aux risques. Contrôle par caméra thermique de toutes les connexions lors du premier cycle de charge/décharge.
Surcharge/sur-décharge	Double protection software et hardware, design effectué en accord avec la norme UL1973

Le Système de Gestion de Batterie (BMS) joue un rôle crucial dans la prévention des incendies, assurant une surveillance constante des paramètres clés de chaque cellule, tels que la tension, le courant et la température, et détectant toute anomalie. Il orchestre l'équilibrage entre les différentes composantes du système de batteries, à savoir : l'équilibrage au niveau du module par le Module BMS (MBMS), au niveau du rack par le Rack BMS (RBMS), et au niveau du système entier par le System BMS, pour prévenir tout déséquilibre pouvant conduire à un emballement thermique. En effet, en cas de mauvais équilibrage en tension, des courants de circulation peuvent apparaître et progressivement endommager les isolants jusqu'à provoquer une rupture de la cellule annonciatrice d'un emballement thermique. Pour ces raisons, la capacité du BMS à intégrer une logique avancée est essentielle pour identifier et prévenir les risques. Narada a réussi à répondre aux exigences des normes internationales comme IEC61508-1, UL60950, UL991, et IEC60730-1, garantissant la fiabilité de son système de gestion.

Akouo, en collaboration avec PowerUp, a développé une fonctionnalité d'analyse en temps réel et prédictive intégrable à son système SCADA pour évaluer l'état de sécurité (State of Safety, SoS). Cette approche permet de détecter précocement les signes avant-coureurs d'un emballement thermique et d'isoler les sections à risque pour prévenir tout incident.

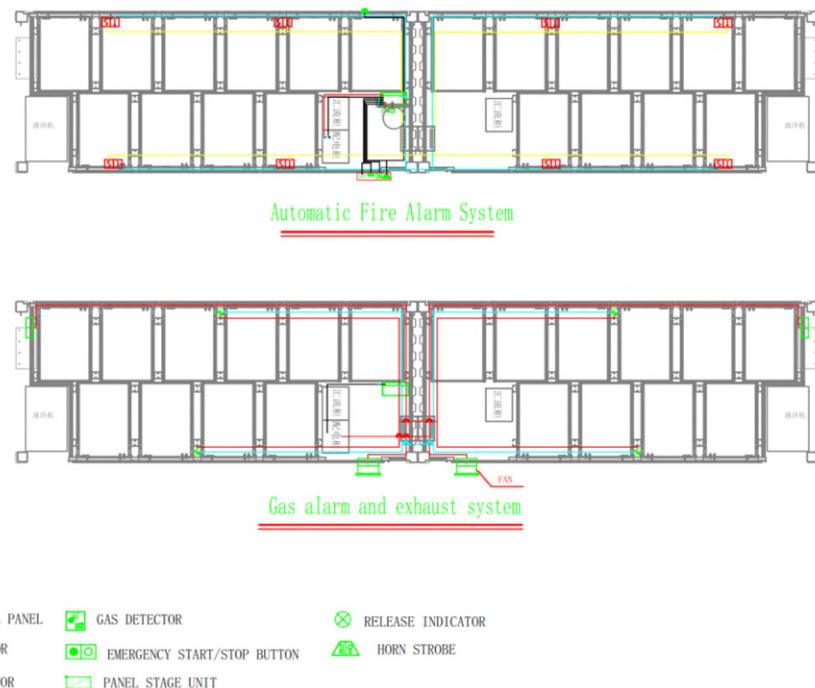
Le système exploite les données de tension, courant et température pour identifier les écarts mineurs et les conditions anormales, permettant ainsi :

- L'émission d'une alerte à l'opérateur en cas de dégradation du SoS, qui peut alors isoler la section concernée pour effectuer des tests complémentaires (maintenance prédictive).
- Le déclenchement d'une alarme système qui isole automatiquement la section à risque si le SoS atteint un niveau critique.

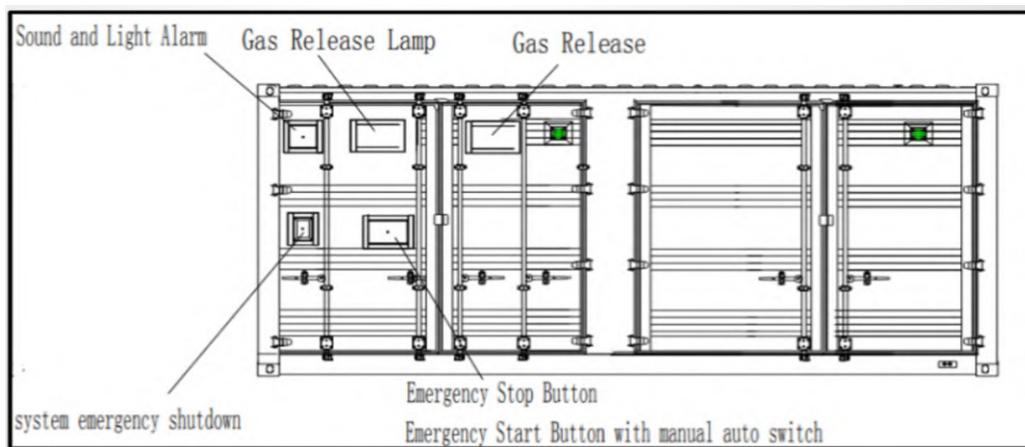
Le modèle PowerUp a démontré son efficacité sur l'ensemble des installations d'Akouo, certaines étant en service depuis plus de huit ans, soulignant la robustesse et la fiabilité de cette approche.

Pour renforcer la sécurité, chaque conteneur de batteries de la centrale proposée par Akouo dispose d'un système de compartimentage et d'extinction à gaz. Des détecteurs thermiques et de fumée assurent une surveillance continue de l'intérieur des conteneurs. Toute augmentation rapide de la température ou du taux de fumée (respectivement plus de 10°C/min ou plus de 2,5%/m,) déclenche immédiatement des alarmes sonores et visuelles, alertant efficacement aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des conteneurs. Cette information est également transmise par le BMS au SCADA, permettant une intervention rapide des opérateurs et des services d'urgence. La détection incendie est

judicieusement répartie, positionnée et en quantité suffisante par rapport au risque à couvrir tout en tenant compte de l'encombrement de la zone.



**Figure 26 : Schéma d'implantation des équipements de détection d'incendie**



**Figure 27 : Éléments visuels du système anti-incendie**

L'extinction des incendies est assurée par inertage, à l'aide d'un gaz extincteur efficace disponible dans tous les conteneurs. Pour prévenir les risques d'explosion dus à une surpression, une vanne de sûreté s'active automatiquement, garantissant ainsi la sécurité de l'installation.

En situation d'alerte incendie, le conteneur concerné sera immédiatement isolé du réseau électrique, et son système de ventilation sera activé ou désactivé en fonction du développement de l'incendie pour empêcher sa propagation ou l'explosion.

Dans le cas où les équipements internes au conteneur n'auraient pas suffi à empêcher l'éclosion d'un feu de batterie, la philosophie d'extinction du site adaptée à son implantation est la suivante : laisser brûler le conteneur en feu (si le feu n'a pas pu être contenu lors de sa phase d'éclosion), et refroidir les conteneurs adjacents par système externe de type queue de paon pour empêcher la propagation de l'incendie.

Les moyens de protection associés à cette philosophie sont détaillés au paragraphe 8.6.3.

Afin d'assurer que les systèmes anti-incendie (alerte, extinction gaz et lutte contre la propagation par compartimentage demeurent en parfait état de marche à chaque instant, ils seront testés et vérifiés annuellement.

### 7.2.2 Unités de conversion (PCS)

De la même manière que pour la sélection de notre fournisseur de solution batterie, nous avons mené pour cet appel d'offres une étude de marché aboutie, prenant en compte chacune des contraintes imposées par le cahier des charges dans notre processus de sélection. Après étude de toutes les propositions reçues, notre choix s'est porté sur SMA et sa solution d'onduleurs bi-directionnels Sunny Central Storage 3450-UP, pour les raisons suivantes :

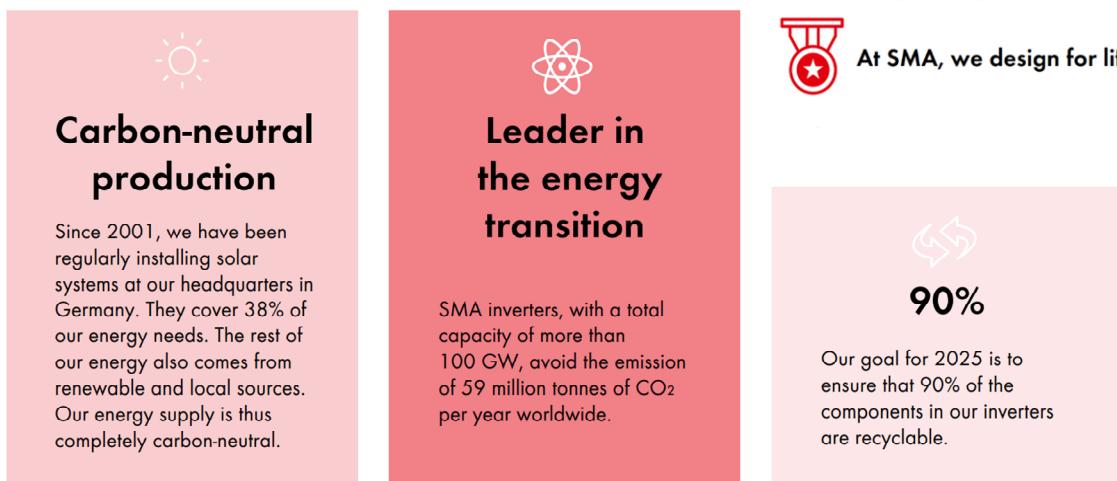
- SMA est un leader mondial des onduleurs dans le monde, avec une grande expérience dans le Pacifique pour ses onduleurs 'stockage', dont de nombreux projets similaires à celui de Boulouparis
- Produit technique de grande qualité, très fiable,
- Capacité à être grid-forming, grid-following, réguler la fréquence, tension et puissance réactive du réseau, effectuer des black-starts, îlotage,
- Excellent service après-vente en Nouvelle-Calédonie,
- Disponibilité et support des équipes SMA pour les simulations PowerFactory.

#### a. Présentation du fournisseur de PCS

SMA est un des leaders mondiaux dans les onduleurs solaires et de stockage d'énergie, ils contribuent ainsi fortement au déploiement de projets de Systèmes de Stockage d'Energie Electrique. Les points forts de l'entreprise sont :

- Expérience : Ses plus de 40 années d'expérience, avec un total de 100GW d'onduleurs installés dans 190 pays, dont 3+GW pour des applications de stockage ;
- Présence globale : 5000 employés dans plus d'une vingtaine de pays ;
- Une capacité de production d'onduleurs de 21GW annuelle, en Allemagne, avec des ventes atteignant les 14 GW en 2020 ;
- Partenaire long-terme : Une solidité financière, avec €1 026 millions de ventes d'onduleurs en 2020 assurant leur présence sur les 20 à 30 années de garanties de leurs onduleurs ;
- Innovants : Plus de 1700 brevets déposés, avec une équipe R&D leur permettant d'avoir toujours une longueur d'avance sur la compétition ;

- RSE : Engagés contre l'esclavagisme moderne, usine neutre en carbone, onduleurs 90% recyclables.



**Figure 28 : Informations sur SMA**

Depuis de nombreuses années, les produits SMA se distinguent par leur robustesse et leurs performances exceptionnelles. L'organisation de l'entreprise est conçue pour offrir un accès complet à leur expertise, incluant un support technique complet, une mise en service sur site personnalisée, un service client disponible 24/7, des garanties produits étendues et des programme de formation adaptés. Cette offre de service complète s'étend même dans les régions les plus isolées ou celles caractérisées par des conditions climatiques extrêmes, comme dans l'exemple suivant associant centrale solaire et stockage :

### UTILITY-SCALE PV POWER PLANT - AUSTRALIA, 2018 GANNAWARRA SOLAR FARM - 60 MW



The Gannawarra Solar Farm is the first large-scale solar farm in Victoria. It is powering 18,100 households. The solar farm is owned by Wirsol Energy and is built with MVPS including a Power Plant Controller for park control. The solar farm is integrated with the Gannawarra Energy Storage System - a 25MW/50MWh Tesla Powerpack battery. It is the first integrated renewables and battery system in Victoria and among the first in Australia; the first retrofit of a battery to an existing solar farm; and among the largest integrated renewables and battery systems in the world. The system is jointly owned by Wirsol Energy and Edify Energy.

Project	Plant information	System Technology
<ul style="list-style-type: none"> <li>Location: Victoria, Australia</li> <li>Commissioning: July 2018</li> <li>Challenges: Integration of a Storage system</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nominal power: 60.23 MWp</li> <li>Annual energy yield: 123 GWh</li> <li>CO<sub>2</sub> savings: about 137,000 tons/year</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>11 MVPS 5000SC-EV</li> <li>1 Power Plant Controller</li> <li>JA solar modules</li> </ul>

**Figure 29 : Le projet solaire-stockage Gannawarra avec onduleurs SMA**

Sur d'autres projets, la technologie d'onduleurs SMA est utilisée sur des BESS seuls, directement connectés au réseau.



Pelham Storage Plant – 64 MVA

### **Storage application – United Kingdom, 2017**

The Pelham Storage project is the largest battery project in the European Union in a single location till date.

The complete project timeline from contract signature till commissioning was reached within 5,5 months.

The main applications of the project are the capacity market and to deliver frequency response services but it also features other applications like Triads management and reactive power provision.

#### **Installed battery power**

64 MVA

#### **Installed battery storage**

50 MWh of Li-Ion NMC batteries for frequency regulation

Batteries installed in customized containers  
Connected at 132 kV

**Figure 30 : Projet Pelham, 64MVA d'onduleurs SMA pour un projet BESS**

Les solutions de conversion de puissance de SMA présentent les meilleures caractéristiques techniques, de durabilité et d'efficacité sur le long terme.

#### **b. Présentation technique de la solution de PCS**

Pour ce projet spécifique, le choix s'est porté sur le modèle d'onduleur SCS 3450-UP de SMA, sélectionné pour ses caractéristiques techniques avancées et sa fiabilité éprouvée:

<b>Type d'onduleur</b>	Centralisé bi-directionnel
<b>Dénomination</b>	Sunny Central Storage 3450UP
<b>Tension DC</b>	880V – 1500V
<b>Courant DC max</b>	4750 A
<b>Puissance nominale (1200 Vdc, cos Phi=1, T=25°C)</b>	3450 kVA
<b>Puissance à 1200Vdc (25 °C/35 °C)</b>	3450 kW / 3240 kW
<b>Distorsion harmonique</b>	<3%
<b>Efficacité max</b>	98,8%
<b>Revêtement</b>	Anticorrosion C5-M

**Tableau 3 : Caractéristiques principales de l'onduleur sélectionné**



**Figure 31 : Photo d'un onduleur SCS-3450 UP**

L'onduleur présente des fonctionnalités avancées et polyvalentes, adaptées aux exigences modernes des systèmes énergétiques :

- Il peut opérer selon les modes grid-following et grid-forming, permettant une grande adaptabilité aux conditions du réseau ;
- Il est capable d'effectuer un black-start, redémarrant ainsi le système sans source d'alimentation externe ;
- Il se synchronise automatiquement avec la fréquence du réseau lors d'une reconnexion, assurant une transition fluide ;
- En mode grid-following, il permet un réglage précis de la fréquence primaire, avec la possibilité de personnaliser les caractéristiques de sa courbe de réponse ;
- En mode grid-forming, il offre également un ajustement de la fréquence primaire, avec des options de paramétrage avancées.

Grid-connected functions	Compatible with energy management system functionalities
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Setpoints for active and reactive power</li> <li>• Static grid support Q(U), P(f)</li> <li>• Dynamic grid support (FRT)</li> <li>• Active islanding detection (AID)</li> <li>• High compatibility with different battery types</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• External static grid supporting functions</li> <li>• Ramp-rate control of PV power</li> <li>• Peak shaving</li> <li>• Energy shifting</li> <li>• Genset optimization control</li> <li>• Reducing necessary spinning reserve of gensets</li> <li>• Battery start-up and stop sequence</li> <li>• Operates the battery within optimal operation window</li> <li>• Grid Forming</li> <li>• Black Start</li> </ul>

**Figure 32 : Capabilités de l'onduleur**

La fiche technique complète est disponible en Annexe 6.

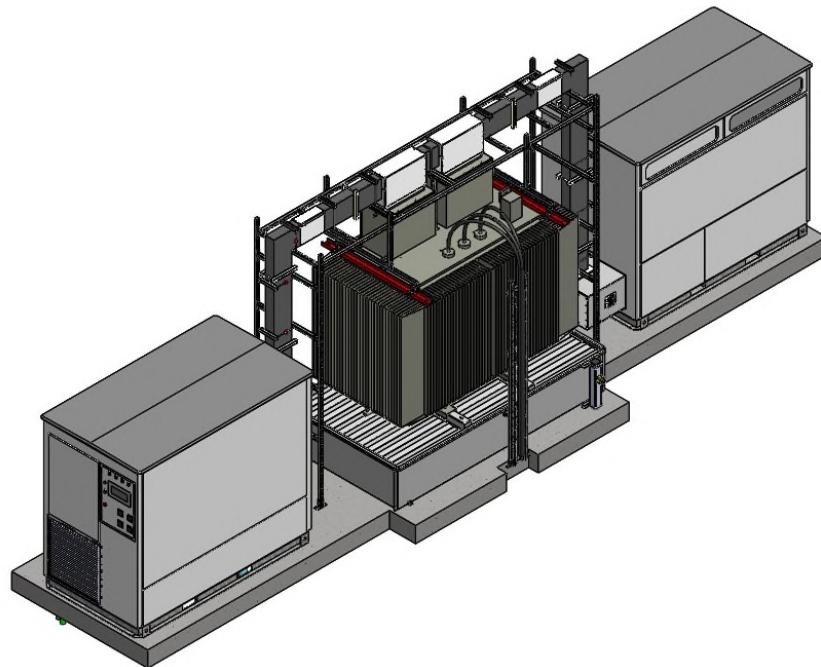
### 7.2.3 Transformateurs

Il est prévu que les transformateurs soient montés sur skids en usine avant livraison sur site. Le transformateur YTH 5000/24D est hautement envisagé pour cela. Akoo se réserve néanmoins la possibilité de fournir un autre modèle équivalent pour tenir les contraintes de l'exécution du projet.

Les caractéristiques du transformateur sont présentées dans le tableau qui suit.

**Tableau 4 : Caractéristiques principales du transformateur**

Type de transformateur	Transformateur à l'huile
Puissance en kVA	5000
Tension	33kV / 0.63kV
Tension max	36 kV
Revêtement	Anticorrosion C5-M
Efficacité max	99.297%



**Figure 33 : MV skid MVPS-4000-S2 composé de deux onduleurs SMA SCS 3450 UP et leur transformateur.**

La fiche technique complète est disponible en Annexe 7.

Les skids onduleurs ont été testés et validés en accord avec le standard IEC 62271-202.

Pour tous les équipements présentés dans cette offre, Akoo se réserve la possibilité de considérer des fournisseurs et solutions alternatifs équivalents en phase d'exécution notamment si cela se révélait nécessaire pour tenir les délais ou le budget. Le cas échéant, Akoo en parlerait avec le Client au préalable dont l'approbation ne pourra pas être refusée sans raison. Les garanties offertes n'en seraient pas impactées.

#### 7.2.4 PDLs

Il y aura deux PDL pour le BESS, un pour chaque sous-système. Les PDL auront les caractéristiques suivantes :

- Equipements :
  - Appareillage 33kV
  - Contrôle commande et protection
  - Système SCADA redondant
  - Automate de contrôle de centrale électrique
  - Alimentation DC redondante
  - TGBT AC
  - Transformateur auxiliaire
  - Bâtiment et système de sécurité
  - Système de climatisation
- Les équipements seront installés dans un bâtiment maçonné en usine ayant des caractéristiques de résistance au feu, et livré équipé et câblé ;
- L'appareillage 33kV sera dimensionné pour accueillir le câble de puissance à chaque point de livraison ( $3 \times 600\text{mm}^2$  par PDL) ;
- L'appareillage 33kV sera connecté aux onduleurs via une chaîne en série ;
- Le transformateur auxiliaire 33/0.415kV servant à alimenter les auxiliaires des conteneurs batterie sera connecté à un départ 33kV par une cellule dédiée ;
- conteneur;
- Chaque PDL est complètement redondant de l'autre sous-système.

En cas de défaillance d'un PDL, l'autre PDL peut continuer à exploiter l'autre sous-système.

Le système de redondance des alimentations auxiliaires du PDL est utilisé pour énergiser le contrôle commande et protection, le SCADA, le PPC (power plant Controller / automate de contrôle de la centrale) et tout autre équipement qui permet le bon fonctionnement du PDL en cas de défaut de l'alimentation principal des auxiliaires (ex : Transformateur auxiliaire en défaut). Le système de redondance est dimensionné pour 8h à charge nominal. Au bout de ces 8 heures, un déclenchement complet de la barre est opéré.

#### **Alimentations BT pour les auxiliaires du conteneur batterie**

Il y aura un transformateur auxiliaire dédié par sous-système pour l'alimentation des auxiliaires des conteneurs de batterie. Le transformateur auxiliaire sera alimenté via un départ 33kV depuis le PDL. Le transformateur auxiliaire sera connecté à un Tableau General Basse Tension (TGBT) et alimentera chaque conteneur de batterie.

Le TGBT disposera également d'un système de commutation de transfert automatique pour passer à une alimentation alternative en cas de panne du transformateur auxiliaire ou du réseau.

La source alternative doit être confirmée, mais il s'agira probablement de l'alimentation de construction qui sera transférée à l'alimentation de remplacement à la fin de la construction. Cette offre sera d'une demande maximale inférieure car elle est destinée à maintenir la température des conteneurs de batterie dans des conditions normales (c'est-à-dire pas pendant l'état de charge ou de décharge). Ces détails doivent être confirmés lors de la conception détaillée.

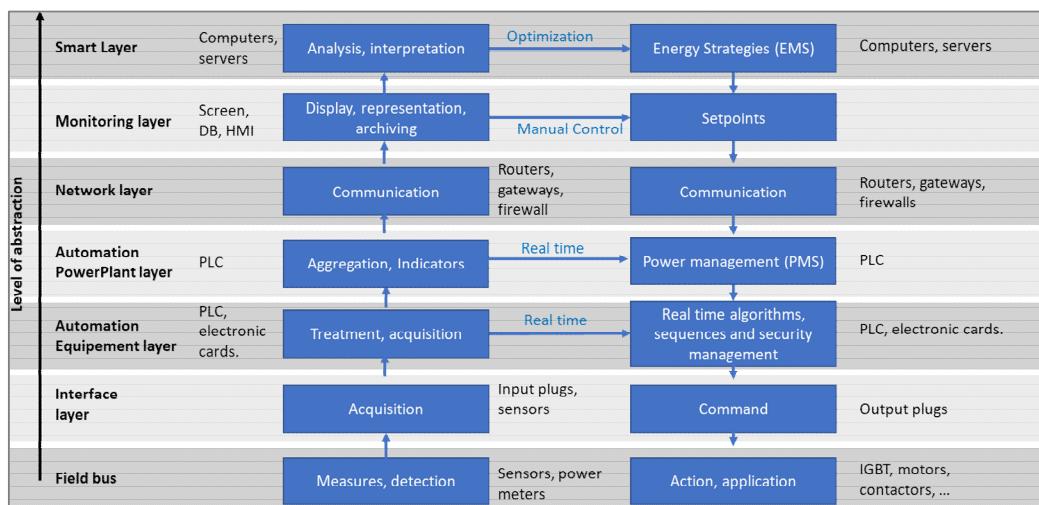
## 7.2.5 SCADA, Communication & Data

### a. SCADA

Le SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) désigne le système installé sur site permettant le contrôle à distance et l'acquisition de données de chaque équipement installé sur l'installation de stockage. À partir du SCADA, l'opérateur peut modifier les paramètres de commande de l'installation, obtenir des alarmes et visualiser les données en temps réel, ainsi que les données historiques.

Le système SCADA comprend toutes les fonctionnalités de contrôle-commande qui peuvent être classées en différentes couches :

- Régulation : assurer la stabilité électrique des équipements. Boucles PID, ajustement des points de consigne en temps réel.
- Automatisation : gestion des capteurs et des actionneurs. E/S (entrées/sorties) numériques et analogiques, portes logiques, ...
- PMS (Power Management System) & EMS (Management System) : responsable des stratégies de contrôle de puissance (PMS) et d'énergie (EMS).
- Data logging : collecte et sauvegarde des données.
- IHM (Interface Humain Machine) : interface visuelle pour faire fonctionner le système.



**Figure 34 : Les couches d'un système SCADA**

La conception, fourniture et mise en route du SCADA seront pilotées par les équipes d'Akuo, offrant une importante flexibilité pour répondre au plus près aux demandes du client, en termes de modes de fonctionnement, d'intégration au système de contrôle et supervision d'ENERCAL, et de partage des données.

Dans chacun des deux PDLS, un système SCADA sera installé, comprenant notamment,:

- Un automate (PLC), de marque Beckhoff Automation (ou équivalent), appelé ici le contrôleur maître du BESS (ou 'master controller'), avec des coupleurs déportés dans la centrale pour collecter les données et contrôler chaque composant,

- Une Interface Homme Machine (IHM) locale pour l'exploitation et la supervision locales du système,
- Un ordinateur industriel pour héberger l'ensemble des logiciels nécessaires à l'exploitation, et pour l'enregistrement local des données.
- Des switches Ethernet redondant qui relient également le système de comptage (via une passerelle de communication) et divers capteurs locaux, notamment le système de détection d'incendie et le système HVAC.
- Un routeur fournissant un accès Internet.

b. Principe de communication au sein de l'installation de stockage

Un anneau de fibre optique redondant permet la supervision et le contrôle par le SCADA de l'ensemble des composants de la centrale.

Du côté de la batterie, la communication est effectuée à l'aide du protocole CAN 2.0. Les MBMS (Module Battery Management System) communiquent en série avec les RBMS (Rack Battery Management System) et les RBMS communiquent avec le System BMS (Battery Management System). Le signal CAN du système BMS est converti en Modbus TCP et transmis au switch situé dans l'armoire BESS BT.

Tous les signaux provenant des BESS eux-mêmes (HVAC, système anti-incendie, capteurs de porte, capteurs de température et d'humidité...) sont également collectés dans l'armoire BT du BESS. Une communication Modbus TCP/IP est installée entre chaque BESS et le contrôleur maître BESS du PDL.

Un coupleur SCADA est installé à proximité de chaque ensemble onduleur, transformateur et cellules HTA. Il permet une communication filaire temps réel grâce au protocole Ethercat avec le PDL. Une communication en Modbus TCP/IP est installée en parallèle pour la redondance et le transfert des valeurs physiques mesurées au contrôleur maître BESS du PDL. Un signal de sécurité comme l'arrêt d'urgence est transmis selon les deux canaux de communication.

Les valeurs physiques (tension, courant, puissance...) mesurées par les compteurs BT sont également communiquées à l'armoire de contrôle via Modbus TCP/IP. Des mesures précises en temps réel sont essentielles pour assurer un fonctionnement efficace du BESS.

Dans les PDL, le SCADA Akoo supervise et contrôle l'ensemble des équipements auxiliaires, ainsi que les cellules et les relais de protection.

Le SCADA sera adapté pour assurer l'interopérabilité avec les automates de télécommunication mis en œuvre par Enercal. La fourniture en interne, par Akoo, de son propre SCADA favorise la mise en place d'une interface sur-mesure répondant aux besoins d'Enercal en termes de supervision et de contrôle.

c. Accès sécurisé et sauvegarde des données

L'accès au SCADA peut se faire sur place ou à distance grâce à un routeur permettant un accès web à l'IHM. Différents types d'accès et de droits sont définis pour les utilisateurs en fonction de leur rôle dans l'organisation. Leurs accès seront protégés par des identifiants et mot de passe personnalisés. La flexibilité dans le développement du SCADA permet d'adapter les performances en termes de cybersécurité aux requis de chaque client. Ainsi, l'accès à distance à la centrale, et en particulier aux données

archivées, sera conforme aux exigences de la convention d'exploitation en termes de sécurité.

Le lien de communication est sécurisé grâce à la page web sécurisée du SCADA et à un accès VPN (Virtual Private Network). Pour garantir un accès sans faille au SCADA, même en cas de problème sur la ligne internet fibre, un modem 4G est utilisé pour une communication Internet redondante.

Si, malgré cette redondance, la communication Internet était perdue, le collecteur stockerait alors les données dans une base de données tampon jusqu'à ce que la communication Internet soit rétablie. Les données seraient ensuite restituées à la base de données sur le cloud.

Les collaborateurs autorisés peuvent contrôler localement et à distance l'installation de stockage directement via l'IHM. Ce contrôle via l'IHM permet à l'opérateur de modifier manuellement et en direct certains des paramètres de fonctionnement de l'installation en modifiant les paramètres de l'EMS, le système de gestion de l'énergie. Afin de garantir la sécurité du fonctionnement, les modifications manuelles des paramètres sont contrôlées dans une plage acceptable afin d'éviter un comportement inattendu ou un fonctionnement dangereux de la centrale.

#### d. Acquisition de données

Le SCADA étant conçu par Akoo, la liste d'informations mises à disposition du SCADA du gestionnaire de réseau pour lui permettre le pilotage en temps réel de la centrale sera au moins conforme au **Req-38**. En particulier seront mises à la disposition du SCADA Enercal les données suivantes.

Information	Libellé	Précision	Unité	Type de signal	Rafraîchissement
Données <sup>1</sup>	Tension au PDL et en sortie du système de conversion d'énergie	0,001 pu	kV	Mesure	≤1 seconde

	Courant	0,01 pu	A	Mesure	
	Puissance active injectée/absorbée	0,1 pu	MW	Mesure	
	Puissance réactive injectée/absorbée	0,1 pu	MVAr	Mesure	
	Facteur de puissance	0,01 pu	-	Mesure	
	Taux de distorsion harmonique en tension au PDL	0,01 pu	%	Mesure	
	Fréquence électrique au PDL	0,001 pu	Hz	Mesure	
	Taux de disponibilité instantané du SSEE	0,01 pu	%	Mesure	
	SOC global des sous-système connectés	0,01 pu	%	Mesure	
Statut de la connexion au RPTE	Connecté ;	-	-	Logique	
	Déconnecté mais disponible pour la connexion ;	-	-	Logique	
	Déconnecté et non disponible pour la connexion ;	-	-	Logique	
Mode de pilotage	Grid Forming ;	-	-	Logique	
	Grid Following	-	-	Logique	
	Black Start	-	-	Logique	
Paramètres des services systèmes assurés par le SSEE ;	Lois de régulation ;	0,001 pu	-	Paramètre	
	Paramètres de limitation <sup>2.</sup>	0,001 pu	-	Paramètre	
	Valeurs de consigne interne en puissance active, puissance réactive et tension ;	0,01 pu	Unités de mesure	Paramètre	
	Diagramme PQ en fonction du taux de disponibilité ;	0,01 pu	MVAr=f (MW)	Paramètre	
Temps de décharge complète	Temps de décharge à la puissance d'injection actuelle ;	0,01 pu	Second	Information	
	Temps de décharge à la puissance d'injection maximale	0,01 pu	Second	Information	
Temps de recharge complète	Temps de recharge à la puissance d'absorption actuelle ;	0,01 pu	Second	Information	
	Temps de recharge disponible à la puissance d'absorption maximale ;	0,01 pu	Second	Information	
Téléformations relatives au comptage et à la protection	Etat du disjoncteur de couplage (ouvert/fermé/défaillant) ;	-	-	Logique	
	Etat des compteurs (opérationnel/défaillant)	-	-	Logique	

**Figure 35 : Contraintes de précision des données pour le SCADA**

Davantage d'informations sont disponibles et pourront être incluses dans cette liste, selon la volonté du gestionnaire de réseau, lors de la phase d'exécution du projet.

Afin de permettre le suivi du contrat par le gestionnaire de réseau, les données de performance suivantes seront communiquées au SCADA d'Enercal.

Information	Libellé	Format	Unité	Type de signal	Rafraîchissement
Energie	Energie déchargée depuis le début de l'année contractuelle	0,01 pu	MWh	Calcul	$\leq 1$ seconde
	Energie chargée depuis le début de l'année contractuelle	0,01 pu	MWh	Calcul	
Rendement	100 * (Energie déchargée depuis le début de l'année contractuelle / Energie chargée depuis le début de l'année contractuelle)	0,01 pu	%	Calcul	
Disponibilité	Disponibilité depuis le début de l'année contractuelle	0,01 pu	%	Calcul	

**Figure 36 : Contraintes de précision de rendement, énergie et disponibilité pour le SCADA**

### 7.3. Principes de fonctionnement

#### a. Fonctionnement général de la centrale de stockage d'énergie

Le SSEE sera piloté de sorte à assurer une disponibilité maximale et un rendement optimisé. Un soin particulier sera apporté à la gestion des équipements sollicités afin de maximiser le rendement global de l'installation en faisant fonctionner les équipements à des taux de charge optimum.

Les niveaux de charge de la batterie  $SoC_{réserve \ abs}$  et  $SoC_{réserve \ inj}$  seront pilotables respectivement sur les plages [0% ;50%] et [50% ;100%] afin de pouvoir limiter l'utilisation de la batterie lorsque nécessaire.

Afin de conserver les plages de réserve [ $SoC_{réserve \ abs}$  ;  $SoC_{derating \ abs}$ ], la puissance  $P_{dispatch}$  sera conservée positive ou nulle lorsque  $SoC \geq SoC_{réserve \ abs}$ . C'est-à-dire que lorsque le SoC entre dans la zone de réserve d'absorption d'énergie, le BESS n'autorisera qu'une injection d'énergie, jusqu'à ce que  $SoC \leq SoC_{réserve \ abs}$ .

Afin de conserver les plages de réserve [ $SoC_{réserve \ inj}$  ;  $SoC_{derating \ inj}$ ], la puissance  $P_{dispatch}$  sera conservée négative ou nulle lorsque  $SoC \leq SoC_{réserve \ inj}$ .

Nous confirmons que le SSEE continuera à réguler la fréquence entre  $SoC_{min \ utilisable}$  et  $SoC_{derating \ inj}$ , tout comme sur la plage entre  $SoC_{derating \ abs}$  et  $SoC_{max \ utilisable}$ , même s'il ne pourra par définition pas le faire à  $P_{max}$ .

Les paramètres du SCADA sont ajustables afin de correspondre aux besoins précisés dans le cahier des charges, tant sur le type de signal que sur sa résolution et/ou format.

Ci-dessous, un exemple d'une partie des signaux échangés entre la centrale de stockage de Madininia opérée par Akouo, en Martinique, et EDF SEI, opérateur du réseau et qui sont affichés sur la HMI de la centrale.

Substation				EDF IEC 104			
P measured	-142 kW	Q measured	-11 kVAr	Econnected	11.97 MWh	Setpt P	0 kW
P Setpoint	-100 kW	Q setpoint	0 kVAr	Edispo	12.00 MWh	P+Max	12000 kW
P Range	[-6000;12000]	Q Range	[-5808;5808]	Couplée	true	P-Max	-6000 kW
F Measured	50.03 Hz	F Setpoint	50.00 Hz	Indispo	false	Master	MADI_M
V measured	20838 V	V setpoint	50.00 V				
SoC	83.25 %						

Ci-dessous, un autre exemple des consignes, mode de fonctionnement et signaux échangés entre notre centrale BESS TREP1, aux îles des TONGA entre notre SCADA et TPL, l'opérateur réseau.

Substation			
P measured	-55.50 kW	Q measured	-73.45 kVAr
P Setpoint	-50.00 kW	Q setpoint	0.00 kVAr
P Range	[-9996 ; 10002]	Q Range	[-10019 ; 10019]
F Measured	49.98 Hz	F Setpoint	49.98 Hz
V measured	11013.00 V	V setpoint	11013.00 V
SoC	58.87 %		

EDF IEC 104 Parameters:

- Econnected: 11.97 MWh
- Edispo: 12.00 MWh
- Couplée: true
- Indispo: false
- Master: MADI\_M

Control Buttons:

- Off
- On Grid (selected)
- Off Grid
- Freq Reg (selected)
- Standby
- Urg

Setpoint Configuration:

- Setpoint P: -50
- Setpoint Q: 0

Energy Shift Configuration:

- Configure

Target SoC Configuration:

- Target SoC: 60
- P setpt: 40

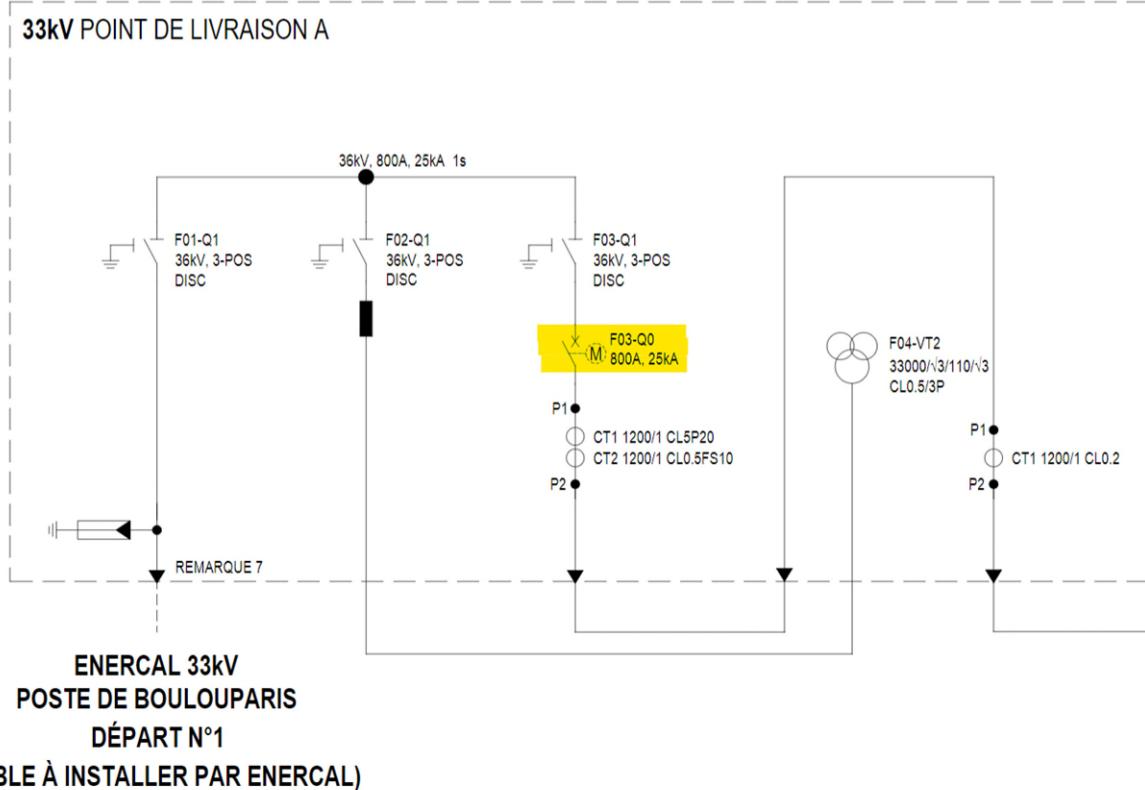
Micro-Cycling Configuration:

- MinSoC: 5
- MaxSoC: 15
- P setpt: 50

### b. îlotage

L'enchaînement détaillé des étapes pour la séquence d'îlotage est la suivante :

1. Le SCADA reçoit la consigne d'îlotage.
2. Les onduleurs du SSEE passent en mode grid-forming et rétablissent la tension à 1p.u., permettant alors d'alimenter les auxiliaires et de rester sous tension.
3. La protection de découplage se déclenche (soit suite à la transmission de la consigne par le SCADA, soit par défaut côté réseau).



4. Les auxiliaires du SSEE n'étant plus alimenté par le réseau, la tension aux bornes du PDL (du côté BESS de la protection de découplage) et des onduleurs diminue très légèrement.
5. Le SSEE reste dans cet état d'îlotage jusqu'à ce qu'une nouvelle consigne soit envoyée, jusqu'à au moins 60min si nécessaire.
6. Le BESS reçoit une consigne de couplage au réseau.
7. Le SSEE se synchronise au réseau en moins d'une seconde, provoquant une chute de tension instantanée de 1 p.u. à 0,9 p.u. (voir simulation P4-FM-1), rétablie lorsque le SSEE est synchronisé avec le réseau.
8. L'organe de coupure est refermé, reconnectant ainsi le SSEE au réseau.
9. Le SSEE est désormais reconnecté et synchronisé au réseau, et peut rester en mode grid-forming ou repasser en mode grid-following, et répondre aux besoins du réseau.

#### c. Blackstart

À la suite d'un blackout, la protection de couplage du PDL est ouverte, et les protections AC des onduleurs ouvertes sous l'effet de la protection anti-îlotage.

Le blackstart doit être réalisé en rampant la tension AC sur le réseau îloté conformément aux **Req 68, Req-69 et Req-70** à la demande d'Enercal. Cette rampe en tension doit être appliquée lorsque l'ensemble des charges du réseau îloté sont raccordées. Ainsi, elle permet d'éviter les appels de courants importants qui résulteraient du couplage de transformateurs de distribution de grandes tailles s'il avait lieu après que la tension nominale soit créée.

Les onduleurs de SMA permettant la réalisation du blackstart sont équipés d'un système d'alimentation auxiliaire sans interruption (ASI) qui leur permet de redémarrer, réaliser une précharge DC et générer une tension AC sans alimentation extérieure.

Le SCADA situé dans le PDL est également équipé d'une alimentation de secours d'une durée d'au moins 8h, afin de pouvoir contrôler, synchroniser et monitorer la procédure de Blackstart.

Ainsi, suite à un blackout, l'onduleur peut passer en mode grid-forming, il commence par monter sa tension DC de 0V à sa valeur minimale avec l'unité de précharge DC (elle comporte un contacteur, des résistances et des fusibles). Une fois la tension DC minimale requise atteinte, la protection DC se referme. Si aucune tension AC n'est détectée par l'onduleur sur le réseau, la protection AC se referme et l'onduleur va augmenter progressivement sa tension AC de 0V à la tension AC de référence.

Considérant que l'onduleur ne dispose pas de la puissance nécessaire pour énergiser l'ensemble du réseau îloté, la solution SMA consiste à ce qu'un premier onduleur réalise une première partie de la rampe de tension, à partir de laquelle il approchera de sa limite de courant nominal maximum. Alors un deuxième onduleur se synchronisera sur la tension AC générée par le premier, pour s'y raccorder, et ainsi poursuivre la rampe, jusqu'à que les deux onduleurs ensemble aient atteint leur limite de puissance. Ensuite un troisième onduleur démarre... et ainsi de suite jusqu'à ce que le SSEE soit en capacité de reproduire la tension requise au PDL conformément aux **Req-70** et **Req-71**.

Les seuils de réglage des protections de découplage PDL et onduleur seront réglés pour permettre l'ilotage du SSEE : c'est la protection du PDL qui sera déclenchée avant que celle des onduleurs ne le soit. Les onduleurs resteront ainsi sous tension pour alimenter le BESS, mais le PDL découplera le BESS du réseau.

Dans le cas où le BESS est îloté et survient un black-out, alors la manière la plus sûre pour effectuer un renvoi de tension sur le réseau est de reprendre la procédure de blackstart telle que définie par les Req-79 à Req-82. Cela signifie qu'entre la situation d'îlotage et le renvoi de tension sur le réseau, le BESS passera par un état où il ne sera pas sous tension.

Tel que précise dans la simulation P5, le temps nécessaire pour un blackstart est d'environ 8s. En ajoutant à cela le passage du mode îloté au blackstart, le renvoi de tension sur le réseau prendra 29 s.

Plus d'informations, issus du manuel d'utilisation de l'onduleur, sont disponibles ci-dessous :

#### 14.6.1 Black start

A black start is the process of ramping up a power plant without existing power grid and restoring power supply. This is of particular relevance during a total blackout or in case of stand-alone grids.

Normally, power grids provide the required reference voltage to start a power plant. This is not possible during a power outage. To autonomously restore a power grid, at least one inverter of the power plant must be able to provide a black start. The inverter must include the options "External auxiliary power supply" and "Grid-forming inverter with DC pre-charge" to be able to do this. In addition, the external auxiliary power supply must be guaranteed during grid failure (e.g. using an uninterruptible power source for power supply).

For a black start, the battery must be switched on and the minimum DC voltage of the inverter provided. When starting the inverter in the operating mode "GridForming", the DC link of the DC voltage is pre-charged using the pre-charge unit. After closing the DC load-break switch, the inverter checks whether a voltage is already applied to the AC terminals. If no AC voltage is applied, the AC disconnection unit is closed and the configured AC voltage setpoint is ramped up. The AC voltage setpoint is usually specified via an external plant control using a Modbus protocol.

If an AC voltage is already applied to the inverter terminals, inverters with the option "External auxiliary power supply" can synchronize with the plant power supply, close the AC disconnection unit and support the power grid. The start voltage must be at least 20% of the nominal AC voltage.

For plants with more than one inverter, a superordinate plant control is required (e.g. SMA Fuel Save Controller).

Pour la connexion au réseau, la saturation des transformateurs et relais de protection du SSEE ont été considérés dans la simulation, en respectant le Req-83.

Lors de la séquence blackstart, les onduleurs seront tous synchronisés avant la fermeture du DJ C13 100.

##### d. Manoëuvres et séquence Marche/arrêt

Le SSEE est équipé d'un dispositif de synchro-couplage, positionné au niveau de la cellule de couplage de chaque PDL.

Ainsi dans le cas des procédures d'îlotage et de Marche/Arrêt, le SSEE a la capacité de :

1. Se découpler du réseau,
2. Réaliser un blackstart
3. Auto-alimenter ses auxiliaires
4. Se recoupler sur le réseau

L'enchaînement détaillé des étapes pour la séquence marche/arrêt est la suivante :

1. Envoi de la consigne d'arrêt au BESS
2. Déclenchement de l'organe de coupure (le même que décrit à la question 27 ci-dessus), isolant le SSEE du réseau.
3. Le BESS baisse sa tension jusqu'à ce qu'elle soit nulle.
4. Le BESS reste hors tension. Seul le BMS et le SCADA restent alimentés afin de pouvoir recevoir les consignes.
5. Le BESS reçoit la consigne de marche.
6. Les onduleurs sont réalimentés par les batteries, se mettent en mode grid-forming et forment un « réseau » dans le BESS afin d'alimenter les auxiliaires.
7. Le BESS se synchronise avec le réseau.
8. L'organe de coupure au PDL est refermé.

9. Les onduleurs repassent en mode grid-forming.

10. Le BESS est désormais reconnecté au réseau et fonctionnel.

Afin d'alimenter les auxiliaires lorsque le BESS est à l'arrêt, les batteries serviront d'UPS. Dans le cas d'une indisponibilité longue, alors un groupe électrogène sera utilisé. Un inverseur de source sera installé au niveau du TGBT desservant tous les auxiliaires et permettra le raccordement d'un Genset de secours pour alimenter les auxiliaires de toute la centrale pendant les longues indisponibilités.

Cette procédure permet de répondre aux Req-79 à Req-82.

#### 7.4. Dimensionnement et performances

##### 7.4.1 Configuration principale, $P_{max\_injection} = 50 \text{ MW}$ , $FP \leq 0,8$ , et $I_{max} \geq 1,2 \times I_n$

Les chiffres globaux de l'installation sont présentés ci-dessous.

**Tableau 5 : Informations principales sur le BESS**

Composante	Chiffre par sous-système	Chiffre global pour l'installation
Quantité de batteries	30 conteneurs de 3,7 MWh chacun	60 conteneurs de 3,7 MWh chacun
Capacité installée des batteries	112 MWh	223 MWh
Puissance maximale des batteries 0,5C	66 MWdc	111,5 MWdc
Quantité de skids 'onduleur + transformateur'	15 skids de 3800kVA chacun	30 skids de 3800kVA chacun
Puissance PCS	51,8 MVA	103,5 kVA

Au niveau de chaque PDL, un transformateur de 2,5 MVA est utilisé pour alimenter l'ensemble des auxiliaires du SSEE.

Pour les auxiliaires du PDL, un transformateur de 100 kVA est sélectionné.

En cas de défaillance d'un PDL, l'autre PDL peut continuer à exploiter l'autre sous-système conformément à la demande 14.

Le système de redondance des alimentations auxiliaire du PDL est utilisé pour énergiser le contrôle commande et protection, le Scada, le PPC (power plant Controller / automate de contrôle de la centrale) et tout autre équipement qui permet le bon fonctionnement du PDL en cas de défaut de l'alimentation principal des auxiliaires (ex : Transformateur auxiliaire en défaut). Le système de redondance est dimensionné pour 8h à charge nominal. Au bout de ces 8h, un déclenchement complet de la barre est opéré.

## Fourniture d'équipement BT du PDL

Un transformateur de service auxiliaire (TSA) sera dédié pour chaque PDL. Ce TSA, sera alimenté par un départ 33kV depuis le PDL et fournira la puissance nécessaire aux équipements tels que :

- Chargeur DC de secours
- Climatisations
- Chauffages
- Luminaire
- Etc.

Nous estimons que la charge maximum sera 50kVA, cependant, les fournisseurs mettront à disposition le plus petit des TSA 33/0.415kV disponible dans le marché.

Selon notre expérience, ils seront de 100/200kVA.

### 7.4.2 Câbles HTA/BT

#### Poste de transformation et dimensionnement des câbles HTA

Les Postes de Transformations (PTR) seront connectés suivant l'unifilaire fourni.

Pour les deux options, 8 Skids seront connectés en antenne avec le PDL..

Il y aura 8 départs depuis le PDL vers les skids.

Les câbles doivent supporter un courant de court-circuit égal à 1,2 fois le courant nominal et pendant 1s. De plus, les câbles ont été vérifiés concernant la chute de tension et les pertes, malgré les courtes distances.

#### Câbles BT

Pour les câbles basse tension reliant les conteneurs de batterie aux onduleurs, nous avons :

- 60 conteneurs de batterie 20 pied avec deux sorties DC chacun, soit un total de 120 sorties DC batterie
- Un total de 1,87 MWdc de puissance de batterie par conteneur
- 30 onduleurs

Soit la configuration suivante de connexion batterie-onduleur : 2 conteneurs de batterie connectés chacun à un onduleur.

### 7.5 Description des produits

La centrale de stockage d'énergie met en œuvre différents produits et substances qui, bien que cruciaux pour son fonctionnement, pouvant présenter des dangers spécifiques :

- **Électrolyte dans les cellules de batteries** : ce composant chimique, essentiel pour le transfert des ions dans la batterie, peut présenter un risque en cas de fuite ou de rupture de la cellule. Ce produit est sensible en terme de secret industriel. Sa

fiche de donnée de sécurité n'est pas transmise dans le cadre de cette étude. Elle est composée essentiellement de carbonate organique, de sel de lithium fluoré, de LiPF6 à 1 mol/l. Des exemples de FdS de carbonates organiques sont joints en Annexe 8 .

- **La cathode LFP** (Lithium Fer Phosphate) et l'anode (graphite et cuivre) des cellules de batteries : le graphite n'est pas classé en tant que substance dangereuse.
- **Huile dans les transformateurs** : utilisée pour le refroidissement et l'isolation, cette huile peut être inflammable et présenter un risque environnemental en cas de déversement.
- **Fluide frigorigène dans les systèmes de refroidissement liquide (R 410 A)** : nécessaire pour maintenir une température opérationnelle optimale, ce fluide pourrait avoir un impact en cas de fuite, en fonction de sa composition chimique.
- **Gaz inhibiteur dans le système d'extinction automatique** : employé uniquement en cas d'incendie, le principal danger associé à ce gaz est le risque d'anoxie (manque d'oxygène).

Les fiches de données de sécurité (FdS) des différents produits sont présentés en Annexe 8 du présent document. Issus de ces FDS, les principales caractéristiques et dangers associés à leur mise en œuvre sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Ces produits ne sont ni chauffés ni soumis à une pression au-delà des conditions normales d'exploitation.

Les risques majeurs associés à ces produits sont les départs de feu, potentiellement accompagnés de libération de vapeurs inflammables (créant un environnement ATEX), de fumées de gaz toxiques (provenant de la combustion incomplète et des sous-produits de combustion), ainsi que de fuites d'électrolyte et/ou d'huile, qui peuvent être irritantes et nocives pour l'environnement.

Tableau 6 : Les principales caractéristiques et dangers associés à leur mise en œuvre des produits sur site

Nom de la substance	Contenu (%) en poids dans la cellule)	N° CAS	Etat physique	Température de fusion (°C)	Point éclair (°C)	Mention de dangers	Incompatibilités	Réactivité / Stabilité
Aluminium	1-20%	7429-90-5	Solide	660°C	Non applicable	H261 – Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables H400 – Très toxiques pour les organismes aquatiques	Eau avec aluminium fondu	Stable en conditions normales d'usage
LFP (lithium – fer – phosphate)	15-30%	-	Solide	-	Non applicable			
Electrolyte	10-20%			Information confidentielle (secret industriel) non communiquée par l'exploitant. Il est attendu que le produit soit inflammable, toxique et corrosif.				
Graphite	10-25%	7440-44-0	Solide	3 550°C	-	-	Agents fortement oxydants	Stable dans les conditions normales d'usage
Cuivre	1-30%	7440-50-8	Solide	1 083°C	-	H228 – matière solide inflammable (cat 1) H400 – très toxique pour les organismes aquatiques (cat 1) H412 – Nocif pour les organismes aquatiques (cat 3)	-	Peu réactif
Huile	NA		Liquide visqueux	Ebullition > 300°C	220°C		Agents fortement oxydants	Stable dans les conditions normales d'usage
Fluide frigorigène	NA	-	Liquide	Ebullition 52,6°C	-			

L'analyse de ces données montre qu'il n'existe aucune incompatibilité majeure entre les produits présents dans la centrale de stockage d'énergie, ni avec les matériaux employés dans la construction des installations, tout cela en considérant les conditions normales d'exploitation.

Il est identifié que les principaux éléments susceptibles de présenter un risque sont la cathode en LFP, l'électrolyte des batteries et l'huile contenue dans les transformateurs.

À partir de cette identification, les potentiels de dangers associés à ces éléments et leurs conditions d'utilisation sont les suivants :

- Effets thermiques et de surpression, ainsi que des effets toxiques associés aux batteries LFP, incluant la possibilité de formation d'une atmosphère explosive (ATEX),
- Pollution résultant d'éventuelles fuites d'électrolyte liquide provenant des batteries LFP,
- Effets thermiques liés à l'utilisation d'huiles dans les transformateurs,
- Pollution due à une fuite d'huile des transformateurs.

Les batteries avec l'électrolyte, ainsi que l'huile des transformateurs sont retenues comme potentiels de dangers pour la suite de l'étude.

## 7.6 Organisation de la prévention et protection

Akuo a structuré son approche de prévention et de protection en favorisant la substitution des produits dangereux par des alternatives plus sûres, en sélectionnant soigneusement les équipements, et en établissant des conditions d'exploitation visant à minimiser l'usage de produits dangereux. Cette stratégie intègre également les retours d'expérience des installations existantes, l'analyse des incidents passés et les conseils d'experts du domaine pour renforcer la sécurité du site.

### 7.6.1 Organisation générale de la sécurité

La stratégie de sécurité définie par Akoo est mise en œuvre de manière transversale par les équipes de conception, d'exploitation et de maintenance. Un plan d'opération interne, élaboré en collaboration avec la direction de la sécurité civile de Nouvelle-Calédonie et les services d'incendie de la commune de Boulouparis, sera mis en place.

Akuo s'appuie sur un conseiller sécurité spécialisé, responsable de l'élaboration des mesures de prévention et de protection pour les nouveaux projets. Forte d'une expérience concrète dans la gestion des incendies, cette expertise assure que les recommandations soient pragmatiques et adaptées à la réalité opérationnelle et aux interventions d'urgence potentielles.

Le responsable d'exploitation du site de Boulouparis joue un rôle clé dans la mise en application de ces directives, assurant :

- le suivi et l'application des contrôles réglementaires (VGP) ;
- la gestion proactive des risques identifiés lors de la conception et de l'exploitation et le suivi des mesures de maîtrise des risques ;
- la gestion du changement, incluant l'évaluation des risques et la définition des mesures correctives adaptées ;
- l'intégration au quotidien des principes de sécurité dans les activités opérationnelles ;
- le maintien et la mise à jour du POI ;

- le suivi des formations à la sécurité de son personnel ;
- la réalisation périodique de tests sur les dispositifs de gestion des risques.

Des formations spécifiques seront dispensées à chaque employé, couvrant les procédures d'urgence et la conduite à adopter en cas d'incident.

Pour garantir une surveillance et une réaction efficaces, une astreinte à distance sera mise en place, fonctionnelle 24/7. Les membres de cette équipe d'astreinte, formés à la mise en sécurité de l'installation selon différents scénarios de risque, auront pour missions de :

- de contrôler à distance la mise en sécurité automatique du site (analyse des alarmes pour identifier le danger, déclenchement des protections, visualisation du site par caméras infrarouges...),
- alerter les services d'urgence et les membres de la cellule de crise d'Akoo en cas d'incident majeur.

### 7.6.2 Moyens de prévention

Sur la base de l'analyse de l'accidentologie et des guides de bonnes pratiques, Akoo a élaboré une approche méthodique pour la prévention sur le site dès sa conception et pendant son exploitation :

- **Choix d'implantation du site**

Le site a été sélectionné selon des critères stratégiques incluant la proximité avec les sources d'énergie et le poste de transformation, l'isolement par rapport aux tiers, l'accessibilité pour les services d'urgence, et la disponibilité de plusieurs voies d'accès en cas d'urgence, hors des zones d'inondabilité. Un espace suffisant a été réservé pour une implantation organisée et un accès facile des secours. Une fois la zone terrassée, les conteneurs seront posés sur longrine.

L'accès au site présente un dénivelé positif permettant de l'isoler de la RT1. Un second accès est disponible depuis la ferme photovoltaïque au Nord du site.

- **Isolation par rapport à la limite de propriété**

L'implantation de l'installation prend en compte une distance d'isolement de 10m avec la limite de propriété. Cette zone sera maintenue débroussaillée tout au long de l'année.

- **Disposition entre les conteneurs de batterie**

Les conteneurs de batterie 20 pieds seront agencés par paires, séparés par une paroi CF 90 mn. Un espace minimal de 7m est respecté entre chaque paire de conteneurs.

- **Distance entre les conteneurs de batterie et auxiliaires**

Un espace de 5m sépare chaque paire de conteneurs de batterie du conteneur auxiliaire, contenant le transformateur et l'onduleur.

- **Organisation en îlots**

Pour limiter le risque de propagation en cas d'incident, les conteneurs sont répartis en îlots espacés d'au moins 12m. 6 îlots sont définis sur le site.

- **Sélections des équipements**

Akoo a sélectionné les fournisseurs par typologie d'équipement répondant à des critères stricts de qualité et de fiabilité en tenant compte des conditions climatiques locales.

Chaque élément constitutif des conteneurs de batterie est vérifié et testé par le fabricant, sous supervision d'Akuo.

Les résultats des tests des cellules, modules et racks selon le standard UL 9540A (exigés par Akuo) sont disponibles en Annexe 9. Ces tests évaluent le potentiel de propagation d'un feu par emballage thermique dans les systèmes de stockage d'énergie par batterie. L'ensemble cellule-module-rack est testé et certifié UL 9540A.

#### - **Isolement électrique**

Chaque container dispose d'un intersectionneur général, pilotable à distance, permettant de l'isoler électriquement du reste de la centrale. Ce même intersectionneur est câblé sur le système d'arrêt d'urgence qui se déclenche en cas d'incendie.

De manière plus générale :

- Le parc est divisé électriquement en 2 sous systèmes (d'où les 2 PDL) qui permettent d'opérer la moitié de la centrale si problème sur la deuxième moitié (feu dans l'un des PDL par exemple) ou demande du gestionnaire d'isoler un PDL.
- Chaque Skid (Ensemble transfo + Convertisseurs de puissance), raccordé à 4 conteneurs de batteries, peut être isolé depuis le PDL via l'ouverture de la cellule HTA de protection associée.
- Au niveau du Skid, il est également possible d'isoler chacun des deux convertisseurs et donc deux containers.
- En cas d'incendie sur un container, et malgré l'ouverture de sa protection et donc isolement, pour protéger le reste de la centrale d'un défaut électrique qui risque de remonter, il est prévu de couper la protection HTA associée au Skid affecté ( donc 4 containers / 2 PCS / 1 transformateur).

De plus, le site est implanté physiquement en 6 îlots de conteneurs de batteries de stockage séparés d'une distance de 12m chacun.

#### - **Système de refroidissement liquide**

Le dispositif de refroidissement, conçu pour agir au cœur des cellules, fera l'objet d'une surveillance rigoureuse pour prévenir tout risque électrique dû à une fuite. Le liquide de refroidissement utilisé est le R 410A.

#### - **Contrôle de l'installation finale**

Une fois les différentes unités installées sur site, un contrôle de conformité (incluant une vérification de la mise à la terre) sera effectué par un organisme certifié.

#### - **Supervision BMS**

Le BMS permet une surveillance détaillée de l'installation supervisée par le responsable du site, incluant la détection des anomalies et la mise en sécurité automatique en cas de risque identifié. Le BMS collecte toutes les données de toutes les cellules tensions / courant / température pour identifier les dérives pour l'équilibrage des systèmes ou l'isolement du système en dérive ou à risque pour éviter la propagation d'un incendie. Il vérifie les courants de fuite du système, détecte par redondance les défaillances du système avec une fréquence rapprochée des reports de données. Le BMS est protégé contre les cyberattaques.

Ce système est éprouvé depuis 8 ans, et dispose d'une alimentation de secours d'une autonomie de 48h.

Programmation BMS selon normes de sécurité IEC 61508-01, UL 60950, UL 991, IEC 60730-01.

A partir des données de tension, courant et température, BMS traque les dérives, situation anormale pour prévenir l'exploitant à distance, et déconnecter automatiquement toute partie à risque.

- **Maintenance préventive**

La société AKUO mettra en œuvre un programme d'entretien régulier de l'ensemble du matériel de son site dont il assurera la traçabilité. Par exemple un contrôle préventif des installations électriques par caméra infra-rouge sera réalisé annuellement ou après toute modification d'installation.

- **Contrôle périodique des installations électriques**

Les installations électriques du site feront l'objet d'un contrôle périodique annuelle par un organisme certifié . Les non-conformités feront l'objet d'actions correctives priorisées en fonction de leur gravité.

- **Surveillance visuelle**

L'exploitant mettra en place une surveillance visuelle de l'état de l'ensemble de l'installation par des rondes hebdomadaires. Toute anomalie décelée fera l'objet d'une analyse et traitée en fonction de son niveau de priorisation définie par le responsable du site.

- **Analyse du risque foudre avec définition des équipements de prévention / protection**

La menace que représente la foudre est principalement due à l'intense courant électrique qu'elle véhicule. En fournissant l'énergie nécessaire, la foudre peut déclencher des incendies ou explosions, notamment si elle entre en contact avec des substances explosives ou facilement inflammables.

Les installations du site feront donc l'objet d'une analyse du risque foudre, validée par Qualifoudre. Selon le niveau de risque calculé, une étude technique d'identification des mesures préventives et protectives sera réalisée, pour ensuite une mise en œuvre des mesures sur site. Ces installations feront l'objet d'une visite initiale de réception et d'un suivi périodique afin de garantir leur efficacité et leur conformité aux normes de sécurité en vigueur.

Ces études seront mises à jour à chaque modification de l'installation.

- **Essais avant redémarrage post-intervention**

Avant le démarrage des installations après maintenance ou modification, des essais à blanc seront réalisés afin de prévenir tout incident potentiel pouvant survenir lors du redémarrage du système.

- **Foudre**

Le risque foudre sera limité sur la centrale de stockage notamment grâce à la mise en place de dispositifs de protection adéquats, incluant:

L'installation de parafoudres à l'intérieur de chaque tableau électrique avec descente de mise à la terre,

- o La pose de paratonnerres adaptée selon les besoins spécifiques du site,

- La vérification régulière de l'efficacité et de la conformité des systèmes de protection.
- Des contrôles périodiques seront effectués, notamment pour évaluer le bon fonctionnement du système de drainage de la foudre et vérifier l'intégrité du réseau de mise à la terre. Ces contrôles annuels seront effectués par une entité spécialisée agréée.

#### - Autorisations et habilitations

Des autorisations ou habilitations seront obligatoires pour la réalisation des travaux suivants :

- Permis de feu pour le travail par point chaud dans les zones à risques,
- Autorisation d'accès pour les interventions sur les conteneurs de batteries,
- Habilitation électrique pour le personnel intervenant sur les installations électriques,
- Plan de prévention pour les interventions réalisées par des sociétés extérieures.

#### - Dispositifs de sûreté

Pour prévenir les actes de malveillance susceptibles d'engendrer des accidents majeurs, le site sera sécurisé par une clôture de 2 mètres de haut. Un système de surveillance vidéo infrarouge, relié à une centrale de télésurveillance active 24h/7, ainsi que des dispositifs anti-intrusion dans les conteneurs de supervision, seront également en place. Le personnel sera régulièrement sensibilisé à l'importance des mesures de sûreté.

#### - Formation du personnel

Chaque nouvel employé recevra une formation adaptée à ses responsabilités, axée sur la sécurité générale et les procédures spécifiques à son poste. Ces formations sont actualisées régulièrement pour intégrer les retours d'expérience d'Akouo et d'autres opérations similaires. L'ensemble du personnel sera informé des risques d'incendie et d'explosion et des stratégies de mitigation associées.

#### - Consignes et signalétique

Des consignes de sécurité précises seront communiquées à tous les intervenants et affichées clairement sur le site, incluant les restrictions d'accès, les équipements requis, les procédures opérationnelles, ou encore l'interdiction de fumer ou d'introduire des sources de chaleur.

La mise en exploitation des nouvelles installations est associée à une phase de réception des équipements et une période d'essai permettant de s'assurer que l'ensemble des dispositifs de sécurité sont fonctionnels.

#### - Contrôle des mesures de sécurité

Les dispositifs de sécurité sont soumis à des vérifications régulières pour confirmer leur efficacité. Les systèmes de détection envoient leurs rapports aux conteneurs de supervision et sont surveillés à distance.

#### - Gestion des fuites d'huile

Des bacs de rétention sont placés sous les transformateurs pour recueillir toute fuite d'huile, évitant ainsi la contamination environnementale et facilitant une intervention rapide.

- **Gestion de la circulation**

Pour prévenir les accidents entre les véhicules et les infrastructures du site, un plan de circulation clair sera établi et signalé, garantissant la sécurité de tous les usagers du site.

- **Gestion des déchets**

En cas de batterie défaillante simple (pas de signe d'échauffement ou de déformation), la batterie est stockée dans le conteneur spare à la place du module qu'il aura remplacé,

En cas de batteries défaillante critique (signe d'échauffement, ou de déformation), un conteneur dédié climatisé 20 pieds REI 90 5 faces, à distance de 5m de toute installation, sera utilisé pour stocker la batterie en attente d'évacuation du site pour traitement par une société agréé. Le temps de stockage sur site ne dépassera pas les 90 j. Ces unités defectueuses seront transportées dans une caisse P911 vers la société agréé pour le traitement selon le règlement type de transport des matières dangereuses.

### **7.6.3 Moyens de protection**

A la suite d'une analyse détaillée de l'accidentologie et des recommandations issues de guide des bonnes pratiques, des stratégies de protection ont été définies nécessitant des moyens adaptés.

Ces stratégies reposent sur une approche d'intervention spécifique : en cas d'incendie, si un conteneur batteries prend feu et que le début d'incendie n'a pu être maîtrisé, les actions suivantes seront entreprises pour limiter les dommages :

- Les conteneurs adjacents seront refroidis à l'aide d'un système externe activé automatiquement , comme une installation de type "queue de paon", afin d'éviter la propagation du feu.
- Les eaux d'extinction ne seront pas récupérées. La défense incendie des queues de paon n'est n'étant pas destinée à éteindre le feu dans le conteneur en flammes, mais à refroidir les conteneurs voisins.
- Post-incendie, un bilan de pollution du sol à proximité des conteneurs impactés sera réalisé pour vérifier les actions de dépollution à mettre en œuvre. Des analyses de la pollution des sols seraient conduites, pour dépolluer localement si nécessaire. Les équipements sinistrés seraient bâchés après refroidissement pour limiter la lixiviation.

### **Mesures spécifiques :**

- **Compartimentage**

Des murs REI 90 entourent les conteneurs de batteries sur toutes les faces, à l'exception du sol, garantissant une isolation contre la chaleur et une protection face à la surpression. Un mur REI 90 est également prévu pour séparer la partie stockage batterie de la partie système de refroidissement liquide du même container.

- **Détection**

Une détection précoce d'incendie grâce à des détecteurs de fumée et de température est installée dans tous les conteneurs, complétée par des détecteurs de CO / H2 / CH4 (descriptif Annexe 9) . La séquence de déclenchement est la suivante : émission de gaz de combustion, déclenchement de la détection gaz, ouverture de l'exhaust fan.

Si le feu poursuit, la détection fumée (détection optique) et température (valeur seuil de 75° C), déclenchement de l'alarme incendie, avec lancement d'une temporisation de 30 secondes (permettant d'arrêter l'exhaust fan) avant déclenchement du système d'extinction automatique à gaz.

Les conteneurs auxiliaires disposent eux de détecteurs de fumée et de température.

#### - **Système d'extinction automatique à gaz**

Les conteneurs de batteries sont dotés d'un système d'extinction automatique à gaz conçu pour étouffer rapidement tout départ de feu par inertage. Le choix spécifique de l'agent d'extinction reste à déterminer en fonction des exigences de sécurité et d'efficacité. Pour assurer la sécurité optimale du système, chaque conteneur est rendu hermétique aux gaz et à l'eau, éliminant tout risque d'asphyxie pour le personnel qui, de fait, n'accède pas à l'intérieur des conteneurs. Des buses d'injection, placées au plafond du conteneur, distribuent l'agent extincteur, privilégié pour sa compatibilité avec les équipements électriques.

#### - **Volet coupe-feu sur bac de rétention du transformateur**

Chaque transformateur dispose d'un bac de rétention équipé d'un volet CF permettant d'éviter ou réduire les effets thermiques liés à un départ de feu dans le bac de rétention.



Cette solution, adaptée aux installations extérieures, combine la rétention totale du diélectrique, le dispositif d'extinction par volet CF.

#### - **Event de suppression**

Chaque conteneur de batteries intègre un événement (ou soupape) de surpression activable en cas d'augmentation critique de la pression interne, due soit à l'injection de gaz extincteur soit à une accumulation de gaz lors d'un emballement thermique. Ces dispositifs, pouvant être positionnés latéralement ou au sommet du conteneur, visent à canaliser vers le haut gaz, fumées, et potentiellement flammes, basés sur des études de dimensionnement et des tests de normes spécifiques comme la norme UL 9540A.

#### - **Système de refroidissement avec queues de paon**

Ce système est prévu pour contrer les effets thermiques d'un incendie sur un conteneur de batteries et empêcher la propagation du feu aux unités voisines. En cas d'incendie non maîtrisé dans sa phase d'éclosion, l'objectif est de laisser consumer le conteneur concerné tout en protégeant les conteneurs adjacents à l'aide de barrières passives et actives, dont le système par "queues de paon". Alimenté par deux réservoirs (bâches) d'eau sur le site reliant un réseau maillé, ce système se déclenche automatiquement et

peut être soutenu par les services de secours externes si nécessaire, via le poteau incendie situé à proximité du site.

- **Extincteurs et moyens de première intervention**

Des extincteurs seront répartis sur l'ensemble du site à proximité des containers et en nombre suffisants par rapport aux risques. 1 extincteur par conteneur batterie est prévu, 1 extincteur par conteneur transformateur, 1 par poste de livraison. Le personnel sera formé à leur utilisation. Ces extincteurs feront l'objet de vérifications annuelles par un organisme agréé.

- **Bâches à eau et poteau incendie**

Deux réservoirs d'eau de 120 m<sup>3</sup> chacun sont prévus pour alimenter le système de refroidissement et sont complémentés par le réseau d'incendie public avec un poteau incendie situé en face sud du site délivrant un débit de 60m3/h. Ces réservoirs disposent d'un raccord pompiers. En plus de leur rôle dans la lutte contre les incendies, ces réservoirs peuvent servir aux services de secours pour combattre un éventuel feu de végétation aux abords du site.

La bâche à eau au nord du site sera équipée d'une aire d'aspiration et d'un hydrant disponible pour les pompiers non surpressé.

La bâche à eau au sud du site pourra être réalimentée en eau par les services de secours, à partir du poteau incendie situé à proximité, si le volume initial des bâches n'était pas suffisant.

- **Surveillance par caméra thermique**

Des caméras thermiques seront installées pour une surveillance continue de la température des conteneurs, permettant une réaction rapide en cas de hausse anormale de température ou pour confirmer une alerte de sécurité.

Ces caméras seront asservies à la télésurveillance quand le personnel Akouo ne sera pas présent sur le site. Elles seront consultables à distance.

- **POI et exercices**

Un plan d'opération interne (POI) détaillant les procédures d'urgence et les rôles de chacun est établi, avec des exercices scénarisés réguliers pour garantir une préparation optimale en cas d'incident .

- **Alimentation électrique de sécurité**

Une alimentation de secours indépendante assurera la continuité des fonctions de surveillance et de contrôle pendant 48 heures, garantissant la sécurité même en cas de panne électrique.

- **Dispositif de coupure d'urgence**

Un système permettant la coupure rapide de l'alimentation électrique sera accessible aux équipes de secours dès leur arrivée, facilitant ainsi les interventions d'urgence.

#### **7.6.4 Organisation de l'alerte**

La centrale de stockage d'énergie intégrera un système avancé de surveillance électronique, opérationnel 24/7, sans nécessiter une présence physique constante du personnel. Les visites régulières pour maintenance et entretien assureront une présence quasi-quotidienne du personnel sur le site. L'ensemble des données relatives à

l'exploitation et à la sécurité du site seront centralisées et supervisées par un système de télésurveillance dédié, permettant le contrôle à distance et l'activation de protocoles de sécurité pour tout ou partie du site en cas de nécessité.

Une équipe de première intervention rapide, formée spécifiquement aux procédures d'urgence incendie, notamment à l'utilisation des extincteurs et à la mise en sécurité du site, sera constituée parmi le personnel.

Cette équipe aura pour missions principales :

- L'émission immédiate de l'alerte en cas de détection d'un incendie,
- L'évacuation rapide et sécurisée du personnel,
- La tentative de maîtrise du début d'incendie, si cela est possible sans risque uniquement,
- L'activation des mesures nécessaires pour sécuriser l'installation et prévenir la propagation du feu.

L'alerte pourra être déclenchée automatiquement par les systèmes de détection du site, manuellement par le personnel, ou par un observateur externe. Toutes les alertes seront transmises immédiatement à la centrale d'alarme du site, et par extension, au service de télésurveillance qui évaluera la situation et pourra engager le Plan d'Opération Interne (POI) en fonction de l'évaluation du risque.

Des simulations et exercices impliquant le POI seront régulièrement organisés pour garantir une réactivité optimale de l'équipe interne et faciliter la coordination avec les services d'urgence externes. Ces entraînements visent à assurer une compréhension approfondie des procédures et à maintenir une préparation élevée face à d'éventuels incidents.

## 7.7 Gestion de fin de vie de l'installation

A l'approche de la fin du contrat de 12 ans, plusieurs options se présenteront :

1. La prolongation du contrat, sans modification majeure des équipements, pour maximiser l'utilisation de leur durée de vie opérationnelle,
2. La rénovation des équipements clés, pour initier un nouveau cycle de vie de la centrale ou
3. Le démantèlement de la centrale et la restauration du site à son état initial.

Conformément au CCTP, un budget prévisionnel sera inclus dans l'offre financière d'Akuo assurant une provision pour les coûts associés à la troisième option.

Le processus de démantèlement et de réhabilitation du site commencera par le démontage de la centrale, incluant la séparation et le tri des équipements, qui seront ensuite soit réaffectés, soit envoyés vers des installations de recyclage appropriées, ou redirigés vers leurs lieux de seconde vie ou leurs centres de traitement dédiés, conformément aux réglementations locales existantes.

### 7.7.1 Démantèlement

La remise en état du site se déroule en plusieurs phases :

- Démantèlement des conteneurs de batteries :

- Réduction du niveau de charge (SoC) des modules à moins de 30% pour sécuriser le transport,
- Préparation de conditionnements spécifiques conformes aux normes de transport des matières dangereuses,
- Extraction des modules des racks et leur conditionnement pour le transport.
- Désinstallation de la chaîne de conversion d'électricité (onduleurs, transformateurs et cellules haute tension),
- Suppression des infrastructures de base : Incluant le démontage des fondations, la suppression des voies d'accès, ainsi que le retrait et la gestion des câblages électriques, y compris l'excavation et le remblai des tranchées), et
- Évacuation des locaux techniques : Les structures abritant les équipements techniques seront également démontées et éliminées de manière adéquate.

Le tableau ci-dessous décrit les différentes méthodes de démantèlement pour chacun des composants :

**Tableau 7 : Méthode de démantèlement des composantes du BESS**

Fonction dans la centrale de stockage	Equipements	Méthode de démantèlement
<b>Stockage d'électricité</b>	Conteneurs de batterie	Grue
	Modules de batterie	Manutention
<b>Conversion d'électricité</b>	Onduleurs et transformateurs	Grue
<b>Transport d'électricité</b>	Câbles	Manutention
<b>Ancrage des conteneurs de batterie &amp; accès au site</b>	Fondations Route d'accès au site	Excavateur
<b>Locaux</b>	Diverses salles techniques	Grue

### 7.7.2 Gestion des équipements et matériaux récupérés

L'objectif recherché lors du démantèlement de l'installation de stockage d'énergie est de revaloriser au maximum les différents équipements et matériaux.

A l'exception des modules de batterie, qui nécessitent une gestion spécifique en raison de leur classification comme matériel dangereux, la plupart des composants peuvent être réutilisés ou recyclés sans difficulté majeure.

Le contrat étant relativement court – 12 ans – il est envisagé que nombre d'équipements, tels que les onduleurs et les transformateurs, trouveront une seconde vie dans de nouveaux projets. Ces éléments seront soigneusement inspectés, nettoyés et remis à neuf si nécessaire avant leur réaffectation. Par exemple, les transformateurs seront vidangés et leur huile remplacée.

Les équipements réformés, en fin de vie ou endommagés, seront acheminés vers des installations spécialisées pour leur traitement. La plupart des matériaux utilisés dans la construction de l'installation, tels que le fer, l'aluminium et le cuivre, sont entièrement recyclables.

Tous les composants décrits ci-dessous seront collectés pour être transportés et réutilisés ou recyclés dans des centres de recyclage spécifiques.

### **7.7.2.1 Conteneurs de batterie**

Le secteur des batteries lithium-ion connaît une croissance rapide, tout comme les capacités de traitement des batteries usagées ou en fin de vie.

En Nouvelle-Calédonie, la société OMEGA POWER s'engage dans la filière, visant à couvrir l'ensemble de la chaîne de valeur des batteries, y compris leur reconditionnement et leur recyclage. OMEGA POWER prévoit de développer une infrastructure dédiée au recyclage de batteries lithium-ion, en Nouvelle-Calédonie ambitionnant de traiter les batteries en fin de vie et valoriser les matériaux récupérés, tels que le « black mass ».

Akouo s'est approché d'OMEGA POWER dans le cadre du projet de stockage d'énergie de Boulouparis. La logique partenariale pourra bénéficier aux deux entreprises, offrant un volume de marché pour OMEGA, et une solution de recyclage locale pour Akouo. Au niveau international, l'industrie se mobilise également, avec l'émergence de nouvelles installations de recyclage, souvent en collaboration avec les principaux fabricants de batteries (CATL et Brup, LG et Ly-cycle, Samsung SDI et Ecopro). Le fournisseur de batteries sélectionné par Akouo pour ce projet a également mis en place sa propre usine de recyclage en Chine en 2021. Une proposition commerciale a été obtenue pour le traitement des containers et des modules en fin de vie.

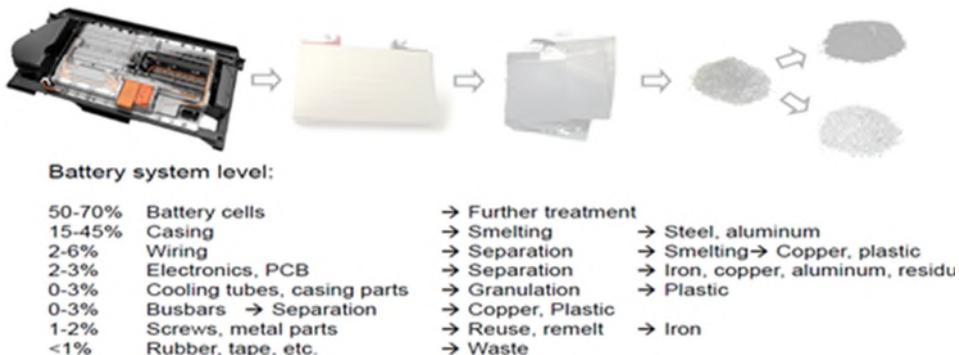
Akouo envisage de collaborer avec d'autres acteurs reconnus dans le recyclage des batteries, tels que la SNAM ou Duesenfeld, fort de relations établies dans le cadre du recyclage des batteries issues de ses bancs de test. Cette approche stratégique permet à Akouo de s'inscrire dans une démarche durable et responsable, favorisant l'économie circulaire dans le secteur des batteries lithium-ion.



**Figure 37 : Partenaires de recyclage dans le monde.**

Le processus de recyclage des batteries au lithium peut se résumer de la manière suivante :

1. Collecte, logistique et tri : débranchement, retrait des modules des containers par une simple action manuelle ou mécanisée.
2. Décharge de la batterie, neutralisation
3. Démantèlement des batteries (séparation des modules et des cellules)



**Figure 38 : Démantèlement d'un module de batterie en matières premières recyclables**

4. Prétraitement avec déchiquetage, première séparation des matériaux : cuivre, fer, masse noire (poudre contenant les matériaux des cellules : nickel, manganèse, cobalt, lithium, ...). La masse noire peut représenter jusqu'à 60% du poids de la batterie.
5. Récupération des matériaux de la masse noire par procédés pyrométallurgiques ou hydrométallurgiques :
  - a. La pyrométallurgie consiste à chauffer à haute température après une étape de prétraitement qui peut être du démantèlement ou du broyage, afin de récupérer les métaux sous forme d'alliages. Le procédé est énergivore, exigeant des températures élevées (800-1500°C) et une gestion dédiée des gaz émis.
  - b. L'hydrométallurgie repose sur une succession de procédés chimiques utilisant des réactifs pour séparer et purifier les métaux présents dans les cellules des batteries. Une étape de pré-traitement, par démantèlement, pyrolyse et/ou broyage est nécessaire pour accéder aux éléments chimiques présents dans la cellule.

A ce stade, l'hydrométallurgie est privilégiée pour les batteries de type LFP. De plus, une rapide amélioration des rendements est attendue dans les années à venir. Le choix n'est pas définitif car la filière évolue très rapidement.

Quant au reste du conteneur, celui-ci sera réutilisé, ou décomposé et redirigé vers un centre de traitement/recyclage.

#### **7.7.2.2 Equipements électriques**

Comme indiqué précédemment, il est anticipé que la plupart des équipements électriques pourront connaître une seconde vie sur de futurs projets, étant en théorie encore opérationnels de nombreuses années au-delà de l'expiration du contrat de l'installation de stockage. Les équipements concernés seront nettoyés et remis en état complète si besoin avant d'être replacés sur un nouveau site. Les transformateurs, à titre d'exemple, seront vidangés et l'huile sera remplacée avant leur réemploi.

Les équipements qui ne pourront pas être replacés seront redirigés vers leurs centres de traitement/recyclage habituels.

#### **7.7.2.3 Structures métalliques et fondations**

Tous les composants métalliques seront transportés vers des centres de recyclage spécifiques pour y être traités. Le béton, notamment utilisé pour les fondations, sera recyclé sous forme de granulats pour la construction ou d'autres usages.

#### **7.7.2.4 Réhabilitation du site**

À la fin du processus de démantèlement, le site sera réhabilité. La réhabilitation comprendra le décapage des routes internes créées pour le projet et le nivellement/remplissage de toute excavation ou tranchée résultant du démantèlement des bâtiments avec des matériaux adaptés.

### **7.7.3 Gestion des équipements défectueux avant la conclusion du Contrat**

Avant la fin des 12 ans de contrat, il est probable que certains équipements doivent être remplacés en raison de défaillances.

Akuo a fait le choix d'étendre au maximum la garantie des équipements installés dans la centrale de stockage. Ainsi, tous les équipements ne présentant pas de danger particulier lorsqu'ils ne sont pas connectés à la centrale (onduleurs, transformateurs, cellule HTA, équipement électronique), seront réparés sur place si possible, ou remplacés sinon, et seront redirigés vers les filières de recyclage pertinentes.

Notons que la filière de recyclage des batteries en Nouvelle-Calédonie travaille à se structurer. Dans le cas d'un défaut dans les premières années, il faudra donc transporter l'équipement défectueux hors du territoire, dans des conditions de transport satisfaisant la disposition spéciale 376 relative aux piles et batteries endommagées, ou bien selon la disposition spéciale 377 relative aux piles et batteries transportées en tant que déchet. Lorsqu'un module est défectueux, il faut distinguer plusieurs cas :

- Défaillance simple ; le module de batterie est défaillant car il ne remplit pas les critères de performance attendus. Une analyse des données montre qu'il ne surchauffe pas, une inspection visuelle montre que le module est intact (pas de marque de choc, pas de fuite de gaz ou d'électrolyte). Alors ce module sera installé dans le conteneur de batterie de rechange présent sur site, à la place du module qui l'aura remplacé. Le module défectueux sera donc conservé dans les conditions d'hygrométrie et de température spécifiées par le fabricant. Une fois un nombre suffisant de modules défectueux collecté, ils seront envoyés en batch

vers la filière de recyclage (NC ou bien vers la filière du fournisseur), en respectant la disposition spéciale 377.

Défaillance critique ; le module de batterie est défaillant car il a subi un choc, ou présente une surchauffe anormale, ou bien des marques de fuite de gaz ou de liquide. Alors ce module sera confiné dans une caisse P911 sur site, avant d'être envoyé vers la filière de recyclage adéquate (NC ou bien vers la filière du fournisseur) dans un délai de 90 jours, en respectant la disposition spéciale 376.

## 8. ACCIDENTOLOGIE ET RETOUR D'EXPERIENCE

L'analyse des retours d'expérience et des incidents ou accidents précédemment survenus est une étape indispensable de l'analyse des risques. Cette démarche permet d'identifier les dangers récurrents, d'évaluer l'efficacité des barrières de sécurité mises en œuvre, et d'ajuster les stratégies préventives en conséquence.

Dans le cadre de la présente étude sont présentés les résultats d'analyse de l'accidentologie interne d'Akuo en fonction de leurs retours d'expérience sur des installations similaires, et les résultats d'analyse de l'accidentologie externe s'appuyant sur les données de la base ARIA du BARPI recensant les évènements significatifs survenus tant en France qu'à l'international.

Akuo a également procédé à l'examen de nombreuse publications de groupes d'experts sur le sujet (administration compétente, les arrêtés d'exploitation en vigueur, INERIS, assureur, retours d'expérience de l'accidentologie locale avec le sinistre sur la ferme de Boulouparis en juillet 2021, ...).

### 8.1 Accidentologie interne

A ce jour Akoo a enregistré 3 incidents sur les centrales de stockage d'énergie qu'elle exploite dans le monde.

**#1 – Corse, 10 mai 2019 :** Un incendie a éclaté dans deux modules de batterie d'un conteneur, détecté tôt grâce au système de surveillance. Le système d'extinction automatique a été activé immédiatement, empêchant l'emballement thermique et l'escalade de l'incident. Les pompiers locaux, rapidement sur les lieux, ont utilisé des extincteurs CO2 comme mesure de précaution. Malgré l'absence de dommages aux équipements voisins, la contamination par les suies a rendu nécessaire le remplacement des modules dans le conteneur concerné.

**#2 – La Réunion, 11 février 2023 :** Un feu a démarré dans l'un des cinq conteneurs de stockage batterie d'une centrale exploitée par Akoo, avec une réaction rapide du système d'extinction limitant les dégâts à deux modules et évitant un emballement thermique. Après remplacement des modules endommagés, le conteneur a été remis en service sans dommage collatéral.

**#3 – Corse, 6 avril 2023 :** Un autre incident a vu un feu se déclarer dans un conteneur, où le système d'extinction, bien qu'activé, n'a pas su prévenir un emballement thermique. L'intervention des pompiers a empêché la propagation, malgré une explosion survenue lors de l'ouverture du conteneur, qui n'a heureusement fait aucune victime. Une opération d'extinction a duré plus de deux jours. Bien que le conteneur ait été détruit, l'impact environnemental a été jugé minimal, et aucun dommage significatif causé par les eaux d'extinction n'a été rapporté.

Ces incidents soulignent l'importance d'une surveillance continue, d'un équipement de sécurité efficace et de procédures d'intervention rapide pour minimiser les risques et les impacts potentiels d'accidents dans les installations de stockage d'énergie.

## 8.2 Accidentologie externe

Cette recherche est basée sur la base de données ARIA du BARPI, rattaché au Service de l'Environnement industriel du "Ministère de l'énergie et du développement durable DPPR / SEI / BARPI". Ainsi pour la centrale de stockage d'énergie, les éléments suivants ont été recherchés en termes d'accidentologie :

- Batteries de type Li-ion ;
- Transformateurs.

### 8.2.1 Incendie de conteneur de batterie

Les résultats de la recherche menée sur base de données ARIA du Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions Industrielles sont présentés ci-dessous :

Partie de l'installation étudiée	Mots clés utilisés pour la recherche d'accidents	Période prise en compte	Nombre d'accidents recensés
Stockage de batteries Li-on	Matière impliquée : lithium Mot clé : batterie lithium-ion	12/2014 au 04/2023	28

La batterie Li-ion est à l'origine d'une révolution industrielle et technologique dans le domaine du stockage.

Les batteries rencontrées dans le milieu industriel sont un assemblage de cellules connectées en parallèle et/ou en série constituant des modules, eux-mêmes connectés en parallèle et/ou en série pour former un rack muni d'un système de gestion.

Les principales causes identifiées sont les suivantes :

- Emballement de réaction (8)
- Décomposition de produit ou un produit dégradé (6)
- Danger latent en lien avec le choix des équipements et des procédés (3)
- Électricité statique (1)
- Mélange de produits incompatibles (1)
- Perte de contrôle de procédé (1)
- Pas d'information (8)

L'analyse des causes montre la prédominance de l'emballage de réaction, suivi de la décomposition de produit ou d'un produit dégradé. Selon la bibliographie sur ce sujet, quel que soit le type de batteries lithium, dès lors sur celles-ci sont sollicitées en dehors de leur plage de fonctionnement nominal (conditions électriques, thermiques et mécaniques), un emballage thermique d'une cellule est susceptible de survenir.

Le système de gestion de batterie, dit BMS, a pour rôle de maintenir la batterie dans les conditions électriques et thermiques compatibles avec sa plage d'utilisation sûre. Si le BMS fait défaut, les réactions chimiques mises en jeu lors d'un emballage thermique d'une cellule engendre une élévation exponentielle de la température et une montée en pression interne par dégagement de vapeurs d'électrolytes. Des gaz toxiques et inflammables sont libérés par l'ouverture ou l'explosion de l'enveloppe de la cellule. La température générée est telle qu'elle peut gagner les autres éléments du conteneur, alimentant la propagation de l'emballage thermique à l'ensemble du conteneur.

Le conteneur, muni ou non d'une soupape de sécurité, peut être amené à exploser. Sans isolement des éléments tiers impactés, la ré-inflammation d'un conteneur batterie à proximité est possible, même après 24h.

En présence de batterie Li-Ion, technologie LMP/LFP (feu de métaux avec projections de particules de métal en fusion), le recours à l'eau est proscrit. Les pompiers, jugeant leur extinction impossible et contre-productive) laissent brûler pour se concentrer sur la protection des personnes, des biens et de l'environnement.

Les conséquences des phénomènes dangereux recensés sont les suivantes :

- Incendie (13)
- Explosion (4)
- Rejet de matières dangereuses polluantes (4)

L'incendie est le phénomène dangereux prédominant. Il est quelquefois couplé à des explosions. L'explosion intervient plus rarement. L'emballage thermique de la batterie entraîne le dégagement de gaz inflammables, pouvant résulter en une fuite de gaz enflammée. La majorité des rejets de matières dangereuses polluantes est associée à un impact sur le milieu air, et potentiellement sol, en lien avec les fumées d'incendie.

La présence d'acide fluorhydrique dans la composition des électrolytes et son action corrosive sur les métaux en présence d'eau peut entraîner un dégagement d'hydrogène, source d'incendies ou d'explosions.

Les phénomènes dangereux identifiés ont des conséquences sur le plan humain, social, économique, environnemental. D'un point de vue humain, il est noté à la fois des décès et des blessés graves lors des événements mêlant incendie et explosion. Les blessés légers sont associés notamment aux incommodations par inhalation de fumées toxiques du fait des incendies.

Le phénomène d'emballage thermique, risque le plus redouté, est rencontré à différentes étapes du cycle de vie des batteries :

- Etapes de fabrication,
- Essais ou test divers (charge / décharge, court-circuit), échantillons à analyser,
- Opérations courantes (mises en charge, mesures de tension),
- En cours d'utilisation,
- De stockage de batteries rebutées ou d'opérations de court-circuitage de batteries avant leur mise en rebut,
- De manutention (chute, incompatibilité de stockage avec d'autres produits),
- D'agressions externes (propagation d'incendie, de malveillance, du fait d'un stockage inapproprié)

L'emballage thermique rappelle que l'électrolyte (toxique et corrosif) de ces batteries est composé de solvants aux pressions de vapeurs relativement importantes.

Le tableau ci-après énumère les principales mesures de maîtrise des risques, intégrées dans la conception des installations de batteries, permettant de prévenir et détecter les causes, ainsi que de limiter les conséquences identifiées lors de l'analyse de l'accidentologie.

**Tableau 8 : Les principales mesures de maîtrise des risques, intégrées dans la conception des installations de batteries**

<b>Intégration de l'accidentologie dans la conception</b>	
Causes	Éléments pris en compte dans la conception des installations
Emballage de réaction	Consignes/Instructions pour éviter : les incendies, les risques d'explosion et de rejet prolongé Programme d'inspection et de maintenance Identification des risques Renforcer les retours d'expériences Protection contre les surintensités, contre les surcharges / surdécharges des éléments, contre les courts-circuits, contre les températures élevées Conditions de charge / décharge, court-circuitage Dispositif de désenfumage Moyens d'extinction efficace
Décomposition de produit ou un produit dégradé	Consignes/Instructions pour éviter : les incendies, les risques d'explosion et de rejet prolongé Conserver les installations dans leurs plages d'utilisation et de fonctionnement (électrique et thermique)
Danger latent en lien avec le choix des équipements et des procédés	Consignes/Instructions pour éviter : les incendies, les risques d'explosion et de rejet prolongé Identification des risques
Électricité statique	Contrôle des équipements
Mélange de produits incompatibles	Personnel d'exploitation formé Stockage en lieu protégé des agressions externes
Perte de contrôle de procédé	Programme d'inspection et de maintenance

### 8.2.2 Incendie de poste de transformation à l'huile

Les résultats de la recherche menée sur base de données ARIA du Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions Industrielles sont présentés ci-dessous pour les postes de transformation d'huile :

Partie de l'installation étudiée	Mots clés utilisés pour la recherche d'accidents	Période prise en compte	Nombre d'accidents recensés
Transformateurs huile	Matière impliquée : fluide diélectrique, huile de transformateur, huile minérale, polychlorobiphenyle, Mot clé : transformateur huile	03/2000 au 02/2023	157

Les principales causes identifiées sont les suivantes :

- Panne (25)
- Perte de confinement, étanchéité (21)
- Acte de malveillance (11)
- Mode dégradé (6)
- Foudre (5)
- Mal effectuée (5)
- Défauts matériels (5)
- Interventions humaines (4)
- Rupture (3)
- Autre agression naturelle (3)
- Perte d'utilité externe (3)
- Perte de contrôle des procédés (2)
- Séisme (1)
- Froid intense (1)
- Chaleur intense (1)
- Accident de la circulation (1)
- Décomposition de produits (1)
- Action non requise (1)
- Action requise (1)
- Autres (15)
- Pas d'information (42)

L'analyse des causes montre la prédominance des pannes, de la perte de confinement et étanchéité des équipements ainsi que les actes de malveillance.

Les conséquences des phénomènes dangereux recensés sont les suivantes :

- Incendie (64)
- Explosion (21)
- Rejet prolongé (37)
- Rejet de matières dangereuses, polluantes (18)
- Presque accident (3)
- Rejet instantané (7)
- Feu de nappe (1)
- Fonction « retenir l'eau » (1)
- Mise en cause de la sécurité hydraulique (1)
- Autres (4)

L'incendie est le phénomène dangereux prédominant. Il est quelquefois couplé à des explosions. L'explosion intervient plus rarement. Les conséquences sont également identifiées en termes de rejet prolongé, de rejets de matières polluantes.

Tous ces événements sont essentiellement des accidents, qui ont eu des conséquences avec diverses retombées :

- Impact économique : dommages matériels internes (105) et chômage technique (10)
- Impact humain : au total plusieurs personnes présentant de légères blessures (7) et un événement à Moscou faisant 75 morts et 15 blessés.
- Impact environnemental : de manière générale (13), puis atteinte avérée au milieu air (2), atteinte à la faune (1 évènement avec animal mort) et atteinte à la flore (3)
- Impact social (3)
- Autres conséquences (5) et autres privations d'usage (2)
- Pas d'information (5)

L'accidentologie met en avant principalement des impacts économiques, suivant par des impacts humains importants.

Le tableau ci-après énumère les principales mesures de maîtrise des risques, intégrées dans la conception des installations de transformateurs, permettant de prévenir et détecter les causes, ainsi que de limiter les conséquences identifiées lors de l'analyse de l'accidentologie.

**Tableau 9 : Les principales mesures de maîtrise des risques, intégrées dans la conception des installations de transformateurs**

Intégration de l'accidentologie dans la conception	
Causes	Éléments pris en compte dans la conception des installations
Panne, rupture	Consignes/Instructions pour éviter : les incendies, les risques d'explosion et de rejet prolongé Choix des équipements avec un coefficient de fiabilité Programme d'inspection et de maintenance des installations Identification des risques (intervention interne ou externe) Renforcer les retours d'expériences
Perte de confinement, étanchéité, d'utilité externe, perte de contrôle des procédés	Consignes/Instructions pour éviter : les incendies, les risques d'explosion et de rejet prolongé
Acte de malveillance	Programme d'inspection et de maintenance Renforcement de la sûreté du site
Foudre, séisme, froid intense, chaleur intense et autre agression naturelle	Contrôle des équipements Personnel d'exploitation formé
Mal effectuée, défauts matériels, décomposition matériels et mode dégradée	Consignes/Instructions pour éviter : les incendies, les risques d'explosion et de rejet prolongé

<b>Intégration de l'accidentologie dans la conception</b>	
Causes	Éléments pris en compte dans la conception des installations
	Contrôle des équipements Personnel d'exploitation formé
Interventions humaines, accident de la circulation, action requise et action non requise	Programme d'inspection et de maintenance

L'ensemble des analyses associées au retour d'expérience sont prises en compte dans l'analyse préliminaire des risques.

## 9. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Conformément à la réglementation relative à la prévention des risques technologiques dans les installations classées, l'Etude De Dangers donne lieu à une analyse des risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels, selon une méthodologie qu'elle explicite. Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets des accidents (Art L.512-1 du Code de l'Environnement).

L'analyse des risques a été effectuée en deux phases :

- une Analyse Préliminaire des Risques selon la méthodologie AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) permettant de déterminer les scénarios majeurs à modéliser et à étudier,
- une Analyse Détailée des Risques permettant d'une part une analyse approfondie des phénomènes dangereux critiques, leur gravité et leur fréquence. Elle inclut l'examen des mesures de maîtrise des risques (MMR), de leur performance sur l'installation.

Cette méthodologie s'appuie sur les exigences réglementaires suivantes :

- l'arrêté du 10 mai 2000 modifié – Partie maîtrise des risques ;
- l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des potentiels dans les études de dangers ;
- la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques dans les ICPE.
- l'arrêté du 26 mai 2014, relatif à la prévention des accidents majeurs dans les installations classées mentionnées à la section 9, chapitre V, titre Ier du livre V du Code de l'Environnement abrogeant l'arrêté du 10 mai 2000 modifié.

### 9.1 Définition et cotation des situations dangereuses

Afin de réaliser l'analyse préliminaire des risques, un support sous forme de tableau a été mis à disposition du groupe de travail pour identifier les potentiels de dangers, appelé situation dangereuse, l'évaluation de leur probabilité et gravité selon un outil de cotation préalablement présenté.

L'analyse des risques a été menée en groupe de travail dans le cadre de réunions de travail associant :

- des représentants de l'exploitant : Théo Reguillot, Jérémie Ginot Seux, Anass Boudhar, Nicolas Bony, Coline Noury
- des représentants du bureau d'étude d'ingénierie des dangers : Catherine Delorme, Glen Demarquet.

Les échanges se sont déroulés autour du tableau d'analyse des risques dans lequel est référencé les situations dangereuses, les causes, les mesures de prévention, la cotation de la probabilité de survenue de la situation dangereuse, l'évènement redouté et les conséquences associées, les barrières de protection et de maîtrise des conséquences, la cotation de la gravité et des remarques associées à la situation dangereuse. Au cours

des échanges, chacun des membres du groupe de travail a fait état de son expérience et de son point de vue sur la pertinence des scénarios d'accident analysés et sur les barrières de sécurité.

Opération(s) : Containier auxiliaire Bâtiment(s) / Poste de travail : Containier Matériel : Onduleur + transformateur à l'huile						
N° SITUATION DANGEREUSE (SD)	CAUSES	MESURES DE PREVENTION	P	EVENEMENT REDOUTÉ ET CONSEQUENCES ASSOCIÉES	BARRIÈRES DE PROTECTION / MAÎTRISE DES CONSÉQUENCES	G REMARQUES
10 Départ de feu au niveau du transformateur (2150 l / 1980kg d'huile)	10.1 Défaillance électrique, court-circuit (nuisibles externes...) 10.2 Température de fonctionnement trop élevée 10.3 Fuite d'huile dans la rétention 10.4 Surintensité sur le transformateur 10.4 Incendie externe au containier (provenant du containier batterie, malveillance)	Choix de l'équipement, notamment pour des températures tropicales Maintenance initiale et périodique par bureau de contrôle Maintenance préventive Transformateur moniteur pour identifier les défaillances et mettre en sécurité les installations si besoin par SCADA Grelot de protection qui surveille température / pression. En cas d'anomalie, coupe du relais HTA. Distance entre les batteries et secondaires. Rétention d'huile du transformateur : comportementale permettant de récupérer la totalité du volume d'huile (+10%) tout en isolant le contenant de la rétention. Distance d'éloignement de 5m entre containier auxiliaire et containier batterie, distant de 8m avec LP. Site clôturé avec système de vidéosurveillance Containier étanche et fermé, presse-étoupes pour le passage de câbles Surveillance visuelle de l'état de l'installation à chaque visite Site maintenu débraillé sur 10m autour des installations Analyse du risque foudre de l'installation, Etude technique en fonction de l'acceptabilité Mise à la terre des équipements, mallage du réseau de terre DéTECTEUR niveau bas d'huile sur transformateur	D	10.8 Incendie du transformateur 10.8 Risque de propagation aux installations du parc de batterie	Capteurs de température interne au container en continu + Lecture de température depuis l'extérieur du container Détecteur incendie (fumées, température) distant du container auxiliaire déclenchant la mise à l'arrêt de l'installation + refroidissement par l'extérieur avec un système de queue de paon ou lance d'eau de deux containers contiguës distants par 2 bacs à eau de 120 m3. Mur CF 1h30 sur façade exposée du container batterie	2 3

Figure 39 : Exemple de tableau d'analyse des risques

Le risque lié à une installation se définit comme la combinaison d'une probabilité d'occurrence d'un événement redouté (causes – phase pré-accidentelle) et de la gravité de ses conséquences (conséquences - phase post-accidentelle).

Dans un premier temps, il est procédé à un découpage fonctionnel des installations en sous-systèmes. Par exemple dans le cas du site : cellule, module, conteneur batterie, conteneur auxiliaire, rame HTA... L'installation a été considéré aux différentes phases de vie de l'installation : du chantier à son démantèlement.

Pour chacun de ces systèmes, les séquences accidentelles (situation dangereuse, cause, évènement redouté, conséquences) sont identifiées à partir : des risques liés aux produits, à l'exploitation des installations, aux agressions externes, du retour d'expérience de l'industriel (analyse des antécédents), de l'accidentologie industrielle, de la réglementation et des guides professionnels etc...

Les situations conduisant à un même phénomène dangereux sont ensuite décrits en tenant compte des barrières de sécurité passives existantes (exemple : mur coupe-feu, distance d'éloignement, , etc.), depuis la cause initiatrice jusqu'aux effets et aux conséquences sur les personnes et sur l'environnement.

Au terme de cette première étape d'analyse, on estime pour le sous-système étudié :

- une probabilité d'occurrence potentielle,
- une gravité potentielle tenant compte des conséquences sur l'homme, l'environnement et le matériel, à l'intérieur et à l'extérieur du site.

Le croisement de cette probabilité et de cette gravité permet de définir un risque potentiel et de positionner les scénarios dans une grille de criticité.

Les outils utilisés pour définir la probabilité et la gravité sont les suivants :

Probabilité :

A	Évènement courant	Qui s'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation, malgré d'éventuelles mesures correctives
B	Évènement probable	Qui s'est produit et/ou peut de produire pendant la durée de vie de l'installation
C	Évènement improbable	Qui s'est produit dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité
D	Évènement très improbable	Qui s'est produit dans le secteur d'activité mais qui a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité
E	Évènement possible mais extrêmement peu probable	Qui n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années et d'installations

Gravité :

1	conséquences mineures
2	conséquences limitées à l'échelle de la cellule / module / rack, de l'unité concernée
3	conséquences susceptibles de toucher d'autres conteneurs batteries, transfo, PCS, PDL,
4	conséquences dépassant les limites de propriété

Cette analyse préliminaire des risques en groupe de travail conduit à la mise en évidence des scénarios d'accidents majeurs et de barrières de sécurité définies ou à définir.

### 9.1.1 Situations dangereuses liées à l'environnement du site

#### ⇒ Climatologie

La commune de Boulouparis possède une topographie distinctive, caractérisée par un littoral préservé grâce à la baie de Saint-Vincent et ses îlots. Les vastes plaines agricoles et d'élevage, étendues et ouvertes, favorisent la croissance d'une végétation basse et bien entretenue, accentuant ainsi l'effet de chaleur. Seulement la moitié du territoire de Boulouparis est constituée d'espaces naturels. Les données climatiques disponibles sont celles de la station Bouraké, située sur le littoral de la commune de Boulouparis.

### ↳ Cyclone

Selon le niveau d'alerte, l'exploitant de la centrale de stockage d'énergie mettra en place des protocoles particuliers pour assurer la sécurité des installations. Même en cas de risque cyclonique, des mesures de gestion de ce risque sont prises et soumises à des tests réguliers.

Au vu de la localisation, le cyclone est considéré dans l'analyse préliminaire des risques.

### ↳ Foudre

À Nouméa, malgré un niveau Kéraunique de 8,5 et une densité de foudroiement de 0,85 coups de foudre par kilomètre carré par an, le risque d'impact de la foudre est relativement faible par rapport à d'autres régions. Des études de risque et techniques seront menées pour la centrale de stockage d'énergie. En phase conception, les risques sont réduits grâce à la prise en compte de mesures type parafoudres, de paratonnerres et à des contrôles périodiques de conformité.

Au vu de la localisation, la foudre est considérée dans l'analyse préliminaire des risques.

### ⇒ Feux de brousse

La zone de Boulouparis présente un risque élevé de feu de brousse, accentué par son environnement de vastes plaines agricoles et d'installations photovoltaïques. Les mesures actuelles, telles que le défrichage et le maintien de l'herbe courte autour du parc de batteries, contribuent à réduire ce risque, mais une surveillance continue demeure cruciale pour prévenir tout incident majeur.

Au vu de la localisation et de l'historique de la zone, les feux de brousse sont considérés dans l'analyse préliminaire des risques.

### ⇒ Sismicité

La Nouvelle-Calédonie, bien que géologiquement stable, connaît une faible activité sismique, principalement le long de ses zones de subduction. Les séismes locaux sont rares et de faible intensité. Par conséquent, aucune prescription parasismique spécifique n'est nécessaire pour la centrale de stockage d'énergie dans la région.

Le séisme n'est pas considéré dans l'analyse préliminaire des risques.

### ⇒ Mouvements de terrain

En raison de sa topographie plane, le site en question n'est pas sujet aux mouvements de terrain. Aucun historique de signes de mouvement de terrain n'a été observé.

En raison de l'historique de la zone, les mouvements de terrain ne sont pas considérés dans l'analyse préliminaire des risques.

### ⇒ Risque inondation

Ce risque est étroitement lié aux variations des précipitations et aux conditions météorologiques marines. Selon les données mises à disposition par la DAVAR, une grande majorité du village de Boulouparis est exposée à un risque élevé d'inondation. Selon les résultats de l'étude de Soproner sur l'inondabilité de la zone, le site est exposé

à des aléas moyens. L'implantation de l'installation des conteneurs de batteries a pris en compte cet aléa pour en sortir. L'installation est hors de portée des côtes d'inondabilité.

En raison de l'étude d'inondabilité, le risque d'inondation n'est pas considéré dans l'analyse préliminaire des risques.

#### ⇒ Tsunami

En Nouvelle-Calédonie, les tsunamis, principalement liés à des séismes au sud des Salomons et du Vanuatu, représentent un risque élevé sur la côte Est et les îles Loyauté. La côte Ouest est moins exposée. À Boulouparis, les risques sont plus élevés en bord de mer, mais diminuent vers l'intérieur des terres. Aucune prescription spécifique n'est nécessaire pour l'installation en raison de sa distance par rapport au littoral.

Au vu de son implantation, le risque tsunami n'est pas considéré dans l'analyse préliminaire des risques.

#### **9.1.2 Situations dangereuses liées générées par l'environnement industriel**

Le site d'implantation du projet est peu exposé des situations dangereuses de par l'environnement industriel. En effet, le site est situé en sortie de village, sur des parcelles principalement à vocation agricole. Aucune installation type industrielle n'est présente à moins de 500 mètres.

Aucun aérodrome n'est présent dans un rayon de 5km autour du site. Le site n'est pas implanté dans une servitude aéronautique.

Au vu de son implantation, l'environnement industriel et la chute d'aéronefs ne sont pas considérés dans l'analyse préliminaire des risques.

#### **9.1.3 Situations dangereuses générées par l'environnement humain**

La RT1 présente un fort trafic routier estimé à 1194 véhicules / jour. Il s'agit de l'axe principal du territoire permettant de se rendre du sud (capitale Nouméa) vers les différentes communes de la côte ouest et est. Cet axe est situé sur la façade sud du projet. Un talus naturel en bordure de RT1 permet de préserver les installations de tout accident de la route ou voiture bâlier.

Au vu de son implantation, l'environnement humain n'est pas considéré dans l'analyse préliminaire des risques.

Les actes de malveillance sont considérés dans l'analyse préliminaire des risques même si la densité de populations est faible mais la valeur des installations sur le site est forte.

#### **9.1.4 Situations dangereuses liées aux produits et aux installations**

En synthèse pour la partie produits, suite à l'analyse des produits mis en œuvre sur le site, seul les batteries avec l'électrolyte, ainsi que l'huile des transformateurs sont retenus comme potentiels de dangers pour la suite dans l'analyse préliminaire des risques.

Pour la partie installations, l'ensemble des sous-systèmes ont été pris en compte dans l'analyse préliminaire des risques, à savoir : cellule, module, rack, onduleur, transformateur, conteneur, rame HTA, BMS..., avec les différentes situations de dangers (perte de confinement, dégradation des cellules, élévation de température, entrée d'eau, défaillance MBMS, endommagement du conteneur...) ainsi que les potentiels perte d'utilités.

## 9.2 Tableaux d'analyse élémentaire des risques

Les tableaux d'analyse élémentaire des risques présentent l'ensemble des situations dangereuses et leur cotation. Les tableaux sont présentés en Annexe 10 du présent document.

Les situations dangereuses étudiées dans l'analyse préliminaire des risques sont regroupées dans une grille de criticité permettant de déterminer le niveau de risque de chaque situation. Ce niveau de risque résulte de la combinaison entre la fréquence d'occurrence de la situation et la gravité des conséquences.

**Tableau 10 : Analyse élémentaire des risques**

Gravité	Niveau de risque				
	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1
3	2	2	2	1	1
2	3	3	2	2	2
1	3	3	3	3	3
Probabilité	E	D	C	B	A

Trois zones sont délimitées dans cette matrice en fonction du niveau de risque :

Niveau de risque	Signification
1	Niveau de risque élevé avec des zones d'effets potentiels à l'extérieur du site nécessitant une étude détaillée du risque
2	Niveau de risque intermédiaire nécessitant une étude de réduction des risques technico-économiquement réalisable
3	Niveau de risque acceptable – Risque maîtrisé

A l'issue des résultats de la grille d'analyse préliminaire des risques, les scénarios situés dans la zone de niveau de risque élevé ou intermédiaire feront l'objet de modélisation des effets des phénomènes dangereux pour traitement en zone d'effets réglementaires (SELS, SEL, SEI).

## 9.3 Synthèse de l'analyse préliminaire des risques

Le tableau suivant présente la synthèse de l'analyse préliminaire des risques dans la grille de criticité.

**Tableau 11 : Synthèse de l'analyse préliminaire des risques**

Gravité	Niveau de risque				
Probabilité	E	D	C	B	A
4		SD 1F, SD 8A, SD 8B, SD 9A, SD 9B, SD 10B			
3		SD 1E, SD 2B, , SD 4D, SD 4E, SD 10A, SD 11A,		SD 3C, SD 5C,	
2		SD1A, SD 1B, SD 1D, SD 2A, SD 4C, SD 12A, SD 12B,	SD 6C, SD 6D, SD 13C, SD 15A,	SD 3A, SD 3B, SD 3D, SD 5A, SD 5B, SD 7A, SD 7B, SD 7C, SD 14 A, SD 14B, SD 16A, SD 16B	
1		SD 1C, SD 2C, SD 4A, SD 4B,	SD 6A, SD 6B,		

L'analyse des risques réalisée a permis d'identifier les barrières techniques, humaines et organisationnelles mises en œuvre par l'exploitant pour sécuriser ses nouvelles installations.

Il s'avère que des scénarios sont classés en zone de risque significatif (élévé et intermédiaire), à savoir :

- risque d'intoxication des tiers avec les fumées de combustion,
- incendie d'un conteneur de batterie,
- risque de propagation d'un feu de conteneur de batterie aux conteneurs voisins,
- risque d'explosion du conteneur de batterie, projection de débris,
- incendie d'un bac de rétention d'huile d'un transformateur.

Ces scénarios sont retenus pour modélisation dans la phase d'analyse détaillée des risques.

Plusieurs causes amenant à une situation dangereuse de type perte de confinement d'une cellule / module / rack sont identifiées :

- défaut de fabrication / conception de la cellule,
- choc externe en phase de maintenance,
- vieillissement / corrosion / court-circuit interne de la cellule,
- élévation de la température dû à un défaut du système de refroidissement, élévation de la tension...
- surcharge ou sur-décharge d'une cellule / module / rack
- court-circuit interne / externe,
- entrée d'eau au niveau de la cellule / module / rack.

Cette perte de confinement de la cellule / module / rack peut conduire à un emballage thermique d'un ou plusieurs modules pouvant conduire à l'incendie d'un conteneur complet, puis à une propagation à plusieurs conteneurs.

Le tableau ci-dessous présente les justifications sur les gravités déterminées pour les scénarios retenus.

**Tableau 12 : Compilation des justifications sur les gravités déterminées pour les scénarios retenus**

Scénario	Justifications
Intoxication des tiers suite avec les fumées de combustion	Certains composants de l'électrolyte ont des propriétés toxiques. Au vu des quantités mises en jeu, l'analyse des émissions de gaz de combustion d'électrolyte est susceptible de générer une dispersion de nuage毒ique.
Incendie d'un conteneur de batterie	Au vu des composants du conteneur de batterie et de la densité de cellules, l'analyse des effets thermiques associé à un emballage thermique d'une cellule / d'un module / d'un rack est étudiée pour vérifier les flux thermiques émis.
Propagation d'un feu de conteneur de batterie aux conteneurs voisins	L'incendie d'un conteneur de batteries a montré des flux thermiques importants dans l'analyse de l'accidentologie susceptible d'être à l'origine d'une propagation du feu à d'autres conteneurs batterie et/ou auxiliaires.
Explosion du conteneur de batterie	La perte de confinement d'électrolyte des batteries sous forme gazeuse rencontrant une source d'inflammation dans le conteneur provoque une explosion du nuage dans le conteneur pouvant conduire à la projection de débris.
Incendie d'un bac de rétention d'huile	L'incendie de l'huile dans le bac de rétention du transformateur peut avoir une incidence sur les autres unités et potentiellement en dehors des limites de site.

## 10. MODELISATION DES INTENSITES DES PHENOMENES DANGEREUX

Cette partie présente les modèles utilisés pour l'analyse détaillée des phénomènes dangereux retenus ci-dessus, les seuils réglementaires sur l'homme et la structure, les conditions météorologiques retenues. Les hypothèses de modélisation sont également présentées, ainsi que les résultats permettant de définir les conséquences sur les installations et les tiers.

Un scénario est défini par une situation dangereuse, des causes de défaillance, un évènement redouté, un phénomène physique de surpression, thermique, et/ou toxique. Il est possible que plusieurs situations dangereuses aboutissent à un même scénario conduisant à un accident majeur. Les scénarios sont réalisés à partir des hypothèses décrites dans la présente étude, à savoir un conteneur de batteries comprend 10 racks, totalisant 36 tonnes, d'une capacité de 3,73 MWh. L'implantation est réalisée par deux conteneurs de batteries côté à côté sur le petit côté, totalisant 72 tonnes, d'une capacité de 7,46 MWh.

### 10.1 Seuils des effets considérés

La définition des seuils à considérer en fonction des effets attendus est réalisé à partir des textes réglementaires applicables à ce type d'installation et à la méthodologie d'étude de dangers.

#### 10.1.1 Effets thermiques

La réglementation métropolitaine, via l'arrêté du 29 septembre 2005, a fixé des seuils d'effets permettant d'apprécier la gravité d'un phénomène dangereux sur l'Homme et sur les structures (voir Tableau ci-après).

**Tableau 13 : Seuils d'effets thermiques de l'arrêté métropolitaine du 29 septembre 2005 sur la gravité d'un phénomène dangereux sur l'Homme et sur les structures**

Seuils d'effets thermiques	Effets sur les structures	Effets sur les hommes
200 kW/m <sup>2</sup>	Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes	-
20 kW/m <sup>2</sup>	Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et des dégâts très graves sur les structures béton	-
16 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton	-
8 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets <b>domino</b> et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures	Seuil des effets létaux significatifs (SELS)
5 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des destructions de vitres significatives	Seuil des effets létaux (SEL)
3 kW/m <sup>2</sup>	-	Seuil des effets irréversibles (SEI)

Les seuils ne s'appliquent que pour des cibles exposées au moins 2 minutes à ce rayonnement. Dans le cas où la durée du phénomène est, inférieure à deux minutes

(UVCE, boule de feu), le phénomène est qualifié de transitoire. Le calcul des distances d'effets pour la vie humaine doit alors être effectué en termes de doses thermiques, exprimées en  $[(\text{kW/m}^2)^{4/3}] \cdot \text{s}$  (RAPPORT D'ÉTUDE INERIS-DRA-09-103154-07092A du 28 mai 2009 « Cahier technique de la vulnérabilité du bâti aux effets thermiques transitoires »). Le tableau suivant présente ces seuils d'effets thermiques sur l'Homme.

**Tableau 14 : Seuils d'effets thermiques sur l'Homme**

Seuils d'effets thermiques	Effets sur les Hommes
600 $[(\text{kW/m}^2)^{4/3}] \cdot \text{s}$	SEI
1 000 $[(\text{kW/m}^2)^{4/3}] \cdot \text{s}$	SEL
1 800 $[(\text{kW/m}^2)^{4/3}] \cdot \text{s}$	SELS

#### 10.1.2 Effets de surpression

La réglementation métropolitaine, via l'arrêté du 29 septembre 2005, a fixé des seuils d'effets permettant d'apprecier la gravité d'un phénomène dangereux sur l'Homme et sur les structures. Les valeurs de référence des seuils des effets de surpressions sont présentées dans le tableau qui suit.

**Tableau 15 : Effets de surpression de l'arrêté métropolitaine du 29 septembre 2005 sur la gravité d'un phénomène dangereux sur l'Homme et sur les structures**

Effets de surpression	Effets sur les structures	Effets sur les hommes
300 mbar	Seuil des dégâts très graves sur les structures	-
200 mbar	Seuil des effets <b>domino</b>	Seuil des effets létaux significatifs (SELS)
140 mbar	Seuil des dégâts graves sur les structures	Seuil des effets létaux (SEL)
50 mbar	Seuil des dégâts légers sur les structures	Seuil des effets irréversibles (SEI)
20 mbar	Seuil des destructions significatives des vitres	Seuils des effets délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme

#### 10.1.3 Effets toxiques

Deux types de pollution accidentelle peuvent intervenir en cas d'incident :

- la pollution des eaux et du sol,
- la pollution de l'air.

En fonction des produits, des températures de combustion et des durées d'exposition, une pollution accidentelle peut avoir des effets plus ou moins toxiques.

Les seuils d'effets toxiques de référence définis par l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 sont présentés dans le tableau ci-après.

**Tableau 16 : Seuils des effets toxiques de référence par l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005**

Seuils d'effets toxiques	Effets sur les hommes
Seuil des effets irréversibles ( <b>SEI</b> )	Seuil des effets irréversibles délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine
Seuil des effets létaux ( <b>SEL</b> ) ( <b>CL 1%</b> )	Seuil des effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine
Seuil des effets létaux significatifs ( <b>SELS</b> ) ( <b>CL 5%</b> )	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

CL : concentration létale.

Aucune valeur seuil n'a été définie pour la pollution des sols et des eaux.

## 10.2 Scénario incendie d'un conteneur – SC1

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel FLUMILOG. Ce logiciel permet normalement de modéliser les conséquences d'un incendie dans un entrepôt. Cette méthode est explicitement mentionnée dans plusieurs arrêtés ministériels et, en particulier, l'arrêté du 11 avril 2017 relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts couverts mais également les arrêtés à enregistrement pour les rubriques 4734 (Stockage de produits pétroliers spécifiques et carburants de substitution) et 4331 (Stockage de liquides inflammables de catégorie 2 ou catégorie 3 à l'exclusion de la 4330). L'outil FLUMILOG a été adapté pour simuler l'incendie du conteneur de batteries.

Limite de l'outil Flumilog : pour des faibles distances d'effet, il convient d'arrondir les résultats à 5m pour les distances comprises entre 0 et 5m et à 10m pour les distances comprises entre 6 et 10m.

Le scénario étudié correspond à un emballage thermique d'une cellule, d'un module ou d'un rack comprise dans un conteneur. Une propagation thermique est attendue aux autres éléments composants le conteneur, ou autres conteneurs voisins. Le résultat est un embrasement généralisé du conteneur à l'origine du départ de feu, avec libération de fumées toxiques.

Le conteneur est constitué des éléments suivants :

- nombre de racks : 10 racks par conteneur
- nombre de modules : 8 modules de batteries par rack
- nombre de cellules : 52 cellules par module, soit 4 160 cellules par conteneur.

Le poids d'une cellule est de 5,5 kg, le poids d'un module est de 315 kg, le poids d'un rack est de 2 520 kg, le poids d'un conteneur 20 pied est de 36 tonnes.

L'inventaire des produits présents par conteneur de batteries est disponible dans le tableau qui suit.

**Tableau 17 : Inventaire des produits présents par conteneur de batteries**

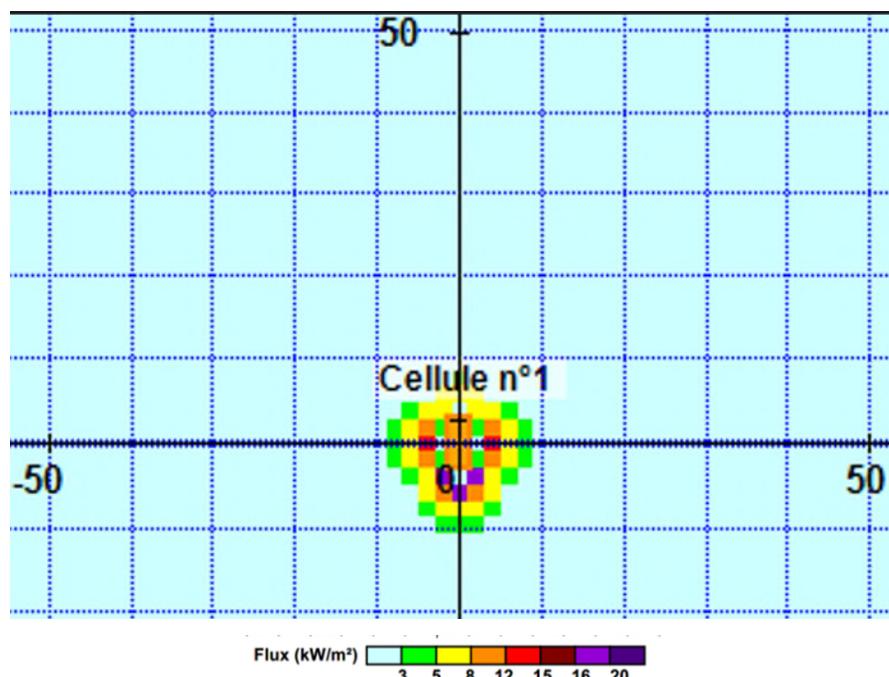
Produit	% masse par cellule
Lithium-Iron-Phosphate – LIP	39,63
Graphite	19,72
Electrolyte	13,61
Aluminium	5,79
PVDF	0,58
Cuivre	9,53
SBR (styrene butadiene rubber)	0,51
PE	0,05
PP	0,96

Pour étudier les effets thermiques, il est considéré les hypothèses suivantes :

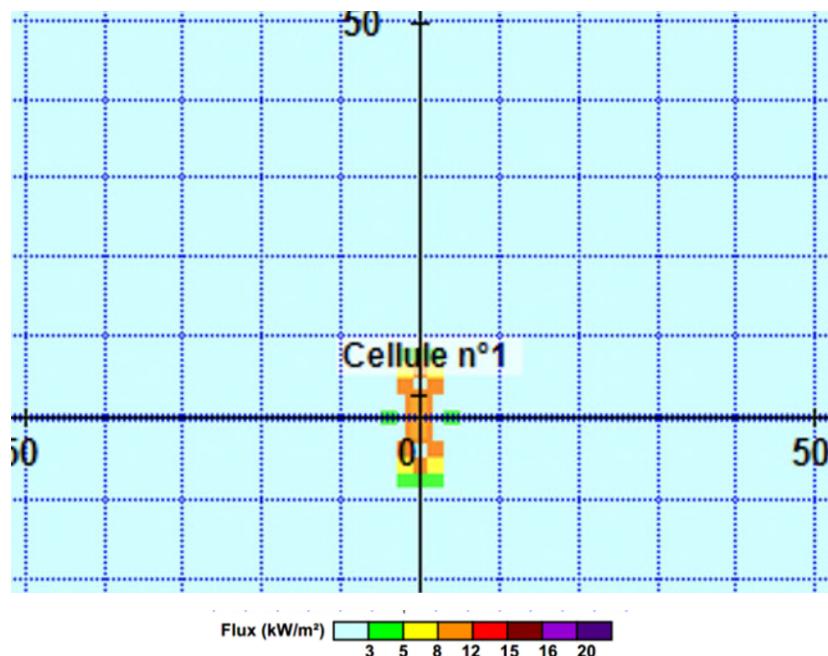
- combustibles assimilés à du PE : 3 983 kg,
- acier : 19 904 kg,
- aluminium : 1 468 kg.

La modélisation des effets thermiques a été étudiée pour deux cas : le conteneur de batteries sans mesures de compartimentage, le conteneur de batteries avec des mesures de compartimentage (murs REI 90 sur 5 faces comprenant la toiture).

La première figure représente les effets thermiques sans les parois de compartimentage REI 90 sauf au Nord du conteneur (paroi contiguë aux deux conteneurs). Les notes de calculs Flumilog sont disponibles en Annexe 11.



La seconde figure représente les effets thermiques avec les 5 parois de compartimentage REI 90. Les notes de calculs Flumilog sont disponibles en Annexe 11.



La modélisation a été réalisée en prenant comme hypothèse durée moyenne d'incendie de 12 mn et une puissance moyenne de 2 000 kW selon les données bibliographiques identifiées pour ce sujet.

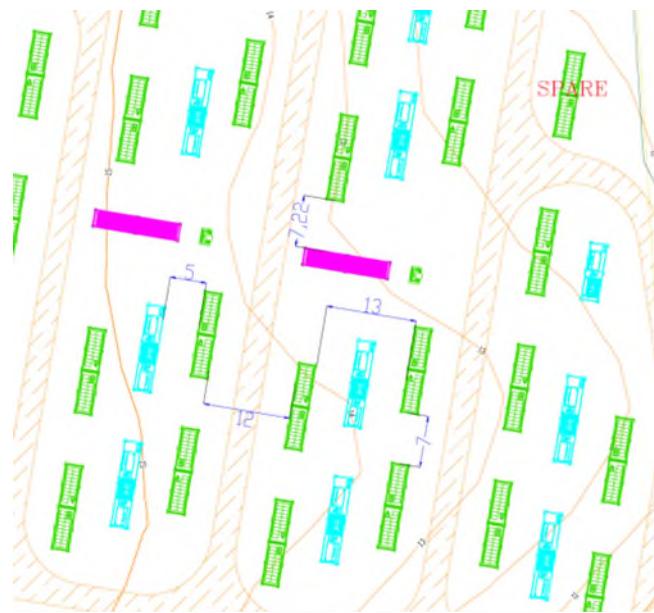
Le Tableau 18 ci-dessous présente les distances d'effets thermiques pour chaque cas :

**Tableau 18 : Distances des effets thermiques pour chaque cas**

Scénario	Type Effet	Modèle	Distance SELS (m)	Distance SEL (m)	Distance SEI (m)
			8 kW/m²	5 kW/m²	3 kW/m²
Incendie conteneur cellules, avec parois REI 90	thermique	Flumilog	4	5	6
Incendie conteneur cellules, avec parois non REI	thermique	Flumilog	4	6	8

Les résultats montrent que des effets dominos sont possibles lorsque les parois du conteneur ne présentent pas de compartimentage REI 90 ou que les parois en place ne résistent pas au feu. Le projet prévoit d'équiper chaque conteneur avec des 5 parois REI 90 permettant de contenir les effets dominos.

Le projet prévoit une distance minimale de 12m entre deux conteneurs batteries (avec un conteneur auxiliaire entre) sur les faces longues, une distance de 5m entre un conteneur batteries et un conteneur auxiliaire sur les faces longues, une distance de 7m entre les faces courtes des conteneurs batteries et/ou poste de livraison.



**Figure 40 : Distance d'isolement entre les conteneurs batteries, auxiliaires et poste de livraison**

Les figures suivantes montrent les effets thermiques au sol d'un incendie de conteneur avec parois REI 90, en choisissant les emplacements les plus défavorables (à proximité des limites de propriété, à proximité du poste de livraison).



**Figure 41 : Incendie conteneur avec paroi REI 90 à proximité de la limite de propriété ouest du site**



**Figure 42 : Incendie conteneur avec paroi REI 90 à proximité du poste de livraison au centre du site**

### 10.3 Scénario propagation de l'incendie du conteneur à plusieurs conteneurs – SC2

Les résultats des modélisations précédentes montrent que les effets dominos d'un conteneur en feu avec son compartimentage 5 faces n'atteignent pas le conteneur à proximité.

Pour rappel, chaque conteneur batterie est distant de 5m avec les conteneurs auxiliaires. Chaque conteneur batterie est distant de minimum 12m avec un autre conteneur batterie sur les plus grands côtés et 7m sur les petits côtés.

De plus, des queues de paon ont été installés entre les conteneurs pour maintenir les effets thermiques à proximité du conteneur et réduire la propagation à un autre conteneur.

## 10.4 Scénario explosion d'un conteneur – SC3

Les calculs ont été réalisés à l'aide de l'outil EFEX utilisé pour l'explosion d'un nuage de gaz confiné prenant en compte la réactivité du mélange, la géométrie de l'espace confiné. En effet, en cas de surcharge d'une cellule, cette dernière chauffe et est susceptible d'émettre des gaz de la composition suivante dans le conteneur, considéré comme un espace confiné :

- CO<sub>2</sub> : 26%
- CO : 11,6%
- H<sub>2</sub> : 44,38%
- Hydrocarbures : 18,02%

Les gaz susceptibles de présenter un risque d'explosion sont le monoxyde de carbone et l'hydrogène.

La vitesse laminaire de flamme dans l'air est de l'ordre de 46 cm/s pour le monoxyde de carbone et de 56 cm/s pour l'hydrogène. Le mélange de gaz issu de l'échauffement comprend d'autres gaz tels que CO<sub>2</sub> et hydrocarbures pouvant avoir une influence sur la vitesse laminaire. La turbulence a également un impact sur la vitesse laminaire de flamme, favorisant sa propagation. La donnée considérée est donc majorante.

Le conteneur a pour objectif d'être le plus étanche possible pour les raisons suivantes :  
-étanchéité à l'eau et l'humidité par rapport aux intempéries, aux conséquences sur le matériel contenu dans le conteneur (risque de court-circuit),  
-étanchéité aux poussières par rapport au risque de dégradation du matériel à l'intérieur,  
-étanchéité à l'air pour le bon fonctionnement du système d'extinction à gaz permettant d'assurer l'efficacité du procédé d'extinction.

Au vu de l'encombrement du conteneur par ses équipements (absence de circulation horizontale desservant les différents racks), la quantité d'air présente dans le conteneur sera faible.

Le phénomène considéré est donc, suite à une inflammation des gaz présents dans le conteneur, la production de gaz augmente entraînant une montée en pression du conteneur. Des trappes anti-explosion, présentes sur le toit du conteneur, dimensionnées pour une ouverture partielle à 60 Pa et totale à 100 Pa sont prévues pour éviter l'explosion en laissant échapper une partie du combustible non atteint par les flammes. Néanmoins, les flammes présentent dans le conteneur risquent de rattraper le combustible et créent une seconde explosion au niveau des trappes. L'ensemble créera des ondes de surpression à l'intérieur et à l'extérieur du conteneur.

Les effets de l'explosion sont liés aux produits en présence (vitesse de flamme, taux d'expansion) et à leur environnement (volumes d'air disponibles, ouvertures présentes, turbulence.)

Avec le modèle utilisé, il est considéré que la surface de la flamme est égale à deux fois la section de l'enceinte qui subit l'explosion. Au vu des dimensions de l'espace confiné, de la vitesse laminaire de flamme considéré, l'évolution de la surpression est considérée comme homogène.

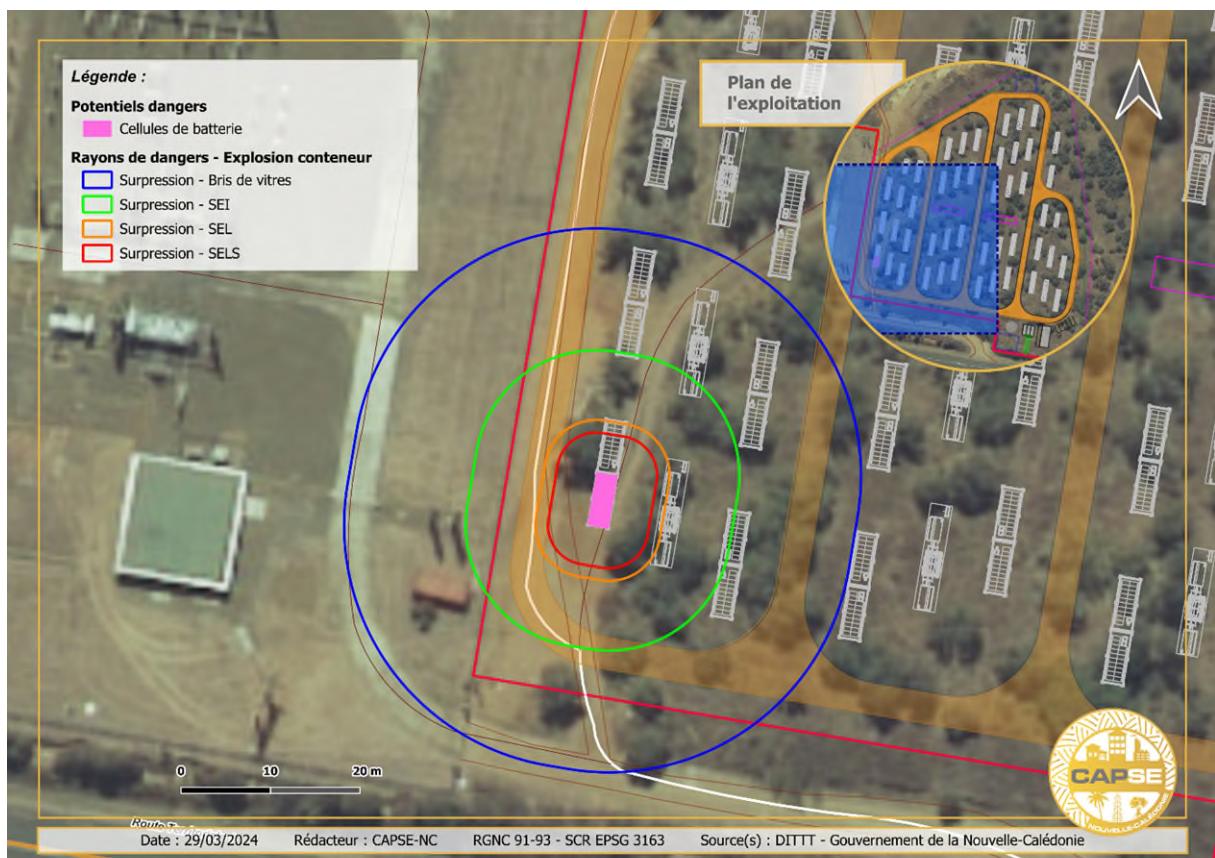
Le refroidissement du conteneur est assuré par un système de refroidissement liquide contrôlé périodiquement. Des détecteurs de gaz de combustion sont également prévus pour arrêter la charge et limiter l'émission des gaz.

Le tableau qui suit présente les distances d'une explosion d'un conteneur cellules.

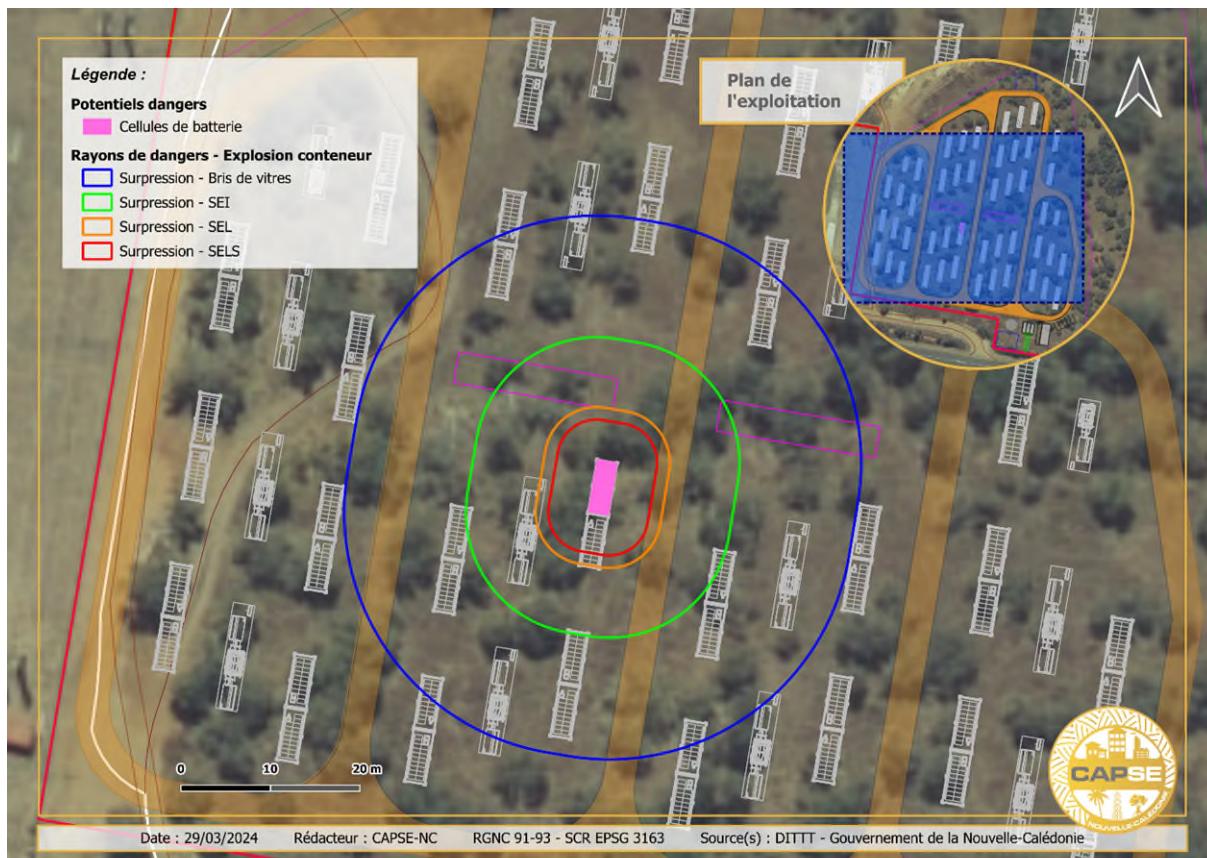
**Tableau 19 : Distances d'une explosion d'un conteneur cellules**

Scénario	Type Effet	Modèle	Distance SELS (m)	Distance SEL (m)	Distance SEI (m)	Distance Bris de vitre (m)
			200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar
Explosion conteneur cellules	Surpression	Effex	4,4	5,8	13,6	27,2

Les figures et tableaux suivants montrent les effets de surpression au sol de l'explosion d'un conteneur, en choisissant les emplacements les plus défavorables (à proximité des limites de propriété, à proximité du poste de livraison).

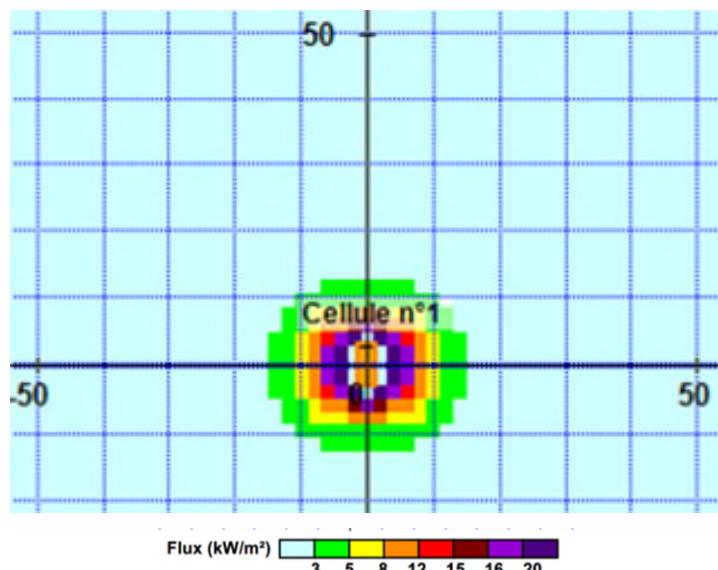


**Figure 43 : Explosion conteneur avec effet de surpression de la limite de propriété ouest du site**



**Figure 44 : Explosion conteneur avec effet de surpression à proximité du poste de livraison au centre du site**

Les effets thermiques suite à un incendie post-explosion d'un conteneur ont été étudiés avec le modèle Flumilog, en prenant en compte la chute de parois post-explosion. Les notes de calculs Flumilog sont disponibles en Annexe 11.



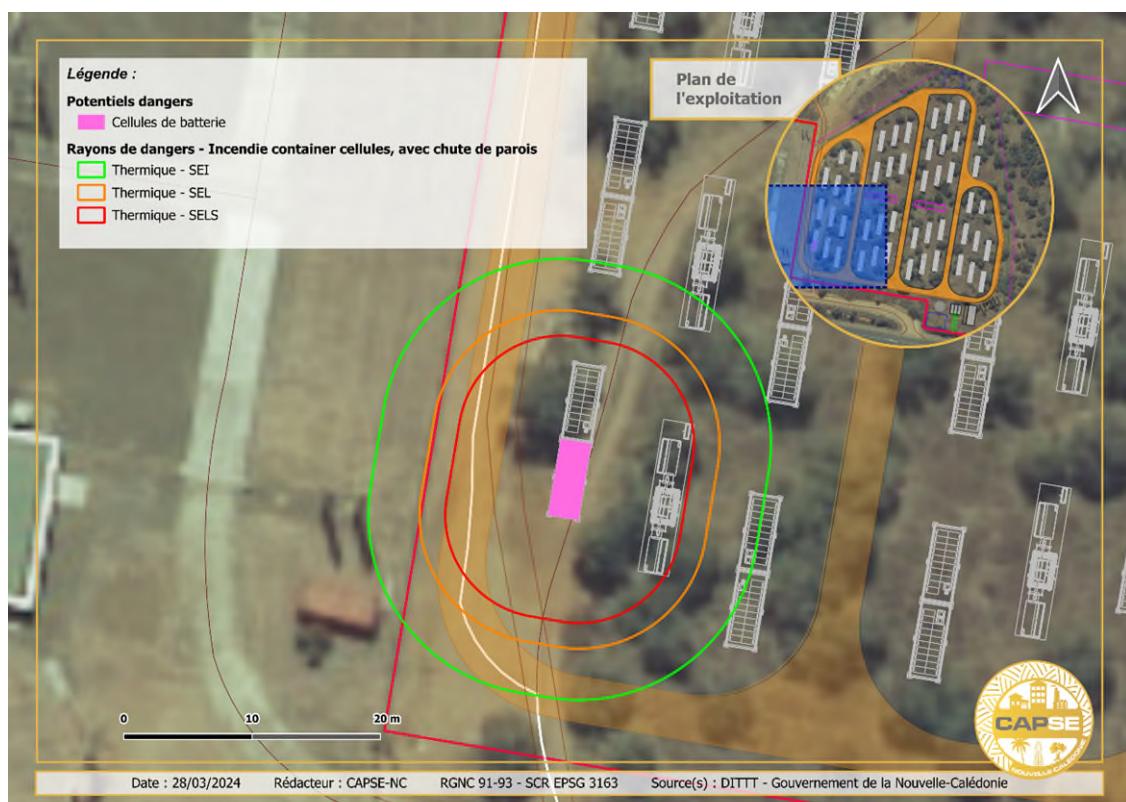
**Figure 45 : Modélisation des effets thermiques suite à un incendie post-explosion d'un conteneur, sous Flumilog**

**Tableau 20 : Distances des effets d'un incendie conteneur cellules avec chute de parois**

Scénario	Type Effet	Modèle	Distance SELS (m)	Distance SEL (m)	Distance SEI (m)
			8 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>
Incendie conteneur cellules, chute de parois	Thermique	Flumilog	8	10	14

Un système de queue de paon est mis en place pour reprendre les effets thermiques en cas de perte des parois CF des conteneurs et éviter toute propagation de l'incendie aux autres conteneurs batterie.

Les figures suivantes montrent les effets thermiques de l'incendie d'un conteneur post-explosion (chute de paroi), en choisissant les emplacements les plus défavorables (à proximité des limites de propriété, à proximité du poste de livraison).



**Figure 46 : Incendie conteneur avec chute de paroi à proximité de la limite de propriété ouest du site**



**Figure 47 : Incendie conteneur avec chute de parois à proximité du poste de livraison au centre du site**

### 10.5 Scénario incendie d'un transformateur – SC4

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel FLUMILOG. L'outil FLUMILOG a été adapté pour simuler l'incendie d'un conteneur auxiliaire contenant le transformateur. L'outil GTDLI a également été utilisé pour vérifier la cohérence des résultats avec le logiciel FLUMILOG. Cet outil permet de déterminer le flux thermique reçu par une cible exposée à un feu de nappe, en l'occurrence le bac de rétention du transformateur.

Les dimensions prises pour la définition du bac de rétention sont les suivantes : 2,9m\*2,38m, soit 6,9m<sup>2</sup>, correspond à l'emprise potentielle d'un feu.

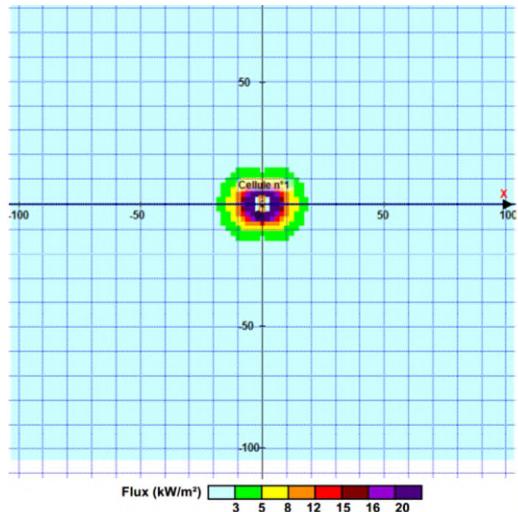
Le scénario correspond à une fuite d'huile du transformateur entraînant le remplissage du bac de rétention et son incendie.

La quantité d'huile présente dans le transformateur est de 2 350 kg.

La hauteur de la cible prise en compte est de 1,5m. Le bac est considéré posé à même le sol.

La hauteur de la flamme est de 2m.

La figure représente les effets thermiques du bac de rétention à l'air libre sous logiciel Flumilog, sans mesures de protection pour réduire les flux thermique. Les notes de calculs Flumilog sont disponibles en Annexe 11.



**Figure 48 : Modélisation des effets thermiques suite à un incendie du bac de rétention à l'air libre, sous Flumilog**

Le Tableau 21 ci-dessous présente les distances d'effets thermiques pour le bac de rétention du transformateur selon chaque méthode :

**Tableau 21 : Distances des effets d'un incendie du bac de rétention pour chacun cas**

Scénario	Type Effet	Modèle	Distance SELS (m)	Distance SEL (m)	Distance SEI (m)
			8 $\text{kW/m}^2$	5 $\text{kW/m}^2$	3 $\text{kW/m}^2$
Incendie bac de rétention	thermique	Flumilog	8	10	12
Incendie bac de rétention	thermique	GTDLI	7	8	10

Les résultats obtenus permettent de montrer que les effets domino ( $8\text{ kW/m}^2$ ) impactent les conteneurs de batterie situés à proximité du conteneur auxiliaire contenant le transformateur. Une distance de 5m est prévue entre les conteneurs batterie et le conteneur auxiliaire, et une protection des faces CF REI 90 de chaque conteneur de batterie.

Les figures suivantes montrent les effets thermiques de l'incendie d'un transformateur, en choisissant les emplacements les plus défavorables (à proximité des limites de propriété, à proximité du poste de livraison).

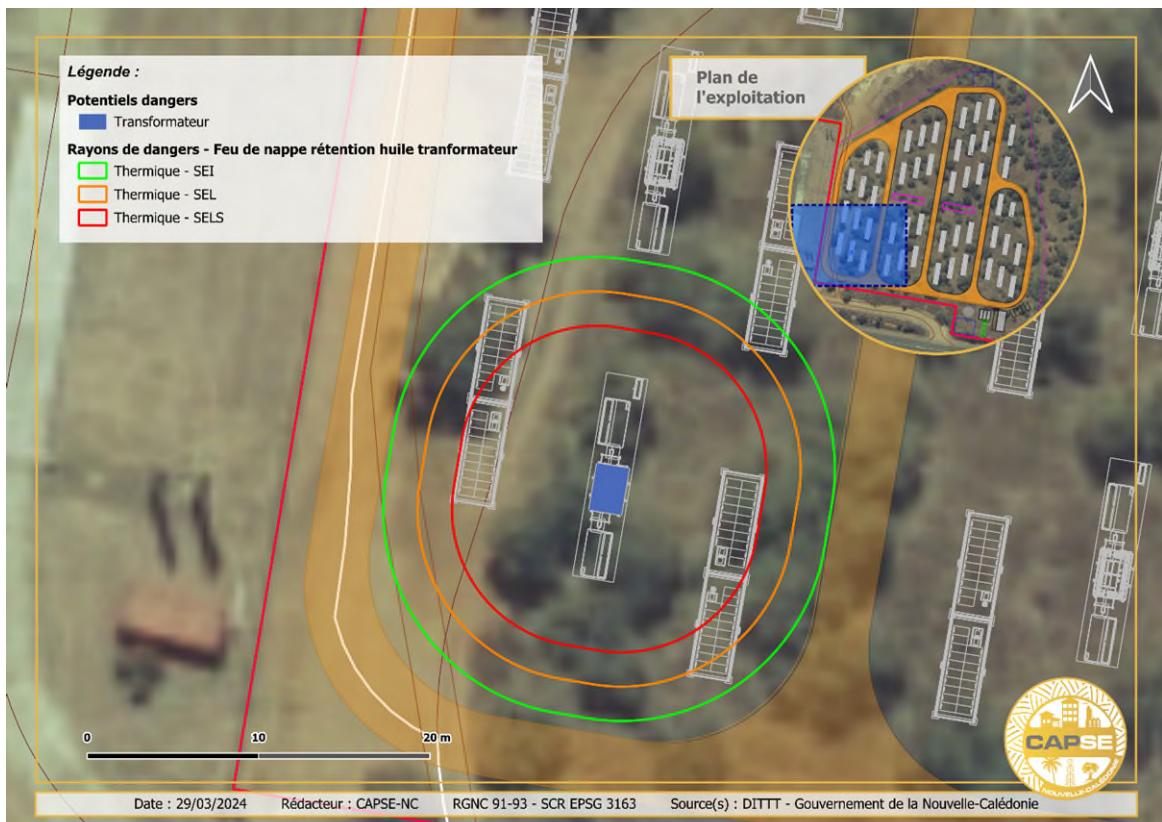


Figure 49 : Incendie d'un transformateur à proximité de la limite de propriété sud-ouest du site



Figure 50 : Incendie d'un transformateur à proximité du poste de livraison au centre du site

## 10.6 Scénario propagation de l'incendie du transformateur à plusieurs conteneurs – SC5

Au vu des résultats précédents présentés concernant les effets thermiques, les mesures mises en place (parois REI 90, distance d'éloignement, bac de rétention équipé d'un volet CF, réseau queue de paon alimenté par deux bâches à eau) par l'exploitant permettent de contenir les flux thermiques en réduisant les effets domino.

## 10.7 Scénario des effets toxiques lors d'un incendie de deux conteneurs de batteries – SC6

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel PHAST (version 8,7). La modélisation s'effectue en 3 étapes : détermination du terme-source, détermination des seuils d'effets toxiques des fumées, calcul avec le logiciel des distances d'effets aux seuils déterminés.

La méthodologie est issue du rapport d'étude de l'INERIS : Oméga 16 – recensement des substances toxiques susceptibles d'être émises par un incendie.

La dispersion atmosphérique des fumées a été modélisée à l'aide du logiciel PHAST en prenant en compte les conditions météorologiques suivantes : A3, B3, B5, C5, C10, D5, D10, E3 et F3 (conditions atmosphériques retenues dans la circulaire du 10 mai 2010).

La première lettre des conditions atmosphériques correspond à la stabilité atmosphérique, le second chiffre à la vitesse du vent prise à hauteur de référence de 10m.

Pour caractériser la composition des fumées, l'inventaire ci-dessus a été pris en compte permettant de définir plusieurs hypothèses :

- La typologie de stockage retenue est la technologie NMC, majorant en termes d'effets toxiques
- le scénario est réalisé pour un ensemble de deux conteneurs de batteries de 20 pied cumulant 72 tonnes de batteries, avec une surface en feu de 29,5 m<sup>2</sup>, scénario majorant,
- la quantité d'électrolyte pris en considération est de xxx kg
- la composition des gaz attendus pendant l'incendie d'un conteneur est la suivante :
  - o CO2 : 26%
  - o CO : 11,6%
  - o H2 : 44,38%
  - o Hydrocarbures : 18,02%
- la hauteur d'émission des fumées est de 2,6 m correspond à la hauteur du stockage,
- le plastique est assimilé à du polyéthylène, une durée d'exposition de 60 mn.

La technologie LFP, reconnue pour sa durabilité et sa durée de vie prolongée, rivalise avec la technologie NMC, plébiscitée pour sa densité énergétique supérieure. Le LFP apparaît comme le leader en matière de longévité, présentant une durée de vie impressionnante de 3 à 4 fois plus longue que celle du NMC.

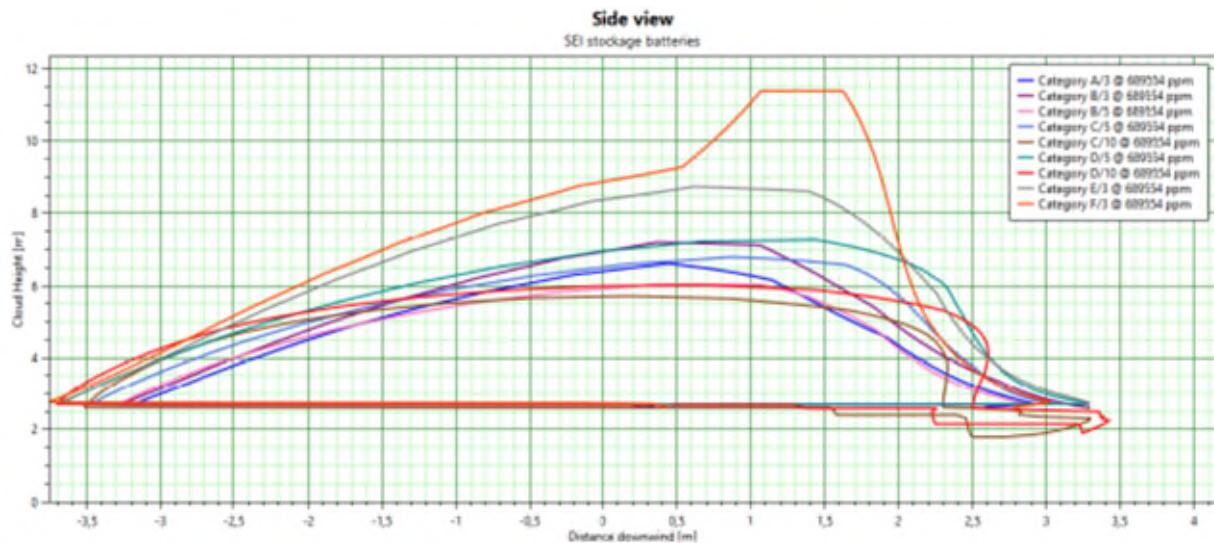
Les batteries NMC présentent un avantage distinct en termes de densité énergétique, offrant une capacité de stockage d'environ 20 à 30 % supérieure à celle des batteries LFP.

Les batteries LFP présentent un net avantage en matière de sécurité par rapport aux batteries NMC en raison de leur résistance inhérente aux problèmes d'emballement thermique. L'emballement thermique, un phénomène dans lequel la température de la batterie augmente rapidement, pouvant conduire à un incendie ou à une explosion, est une préoccupation particulièrement associée à certaines compositions chimiques des batteries lithium-ion comme le NMC, qui incluent des matériaux comme le cobalt.

Les batteries LFP utilisent le phosphate de fer comme matériau de cathode, qui possède intrinsèquement une stabilité thermique supérieure par rapport aux chimies à base de cobalt. Les batteries LFP ont une stabilité thermique supérieure, les rendant résistantes à l'emballement thermique même dans des conditions extrêmes. Les batteries LFP ne contiennent pas de métaux lourds toxiques comme le cobalt.

Le rapport détaillé de la modélisation des effets toxiques et des effets de surpression est présenté en Annexe 12.

Les distances atteintes par les effets irréversibles 689 554 ppm sont présentés dans le graphique ci-dessous.



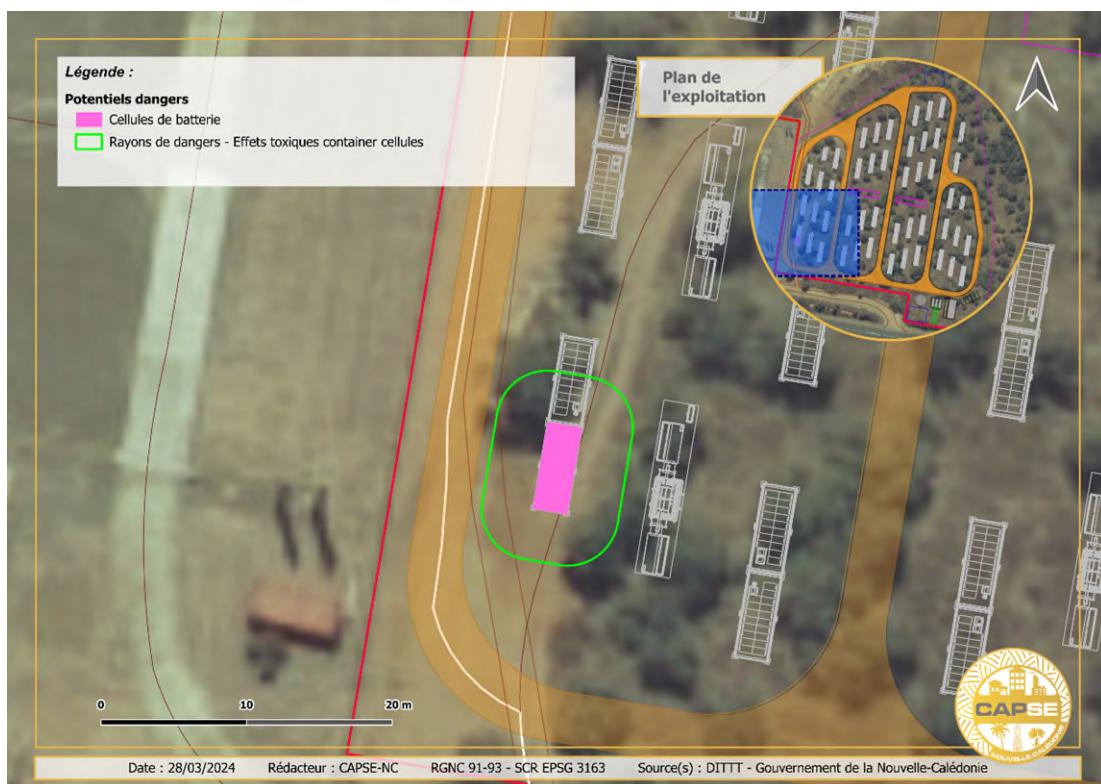
**Figure 51 : Graphique des distances au seuil des effets irréversibles des fumées toxiques produites par un incendie de stockage de batteries Li-ion (technologie NMC)**

Les résultats de la modélisation montrent que les distances atteintes par les effets toxiques irréversibles dépassent la zone de stockage de 0,8m en dehors des conteneurs.

**Tableau 22 : Distances des effets toxiques en hauteur suite à un incendie pour chaque cas**

Scénario	Type Effet	Modèle	Distance SELS (m)	Distance SEL (m)	Distance SEI (m)
			CL 5%	CL 1%	
Effets toxiques à hauteur d'homme suite à un incendie	toxique	Phast	Sans effets		
Effets toxiques en hauteur suite à un incendie	toxique	Phast	-	-	3,5m

Les figures suivantes montrent les effets toxiques de l'incendie d'un conteneur, en choisissant les emplacements les plus défavorables (à proximité des limites de propriété, à proximité du poste de livraison).



**Figure 52 : Effets toxiques d'un incendie de conteneur batterie à proximité de la limite de propriété sud-ouest du site**



**Figure 53 : Effets toxiques d'un incendie de conteneur batterie à proximité du poste de livraison au centre du site**

## 10.8 Synthèse des phénomènes dangereux

**Tableau 23 : Distances des différents effets thermiques, de surpression et toxique dans divers scénarios**

Scénario	Type Effet	Distance SELS (m)	Distance SEL (m)	Distance SEI (m)	Bris de vitre	Scénario sortant LP
Incendie d'un conteneur batteries avec parois REI 90	thermique	4	5	6		Non
Incendie d'un conteneur batteries avec parois non REI	thermique	4	6	8		Non
<b>Incendie d'un conteneur batteries chute de parois</b>	<b>thermique</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>14</b>		<b>Oui</b>
Incendie d'un transformateur	thermique	8	10	12		Non

Scénario	Type Effet	Distance SELS (m)	Distance SEL (m)	Distance SEI (m)	Bris de vitre	Scénario sortant LP
<b>Explosion d'un conteneur batteries</b>	<b>surpression</b>	<b>4,4</b>	<b>5,8</b>	<b>13,6</b>	<b>27,2</b>	<b>Oui</b>
Effets toxiques à hauteur d'homme suite à un incendie d'un conteneur batteries	toxique		Sans effets			Non
Effets toxiques en hauteur suite à un incendie d'un conteneur batteries	toxique	-	-	3,5m		Non

Les scénarios sortant des limites de propriété sont caractérisés en gravité des conséquences, probabilité d'occurrence et cinétique selon la méthode réglementaire.

L'explosion d'un conteneur batteries présente des effets irréversibles et bris de vitre sortant des limites de propriété. Au vu de la distance d'éloignement entre le projet et les premiers tiers (hors poste de transformation d'Enercal construit en béton), le scénario ne sera pas considéré comme un accident majeur.

## 11. DEMARCHE DE MAITRISE DES RISQUES

Dans le cadre de la démarche de maîtrise des risques, l'étape suivante consiste à évaluer la gravité, la probabilité, la cinétique des scénarios sortant des limites de propriété.

### 11.1 Evaluation de la gravité

Pour évaluer la gravité, le nombre de personnes impactées par les effets redoutés par le scénario sont évaluées à partir du décompte des habitations, des ERP, des voies de circulation impactés par les rayons de dangers présentés ci-dessus.

Pour les deux scénarios concernés sortant des limites de propriété, aucune installation tiers n'est présente dans les distances d'effet attendues, uniquement la voie de circulation à l'ouest desservant le poste de transformation d'Enercal.

L'annexe III de l'arrêté du 29 Septembre 2005 définit la grille d'appréciation de la gravité des conséquences humaines d'un scénario majeur à l'extérieur du site en fonction des distances d'effets attendus.

Il faut noter que les seuils associés aux bris de vitre et leurs effets ne sont pas considérés pour l'évaluation de la gravité.

Le tableau est présenté ci-dessous.

**Tableau 24 : Valeur de la gravité en fonction des zones et du nombre de personnes exposées**

Valeur de la gravité G/personne	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
5- Désastreux	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées
4- Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 personnes exposées
3- Important	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
2- Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
1- Modérée	Pas de zone de létalité hors de l'établissement		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à « une personne »

Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.

La gravité correspond donc à la combinaison de l'intensité des effets et des enjeux (personnes exposées) dans les rayons de dangers. Le personnel du site n'est pas considéré et est prise en charge dans d'autres réglementations, type code du travail.

La méthodologie de comptage est définie par la circulaire du 10 mai 2010 publiée par le ministère de la transition écologique. Pour les terrains non bâti, la circulaire précise les règles de comptage suivantes :

-pour les terrains non aménagés et très peu fréquentés, 1 personne par tranche de 10 hectares,

-pour les terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés (type parking, jardins publics, terrains de sport...), 10 personnes par hectare.

-pour les voies de circulation automobiles peu fréquentées, une justification de l'occupation est à fournir par l'industriel.

Dans notre cas, les surfaces concernées par les rayons de dangers sont un terrain non aménagé (1 personne pour 10 hectares), une voie de circulation dédié à l'exploitation de la ferme photovoltaïque au nord-est du projet estimée à 4 personnes/jour en simultané. Le tableau ci-dessous présente les distances des effets thermiques d'un incendie d'un conteneur de batteries avec chute de parois.

**Tableau 25 : Distances des effets thermiques d'un incendie d'un conteneur de batteries avec chute des parois**

Scénario	Type Effet	Distance SELS (m)	Distance SEL (m)	Distance SEI (m)	Gravité retenue
Incendie d'un conteneur batteries chute de parois	thermique	8 Pas de sortie du site	10 Pas de sortie du site	14 Nbre de personnes max = 4 pers < 10 pers	Sérieux

## 11.2 Evaluation de la probabilité

L'évaluation de la probabilité se fait à partir du nœud papillon de chaque scénario sans prendre en compte de décote liée aux barrières (prévention ou protection). L'échelle de cotation retenue est l'échelle proposée dans l'arrêté métropolitain du 29 septembre 2005 (voir Tableau ci-après).

**Tableau 26 : Échelle de cotation associé à l'arrêté métropolitain du 29 septembre 2005**

Echelle de probabilité	E	D	C	B	A
Qualitative (si le REX est suffisant)	« événement possible mais non rencontré au niveau mondial » : n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles	« événement très improbable » : s'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité de ce scénario	« événement improbable » : un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	« événement probable sur site » : s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations	« événement courant » : se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives
Semi-quantitative	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitative et quantitative, et permet de tenir compte de la cotation des mesures de maîtrise des risques mises en place				
Quantitative (par unité et par an)		$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$

Cette méthode permet d'étudier dans le détail les conditions de déroulement du scénario. Le nœud papillon est la combinaison d'un arbre de défaillances et d'un arbre de conséquences. L'estimation de la probabilité sera faite en fonction des données disponibles de manière qualitative ou quantitative.

Cette estimation est réalisée à partir des fréquences d'occurrence des évènements initiateurs, des évènements redoutés, les probabilités de défaillance des mesures de maîtrise, les probabilités de formation de vapeurs.

Les mesures de maîtrise des risques permettent de prendre en compte une réduction du risque en fonction du niveau de confiance accordé à la barrière. Ces barrières peuvent être de type techniques, organisationnelles ou humaines. La performance de la barrière est évaluée en fonction de son objectif (prévention/protection), son indépendance (de la cause étudiée), son efficacité (capacité de réalisation en fonction de son dimensionnement), son temps de réponse, son niveau de confiance (fiabilité lié à la probabilité de défaillance de la mesure). Cette évaluation se base sur la méthode Oméga 10.

Pour les batteries, elles sont testées en usine avant d'être implantées en module, puis en rack. L'ensemble est vérifié et testé à son arrivée sur site pour s'assurer de l'absence de courant de fuite, de malfaçon, de défaut dans l'installation des différentes unités constituant le conteneur. Les cellules, les modules et les racks ont passé le test de la norme UL 9540A répondant au principe de non propagation d'un incendie. Chaque conteneur de batterie est piloté par SCADA pour vérifier son état de charge / décharge et tout défaut qui pourrait apparaître. Des opérateurs viennent périodiquement sur le site vérifier les points de contrôle définis par le fournisseur des différents équipement.

Chaque conteneur de batteries , équipé d'un compartimentage REI 90 sur les 5 faces, est isolé d'une distance minimum de 7m entre eux sur les petits côtés, d'une distance de 12 m sur les grands côtés, d'une distance de 5m avec le conteneur auxiliaire.

Le site sera clôturé permettant de limiter les accès aux personnes uniquement autorisées.

Pour les barrières techniques passives, un niveau de confiance NC2 est considéré, selon la méthode Oméga 10.

En l'absence de données plus précises, l'évaluation de la probabilité des évènements initiateurs sera réalisée par retour d'expérience, à dire d'expert.

Pour le scénario considéré, incendie d'un conteneur avec chute de parois, les évènements redoutés sont les suivants avec leurs niveaux de probabilité estimés :

- court-circuit par endommagement des composants électroniques,  $>10^{-2}/\text{an}$ ,
- défaillance du système de supervision MBMS,  $>10^{-2}/\text{an}$ ,
- rupture du système de refroidissement liquide du conteneur,  $>10^{-2}/\text{an}$ ,
- point-chaud créé par une opération de maintenance,  $>10^{-2}/\text{an}$ ,
- défaillance du système de protection de surcharge,  $>10^{-2}/\text{an}$ ,
- erreur d'installation,  $>10^{-2}/\text{an}$ ,
- défaut de conception des installations,  $>10^{-2}/\text{an}$ ,
- accumulation de gaz de combustion. $10^{-2}-10^{-3}/\text{an}$ .

L'évaluation des probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux fait intervenir les facteurs de réduction de risques induits par les barrières de sécurité.

Le NC correspond à une réduction de risques (RR) telle que :  $10NC < RR < 10NC+1$ .

De manière conservatrice, on retient souvent que le NC est associé à une réduction de risques de  $10^{NC}$ .

La liste et le niveau de confiance des barrières de sécurité mises en place pour le scénario considéré sont donc évaluées ci-dessous.

**Tableau 27 : Liste et niveau de confiance des barrières de sécurité pour divers scénarios**

Barrières	Indépendance	Efficacité	Tps réponse	Maintenance / surveillance	Nv de confiance
Contrôle de fabrication et mise en service des cellules	Oui	Tests étanchéité / performance réalisés par le fournisseur. Fournisseur, lui-même audité par Akouo et bureau de contrôle	NA	NA	NC 1
Contrôle de la tension	Oui	Système MBMS identifie les dérives pour rééquilibrage au niveau de chaque cellule / module / rack + étalonnage toutes les 90j	< 1 mn	Vérification MBMS tous les mois	NC 1
Système de supervision MBMS	Oui	Vérification du courant de fuite du système MBMS tous les ans + test en continu de la cohérence de traitement des données	< 1 mn	Vérification en continu de la cohérence + annuelle	NC 1
Système de refroidissement	Oui	Choix d'un système liquide permettant de garantir une meilleure efficacité avec un fluide pur	< 1 mn	Vérification hebdomadaire lors des rondes techniques	NC 1
Gestion des interventions sur les conteneurs de batteries	Oui	Permis de feu à chaque intervention par point chaud	NA	NA	NC 1

Barrières	Indépendance	Efficacité	Tps réponse	Maintenance / surveillance	Nv de confiance
Contrôle de la température (capteur / CCTV)	Oui	Capteurs de température avec 3 niveaux d'alarme + CCTV IR levée de doute	< 1 mn	Vérification & maintenance annuelle	NC 1
Contrôle des gaz de combustion ( détecteur)	Oui	Capteurs H2/C pour évacuer les gaz de combustion via des extracteurs avant déclenchement IEAG	< 1 mn	Vérification & maintenance annuelle	NC 1
Mur REI 90 entre volume batteries et volume système de refroidissement	Oui	Contenir les effets thermiques	NA	NA	NC 1
Système automatique d'extinction gaz	Oui	Ventitest réalisé par installateur + vérification par bureau de contrôle Dimensionnement réalisé en fonction des besoins	qq mn	Maintenance annuelle	NC 1
Implantation des installations	Oui	Distance d'implantation entre les conteneurs batterie minimum 7m, entre conteneur batteries et conteneur transformateur 5m.	NA	NA	NC 1

Barrières	Indépendance	Efficacité	Tps réponse	Maintenance / surveillance	Nv de confiance
Trappes explosives	Oui	Dimensionnées / quantité de gaz de combustion attendu + déclenchement sur détection gaz	Qq mn	Vérification et maintenance annuelle	NC 1
Formation du personnel interdiction d'ouvrir un conteneur	Oui	Formation à l'intervention en cas de départ de feu	> 30 mn	Recyclage annuel de la formation	NC 2

Au vu des mesures mises en œuvre et de leurs niveaux de confiance, le niveau de probabilité retenue est de 10-4, soit une probabilité D.

### 11.3 Caractérisation de la cinétique

Cette analyse a pour objectif de définir l'adéquation entre la cinétique de l'évènement attendu (apparition et évolution) et la cinétique de la mise en œuvre des différentes barrières de sécurité. Un temps de réponse est identifié pour chaque barrière de sécurité. Les barrières ont été choisies en fonction de leur temps de réponse par rapport à l'évènement attendu.

Tous les scénarios identifiés sont des phénomènes à cinétique rapide.

### 11.4 Effets dominos

Pour rappel, la réglementation définit des seuils d'effets dominos dans l'arrêté du 29 septembre 2005 pour les effets thermiques et pour les effets de surpression.

**Tableau 28 : Seuils d'effets dominos de l'arrêté du 29 septembre 2005 des effets de surpression et des effets thermiques**

	Seuil des effets de surpression mbar	Seuil des effets thermiques kW/m <sup>2</sup>
Seuil des effets dominos	200	8
Seuil d'exposition prolongée, des dégâts très graves sur les structures (hors structures béton)	300	16

Les effets de projection ne sont pas pris en compte car ils ne disposent pas de seuils de valeurs de référence.

En fonction des modélisations réalisées, et des cartographies de représentation, les équipements internes au site impactés par les différents effets dominos de premier niveau sont les suivants.

**Tableau 29 : Effets dominos sur les équipements internes au site**

N°	Scénario	Effets dominos sur les équipements internes au site			
		Autre Conteneur batterie	Transformateur	PDL	Bâche à eau
SC1	incendie d'un conteneur batterie avec parois REI 90	Non	Non	Non	Non
SC1	incendie d'un conteneur batterie avec parois non REI 90	Non	Non	Non	Non
SC2	incendie du conteneur à plusieurs conteneurs batteries	Non	Non	Non	Non
SC3	explosion d'un conteneur batterie	Non	Non	Non	Non
SC3	incendie d'un conteneur batterie avec chute de parois	Non	Non	Non	Non
SC4	incendie d'un transformateur	Oui	Non	Non	Non
SC5	propagation de l'incendie du transformateur à plusieurs conteneurs	Non	Non	Non	Non

Les effets dominos identifiés ont été pris en compte en termes de mesures constructives des conteneurs de batteries, et seront pris en compte dans le POI du site.

## 11.5 Classemement des scénarios et analyse des conditions d'acceptabilité

Le tableau suivant permet de synthétiser l'ensemble des scénarios, les effets attendus, les distances, l'intensité, la gravité et la cinétique.

**Tableau 30 : Synthèse de l'ensemble des scénarios, les effets attendus, le distances, l'intensité, la gravité et la cinétique**

N°	Scénario	Type d'effet	SELS (m)	SEL (m)	SEI (m)	Cinétique	Gravité	Probabilité
SC1	incendie d'un conteneur batterie avec parois REI 90	thermique	4	5	6	Rapide	Modéré	D
SC1	incendie d'un conteneur batterie avec parois non REI 90	thermique	4	6	8	Rapide	Modéré	D
SC2	incendie du conteneur à plusieurs conteneurs batteries	thermique	-	-	-	Rapide	Modéré	D
SC3	explosion d'un conteneur batterie	surpression	4,4	5,8	13,6	Rapide		D
SC3	incendie d'un conteneur batterie avec chute de parois	thermique	8	10	14	Rapide	Sérieux	D
SC4	incendie d'un transformateur	thermique	8	10	12	Rapide	Modéré	D
SC5	propagation de l'incendie du transformateur à plusieurs conteneurs	thermique	-	-	-	Rapide	Modéré	D
SC6	incendie d'un conteneur batterie	toxique	-	-	3,5	Rapide	Modéré	D

Les scénarios sont reportés dans la grille de présentation des accidents majeurs selon la circulaire du 10 mai 2010.

GRAVITÉ des conséquences	PROBABILITÉ (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreux	NON partiel (établissements nouveaux : note 2) / MMR rang 2 (établissements existants : note 3)	NON Rang 1	NON Rang 2	NON Rang 3	NON Rang 4
Catastrophique	MMR Rang 1	MMR Rang 2 (note 3)	NON Rang 1	NON Rang 2	NON Rang 3
Important	MMR Rang 1	MMR Rang 1	MMR Rang 2 (note 3)	NON Rang 1	NON Rang 2
Sérieux			MMR Rang 1	MMR Rang 2	NON Rang 1
Modéré					MMR Rang 1

**Figure 54 : Grille d'analyse des mesures de maîtrise des risques – circulaire du 10 mai 2010**

Seuls les scénarios ayant des distances d'effet extérieures au site sont repris dans la grille, soit l'incendie d'un conteneur de batteries avec chute de parois.

**Tableau 31 : Grille de positionnement des accidents majeurs du site**

Gravité des conséquences sur les personnes	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		SC3			
Modéré					

La circulaire du 10 mai 2010 définit les conditions d'acceptabilité du risque :

- Aucun scénario ne doit figurer dans les cases « NON » de la grille d'analyse,
- Une règle de cumul MMR Rang 2 impose de ne pas avoir plus de 5 scénarios en case MMR Rang 2 au cumul (équivalent à un scénario « NON-rang 1 »).

En conclusion, aucun scénario n'est positionné dans une case « NON ».

1 scénario est positionné dans une case de faible risque.

## 12. CONCLUSIONS

La centrale de stockage d'énergie de Bouloparis réalisée par Akoo présente des potentiels de risques essentiellement liés aux phénomènes de flux thermiques, soit des conteneurs de batteries, ou des transformateurs. Le site est relativement isolé et présente peu de cibles dans un rayon de 500 m à part un poste de transformation Enercal en béton avec sa piste d'accès, deux centrales photovoltaïques avec leurs pistes d'accès, une route principale. L'ensemble des cibles ne sont pas atteints par les effets dominos de chaque scénario identifié.

En termes de maîtrise des risques, Akoo a défini une stratégie de sécurité intégrant le choix des équipements, des produits, des fournisseurs, de l'implantation des installations, de moyens de contrôle et de surveillance accrue des installations permettant de réduire la probabilité et la criticité des scénarios attendus.

Un seul scénario (conséquence de l'explosion d'un container) présente des distances d'effet impactant l'extérieur du site (piste d'accès à la ferme photovoltaïque). Le risque est donc jugé acceptable selon les critères de la circulaire du 10 mai 2010.

## 13. ANNEXES

**Annexe 1 : Plan de masse**

**Annexe 2 : Plan de 35 m**

**Annexe 3 : Étude d'inondabilité de SOPRONER.**

#### Annexe 4 : Caractéristiques des conteneurs de batteries

**Annexe 5 : SOC calibration BESS Narada**

**Annexe 6 : Fiche technique de l'onduleur**

**Annexe 7 : Fiche technique d'un onduleur SMA SCS 3450 UP et son transformateur**

**Annexe 8 : Fiche des Données Sécurité des différents produits**

**Annexe 9 : Résultats des tests des cellules, modules et racks selon le standard UL 9540A**

**Annexe 10 : Tableaux d'analyse élémentaire des risques (TAER)**

## Annexe 11 : Notes de calculs Flumilog

**Annexe 12 : Rapport détaillé de la modélisation des effets toxiques et des effets de surpression**

**Annexe 13 : Fiche technique détecteur gaz**