
UNITE DE STOCKAGE D'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE SOUS FORME D'HYDROGENE

Note Descriptive du projet

1 INTRODUCTION

La SA ARRГ gère l'ensemble du domaine aéroportuaire de Sainte-Marie. L'emprise aéroportuaire dispose d'une parcelle sur laquelle la SA ARRГ souhaite réaliser un projet, destiné à limiter son empreinte carbone, afin de respecter les engagements qu'elle a pris dans le cadre de ses objectifs « Net Zero Carbon ». L'aéroport de la Réunion a obtenu le niveau 3 de l'accréditation ACA (Airport Carbon Accreditation) et a pour objectif de réduire de 90% ses émissions (Scopes 1 et 2) d'ici 2030 par rapport à 2011.

Pour atteindre ses objectifs de décarbonation, la SA ARRГ a déjà réalisé deux ensembles de panneaux photovoltaïques l'un sur l'aérogare passagers, l'autre sur le parking voyageurs et parking loueurs. Ces infrastructures fonctionnent en autoconsommation, mais ne permettent pas l'approvisionnement de la plateforme aéroportuaire au moment où elle en a le plus besoin, c'est-à-dire en soirée.

La SA ARRГ cible ainsi en 2028 de baisser à 2500 tonnes d'émissions équivalent CO₂ (tCO₂eq) ses émissions annuelles (4 320 tCO₂eq en 2022) et de produire 50% de l'énergie consommée sur la plateforme (d'origine renouvelable).

Dans ce cadre, la SA ARRГ souhaite mettre en œuvre une centrale électrique à vecteur énergétique hydrogène et énergie primaire photovoltaïque.

La production attendue est de l'ordre de 3 MW le jour et 1,5 MW la nuit.

L'utilisation de l'hydrogène envisagée à ce stade du projet est, à court-terme, l'alimentation électrique de l'aéroport avec le recours à une pile à combustible dédiée. C'est uniquement ce scénario qui est considéré dans le présent projet.

Pour information, d'autres utilisations ont été identifiées à moyen et long-terme :

- A moyen-terme :
 - L'aéroport pour des besoin mobilités/logistiques (GSE, pousseurs, FRET, etc.),
 - Le Conseil Régional de la Réunion pour des usages mobilités (cars jaunes notamment),
- A long-terme :
 - les avions à hydrogène pour les vols court-courriers pourraient également être des potentiels clients.

Pour ces potentielles futures utilisations, il sera nécessaire d'ajouter de nouvelles infrastructures pour répondre aux besoins supplémentaires (compression, cryogénie, e-fuels, etc.).

Concernant la production d'hydrogène, les moyens d'approvisionnement envisagés pour produire de l'hydrogène bas carbone par électrolyse sont les suivants :

- Électricité d'origine renouvelable : installation photovoltaïque sur l'aéroport,
- Eau : approvisionnement via la STEP du Grand Prado.

Concernant l'approvisionnement en eau, un autre projet de Swac est en cours de développement sur la plateforme à plus long-terme. Ce projet connexe pourrait avoir une interface avec le présent projet :

- L'eau consommée par le présent projet pourrait être à terme fournie par ce projet connexe,
- Ce projet connexe pourrait consommer une partie de l'électricité produite par le présent projet.

Il est envisagé à ce stage de valoriser 14,5 ha disponibles en y installant des panneaux photovoltaïques, et d'y associer des électrolyseurs pour une puissance de 10 MW pour produire environ 1,7 tonnes quotidiennes d'hydrogène vert.

Le projet devra être autoporté par les candidats (voir paragraphe 4 de la note descriptive), qui devront également assumer la recherche de financement et la valorisation de l'énergie produite.

2 OBJECTIFS ENERGETIQUES ET PERIMETRE DU PROJET

L'objectif pour la SA ARRG est d'utiliser l'hydrogène comme un vecteur de lissage de la consommation et notamment du recours au réseau lors du pic de l'après-midi et du soir, et aider ainsi le réseau électrique réunionnais à répondre à la pénétration croissante future des énergies renouvelables et donc à une forte augmentation des injections dans la journée, et notamment l'après-midi.

L'aéroport souhaite pouvoir consommer davantage d'électricité verte, en particulier la nuit, tout en ayant suffisamment de stockage énergétique pour garantir plusieurs jours d'autonomie en cas d'événements climatiques extrêmes (cyclones par exemple). La SA ARRG souhaite disposer d'une autonomie de 2 à 3 jours. Les batteries électriques seules ne permettent pas d'assurer une autonomie suffisante sur la durée.

C'est pourquoi il est envisagé de recourir également à l'hydrogène, produit par électrolyse avec de l'électricité d'origine renouvelable.

L'hydrogène peut être utilisé avec une pile à combustible pour produire de l'électricité et alimenter des bâtiments. Ce cas de figure a été étudié par des acteurs publics et privés, aéroports inclus, que ce soit sur des projets d'autoconsommation tertiaire, de micro-grid ou d'injection d'électricité dans le réseau. Néanmoins, à notre connaissance, aucun aéroport dans le monde n'a jusqu'ici développé et réalisé un tel projet visant à alimenter en électricité ses usages stationnaires/tertiaires (ces projets sont encore à l'étude). Les projets hydrogène en milieux aéroportuaires qui ont été identifiées visent essentiellement les usages suivants :

- Groupe électrogène au sol (GPU) pour alimenter des avions sur l'aire de trafic, fournir l'éclairage ou fournir les aéronefs en électricité et groupes frigorifiques,
- Mobilité terrestre interne (navettes de transports de passagers, etc.),
- Mobilité terrestre externe (flottes de bus, flottes de taxis, etc.),
- Mobilité aérienne (production de SAF, etc.),

Le projet de production photovoltaïque et de stockage de l'énergie au format hydrogène permet à la SA ARRG d'être précurseur sur l'île pour la mise en œuvre de ces technologies, mais aussi à l'échelle des aéroports français et internationaux. Ils ne concernent à ce stade que l'alimentation de la plateforme en énergie verte.

L'objectif pour la SA ARRG est d'engager un projet de production d'hydrogène visant à maximiser l'alimentation en électricité renouvelable de l'ensemble de la plateforme de l'aéroport, et cela à tout moment de la journée, dont notamment pour le pic de consommation du soir, la plage horaire de 18h30-21h30 étant en effet critique pour la plateforme.

Les délais envisagés par la SA ARRG sont les suivants :

- 1^{er} semestre 2026 : début du contrat de concession,
- 1^{er} semestre 2028 : essais et mise en service de du projet.

Zone 1	9,46 ha
Zone 2	3,83 ha
Zone 3	1,25 ha

NB : Le secteur des rives gauche et droite de la ravine La Mare situé entre les zones 2 et 3 nécessite d'être expertisé. En effet, un endiguement de consolidation des berges selon la proximité des premiers panneaux photovoltaïques sera potentiellement nécessaire.

Cela permettrait d'atteindre une puissance produite de 18,6 MWc. L'estimation de cette surface intègre la servitude aéronautique des pistes (140m de recul par rapport à l'axe des pistes 12-30 et 14-32), ainsi que les zones réservées pour d'autres projets de la SA ARRG concernant le développement de l'aéroport. La totalité du champ photovoltaïque devra être positionné sur des parcelles situées intégralement dans la concession aéroportuaire.

En raison de la zone de danger liée à la production et au stockage de l'hydrogène ainsi que de la proximité du projet avec les riverains et les parkings avions, la centrale hydrogène doit être implantée au centre d'une des 3 zones d'implantation des panneaux photovoltaïques, afin de restreindre les rayons d'incidences des accidents majeurs d'explosion à un périmètre contrôlé, sans débord sur une activité voisine.

3.2.2 Contraintes d'urbanisme

3.2.2.1 PLU

La commune de Sainte-Marie est couverte par le PLU approuvé le 27 décembre 2013. Le site du projet se situe en zonage UE et UL.

En zone UE, le règlement stipule que sont autorisés sous conditions particulières : « *les équipements publics d'intérêt collectif ainsi que les constructions, ouvrages et travaux liés aux différents réseaux, à la voirie, au stationnement, à la production et à la distribution d'énergie, dès lors qu'ils s'insèrent dans le milieu environnant* ». Le projet de parc photovoltaïque au sol apparaît donc compatible avec le zonage UE. La zone concernée est la zone 2 (3,83 ha).

En zone UL, le règlement stipule que sont autorisés sous conditions particulières « *les constructions, ouvrages et travaux, ainsi que leurs annexes, liés à la mise en place d'installations aéroportuaires et à la réduction des risques naturels sur les installations nouvelles ou existantes* ». L'électricité produite par le parc photovoltaïque au sol sera utilisée pour les consommations spécifiques de l'aéroport et pourrait être assimilée à une installation aéroportuaire, même si ce point reste à vérifier.

De ce fait, le projet semble compatible avec le règlement en vigueur sur la zone UL. Cependant, il sera nécessaire de s'assurer de la compatibilité du projet auprès des autorités compétentes. Dans le cas d'une incompatibilité, une modification du zonage UL en UE sera à prioriser.

Les zones concernées sont les zones 1 (9,46 ha) et 3 (1,25ha).

3.2.2.2 Risques naturels références sur le règlement graphique

Le règlement graphique présente aussi un aléa moyen à fort d'inondation présent sur la zone UE correspondant à la partie nord de la zone d'étude. Cette même zone comprend aussi un risque de mouvement de terrain moyen à élevé.

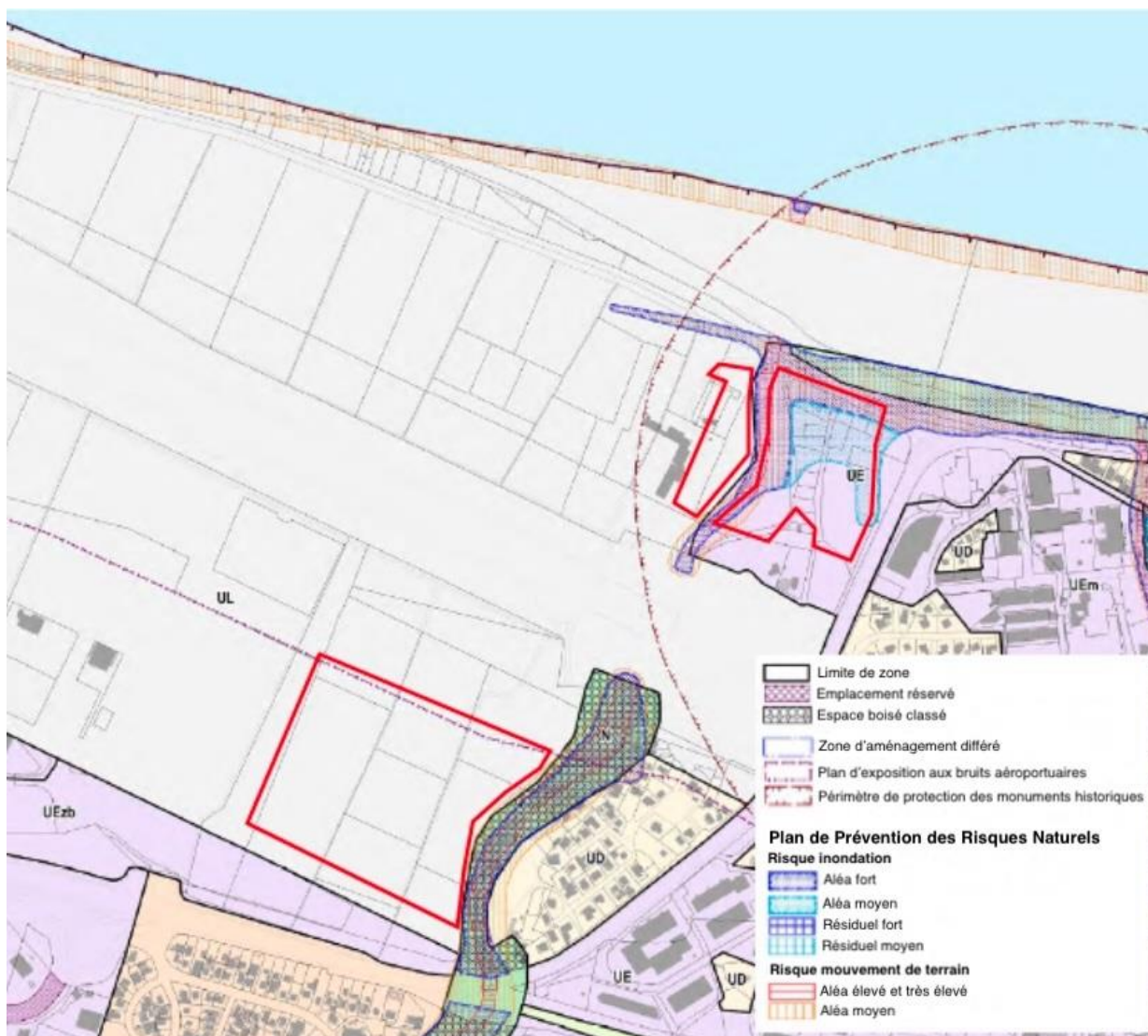


Figure 2 : Extrait du règlement graphique du PLU de Sainte-Marie (Source : Géoportail de l'urbanisme)

3.2.2.3 Topographie

Le site d'étude présente un profil irrégulier avec des pentes selon les zones. Un relevé topographique précis sera prochainement réalisé par la SA ARRG et fourni aux candidats lors de la phase de soumission des offres afin de s'assurer que l'implantation photovoltaïque est possible sur toutes les zones, ou afin d'adapter l'implantation le cas échéant.

3.2.3 Contexte environnemental

3.2.3.1 Zonages environnementaux à proximité

- Aucun site Natura 2000 n'est présent dans un rayon de 5 km autour de la zone d'étude,
- 4 ZNIEFF de type 1 présentes entre 3 et 5 km au sud de la zone d'étude,
- 1 ZNIEFF de type 2 présente à 1,5 km environ au sud-ouest de la zone d'étude.

Le site du projet se situe à proximité de plusieurs zonages environnementaux, mais pas à l'intérieur de l'un d'eux.

3.2.3.2 Expertises écologiques préexistantes

Une expertise écologique a été réalisée sur les zones correspondant aux surfaces de 1,25 ha et 3,83 ha. Plusieurs espèces à enjeu fort représentant plusieurs taxons ont été recensées sur la zone d'étude :

- Flore : Le Mahot bord de mer et le Veloutier,
- Chiroptère : Petit Molosse et Taphien de Maurice,
- Avifaune : Ramier et Zostérops gris.

Dans le cadre d'une étude d'impact sur l'environnement (composante du dossier ICPE du projet), la réalisation d'une mise à jour de l'étude écologique déjà existante sur les 3 zones du projet sera nécessaire afin d'acter le dimensionnement final du projet, voire sa faisabilité le cas échéant.

Il est à noter que certaines zones seront potentiellement à éviter d'après les espèces recensées.

3.2.4 Contraintes liées aux servitudes aéroportuaires

Le site d'étude se trouvant sur l'emprise de l'aéroport, certaines contraintes aéroportuaires s'appliquent, notamment la servitude aéronautique de 140m par rapport à l'axe des pistes (voir Figure 1) ainsi que toute autre réglementation liée à la sûreté et la sécurité aéronautique.

Enfin un dossier devra être déposé au Guichet Unique de la DGAC pour instruction. Des dispositions pré définies à la NIT (Note d'Information Technique) PPV seront applicables. Ce document mis à jour en juillet 2024 précise la procédure à suivre. La SA ARRG ayant les compétences dans ce domaine, elle restera pilote de ce dossier pré rédigé par la société de projet.

3.3 Modes de valorisation de l'électricité

Différents modes de valorisation sont envisagés dans le cadre du projet. La valorisation économique repose sur différents scénarios présentés ci-dessous.

La Réunion est qualifiée de Zone Non Interconnectée (ZNI) dans la mesure où elle n'est pas connectée au réseau électrique métropolitain continental. A ce titre, l'île dispose de dispositions particulières telles d'une Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) dédiée et distincte de celle de la métropole et des mécanismes de subvention d'achat d'électricité différents. Par exemple, les contrats de vente d'électricité de gré à gré privés ne sont pas possibles dans la mesure où dans la ZNI de La Réunion, l'opérateur historique, EDF Réunion, constitue l'unique entité en charge de l'achat d'électricité injectée dans le réseau dont il a également la charge.

Les modes de valorisation considérés dans le présent projet reposent uniquement sur la production d'électricité. Les cas d'usage directement liés à la production d'hydrogène pour de la mobilité ou de la production d'e-carburants ne sont pas envisagés à court terme, car pas encore suffisant mûrs pour présenter des gisements de consommation garantis. Toutefois, pour répondre à de tels besoins futurs pour la plateforme aéroportuaire (desserte locale d'avions) ou côté ville (transport collectif public), ces cas d'usage pourront évoluer au cours du projet, en concertation avec le Titulaire et la SA ARRG.

3.3.1 Autoconsommation

Un prérequis physique à l'autoconsommation de l'électricité par la plateforme aéroportuaire consiste à avoir tous les points de consommation connectés afin de pouvoir les considérer dans le comptage de la consommation électrique de la plateforme.

La localisation de la future centrale à l'Est de l'aérogare nécessitera une connexion physique à l'ensemble de l'aéroport. Les volumes consommés sont valorisés *at cost* via un effacement dans la facture de

consommation d'EDF. L'autoconsommation entraîne une économie de la part variable de la facture d'électricité ainsi que sur la CSPE.

Pour information, le schéma dit « *d'autoconsommation collective* », utilisant le réseau pour la distribution d'une énergie produite pour un besoin collectif n'est pas envisageable, car celui-ci doit répondre à des critères stricts, dont notamment en ZNI :

- La distance maximale entre les points de livraison et d'injection de 2 km,
- Une puissance cumulée maximum de production de 0,5 MW.

L'ordre de grandeur de la puissance du projet ne permet pas d'envisager ce cas de figure.

3.3.2 Contrats conclus à l'issue d'appels d'offre

Les appels d'offre (AO) PPE2 ont été lancés en 2019 pour soutenir la production photovoltaïque dans les ZNI. Le Cahier des Charges de l'AO requiert que le candidat vende la totalité de l'électricité produite par l'installation considérée (article 7.1.4), dans la limite d'un taux d'autoconsommation par le producteur de maximum 10% par an. La totalité de l'électricité produite doit être soumise au tarif de rachat.

De plus, le projet de production d'énergie photovoltaïque avec stockage hydrogène est nécessairement plus onéreux que les projets « photovoltaïque pur » ou hybrides avec batterie prévus pour ces AO : il ne pourrait pas être compétitif.

Le présent projet ne devrait donc pas rentrer dans les prérequis des AO PPE2.

D'autres AO, présentés dans une configuration différente, pourraient toutefois intervenir à l'avenir auxquels les candidats sont appelés à veiller.

3.3.3 Contrats de gré à gré avec l'opérateur historique local

La délibération de la CRE du 17 décembre 2020 vis à décrire le mode de fonctionnement des contrats de gré à gré conclus entre le producteur et l'acteur historique de la ZNI (EDF SEI à La Réunion), et notamment le prix d'achat de l'électricité. Celui-ci se base sur le Coût Normal et Complet (CNC) évalué ex-ante par la CRE et ne peut être cumulé avec un mécanisme de soutien. Toutefois, un moyen de production existant dont le contrat d'obligation arrive à échéance peut éventuellement être considéré. La CRE mentionne que l'application de cette méthodologie pourrait être couplée à des appels à projets du ministère de l'énergie en lien avec la PPE.

Le CNC est défini par :

- Nouvelle installation : coûts de construction et d'exploitation,
- Dimensionnement, mode de fonctionnement et services rendus au réseau doivent correspondre au besoin du système électrique de la ZNI (sinon une décote est appliquée),
- Installation existante ; coûts d'exploitation, de gros entretien et de renouvellement le cas échéant, et doit être inférieur au CNC d'une installation neuve répondant au même objectif de la PPE.

Il n'existe pas de projet similaire en ZNI, il n'est donc pas possible de réaliser de comparaison pour estimer l'évaluation faite par la CRE du coût de rachat de l'énergie.

Quatre types de projets sont envisagés dans la délibération de la CRE, chacun répondant à des conditions d'éligibilité différentes et une constitution de dossier qui lui est propre :

- Hybride : plusieurs technologies,
- Hybride : installations de fonctions différentes,
- Hybride : dérogation pour traitement comme unique actif de production,

- Projet innovant.

Le projet de l'ARRG pourrait en théorie correspondre aux catégories hybrides ou à la catégorie de projets innovants. Le dossier sera constitué par le candidat sélectionné par l'ARRG : le choix final de la catégorie lui reviendra.

3.3.4 Répartition des flux d'énergie

L'objectif de la SA ARRG est de produire autant d'électricité renouvelable que de volumes consommés, mais également de s'effacer du réseau lors du pic du soir dans la mesure du possible. Un mécanisme non synchrone entre la production et la consommation ne fait donc pas sens.

De plus, l'autoconsommation est techniquement possible en passant par le réseau électrique de l'aéroport mis en place via l'installation des nouvelles centrales photovoltaïques, de l'électrolyseur et de la PAC. La production d'électricité pour injection directe dans le réseau sans autoconsommation n'est donc pas optimale.

La SA ARRG souhaite donc une solution visant à maximiser l'autoconsommation de l'électricité produite et à injecter les surplus sur le réseau.

Sous réserve de l'obtention d'un accord avec EDF SEI, le schéma de répartition des flux énergétiques pourrait être le suivant. Il ferait intervenir à la fois une injection des surplus de production photovoltaïques (dès lors qu'ils ne sont ni autoconsommés par les besoins de la plateforme ni consommés par le système de stockage H2 comprenant l'électrolyseur) et le prélèvement de l'énergie nécessaire sur le réseau dans les périodes où le photovoltaïque n'est pas suffisant.

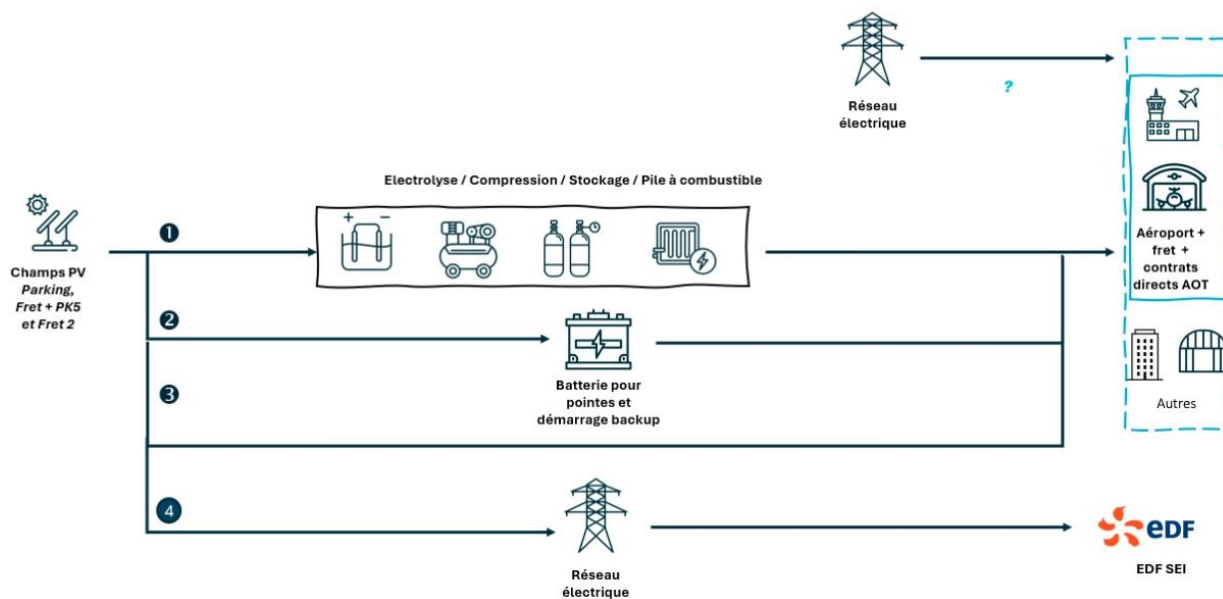


Figure 3 : Schéma de répartition des flux d'énergie souhaité par la SA ARRG

3.4 Production, stockage et consommation de l'hydrogène

Les candidats devront présenter et justifier les choix réalisés pour les technologies de production (électrolyse), stockage et consommation de l'hydrogène (pile à combustion).

Une pré-étude de dimensionnement a été réalisée à titre indicatif. Il en a été déduit qu'il serait nécessaire pour ce projet d'équipements avec les ordres de grandeur suivants :

- Pile à combustible d'une puissance de 2 MW,

- Batterie d'une puissance de 400 kW et d'une capacité de 600 kWh,
- Électrolyseur d'une puissance de 10 MW fonctionnant entre 8 à 10 heures par jour à pleine puissance.

L'aéroport contient plusieurs installations classées sur son site, notamment les dépôts de carburants destinés aux aéronefs. Les quantités d'hydrogène stockées s'inscrivent donc dans une logique plus globale qu'une classification au regard uniquement des quantités d'hydrogène.

La SA ARRG souhaite éviter que le site soit classé SEVESO seuil bas.

Par exemple, en cas de **stockage hydrogène sous forme gazeuse**, il est souhaité un stockage d'hydrogène gazeux **très légèrement inférieur à 5 tonnes**. Le site serait donc en statut de demande d'autorisation au regard de la réglementation ICPE.

Dans le cas d'un **stockage hydrogène sous forme solide** grâce à des hydrures métalliques, la classification ICPE diffère selon le type d'hydrure utilisé et les quantités de stockage seraient les suivantes, afin que le site soit classé en statut de demande d'autorisation au regard de la réglementation ICPE :

- H2 solide, réagissant avec l'eau (ICPE 4610/4620) : quantités d'hydrogène stockées sur site **très légèrement inférieures à 100 tonnes**,
- H2 solide, réagissant avec l'eau (ICPE 4630) : quantités d'hydrogène stockées sur site **très légèrement inférieures à 50 tonnes**,
- H2 solide, solide inflammable (ICPE 1450) : quantités d'hydrogène stockées sur site **très légèrement inférieures à 5 tonnes**.

3.5 Production de l'énergie photovoltaïque

Comme décrit précédemment (paragraphe 3.3.4), la SA ARRG souhaite un projet visant à maximiser l'autoconsommation de l'électricité produite et à injecter les surplus sur le réseau. Ceci correspond à une vision « dynamique » du surplus : le projet sera dimensionné afin de répondre au pic du soir, et les volumes de surplus varieraient d'un pas de temps de 10 minutes à l'autre. Cette injection dynamique a pour objectif que toute l'électricité produite soit autoconsommée ou injectée sur le réseau, sans perte de puissance.

Si EDF SEI ne considère pas cette injection dynamique des surplus comme pertinente pour la stabilité du réseau insulaire, l'injection des surplus devra être abandonné et les recettes associées également. Le système photovoltaïque devra alors être régulé pour permettre une modulation de sa puissance produite (une partie de la puissance produite sera perdue).

Le business plan de l'offre devra présenter les deux scénarios : un avec l'hypothèse de la valorisation dynamique des surplus, et l'autre sans cette hypothèse.

Pour rappel les zones concernées par les champs photovoltaïques sont présentées en Figure 1. Une pré-étude de dimensionnement a été réalisée à titre indicatif. Le projet photovoltaïque a été dimensionné pour une puissance de 18,6 MWc.

Le calepinage des modules photovoltaïques sur le site devra prendre en compte les différents facteurs (configuration des tables, espacement des tables, orientation, inclinaison, technologies, etc.) pour trouver un compromis entre maximisation du productible, production, utilisation du foncier et rentabilité économique. Pour que le projet ne soit pas considéré comme artificialisant, le point bas des tables devra être situé à une hauteur minimale de 1,1m. Les différentes zones calepinées devront être sécurisées par un grillage de minimum 2m de haut pour protéger des risques de dégradation ainsi que pour la sécurité électrique. Chaque zone devra avoir son entrée, avec les locaux techniques et éventuellement une bâche incendie selon les recommandations pour lutter contre le risque incendie.

L'ARRG dispose actuellement de deux centrales photovoltaïques : l'une située au niveau du parking (1 330 kWc) et l'autre située sur l'aérogare (500 kWc). La production électrique est en autoconsommation totale : elle est écartée (arrêt) lorsqu'elle ne peut pas être absorbée par la consommation de l'ARRG. Le taux d'autoconsommation de la centrale parking est environ de 70% (entre 20% et 30% du potentiel de production n'est pas valorisé). La centrale « toiture aérogare » a un taux de consommation de 100%. En moyenne, la production annuelle des deux centrales est de 1 881 MWh/an, avec un potentiel de 2 257 MWh/an.

Deux autres centrales photovoltaïques en toiture sont à venir : le premier sur la zone de fret en toiture (450 kWc) à partir de 2026 et le second sur le parking P5 en ombrière (750 à 800 kWc) à partir de 2028. Il est prévu que ces infrastructures fonctionnent également en autoconsommation, comme les deux centrales photovoltaïques existantes. La production prévisionnelle est de 1 754 MWh/an à partir de 2028.

Ces 4 centrales photovoltaïques (préexistantes et en projet) peuvent être utilisés dans ce cadre de projet pour compléter le nouveau projet photovoltaïque au sol sur les zones identifiées dans la Figure 1.

4 MONTAGE CONTRACTUEL ENVISAGE

La SA ARRG souhaite mettre en place une concession de travaux pour ce projet. En raison de l'implantation de la centrale et de son intérêt pour l'activité de la plateforme aéroportuaire, la SA ARRG souhaite que le candidat retenu constitue une société dédiée dans laquelle la SA ARRG pourrait disposer d'une participation à hauteur de 33%. Cette valeur est communiquée de manière indicative.

En raison de l'envergure du projet, il est envisagé que la durée du contrat soit de 20 ans, durée estimative à confirmer selon le business plan qui sera réalisé.