

Le spatial en Guyane face aux enjeux de la transition énergétique

Par Philippe BAPTISTE,

Président Directeur Général du CNES

Jean-Marc ASTORG,

Directeur de la Stratégie du CNES

Marie-Anne CLAIR,

Directrice du Centre Spatial Guyanais du CNES

Laurence MONNOYER-SMITH

Directrice du Développement Durable du CNES

Et Pascal NOIR

Responsable Chef de projet R&T Système Lanceur et Environnement

Le Centre spatial guyanais (CSG) situé à Kourou en Guyane française est au cœur de l'aventure spatiale française et européenne depuis son origine dans les années 1970. C'est depuis le CSG que sont lancées les fusées Ariane depuis 1979, mais aussi le petit lanceur Vega depuis 2012. Ariane 6, dernier lanceur né de la filière, va prochainement remplacer Ariane 5, qui a permis à Arianespace d'être *leader* mondial sur le marché des services de lancement pendant plus de vingt ans. Dans un contexte de concurrence acharnée face à SpaceX, le CSG entame une phase de modernisation profonde, pour à la fois réduire les coûts de lancement et réaliser sa transition énergétique. Le présent article rappelle les grandes étapes du développement du CSG et des lanceurs européens, présente les enjeux de la transition énergétique du site, puis décrit quelques projets concrets actuellement en phase de réalisation (nouvelle boucle de distribution électrique, centrales photovoltaïques, centrales biomasse et unité de production d'hydrogène vert).

Introduction

Le Centre spatial guyanais (CSG), situé à Kourou en Guyane française, constitue l'un des atouts majeurs de l'Europe spatiale, dans un secteur actuellement en plein bouleversement sous la pression de changements rapides et d'une concurrence féroce. En effet, c'est au CSG que sont lancées depuis 1979 les fusées Ariane, et les atouts spécifiques de cette base de lancement ont grandement contribué au succès technique et commercial de la filière Ariane : situation géographique idéale sur l'équateur, façade maritime ouverte sur l'océan Atlantique, absence de phénomènes météorologiques et sismiques extrêmes, permettent de faire des lancements vers toutes les orbites dans des conditions de performance et de sécurité maximales. Le CSG est aussi une base de lancement parfaitement opérationnelle, dotée de moyens performants et d'équipes compétentes qui ont su réaliser 260 lancements de la fusée Ariane, 22 lancements de Vega, mais aussi 27 lancements de la fusée russe Soyouz.

Mais le CSG est aujourd'hui, comme le secteur spatial européen, confronté à de nombreux défis :

- économique tout d'abord, pour contribuer, avec l'arrivée d'Ariane 6, à la nécessaire réduction des coûts de lancement dans un marché de plus en plus dominé par SpaceX ;

- celui de la multiplication des nouveaux acteurs dans le secteur spatial, dont certains projettent de créer leur propre base de lancement en Europe continentale ;
- et enfin celui de la transition énergétique, qui s'impose à des activités de préparation des lancements qui sont par nature énergivores.

Le CNES (Centre national d'études spatiales), responsable de la base de lancement, mais aussi ses deux partenaires, l'ESA (European Space Agency) et la société Arianespace, sont pleinement mobilisés pour relever ces défis, et faire entrer le CSG dans une nouvelle phase de son histoire.

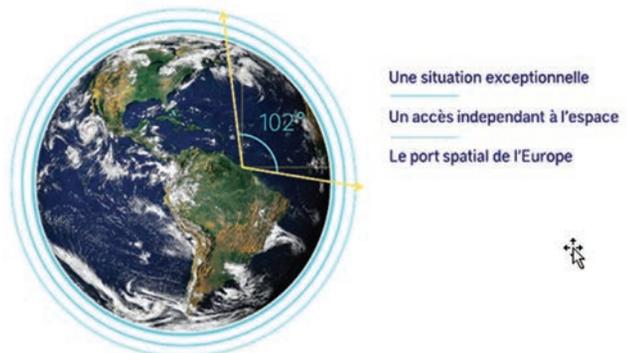


Figure 1 : Situation géographique du Centre spatial guyanais (CSG)

Une brève histoire du spatial en Guyane

En 1961, le général de Gaulle crée le CNES, et lui confie la mission de développer un lanceur et un satellite français. C'est chose faite en 1965 avec le lancement du satellite Astérix par la fusée Diamant, depuis la base d'Hammaguir dans le Sahara algérien. En 1964 est prise la décision d'implanter une base de lancement en Guyane. Le choix s'est porté sur la région de Kourou en Guyane, qui dispose d'atouts uniques pour mener des opérations de lancement en raison de sa proximité avec l'équateur, favorable pour les lancements vers l'Est des satellites géostationnaires, d'une vaste zone de savanes peu habitées, de conditions météorologiques favorables et d'une façade maritime largement ouverte sur l'océan Atlantique, qui permet de réaliser des lancements sur toutes les inclinaisons et en toute sécurité. Le premier lancement d'une fusée sonde Véronique a lieu dès 1968, et le premier lancement orbital en 1970 avec le lanceur français Diamant. Les bases d'un accès européen à l'espace étaient posées sous l'impulsion décisive de la France.

Le CNES s'est vu confier la construction de l'ensemble du Centre spatial guyanais ainsi que des principales infrastructures nécessaires au soutien de l'activité spatiale (logements, réseaux, installations portuaires, hôpital...), transformant ainsi le bourg de Kourou en une ville de plusieurs milliers d'habitants. Le CSG s'étend sur près de 700 km², soit 1 % de la superficie de la Guyane, et 40 km de bande côtière. À titre d'illustration, cette surface est l'équivalent des deux-tiers de la Martinique, sept fois Paris ou la superficie de Singapour.

Après l'échec du programme européen Europa, conduit sans maîtrise d'œuvre, la France, sur étude du CNES, propose le développement d'un nouveau lanceur européen, d'abord baptisé L3S (lanceur de substitution de troisième génération) puis Ariane, avec une organisation complètement différente : la maîtrise

d'ouvrage est assurée par l'ESA, nouvelle organisation européenne créée sur les ruines de l'ELSO et de l'ESRO (satellites), mais l'ESA en délègue immédiatement la réalisation au CNES.

Le premier lancement d'Ariane 1 a lieu le 24 décembre 1979 depuis le CSG dans le respect du calendrier, des coûts et des performances, et c'est un succès... assez inattendu ! Dans la foulée, le CNES crée Arianespace en avril 1980, première société privée de service spatial, car le lanceur Ariane est parfaitement adapté pour le marché commercial des satellites de télécom qui se multiplient alors que la navette américaine est un retentissant échec commercial (trop chère et incapable de lancer vers l'orbite géostationnaire). Les versions d'Ariane se succèdent au fur et à mesure de la croissance des masses de satellites, essentiellement des satellites de télécommunication en orbite géostationnaire, qui représentent jusqu'aux années 2015 environ 60 % du marché commercial.

Dès les années 1970, la dimension européenne du CSG s'est naturellement imposée. Par un accord intergouvernemental, établi en 1975 et depuis lors renouvelé et complété, la France met le CSG à disposition de l'Agence spatiale européenne (ESA). Tous les systèmes de lancement développés par l'ESA sont opérés depuis le CSG, devenu le port spatial de l'Europe, élément clé de l'autonomie européenne d'accès à l'espace. Arianespace commercialise, dans le cadre d'un arrangement qui la lie à l'ESA, les services de lancement auprès des clients satellites, exploite les ensembles de lancement et met en œuvre les lanceurs au CSG.

L'ESA finance les deux tiers des coûts fixes des infrastructures de la base (fonctionnement, maintenance et renouvellement de ses systèmes), le CNES finançant le tiers restant. Si on considère sa part à travers le CNES et celle à travers l'ESA, la France finance 55 % des coûts fixes de la base de lancement. L'ESA finance en sus la construction des pas de tir des lanceurs européens alors qu'Arianespace finance leur

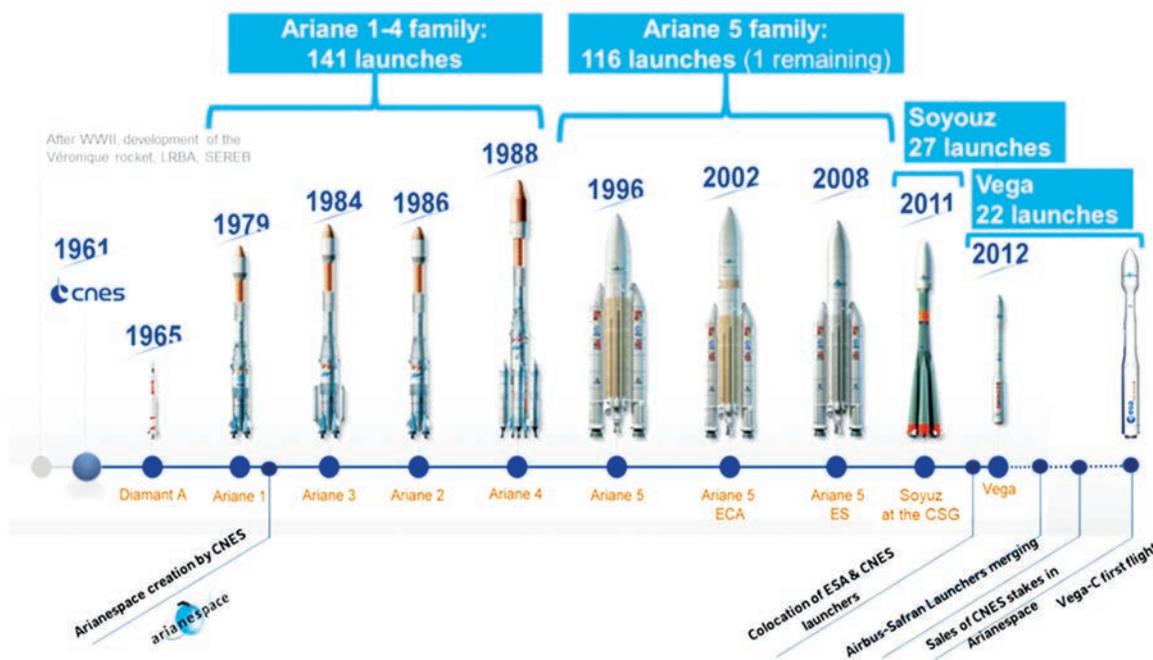


Figure 2 : Historique des lanceurs européens.

exploitation et les coûts variables associés aux lancements. La France finance également les dépenses associées à l'environnement socio-économique, à la sécurité extérieure et aux infrastructures de base du territoire guyanais.

En 1997, il est décidé de compléter Ariane par un lanceur plus petit et mieux adapté aux missions vers les orbites basse, Vega, qui fera son premier lancement en 2012. En 2003, à la suite d'un accord franco-russe, il est aussi décidé de compléter Ariane par le lanceur moyen Soyouz, qui sera opéré depuis le CSG jusqu'au déclenchement de la guerre en Ukraine en 2022.

Depuis 1996, c'est le lanceur Ariane 5 qui est opéré depuis le CSG. À l'heure où ces lignes seront publiées, Ariane 5 aura tiré sa révérence en juin 2023 lors du 261^e lancement Ariane toutes versions confondues. Ce lanceur mythique aura permis à l'Europe d'être numéro 1 mondial sur le marché commercial pendant plus de vingt ans, mais aussi de réaliser des missions de lancement scientifique exceptionnelles, comme celle du lancement du télescope JWST en décembre 2021 ou de la sonde Juice vers Jupiter en avril 2023.

En 2014, il est décidé de développer un nouveau lanceur lourd européen, Ariane 6, et la maîtrise d'œuvre en est confiée pour la première fois à l'industrie.

La base spatiale emploie à ce jour 1 600 salariés répartis dans plus de 40 entreprises européennes provenant d'une dizaine d'États membres de l'ESA.



Figure 3 : Vue générale du Centre spatial guyanais.

Le CSG se prépare à l'arrivée d'Ariane 6

Dans un contexte de concurrence exacerbée, le lanceur Ariane 6 a été conçu pour réduire les coûts de lancement de 40 % par rapport à Ariane 5, apporter une modularité grâce à ses deux versions 62 et 64, et plus de flexibilité grâce au rallumage de son étage supérieur.

Les deux étages centraux de Ariane 6 sont intégrés en France et en Allemagne, puis transportés par bateau avec assistance éolienne vers la Guyane. Les propulseurs d'appoint, utilisant la propulsion solide, sont intégrés en Guyane. En particulier, la constitution du moteur à propulsion solide de ces propulseurs, procédé complexe qui nécessite de réaliser des opérations de coulée et de cuisson dans des conditions très précises, est réalisée sur place dans une usine dédiée construite pour Ariane 5.



Figure 4 : Présentation de Ariane 6.

Un ensemble de lancement spécifique a été construit au CSG pour Ariane 6. Il a été élaboré pour à la fois réduire les coûts de lancement par une automatisation poussée des opérations et une réduction du nombre de bâtiments, et pour réduire l'empreinte énergétique et environnementale des lancements. Ainsi, l'immense portique mobile qui permet de préparer Ariane 6 sur la zone de lancement n'est pas climatisé au contraire des bâtiments pour Ariane 5. De même, les eaux issues du système de refroidissement de la table et de réduction du niveau acoustique seront récupérées et recyclées.



Figure 5 : Nouvel ensemble de lancement Ariane 6 au CSG.

L'enjeu de la transition énergétique au CSG

Bien que 72 % de l'électricité en Guyane soit d'origine renouvelable, le bilan carbone de cette région d'outre-mer ne reflète pas son mix énergétique, et de loin. En effet, la production hydraulique fournie par le barrage EDF de Petit-Saut représente environ 60 % de la production d'électricité de la Guyane, et cette production génère un important dégagement de méthane par le tissu végétal noyé depuis la création de la retenue d'eau en 1994⁽¹⁾. En effet, plus de 300 km² de forêt tropicale ont été inondés à cette occasion, et l'ADEME (l'Agence de la transition écologique) estime qu'en 2030, environ 30 000 ktCO₂e (kilotonnes de CO₂ équivalent) auront été émis par le barrage, un reliquat de plus de 8 millions de tonnes restant à émettre entre 2023 et 2100⁽²⁾.

Cette particularité guyanaise explique largement la répartition des émissions de gaz à effet de serre (GES) au sein des établissements du CNES. En consommant 15 % de l'électricité guyanaise, le Centre spatial guyanais est ainsi responsable de 64 % des émissions de GES du CNES, le reste des établissements pouvant disposer sur le sol métropolitain d'une électricité largement décarbonnée, et ce d'autant plus que le centre spatial technique de Toulouse bénéficie depuis peu du réseau de chaleur urbain. De même, le bilan carbone réalisé par le CNES en 2020 (chiffres 2019)⁽³⁾ montre qu'un salarié du CSG émet en moyenne par an près de 150 tCO₂e.

En tant qu'entreprise publique, le CNES souhaite prendre toute sa part dans les objectifs de neutralité carbone définis par la France et l'Union européenne au sein de la Stratégie nationale bas-carbone et du paquet "Fit for 55". Il a donc traduit dans sa propre stratégie bas carbone une trajectoire de réduction d'émission de gaz à effet de serres, visant une contribution à la neutralité carbone dès 2024, la réduction de 50 % de nos émissions sur les *scopes* 1 et 2 et de 33 % sur le *scope* 3 d'ici 2030, et la transition vers les énergies renouvelables à hauteur de 60 % de sa consommation électrique.

La forte empreinte carbone du CSG a donc conduit le CNES à s'engager dans un grand programme d'investissement dont l'objectif est de faire du port spatial la première infrastructure de lancement bas carbone du monde, autour de trois grands principes :

- la décarbonation de notre consommation énergétique ;
- la décarbonation de la production des carburants pour lanceurs ;
- la contribution au développement économique d'un écosystème décarboné en Guyane.

La transition écologique du CSG doit ainsi se traduire non seulement par une diminution de l'empreinte carbone de l'activité spatiale de Guyane, mais également par le développement d'externalités positives pour l'ensemble des acteurs de la base, des industriels bénéficiant de l'infrastructure de lancement et du territoire. Au-delà de la création d'usines de production énergétique, le CNES ambitionne d'accompagner le territoire vers son autonomie énergétique, et de contribuer à l'émergence de filières nouvelles, comme la production d'hydrogène vert par exemple. Par les partenariats que cette stratégie met en place, c'est une ambition écosystémique pour le territoire, avec de nouvelles formations, des partenariats universitaires, et de nouveaux débouchés, comme la mobilité décarbonnée, qui peuvent être dès lors envisagés.

(1) Voir l'étude de l'OFB C-tropic : <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/466>

(2) Voir <https://guyane.ademe.fr/sites/default/files/note-emissions-ges-barrage-petit-saut.pdf>

(3) Le bilan est consultable en ligne : <https://cnes.fr/fr/web/CNES-fr/10647-bilan-des-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-du-cnes.php>

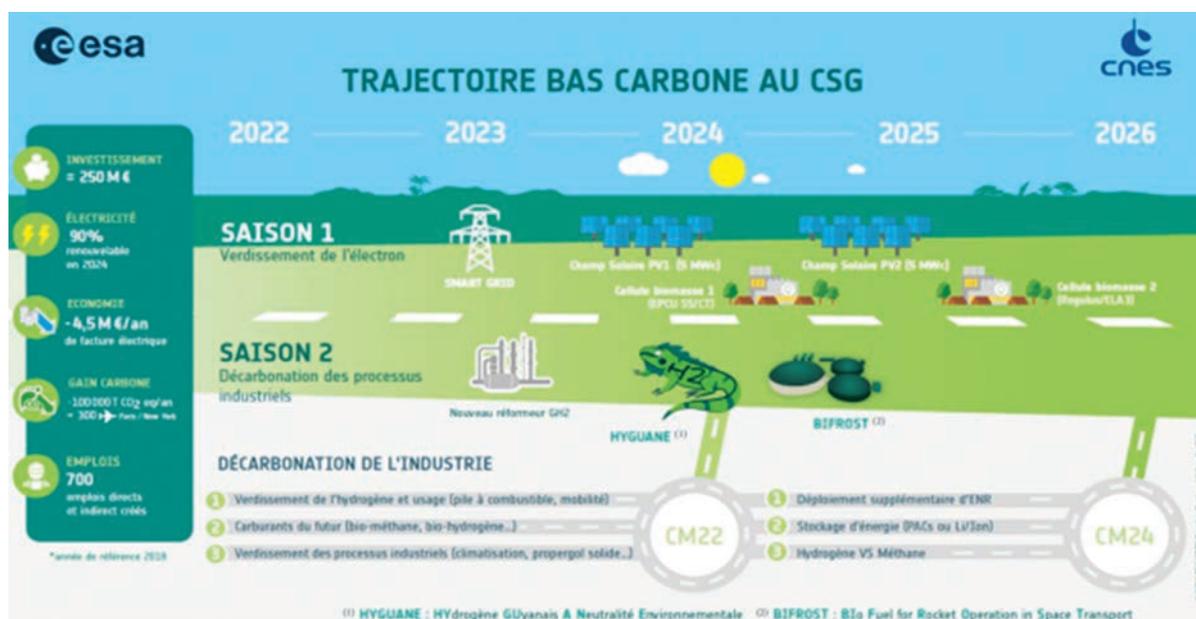


Figure 6 : Feuille de route bas décarbonation du CSG.

Quelques projets concrets de transition énergétique conduits actuellement au CSG

Outre la mise en œuvre de travaux très importants de rénovation des bâtiments⁽⁴⁾, le « verdissement » du port spatial se décline en de nombreux projets visant à la diversification du mix énergétique, à la création d'infrastructures de gestion électrique intelligentes, ou encore de production de carburants verts à destination des lanceurs.

La boucle 20 kV

Le réseau de distribution électrique du CSG est basé sur une architecture qui est peu adaptée aux raccordements de production d'énergies renouvelables (ENR). C'est pourquoi le CNES réalise des travaux nécessaires à la mise en œuvre d'une nouvelle architecture dite en boucle, permettant de raccorder et de consommer toute l'énergie électrique produite par ces futures productions électriques ENR. De surcroît, ce nouveau réseau électrique sera intelligent ("smart grid") et communicant : il améliorera la fiabilité des industriels et des opérations de lancement de la base spatiale grâce à sa capacité d'auto-cicatrisation en cas de défaut, et permettra une exploitation et un pilotage depuis un système de supervision dédié. Ce nouveau réseau aura la capacité de distribuer une puissance électrique égale à 20 MW avec une longueur de câble haute tension et de fibre optique de 35 km, acceptant une capacité de croissance dans l'avenir par rapport aux stricts besoins identifiés dans les projets ci-dessous. La mise en service de la boucle est prévue à partir du deuxième semestre de l'année 2024.

⁽⁴⁾ Il s'agit du projet CSG « nouvelle génération ».

Les centrales solaires PV1 et PV2

Il s'agit de deux champs solaires de 4 MWC chacun, sur 10 hectares dans l'enceinte du CSG. L'occupation de surface au sol générée par les panneaux a fait l'objet d'une compensation écologique par cession de 16 ha de la savane des pères au conservatoire du littoral. L'électricité produite par ces champs solaires sera distribuée sur la boucle 20 kV en cours de création, qui à la fois desservira et alimentera l'ensemble des installations de la base en énergie électrique. Il est prévu de raccorder les champs solaires en 2024, chacun sur une demi-boucle.

Les centrales biomasse Kourou (CBK)

Il est prévu la réalisation de deux centrales de cogénération biomasse sur le Centre spatial guyanais : ces centrales permettront, d'une part, de produire de l'électricité renouvelable qui sera injectée sur la boucle 20 kV (le gaz de synthèse produit par la gazéification permet de faire tourner un alternateur), et, d'autre part, de fournir en froid plusieurs sites industriels pour leur climatisation. Chaque centrale a une puissance thermique inférieure à 20 MWth et une puissance électrique de 4,7 MW. Compte tenu de la récupération de chaleur, le rendement de production du froid est au moins doublé, ce qui permet au CNES d'effacer une partie de la consommation électrique nécessaire à la climatisation. L'approvisionnement en biomasse constitue une préoccupation de premier ordre dans un territoire protégé pour la qualité de sa biodiversité. Aussi, le CNES tient à ce que cette biomasse soit prioritairement issue de la défriche agricole et forestière, ou de projets d'agroforesterie. Les centrales devraient être mises en service en 2025 pour la première, deux ans plus tard pour la seconde, une fois l'approvisionnement en biomasse sécurisé.

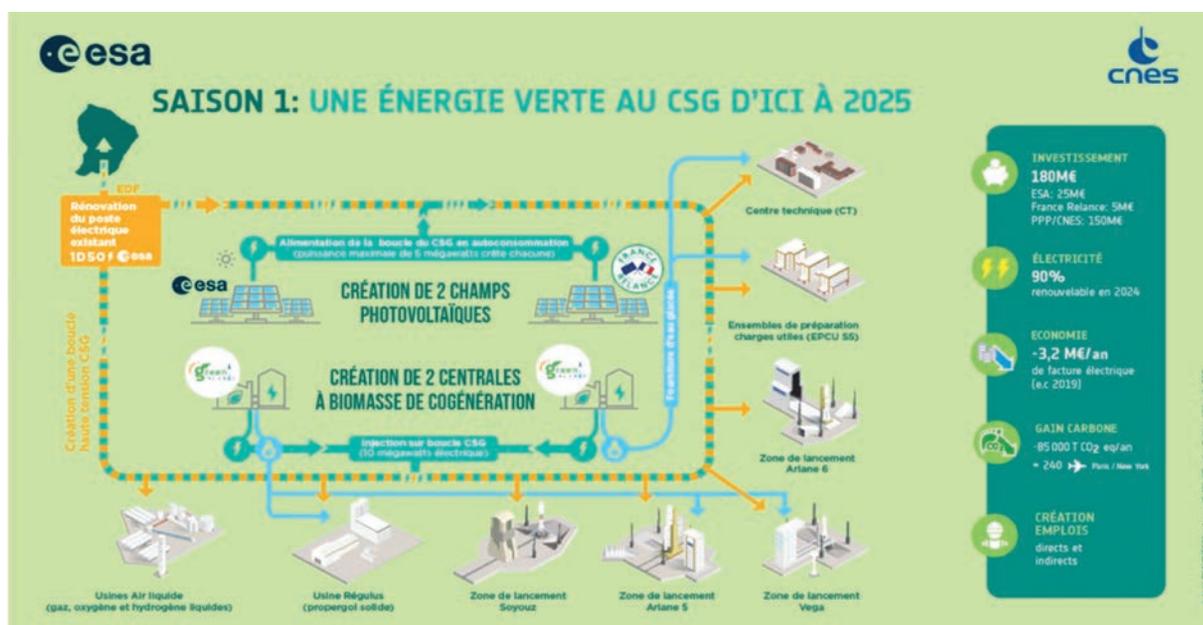


Figure 7 : Projets énergie verte au CSG.

Le projet HYGUANE

Le projet HYGUANE (HYdrogène GUyanais A Neutralité Environnementale) a vocation à verdir une partie des ergols de Ariane 6, et à créer un nouvel écosystème hydrogène profitant au CSG mais aussi à l'ensemble du territoire. Il s'articule autour d'une unité pilote de production d'hydrogène adossée à un champ photovoltaïque d'une capacité de 5 MWc. Cet électrolyseur de 1,25 MWe, installé et exploité par Air Liquide Spatial Guyane, bénéficiera des systèmes aval existants de liquéfaction de l'usine actuelle, ce qui permettra de disposer d'hydrogène liquide vert sans avoir à investir dans la partie froide.

Une partie de cet hydrogène gazeux viendra alimenter, au sein de la base, sur le site ELM (Ensemble de lancement multi-lanceurs, ex-site du lanceur Diamant), une pile à combustible fonctionnant à l'hydrogène, développée avec l'Université de Liège et la société Be.Blue. À terme, l'objectif est de remplacer, au CSG et ailleurs, les batteries et groupes électrogènes fonctionnant aux énergies fossiles.

En aval est prévue l'ouverture sur le site de la SARA à Kourou de la première station-service à hydrogène guyanaise. Elle pourra distribuer chaque année plusieurs dizaines de tonnes de carburant et servira de catalyseur à la naissance de la filière H₂ mobilité propre du territoire. C'est la société allemande MT Aerospace qui couvrira la qualification en environnement tropical des trois premiers véhicules propulsés à l'hydrogène qui circuleront en Guyane : un car, un bus et un tracteur. MTA sera également en charge de la création d'un centre de compétences visant à assurer la maintenance de ces nouveaux équipements, en développant des activités de formation et R&D sur l'ensemble des métiers de la filière H₂. Les Universités de la Guyane, de Liège et de Bruxelles coopéreront dans ce cadre, afin d'assurer les travaux de recherche pour la qualification des piles à combustible en zones tropicales et la formation des étudiants de la filière.

D'autres projets non évoqués ici sont encore en phase d'études préliminaires : on pourra ainsi mentionner le projet BIFROST, qui vise à produire du méthane vert pour les besoins des futurs lanceurs sur le site ELM (ex-site Diamant) rénové à partir de bio-déchets sélectionnés, ou encore les projets photovoltaïques sur les îles du Salut dont le CNES est propriétaire.

Toutes ces initiatives se heurtent néanmoins à de multiples difficultés inhérentes au développement des ENR en territoire protégé soumis à de nombreuses contraintes environnementales, sociales et géographiques. La conviction du CNES reste que seule une transition énergétique s'appuyant sur toutes les ressources potentielles au bénéfice de l'ensemble des acteurs du territoire disposera d'une légitimité suffisante pour *in fine* être mise en œuvre.

Perspectives futures

Avec l'arrivée de deux nouveaux lanceurs compétitifs et complémentaires, Ariane 6 et Vega-C, et avec les actions de modernisation, digitalisation et de transition énergétique en cours de réalisation, le CSG entre dans une nouvelle ère de son histoire. Mais les étapes suivantes sont déjà en cours de préparation : il s'agit essentiellement de préparer l'arrivée des lanceurs réutilisables qui succéderont à Ariane 6 à horizon *post-2030*. Pour ce faire, le CNES développe avec ses partenaires allemands et japonais un démonstrateur de premier étage réutilisable, qui sera testé au CSG en 2025. La réutilisation partielle ou totale des lanceurs, conjuguée à l'utilisation de carburants liquide biosourcés, permettra d'améliorer considérablement l'impact environnemental des lanceurs.

Il est vrai que l'Europe a pris du retard dans le développement des lanceurs réutilisables, mais l'ambition européenne est de concevoir le successeur de Ariane 6 avec un objectif d'impact environnemental minimum,



Figure 8 : Le projet HYGUANE.

et donc de se démarquer de la concurrence par une écoconception exemplaire, appliquée à tous les niveaux (utilisation des matériaux, cycles de production et de maintenance, absence de débris orbitaux).

Par ailleurs, le CSG se prépare à accueillir, sur le site rénové ELM, des mini-lanceurs européens qui viendront compléter les services de lancement de Ariane 6 et de Vega-C, et qui sont développés non plus par l'ESA mais par des sociétés privées. Ce faisant, le CSG évolue sur la base d'un modèle d'aéroport où opèrent plusieurs compagnies de transport spatial.

Dans ce modèle, il revient au CNES, en tant que responsable de la base de lancement pour le compte de l'État français, de réguler l'ensemble des opérations, avec la prise en compte au plus haut niveau des exigences de sécurité et de protection de l'environnement, qui caractérisent l'activité spatiale en Guyane depuis son origine.