

## BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

	DATE ET SIGNATURE
<b>PRÉPARÉ PAR</b>	GUILLOT A. SDP/ES
<b>VÉRIFIÉ PAR</b>	A. DE PLACE SDP/ES
<b>APPROUVÉ PAR</b>	PI A. DE PLACE SDP/ES

DIFFUSION	NB
AE/DP/K	1
CG/COM	1
CG/SDP	1
DGTM / S.P.P.P.I.	1
ESA/K	1
MAIRIE DE KOUROU	1
MAIRIE DE SINNAMARY	1
SDP/ES	1
AVIO/G	1
SDS/G	1

<b>APPLICATION AUTORISÉE PAR</b>	VALLEE T. SDP
--------------------------------------	------------------

Nombre total d'exemplaires : **10**

**Avant utilisation, vérifier dans le serveur GED la validité de la version de ce document.**

*Afin de contribuer au respect de l'environnement, merci de n'imprimer ce document qu'en cas de nécessité*

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>2/90</b>
---	--	--

## PAGE D'ANALYSE DOCUMENTAIRE

<b>Classification (+ qualification pour Diffusion Limitée) : Non sensible</b>
<b>Rédacteur(s) : Amandine GUILLOT</b>
<b>Version applicable disponible sur : GED Poséidon CNES/CSG</b>
<b>Gestionnaire technique du document</b> : Le service SDP/ES (Environnement et Sauvegarde Sol) est le gestionnaire technique de ce document.

## MODIFICATIONS

VERSION	DATE	CHAPITRES MODIFIÉS / RAISON / NATURE DE L'ÉVOLUTION
01/00	10/08/2022	CREATION / GUILLOT A.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>3/90</b>

## DOCUMENTS DE REFERENCE

RÉFÉRENCE		TITRE DU DOCUMENT
DR01	CG/SDP/ES/N°16-228	Plan de mesures Environnement Ariane 5, Vega et Soyouz – Centre Spatial Guyanais.
DR02	Rapport final du groupe d'experts IRD, CNRS, INRA	Impacts des activités futures d'Ariane 5 sur l'environnement humain et naturel – Contrat de consultance IRD 9086-01/CNES/2129 – Janvier 2003.
DR03	INERIS DRC-02-37656-AIRE n°656b-MRa-CFe	Aide à la définition d'une stratégie de surveillance de la qualité de l'air dans les zones habitées autour du CSG – DRIRE Antilles – Guyane – Décembre 2002.
DR04	CG/SDP/ES/2006/N°1263	Note relative au plan de mesures Environnement Ariane 5.
DR05	CG/SDP/ES/2009/N°946	Note relative à l'utilisation des prévisions CEP pour la mise en place des capteurs du plan de mesures Environnement Ariane 5.
DR06	LOS-IC-RS-12611-CNES	Instruction relative à la mission de coordination des mesures de sûreté - coordination environnement et sauvegarde sol
DR07	21.SE.RS.06	<b>Rapport ESQS - RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT VEGA VV18</b>
DR08	21.SE.RS.08	<b>Rapport ESQS - RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE VA254</b>
DR09	21.SE.RS.10	<b>Rapport ESQS - RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT VEGA VV19</b>
DR10	22.SE.RS.02	<b>Rapport ESQS - RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE VA255</b>
DR11	22.SE.RS.01	<b>Rapport ESQS - RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT VEGA VV20</b>
DR12	22.SE.RS.03	<b>Rapport ESQS - RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE VA256</b>
DR13	HYDRECO 2021 – Rapport final	<b>Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut – Bouvier D., Pottier G. &amp; Vigouroux R. 2022. Surveillance de la faune aquatique dans la zone du Centre Spatial Guyanais– Rapport HYDRECO/CNES. 59 pages + Annexes.</b>

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>4/90</b>

RÉFÉRENCE		TITRE DU DOCUMENT
DR14	HYDRECO 2021 - Diatomées	<b>Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut</b> – Eulin-garrigue A. – 2022 – Surveillance des milieux aquatiques dans la zone du Centre Spatial Guyanais : Etude de l'impact des retombées des produits issus de la propulsion des lanceurs Ariane 5, Vega et Soyouz sur la faune et la flore aquatique. – Volet complémentaire sur les diatomées ; Année 2021. Contrat HYDRECO – CNES, 52p.
DR15	Rapport NBC APILAB final 2021	<b>NBC – Biosurveillance environnementale apicole</b> <b>Centre Spatial Guyanais</b> Rapport annuel 2021
DR16	Décret n°2010-1250	Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air
DR17	Rapport d'activité 2020	<b>Atmo Guyane</b> - Rapport d'activité 2020 – Surveillance de la qualité de l'air en Guyane
DR18	Bilans 2021 des épisodes de pollution de l'air en Guyane Française	<b>Atmo Guyane</b> – Episodes de pollution de l'air en Guyane Française <a href="https://www.atmo-guyane.org/bilan-2021-des-episodes-de-pollution/">https://www.atmo-guyane.org/bilan-2021-des-episodes-de-pollution/</a>
DR21	Fiche toxicologique INRS	Fiche toxicologique n°47 – Monoxyde de Carbone (CO) – Edition 2009
DR22	Fiche toxicologique	Fiche toxicologique n°238 – Dioxyde de Carbone (CO <sub>2</sub> ) – Edition 2005

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>5/90</b>
---	--	--

## DOCUMENTS APPLICABLES

RÉFÉRENCE		TITRE DU DOCUMENT
<b>DA01</b>	<b>Arrêté N°1632/1D/1B/ENV</b>	<b>Arrêté Numéro 1632/1D/1B/ENV du 24 juillet 2006</b> autorisant la Société Arianespace, sise boulevard de l'Europe - BP177- 91000 Evry à exploiter l'ensemble de lancement Ariane (ELA), sur la commune de Kourou
<b>DA02</b>	<b>Arrêté N°1689/2D/2B/ENV</b>	<b>Arrêté Numéro 1689/2D/2B/ENV du 26 juillet 2007</b> autorisant la Société Arianespace à exploiter l'ensemble de lancement Soyouz (ELS), sise sur la commune de Sinnamary
<b>DA03</b>	<b>Arrêté N°1655/DEAL</b>	<b>Arrêté Numéro 1655/DEAL du 06 octobre 2011</b> portant autorisation au CNES à exploiter les installations constitutives de l'ensemble de lancement VEGA (ELVega) situées sur le territoire de la commune de Kourou, au sein du Centre Spatial Guyanais.
<b>DA04</b>	<b>CSG-ID-S3X-495-SEER</b>	Description et exploitation des plans de mesures Ariane 5 et des mesures environnement.
<b>DA05</b>	<b>Arrête N°2216 1D/4B</b>	<b>Arrête Numéro 2216 1D/4B du 28 juillet 1992</b> autorisant le Centre National d'Etudes Spatiales à exploiter le Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre (BEAP) au Centre Spatial Guyanais sur le territoire de la commune de Kourou.

Pour mémoire :

**CSG-ID-S3X-495-SEER**

Description et exploitation des plans de mesures Ariane 5 et des mesures environnement.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>6/90</b>

## TERMES ET DEFINITIONS

TERME	DÉFINITION
<b>Abondance</b>	Paramètre d'ordre quantitatif servant à décrire une population. Le dénombrement exhaustif d'une population animale ou végétale, est généralement impossible, d'où le recours à des indicateurs. Par extension, l'abondance désigne un nombre d'individus, rapporté à une unité de temps ou de surface, dans une catégorie donnée.
<b>ARPEGE</b>	Modèle de prévisions numériques météorologiques, conçu par Météo France
<b>Bacs à eau</b>	Bacs de piégeage de surface exposée connue, contenant un volume d'eau distillée dont on connaît précisément les paramètres physico-chimiques.
<b>Biomasse</b>	Quantité de matière constituant par l'ensemble des individus composant la population.
<b>Biomarqueurs</b>	Modifications au niveau moléculaire, cellulaire et physiologique en réponse à une exposition d'un organisme à la pollution ou à un stress environnemental. Ils reflètent notamment l'impact de l'agriculture, du transport, de l'industrie et plus généralement des activités humaines, sur le fonctionnement des organismes biologiques. Selon leur nature et leur niveau, ces altérations peuvent avoir un impact plus ou moins important sur la santé.
<b>CEP</b>	Modèle de prévisions numériques météorologiques, non conçu mais utilisé par Météo France.
<b>Carbonylation</b>	Réaction chimique d'introduction de monoxyde de carbone (CO) dans un composé organique. Le stress oxydant lié à une pollution peut être responsable de la carbonylation de protéines.
<b>Conditions météorologiques</b>	Caractéristiques atmosphériques telles que la vitesse, la direction des vents, la température etc pouvant avoir un impact ou générer un impact au moment du lancement sur le nuage de combustion.
<b>Détritivore</b>	Les détritivores sont des êtres vivants, qui se nourrissent de débris animaux, végétaux ou fongiques. Ils remplissent des fonctions essentielles dans la chaîne alimentaire car ils recyclent les composés organiques contenus dans les détritiques et les sédiments.
<b>Données prévisionnelles</b>	Ensemble des données météorologiques issues de modèles prévisionnels de profils thermodynamiques (CEP/ARPEGE) permettant une visualisation de l'évolution de l'atmosphère avec un maillage (spatial et temporel) donné. Ces données constituent les informations d'entrée pour effectuer la simulations SARRIM dite PREVI.
<b>Géophyte</b>	Une plante géophyte est dans la classification de Raunkier un type de plante vivace, possédant des organes lui permettant de passer la mauvaise saison enfouie dans le sol. La plante est donc inapparente au cours de quelques mois de son cycle annuel
<b>Hydromorphie</b>	L'hydromorphie, appelée aussi hydromorphisme, est une qualité de sol. Un sol est dit hydromorphe lorsqu'il montre des marques physiques d'une saturation régulière en eau
<b>Hydroxylation</b>	L'hydroxylation est une réaction chimique consistant à ajouter un groupe hydroxyle (-OH) à une molécule.
<b>Ichtyofaune</b>	Partie de la faune aquatique rassemblant l'ensemble des poissons vivants dans un espace géographique ou un habitat déterminé.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>7/90</b>
---	--	--

TERME	DÉFINITION
<b>Indice Biologique des Macro invertébrés de Guyane</b>	Cet indice a été créé pour évaluer la qualité écologique des PME (Petites Masses d'Eau) de Guyane ( <i>Dedieu, 2015</i> ).
<b>Indice de condition</b>	Coefficient révélant l'état physiologique des poissons
<b>Indice Poisson de Guyane</b>	Cet indice a été développé dans le cadre de la Directive européenne Cadre sur l'Eau (DCE 200/60/CE), et permet de donner une note de qualité aux petites masses d'eau.
<b>Indice de Shannon ou Shannon-Wiener</b>	Indice permettant de mesurer la diversité spécifique et la répartition des espèces composant une population. Il est compris en entre 0 et 5, où 0 représente une population dont la répartition des espèces est déséquilibrée et 5 est une population parfaitement équilibrée
<b>Mobilité</b>	La mobilité d'un élément chimique est caractérisée par son aptitude à passer dans les compartiments du sol où il est de moins en moins énergiquement retenu. Les variations des conditions physico-chimiques (pH, température, force ionique...etc.) peuvent jouer directement sur la mobilité des éléments en faisant passer les métaux présents dans un sol d'une forme à une autre.
<b>Polymérisation</b>	La polymérisation désigne la réaction chimique ou le procédé par lesquels des petites molécules réagissent entre elles pour former des molécules de masses molaires plus élevées.
<b>Pyrophyte</b>	Une pyrophyte est une plante qui supporte le feu, on peut également parler d'espèce pyrophile.
<b>Richesse spécifique</b>	Nombre d'individu d'une même espèce pouvant être rencontrée dans un écosystème donné.
<b>Richesse taxonomique</b>	Nombre d'individu d'un même taxon pouvant être rencontrée dans un écosystème donné.
<b>Seuil des Effets Irréversibles (SEI)</b>	Concentration maximale de polluants dans l'air pour un temps d'exposition donné (10 minutes) en dessous de laquelle chez la plupart des individus, on n'observe pas d'effets irréversibles (persistance dans le temps d'une atteinte lésionnelle ou fonctionnelle, directement consécutive à une exposition en situation accidentelle).
<b>Seuil des Effets Létaux (SEL)</b>	Concentration maximale de polluant dans l'air pour un temps d'exposition donné (10 minutes) en dessous de laquelle chez la plupart des individus, on n'observe pas d'effets létaux (décès).
<b>Spéciation</b>	La spéciation chimique est un paramètre fondamental qui contrôle la migration, la biodisponibilité et la toxicité des éléments chimiques dans les eaux, les sols et les sédiments. Ce paramètre résulte des interactions entre solutés, surfaces minérales, substances organiques et biologiques.
<b>Taxa / Taxon</b>	Unité quelconque (genre, famille, espèce, sous-espèce, etc.) des classifications hiérarchiques des êtres vivants

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>8/90</b>

TERME	DÉFINITION
<b>Transect</b>	Série de relevés de terrain selon des lignes plus ou moins droites.
<b>Radiosondage</b>	Ballon d'hélium muni de capteurs permettant de recueillir lors de son ascension des données météorologiques telles que la vitesse et la direction des vents, la température, la pression atmosphérique... aux différentes couches de l'atmosphère traversés. Ces données constituent les informations d'entrée pour effectuer la simulations SARRIM dite RS.
<b>Valeur Limite d'Exposition (VLE)</b>	Valeur maximale de concentration de substance toxique respirable pendant au plus 15 minutes dans l'atmosphère d'un lieu de travail sans risquer d'effets irréversibles pour la santé. Elle correspond à 5 ppm pour l'acide chlorhydrique.
<b>Valeur Moyenne d'Exposition (VME)</b>	Concentration maximale à laquelle une personne peut être exposée sur son lieu de travail 8 heures par jour et 5 jours par semaine sans risque pour sa santé ; il s'agit de la valeur limite à laquelle un individu peut être exposé à court terme. Elle correspond à 10 mg/m <sup>3</sup> pour l'alumine.

## SIGLES

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Alumine
<b>Al<sup>3+</sup></b>	Ion Aluminium
<b>Al</b>	Aluminium
<b>ARTA</b>	programme d'Accompagnement, de Recherche et de Technologie Ariane
<b>AFNOR</b>	Association Française de Normalisation
<b>BCS</b>	Bureau de Coordination Sauvegarde
<b>BEAP</b>	Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre
<b>BLA</b>	Base de Lancement Ariane
<b>Ca</b>	Calcium
<b>CI</b>	Contrat Industriel
<b>CL</b>	Champ Lointain
<b>Cl<sup>-</sup></b>	Ion Chlorure
<b>CHK</b>	Centre Hospitalier de Kourou

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>9/90</b>

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
<b>CNES</b>	Centre National d'Etudes Spatiales
<b>CODEX</b>	Collecte de Données Environnement eXtérieur du CSG (Réseau de)
<b>CP</b>	Champ Proche
<b>CT</b>	Centre Technique
<b>CSG</b>	Centre Spatial Guyanais
<b>dB</b>	Décibel
<b>DCE</b>	Directive Européenne Cadre sur l'Eau
<b>ELA</b>	Ensemble de Lancement ARIANE
<b>ELS</b>	Ensemble de Lancement SOYOUZ
<b>ELVega</b>	Ensemble de Lancement VEGA
<b>EPC</b>	Etage Principal Cryogénique
<b>EPS</b>	Etage à Propergol Stockable
<b>ESQS</b>	Europe Spatiale Qualité Sécurité
<b>ETP</b>	Ephéméroptères, Trichoptères et Plécoptères
<b>FAG</b>	Forces Armées de Guyane
<b>GPS</b>	Système de Positionnement Global
<b>H<sub>2</sub></b>	Dihydrogène
<b>HC</b>	Hydrocarbures imbrûlés
<b>HCl</b>	Acide Chlorhydrique
<b>IBMG</b>	Indice Biologique Macro invertébrés de Guyane
<b>ICPE</b>	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
<b>INERIS</b>	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
<b>IPG</b>	Indice Poisson de Guyane (Petite Masse d'Eau)
<b>IRD</b>	Institut de Recherche et de Développement
<b>K</b>	Potassium

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>10/90</b>

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
<b>LD</b>	Limite de Détection
<b>MEST</b>	Matières En Suspension Totales
<b>Mg</b>	Magnésium
<b>MMH</b>	Mono Méthyl Hydrazine
<b>Na</b>	Sodium
<b>NaCl</b>	Chlorure de Sodium
<b>NaOH</b>	Hydroxyde de Sodium / Soude
<b>N<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>	Hydrazine
<b>N<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	Peroxyde d'Azote
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dioxyde d'Azote
<b>NO<sub>x</sub></b>	Oxyde d'Azote
<b>pH</b>	Potentiel Hydrogène
<b>PME</b>	Petite Masse d'Eau / Plan de Mesures Environnement ( <i>selon le contexte</i> )
<b>ppb</b>	Partie par milliard en volume (10 <sup>-9</sup> ), soit 1 mm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
<b>ppm</b>	partie par million
<b>PRS</b>	Pupitre Responsable Sauvegarde
<b>RN1</b>	Route Nationale N°1
<b>RS</b>	Radiosondage
<b>RSM</b>	Responsable Sauvegarde Météo
<b>SARRIM</b>	« Stratified Atmosphere Release of Rockets Impact Model »
<b>SDP/ES</b>	Service Environnement et Sauvegarde Sol du Centre Spatial Guyanais
<b>SEI</b>	Seuil des Effets Irréversibles
<b>SEL</b>	Seuil des Effets Létaux
<b>SMEG</b>	Score Moyen des Ephéméroptère de Guyane
<b>SPM</b>	« Single Point Monitor »

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>11/90</b>
---	--	---

<b>SIGLE / ABRÉVIATION</b>	<b>DÉFINITION</b>
<b>UDMH</b>	Unsymetrical Di MethylHydrazine (Diméthyl hydrazine asymétrique)
<b>UPG</b>	Usine de Propergol Guyane
<b>VLE</b>	Valeur Limite d'Exposition
<b>VME</b>	Valeur Moyenne d'Exposition
<b>VLI</b>	Vitesse Limite d'Impact
<b>VTR</b>	Valeur Toxicologique de Référence
<b>ZL3</b>	Zone de Lancement n°3 dédié au lanceur ARIANE 5
<b>ZLS</b>	Zone de Lancement SOYOUZ
<b>ZLVega</b>	Zone de Lancement VEGA
<b>ZP</b>	Zone de Préparation

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : 10/08/2022 Page : 12/90
---	---	--

## SOMMAIRE

1.	OBJET ET BILAN DES MESURES EN 2021 .....	16
2.	CATALOGUE 2021 DES FICHES SYNTHETIQUES POST-LANCEMENT .....	21
3.	LES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE 5 ET VEGA.....	22
3.1.	OBJECTIFS DES MESURES .....	22
3.2.	SARRIM, L'OUTIL DE MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES RETOMBEES CHIMIQUES ET GAZEUSES .....	23
3.3.	LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	23
3.4.	SUIVI DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMP PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN .....	24
3.5.	MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	26
4.	SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LES CAMPAGNES ARIANE 5 .....	28
4.1.	LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	28
4.2.	COMPARAISON DES RESULTATS DES SIMULATIONS REALISEES A PARTIR DU RADIOSONDAGE ET DES DONNEES CEP/ARPEGE.....	31
4.3.	CONCLUSIONS SUR LES MODELISATIONS DE L'OUTIL SARRIM.....	32
4.4.	RESULTATS DES MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	32
4.5.	RESULTATS DES MESURES DE RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN.....	33
4.6.	CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DES LANCEMENTS ARIANE 5 EN 2021 .....	35
5.	SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LA CAMPAGNE VEGA .....	36
5.1.	LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	36
5.2.	COMPARAISON DES RESULTATS DES SIMULATIONS REALISEES A PARTIR DU RADIOSONDAGE ET DES DONNEES CEP/ARPEGE.....	38
5.3.	CONCLUSIONS SUR LES MODELISATIONS DE L'OUTIL SARRIM.....	39
5.4.	RESULTATS DES MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	39
5.5.	RESULTATS DES MESURES DE RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN.....	39
5.6.	CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DU LANCEMENT VEGA EN 2021 .....	41
6.	LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT SOYOUZ.....	42

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : 10/08/2022 Page : 13/90
---	---	--

<b>7. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LES CAMPAGNES SOYOUZ .....</b>	<b>43</b>
7.1. OBJECTIFS DES MESURES .....	43
7.2. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	44
7.3. LOCALISATION DES POINTS DE MESURES.....	44
7.4. LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	45
7.5. MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES ET PARTICULAIRES .....	47
7.6. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DU LANCEUR SOYOUZ POUR L'ANNEE 2021 .....	52
<b>8. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT AU BANC D'ESSAI DES ACCELERATEURS A POUVRE (BEAP).....</b>	<b>53</b>
<b>9. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES REALISEES POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ECOSYSTEMES DU CSG .....</b>	<b>55</b>
9.1. OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG 55	
9.2. MESURE DE LA QUALITE DE L'EAU DE LA CRIQUE KAROUABO .....	55
9.3. MESURE DE LA QUALITE DES SEDIMENTS DES CRIQUES DU CSG 58	
9.4. SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE DES CRIQUES DU CSG.....	64
9.5. SUIVI DU PATRIMOINE VEGETAL DU CSG .....	69
9.6. BIO SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR AU MOYEN DES ABEILLES MELIPONES.....	72
<b>10. CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG EN 2021 .....</b>	<b>81</b>
10.1. PAR RAPPORT AUX ACTIVITES LIEES AUX LANCEURS .....	81
10.2. PAR RAPPORT AU SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT DU CSG .....	82
<b>11. ANNEXE 1 : EVALUATION DE L'IMPACT SUR LES PERSONNES.....</b>	<b>84</b>
<b>12. ANNEXE 2 : RAPPELS SUR LES LIMITES REGLEMENTAIRES DE TOXICITE DES PRINCIPAUX PRODUITS EMIS PAR LES LANCEURS.....</b>	<b>85</b>
12.1. CAS DE L'ALUMINE .....	85
12.2. CAS DE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE .....	85
12.3. CAS DU MONOXYDE DE CARBONE .....	85
12.4. CAS DU DIOXYDE DE CARBONE.....	86
<b>13. ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIE DES CAPTEURS ENVIRONNEMENT (BACS A EAU) ARIANE 5 &amp; VEGA.....</b>	<b>87</b>
<b>14. ANNEXE 4 : CARTOGRAPHIE DES ANALYSEURS EN CONTINU ENVIRONNEMENT SA SOYOUZ .....</b>	<b>88</b>
<b>15. ANNEXE 5 : ETUDE COMPARATIVE DES DIRECTIONS DES NUAGES DE COMBUSTION LORS DE LANCEMENTS ARIANE 5.....</b>	<b>89</b>

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>14/90</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - principaux résultats 2021 .....	17
Tableau 2 : Ensemble des paramètres de mesures dans les bacs à eau .....	24
Tableau 3 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure .....	25
Tableau 4 : Localisation des analyseurs fixes du réseau CODEX-2 .....	26
Tableau 5 : Gammes de mesure des paramètres des analyseurs du système CODEX-2 « fixe » .....	26
Tableau 6 : Seuils de détections des analyseurs du système CODEX-2 « mobile » .....	27
Tableau 7: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des prévisions CEP/ARPEGE .....	29
Tableau 8 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine .....	29
Tableau 9: Tableau récapitulatif des directions et vitesses des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages .....	30
Tableau 10 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour Ariane 5 en 2021 .....	31
Tableau 11 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain .....	33
Tableau 12 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain .....	34
Tableau 13: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE .....	36
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine .....	37
Tableau 15: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages .....	37
Tableau 16 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour VEGA en 2021 .....	38
Tableau 17: Tableau récapitulatif des détections d'acide chlorhydrique par les Honeywell pour l'année 2021 .....	39
Tableau 18 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain .....	40
Tableau 19 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain .....	41
Tableau 20 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure .....	44
Tableau 21: Tableau récapitulatif des directions calculées par SARRIM au moyen des radiosondages .....	45
Tableau 22 : Rappel des seuils réglementaires d'exposition pour le Monoxyde (CO) et le Dioxyde (CO <sub>2</sub> ) de carbone .....	46
Tableau 23 : Ensemble des résultats des Shelters ENVIRONNEMENT SA – 2021, entre H0 et H0+2h, pour le vol VS26 .....	48
Tableau 24 : seuils d'information et de recommandation, d'alerte, de différents polluants ( <i>Source : ATMO Guyane</i> ) .....	50
Tableau 34 : Suivi de la Karouabo en 2021 .....	56
Tableau 35 : Modification de la spéciation et de la mobilité de certains ions en fonction du paramètre pH du sol .....	58
Tableau 36 : Paramètres physico-chimiques mesurés pour les trois stations en 2021 ( <i>en bleu : très bon état ; en vert : bon état ; en jaune : état moyen ; en orange : état médiocre</i> ) .....	59
Tableau 37 : Résultats des analyses de métaux dans les sédiments de la Karouabo et de la Malmanoury .....	60
Tableau 38 : Paramètres physico-chimiques analysés sur les sédiments en laboratoire pour la station Paracou, en saison sèche 2021 .....	62
Tableau 39 : Tableau de synthèse des principaux résultats obtenus pour le suivi de la faune aquatique pour 2021 .....	65
Tableau 40 : Notes de l'IPG-G et classes de qualité associées pour les trois stations .....	66

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>15/90</b>

Tableau 41 : Evolution des efforts d'analyse (nombre de ruches) en fonction des années de suivi de biosurveillance par l'abeille.....	73
Tableau 42 : Tableau récapitulatif des particules trouvés dans les échantillons d'abeilles <i>Apis mellifera</i> et Mélipones – on note que de façon générale, la majorité des particules détectées sont d'origine environnementale (en vert).....	77
Tableau 43 : Concentration en mg/kg de chaque pesticide retrouvé.....	79

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Lancement VA256 vu depuis JUPITER II Service CNES OPTIQUE VIDEO .....	17
Figure 2 : Bac à eau sur son trépied métallique et SPM Honeywell sur le chemin de ronde AR5 .....	24
Figure 3 : Dépose d'un bac à eau avec son flacon d'échantillonnage.....	24
Figure 4 : Cartographie du CSG (Carte IGN, Géoportail ©) .....	29
Figure 5 : SPM mobile installé en champ proche.....	32
Figure 7 : Station de surveillance BRADY à Kourou, ORA 2017 .....	51
Figure 9: Prise de vue de la station Paracou (Hydreco, 2019) .....	58
Figure 10 : Crique Karouabo en saison sèche, HYDRECO 2021 .....	61
Figure 11 : Crique Malmanoury en saison sèche, HYDRECO 2021 .....	61
Figure 12 : Numérotation d'un pied <i>Cyrtopodium cristatum</i> .....	70
Figure 13 : <i>S. angustifolia</i> .....	71
Figure 14: <i>S. angustifolia</i> sous pylône - ELS .....	71
Figure 15 : Mélipona [DR22].....	72
Figure 16 : Ruchers Tangara .....	72
Figure 17 : Ruchers Sentier Ebène .....	72
Figure 18 : Ruchers de l'ELS .....	72
Figure 19 : Anatomie d'une abeille, NBC/APILAB.....	74
Figure 20 : Vue interne d'un rucher et de son organisation, NBC APILAB .....	74
Figure 21 : Situation géographique des sites d'exposition. Les aires d'exposition de l'étude d'un rayon de 3 km sont représentées en jaune.....	75
Figure 22 : Prélèvement d'un individu pour analyse, CNES Optique Vidéo 2017 .....	76
Figure 23 : Valeurs de carbonylation des protéines des 2 prélèvements saisonniers sur tous les sites, mesuré sur les abeilles de type mélipone et apis .....	78
Figure 25 : Facteur de risque pour chaque site. ....	79
Figure 26 : Capteur AtmoTrack .....	80
Figure 27 : Fiche toxicologique INRS .....	85
Figure 28 : Fiche toxicologique INRS .....	86

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>16/90</b>
---	--	---

## 1. Objet et bilan des mesures en 2021

Comme toute activité industrielle, l'activité spatiale n'est pas sans effet sur l'environnement.

Parmi ses missions, le CNES est responsable de la coordination et la surveillance des effets sur l'environnement dans le cadre des activités liées aux lanceurs **[DR06]**.

Bien que la phase de lancement ne constitue pas une *activité* au sens de la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, le CNES a souhaité intégrer un programme d'auto surveillance dans les arrêtés d'exploiter les Ensembles de Lancement relevant de l'opérateur de lancement Arianespace.

Ce document présente les résultats des Plans de Mesures environnement réalisées en 2021 par le Centre National d'Etudes Spatiales au Centre Spatial Guyanais (CNES - CSG) et ses partenaires afin d'**évaluer l'impact des activités de lancements sur l'environnement**. Il est élaboré pour répondre aux objectifs suivants :

- se conformer aux prescriptions des arrêtés préfectoraux d'autorisation d'exploiter
  - l'Ensemble de Lancement Ariane numéro 3 (ELA3) **[DA01]**,
  - l'Ensemble de Lancement Soyouz (ELS) **[DA02]**,
  - l'Ensemble de Lancement Vega (ELVega) **[DA03]**,
- confirmer et enrichir les résultats obtenus lors des essais au Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre (BEAP) et lors des lancements Ariane 5, VEGA, et Soyouz
- confirmer les conclusions inscrites dans les études d'impact réalisées dans le cadre de la constitution des Dossiers de Demande d'Autorisation d'Exploiter les Ensembles de Lancement
  - Ariane 5 soit ELA3
  - VEGA soit ELVega
  - Soyouz soit ELS

Il comprend une synthèse des principaux résultats et conclusions relatifs aux mesures effectuées dans le cadre des lancements et essais opérés au CSG soit :

- trois campagnes **Ariane 5** (vols A254 à A256) – **paragraphes 3 et 4**
- trois campagnes **Vega** (vols V18 à V20) – **paragraphe 5**
- une campagne **Soyouz** (vol S26) – **paragraphes 6 et 7**
- aucun essai n'a été réalisé en 2021 au **BEAP**

Par ailleurs, des **suivis annuels** sont menés sur les différents compartiments environnementaux présents au Centre Spatial Guyanais (CSG) – **cf paragraphe 9**.

Le tableau 1 ci-dessous résume les principaux résultats 2021.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>  Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>17/90</b>

**Tableau 1 - principaux résultats 2021**

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS																																		
<b>RAPPEL DES ACTIVITES DE LANCEMENTS AU CSG</b>	En 2021, le Centre Spatial Guyanais a opéré 7 lancements, répartis comme suit																																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lanceurs</th> <th>Missions</th> <th>J0</th> <th>H0 (Heure Locale)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Ariane 5 (3 lancements)</td> <td>VA254</td> <td>30/07/2021</td> <td>18h</td> </tr> <tr> <td>VA255</td> <td>23/10/2021</td> <td>23h10</td> </tr> <tr> <td>VA256</td> <td>25/12/2021</td> <td>9h20</td> </tr> <tr> <td>Soyouz (1 lancement)</td> <td>VS24</td> <td>04/12/2021</td> <td>21h19</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">VEGA (3 lancements)</td> <td>VV18</td> <td>28/04/2021</td> <td>22H50</td> </tr> <tr> <td>VV19</td> <td>16/08/2021</td> <td>22H47</td> </tr> <tr> <td>VV20</td> <td>16/11/2021</td> <td>6h27</td> </tr> </tbody> </table>							Lanceurs	Missions	J0	H0 (Heure Locale)	Ariane 5 (3 lancements)	VA254	30/07/2021	18h	VA255	23/10/2021	23h10	VA256	25/12/2021	9h20	Soyouz (1 lancement)	VS24	04/12/2021	21h19	VEGA (3 lancements)	VV18	28/04/2021	22H50	VV19	16/08/2021	22H47	VV20	16/11/2021
Lanceurs	Missions	J0	H0 (Heure Locale)																																
Ariane 5 (3 lancements)	VA254	30/07/2021	18h																																
	VA255	23/10/2021	23h10																																
	VA256	25/12/2021	9h20																																
Soyouz (1 lancement)	VS24	04/12/2021	21h19																																
VEGA (3 lancements)	VV18	28/04/2021	22H50																																
	VV19	16/08/2021	22H47																																
	VV20	16/11/2021	6h27																																
Figure 1 : Lancement VA256 vu depuis JUPITER II Service CNES OPTIQUE VIDEO																																			
<b>SYNTHESE DES INDICATEURS DE QUALITE DES MILIEUX</b>	<b>COMPARTIMENTS</b>	<b>AIR</b>	<b>EAU et SEDIMENTS</b>	<b>DIATOMÉES</b>	<b>FAUNE AQUATIQUE</b>	<b>GRANDE FAUNE TERRESTRE</b>	<b>BIOSURVEILLANCE (abeilles)</b>	<b>VEGETATION</b>																											
	<b>MESURES</b>	Réseau CODEX et CODEX-2 <i>HCl / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> / NO<sub>x</sub></i>	Suivi de la qualité physico-chimique	IPS (Indice de Polluosensibilité Spécifique)	Diversité, Richesse, Abondance	Félins : suivis GPS, analyses génétiques	Analyse particulière	Surveillance environnementale du patrimoine forestier																											
		Analyseurs mobiles <i>HCl</i>	KAROUABO	IDGF (Indice Diatomique de Guyane Française)	Lésions anatomo pathologique <i>et</i> Dosage Aluminium ( <i>poissons</i> )	Pécaries à lèvres blanches : suivis GPS	Biomarqueurs																												
		Bacs à eau <i>HCl / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	MALMANOURY		IDF (Indice Diatomique de Guyane)	Tapirs : pièges photos	Analyse des cires (pesticides)																												
		Shelters SOYOUZ <i>CO / CO<sub>2</sub> / NO<sub>x</sub> / SO<sub>x</sub> / PM / HCT</i>	PARACOU		SMEG et SMEG-2 ( <i>invertébrés</i> )	Biche rouge	Comparaison avec AtmoTrack																												
<b>ETAT GENERAL</b>	<b>AUCUN IMPACT DECELE</b>	<b>AUCUN IMPACT DECELE</b>	<b>TRES BON ETAT ECOLOGIQUE</b>	<b>AUCUN IMPACT DECELE</b>	<b>BON ETAT ECOLOGIQUE</b>	<b>AUCUN IMPACT DECELE</b>	<b>BON ETAT ECOLOGIQUE</b>																												

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>  Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>18/90</b>
---	--	---

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
<b>LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION</b>	Quelle que soit la période de l'année et la saison traversée, la direction prise par le nuage de combustion est directement liée aux conditions météorologiques du moment de l'évènement.
<b>MODELISATION DES RETOMBÉES AU SOL DU NUAGE DE COMBUSTION</b>	L'utilisation du code de calcul SARRIM et des données météorologiques prévisionnelles reste la meilleure solution, en terme de fiabilité, pour optimiser l'emplacement des capteurs quelques heures avant le lancement. Une analyse comparative des écarts entre la direction simulée par la prévision météorologique et celle par le radio sondage en chronologie positive (Annexe 5) démontre la pertinence de cette méthode.
<b>SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR : CAPTEURS ENVIRONNEMENT EN CHAMP PROCHE ET EN CHAMP LOINTAIN</b>  Mesures des retombées chimiques et particulaires pour Ariane 5 et VEGA	<p>Les mesures réalisées s'intéressent aux produits de combustion majoritairement émis par chaque lanceur lors de son décollage.</p> <p>Pour les lanceurs <b>Ariane 5</b> et <b>VEGA</b> nous nous intéressons à l'<b>acide chlorhydrique</b> et à l'<b>alumine</b> ; Pour le lanceur <b>SOYOUZ</b>, on s'intéresse aux émissions en <b>monoxyde</b> et <b>dioxyde de carbone</b>, les <b>oxydes d'azote</b> et de <b>soufre</b> ainsi que les <b>particules fines</b> (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les résultats des mesures effectuées pour les vols Ariane 5 de 2021 n'ont pas montré de particularité par rapport aux lancements des précédentes années.</li> <li>▪ Les plus fortes concentrations sont toujours observées en champ proche (dans un périmètre maximal de 500 mètres autour du pas de tir).</li> <li>▪ Les mesures réalisées pour les vols VEGA de l'année 2021 n'ont pas montrés de particularité. En effet, les concentrations mesurées sont plus faibles que celles retrouvées suite aux tirs d'Ariane.</li> <li>▪ Il a été observé que l'essentiel des capteurs positionnés près de la côte restent influencés par l'air marin ; c'est pourquoi ces capteurs enregistrent régulièrement des pics de concentrations en ions chlorures non corrélables au passage du nuage de combustion. Ce phénomène est régulièrement observé à Kourou et à Sinnamary.</li> </ul>
<b>SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR :</b>  <b>RESEAU CODEX2, ANALYSEURS FIXES ET MOBILES, SHELTERS ENVIRONNEMENT</b>  Suivi en continu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En ce qui concerne les lanceurs Ariane 5 et VEGA, en 2021, les capteurs CODEX-2 ne détectent généralement pas d'acide chlorhydrique, même pour ceux en champ proche. Sur seulement deux lancements Ariane 5, des détections d'acide chlorhydrique à proximité immédiate du pas de tir (à moins de 1 kilomètre des zones de lancement) ont été faites, avec des teneurs mesurées qui décroissent rapidement jusqu'à atteindre 0 ppm quelques minutes après le décollage. A noter que un seul vol (VEGA V20) a présenté un écart significatif sur la direction des vents entre la prédiction (utilisée pour le plan de pose des capteurs) et le radiosondage effectué juste après le lancement.</li> <li>▪ Les analyseurs fixes, installés afin de suivre la qualité de l'air pendant les vols Soyouz, n'ont détecté aucune teneur imputable au lanceur lors des missions Soyouz. En effet, les plus fortes concentrations sont toujours observées en champ proche voire localisées sur le pas de tir. Ces dernières restent inférieures aux seuils réglementaires d'exposition ou très limitées dans le temps. Par ailleurs, aucune trace de produits hydrazinés ou dioxyde d'azote n'a été enregistrée, s'agissant de chronologies nominales.</li> </ul> <p>En conséquence, les mesures, n'ayant pas caractérisé un phénomène de dégradation de la qualité de l'air, ont démontré qu'aucun impact sur les personnes n'a été décelé en 2021.</p>

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p> <p>Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b></p> <p>Ed/Rev : 01/00 Classe : GP</p> <p>Date : <b>10/08/2022</b></p> <p>Page : <b>19/90</b></p>
--	---	--

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
<p><b>SUIVI CONTINU DE LA QUALITE DES EAUX DE SURFACE CRIQUE KAROUABO</b> (Uniquement pour Ariane 5 et Vega)</p>	<p>En 2021, des prélèvements d'eau ont été effectués par prélèvement automatique, pour VV19 et VV20. Les analyses n'ont pas mis en évidence de pollution des eaux liées au lancement.</p> <p>Lors des années précédentes, aucun impact n'a jamais été décelé par le préleveur automatique.</p>
<p><b>ANALYSE DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES SEDIMENTS</b></p>	<p>En 2021, comme les années précédentes, aucun impact des lancements n'est mis en évidence par les analyses, et cela quelle que soit la crique étudiée (Karouabo, Malmanoury, Paracou).</p>
<p><b>PEUPLEMENTS DE POISSONS</b></p> <p><b>« ICHTYOFAUNE »</b></p>	<p>L'absence de relation entre le poids des poissons et le taux d'aluminium dans les muscles, montre que ce composé n'est pas bioaccumulable (contrairement au mercure). Aussi, l'aluminium dans la chair des poissons ne semble pas devoir être un facteur d'inquiétude en termes d'écotoxicité.</p> <p>Aucune différence n'est à retenir entre les 3 criques, aussi la « contamination » d'aluminium n'est pas localisé mais généralisée. Elle n'est, par conséquent, pas attribuable aux activités de lancements Ariane 5, Vega ni Soyouz. Elle est tout simplement naturelle.</p>
<p><b>INVERTEBRES AQUATIQUES</b></p>	<p>La qualité biologique des criques est définie au moyen du Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais (SMEG) ; cet indicateur est calculé en fonction de la présence (ou de l'absence) de taxons bio indicateurs de la qualité ou au contraire, de pollution. Les résultats du suivi des invertébrés aquatiques en 2020 ne mettent pas en évidence d'évolutions notables par rapport aux années précédentes, avec une qualité des eaux classée moyenne à médiocre. Le SMEG classe les cours d'eau du CSG sous influence anthropique faible à moyenne selon les saisons. La diversité et l'abondance des peuplements d'invertébrés recensés ne traduit pas de perturbation attribuable aux lancements.</p>
<p><b>DIATOMÉES</b></p>	<p>Les diatomées benthiques sont des algues microscopiques, unicellulaires (algues brunes). Ces algues sont considérées comme un des bio-indicateurs des eaux courantes les plus pertinents, grâce notamment à leur sensibilité aux conditions du milieu et à la rapidité de leur cycle de développement, de quelques heures à quelques jours.</p> <p>L'indice diatomique IDGF (Indice Diatomique de Guyane Française), spécifiquement créé par l'INRAe (ex-Irstea) et HYDRECO pour la Guyane, accorde un Très Bon Etat Ecologique (TBE) pour les quatre criques, de même que l'IPS (l'Indice de Polluosensibilité Spécifique), en adéquation avec l'analyse floristique globale et l'évolution de la richesse spécifique et des paramètres structuraux..</p>

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>  Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>20/90</b>
---	--	---

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
<b>SUIVI DE LA VEGETATION</b> Analyse des pluviollessivats (Uniquement pour Ariane 5 et Vega)	<p>Les années précédentes ont démontré que l'on mesure des concentrations non négligeables à 450m de la zone de lancement. Mais à 1800m de la zone de lancement, on ne mesure plus aucune concentration significative. Si les retombées peuvent avoir un effet délétère sur la végétation, celui-ci est très localisé autour de la zone de lancement.</p> <p>En 2021, des capteurs de pluviollessivats ont été posés pour la campagne VV20.</p>
<b>SUIVI DES PEUPLEMENTS BOTANQUES D'INTERET MAJEUR</b>	<p>Le CSG est le siège du développement de nombreuses espèces endémiques des savanes ; il est le seul territoire du département à abriter les 3 espèces d'orchidées terrestres <i>Cyrtopodium</i>. L'espèce <i>Stachytarpheta angustifolia</i>, recensée sur l'Ensemble de Lancement Soyouz, est encore présente, dans le secteur du bâtiment d'assemblage du lanceur russe (MIK).</p> <p>L'étude en faveur des orchidées et des plantes rares de savanes, qui devait débuter en 2020, n'a toujours pas pu démarrer en 2021, car les consultations ont été infructueuses.</p>
<b>ABEILLES</b>	<p>Les abeilles constituent des bio- indicateurs fiables de la qualité de l'environnement principalement grâce à leur activité de butinage intense qui les met en contact avec un grand nombre de polluants dans un rayon qui varie généralement de 1,5 à 3 km autour de la ruche, en fonction de l'abondance de nourriture.</p> <p>Lors de la campagne de surveillance 2021 par les abeilles, ont été effectuées des analyses particulières, des analyses de biomarqueurs, un dosage des pesticides dans les cires, et un suivi de la bonne santé globale de la ruche et une comparaison effectuées avec les capteurs AtmoTrack.</p> <p>Les années précédentes montraient une bonne santé générale des abeilles et un impact limité des activités industrielles sur site. La campagne 2021 est dans la lignée des années précédentes. Le protocole d'analyses mis en place depuis 2020 va se poursuivre en 2022.</p>
<b>GRANDE FAUNE</b>	<p>La surveillance des effets sur l'environnement des activités industrielles comprend aussi des études sur la faune de la base spatiale.</p> <p>La deuxième phase de fructueuse collaboration entre l'OFB (Office Français de la Biodiversité) et le CNES, sur l'étude de la grande faune sur le Centre Spatial Guyanais, s'est déroulée sur une durée de 3 ans (2017-2019). Une troisième phase vient d'être mise en place et couvre la période 2020-2023.</p>

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev: 01/00 Classe: GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>21/90</b></p>
---	---	---

## **2. CATALOGUE 2021 DES FICHES SYNTHETIQUES POST-LANCEMENT**

Depuis 2017, le CNES/CSG service Environnement et Sauvegarde Sol, propose une « fiche synthétique post lancement » à l'issue de chaque campagne. Ces fiches, non techniques, ont pour objectif de présenter « sommairement » les principales mesures, et les résultats associés, réalisées à l'occasion de chaque évènement au CSG.

Cette démarche d'amélioration engagée par le CNES/CSG est marquée par une volonté d'accessibilité et de réactivité quant à la restitution des premiers résultats obtenus.

Cependant, du fait d'un manque de ressource au sein du service environnement, les fiches synthétiques associées aux lancements 2021 n'ont pu être réalisées.

### 3. LES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE 5 ET VEGA

#### 3.1. Objectifs des mesures

Les systèmes de lancement ARIANE 5 et VEGA sont quasiment identiques. En effet, les deux lanceurs utilisent un processus de propulsion solide au décollage. Le propergol de type *butalane* est une substance composée de perchlorate d'ammonium et d'aluminium ; un liant est ajouté afin de consolider le tout.

Lors du décollage d'ARIANE 5 et de VEGA, le propergol contenu respectivement dans les **2 EAP** et le **P80** se consume et participe à l'ascension du véhicule spatial. Un déluge d'eau, visant à limiter la propagation des bruits et des vibrations sur le lanceur et son pas de tir, est déclenché et engendre la formation d'un nuage de combustion (uniquement sur ARIANE 5) dont l'équation de réaction chimique est la suivante :



Les produits de combustion sont générés tout au long des 60 km, pendant lesquels vont fonctionner les deux propulseurs d'Ariane 5 (le temps de combustion des 2 EAP est de 130 secondes). Le nuage de combustion formé dans les basses couches atmosphériques est donc issu d'une partie du panache du lanceur. Composé de gaz très chaud, le nuage s'élève rapidement et tend à se stabiliser autour de 1500 mètres d'altitude. Au bout de quelques heures, ce dernier se disperse dans les couches atmosphériques et seule une fraction retourne au sol ; cette fraction est désignée comme « retombée chimique et particulaire ».

Le plan de mesures environnement permet donc de **quantifier** et de **surveiller** les retombées des produits majoritaires qui ne sont pas naturellement présent dans l'air, c'est-à-dire l'**alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)** et l'**acide chlorhydrique (HCl)** issues :

- du 1<sup>er</sup> étage d'Ariane c'est-à-dire **2 EAP** constitués de 240 tonnes de propergol solide chacun, soit un total de 480 tonnes ; on estime 80 tonnes d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et 50 tonnes l'acide chlorhydrique (HCl)
- du 1<sup>er</sup> étage de VEGA c'est-à-dire **1 P80** constitué de 88 tonnes de propergol solide ; on estime que les émissions de VEGA sont 5,5 fois inférieures à celle d'Ariane 5

Pour rappel, les domaines couverts par les plans de mesures Ariane 5 et VEGA **[DR01]** et **[DR04]** sont les suivants :

- **Mesurer**, en temps réel et en différents lieux (villes de Kourou et de Sinnamary ainsi que le Centre Technique du CSG), les **concentrations atmosphériques en acide chlorhydrique**, par l'intermédiaire d'analyseurs de type SPM (Honeywell) ; ces derniers constituant le réseau CODEX-2.

Pour mémoire, le réseau CODEX-2 permet également de suivre les concentrations atmosphériques en dioxyde d'azote et en produits hydrazinés en cas de fonctionnement dégradé du lanceur.

- **Mesurer** les concentrations en champs proche, moyen et lointain, des **retombées chimiques particulaires en alumine et en acide chlorhydrique** ainsi que les **retombées chimiques gazeuses en acide chlorhydrique**.

Cette démarche permet également de réaliser une corrélation avec les résultats trouvés avec un logiciel de modélisation nommé « **Stratified Atmosphere Release of Rockets Impact Model** » (SARRIM).

<p style="text-align: center;"><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES Ed/Rev: 01/00 Classe: GP Date : 10/08/2022 Page : 23/90</p>
---	---	--

### **3.2. SARRIM, l'outil de modélisation de la dispersion atmosphérique des retombées chimiques et gazeuses**

Le CNES a développé le code de calcul nommé « Stratified Atmosphere Release of Rockets Impact Model » (SARRIM) avec la société ARIA Technologies (spécialiste de la dispersion atmosphérique). Ce logiciel permet de modéliser les retombées gazeuses et particulaires au sol liées à la combustion de propergol solide ou encore d'une explosion d'un lanceur (Ariane 5 et Vega).

Les données d'entrée pour les simulations SARRIM sont les suivantes :

- Les caractéristiques du propergol contenu dans les EAP, le P80
- Les caractéristiques du lanceur,
- La position géographique de la zone de lancement (latitude, longitude),
- Les données météorologiques recueillies à l'aide des données prévisionnelles ARPEGE (ou CEP) pour le J0 à H0.

Avec plus de 20 ans de retour d'expérience sur l'utilisation de ce modèle pour des lancements Ariane 5, il a été mis en évidence que **SARRIM** :

- surestime les concentrations en produit de combustion (par comparaison avec les données mesurées sur le terrain par les capteurs environnementaux). En effet, l'analyse comparative des résultats obtenus par la simulation SARRIM post ARTA 5 et des concentrations mesurées dans les bacs à eau, révèle un rapport approximatif de 400. La réflexion sur la surestimation de SARRIM se poursuit pour affiner le rapport entre ces deux systèmes de mesure.
- est très fiable dans l'estimation de la direction réellement prise par le nuage de combustion.

Par conséquent, les simulations qui seront réalisées par la suite ont pour unique objectif de visualiser la direction prise par le nuage combustion.

On précise enfin que la qualité des images modélisées et des informations dites « visibles » varie de façon aléatoire.

### **3.3. Les conditions météorologiques**

La localisation du nuage de combustion d'un décollage d'Ariane 5, ou bien de VEGA, peut varier à chaque événement. Cette localisation ne peut être connue à l'avance du fait de la spécificité de la climatologie locale.

Afin d'optimiser l'emplacement des capteurs sur la trajectoire la plus probable du nuage, un radiosondage (réalisé au plus proche du H0) ainsi qu'une prévision météorologique (réalisée pour une échéance proche du H0) ont été utilisés.

Au moyen de SARRIM, des modélisations des conditions météorologiques du jour du lancement ont été effectuées telles que :

- Les résultats de simulation obtenus à partir des données météorologiques prévisionnelles (CEP ou ARPEGE) ont permis de choisir l'option de pose des capteurs,
- Les résultats de simulation obtenus à partir du radiosondage effectué en chronologie positive (hauteur de stabilisation, déplacement du nuage, etc.) pourront être corrélés aux valeurs de terrain (présentées aux **paragraphes 3.5 et 4.5** du présent document).

La comparaison des résultats issus de ces deux modélisations permet d'apprécier l'efficacité du modèle et d'attester sa cohérence avec la réalité du terrain.

### 3.4. Suivi des retombées chimiques gazeuses et particulaires en champ proche, moyen et lointain

#### 3.4.1. Objectif des mesures

Les mesures des retombées chimiques gazeuses et particulaires ont pour objectif d'évaluer les retombées issues de la combustion des EAP au décollage du lanceur Ariane 5.

Pour cela, le dispositif mis en œuvre a pour but de piéger les retombées sédimentables dans un volume d'eau distillée de 500 ml.

L'ensemble du dispositif repose sur le déploiement d'une quarantaine de pièges à eau disposés sur un trépied à 1,50 mètre de hauteur (conformément à la norme AFNOR NF X 43-006).



Figure 3 : Dépose d'un bac à eau avec son flacon d'échantillonnage

Après le lancement, les pièges à eau récupérés, sont conditionnés puis adressés à l'**Institut Pasteur de Guyane** pour la détermination des paramètres suivants :

Figure 2 : Bac à eau sur son trépied métallique et SPM Honeywell sur le chemin de ronde AR5 Service OPTIQUE VIDEO CNES



**Tableau 2 : Ensemble des paramètres de mesures dans les bacs à eau**

Paramètres mesurés	Unités
pH	unité pH
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$
Concentration en ion chlorure	$\text{mg/m}^2$
Concentration en aluminium (particulaire, dissous et totale)	$\text{mg/m}^2$

Un rappel sur les limites réglementaires de toxicité des principaux produits émis par les lancements d'Ariane 5 et de VEGA est disponible à l'**Annexe 2** du présent document.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev: 01/00 Classe: GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>25/90</b>

### 3.4.2. Localisation des points de mesures

La localisation des points de mesures et leur distance par rapport à la ZL3 et/ou ZLVega sont présentées à l'**Annexe 3** du présent document.

**Tableau 3 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure**

EMPLACEMENT		DISTANCE ZL3 / ZLVEGA (m)	SPM HONEYWELL
<b>A I R</b>	CPX	10 sites en champ proche (CP) 35 sites en champ lointain (CL)	Confer l' <i>Annexe 3</i>
	CLX		
DETAILS DE L'INSTRUMENTATION			
<u>Champ Proche</u>		<u>Champ Lointain</u>	
10 bacs à eau		35 bacs à eau	
2 Single Point Monitor HONEYWELL		6 Single Point Monitor HONEYWELL	

Le détail des instruments mis en place est présenté à l'**Annexe 3**.

On distingue au sein du réseau de capteurs, le réseau de capteurs dits « fixes » qui constituent le système de Collecte des Données Environnement eXtérieures du CSG (CODEX-2), du réseau de capteurs dits « mobiles » correspondant aux bacs à eau et à un ensemble de 6 capteurs disposés sur site.

Le positionnement de ces instruments est posé en accord avec l'orientation pressentie par la modélisation issue du logiciel SARRIM [DR05]. Il dépend également de l'accessibilité aux différentes zones. Seront ainsi privilégiées les zones dites « ouvertes » accessible par voie routière (Route Nationale n°1, Route de l'espace, Piste Agami etc.).

Au total, cette partie du plan de mesures environnement pour les lancements Ariane 5 et VEGA représente cinquante capteurs, répartis selon les équipements suivants :

- **45** bacs à eau (chaque bac reposant à 1,5 m de hauteur sur un trépied),
  - **8** SPM-Honeywell mobiles (HCl en continu),
  - **8** SPM-Honeywell fixes, chacun comprenant :
    - 1 SPM pour HCl
    - 1 SPM pour les produits hydrazinés
    - 1 SPM pour le N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / NO<sub>2</sub>
- } Soit **24** analyseurs fixes

Les échantillons, recueillis dans les bacs à eau, sont remis à l'**Institut Pasteur de Guyane** pour analyse.

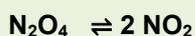
### 3.5. Mesures en continu des retombées chimiques gazeuses en acide chlorhydrique

#### 3.5.1. Objectif des mesures

Ces mesures ont pour objectif de suivre en temps réel les concentrations en acide chlorhydrique. La mise en place de ce réseau de détection est une obligation de l'Arrêté d'autorisation d'Exploiter de l'ELA3. Cette obligation est reprise dans l'Arrêté d'autorisation d'Exploiter de l'ELVega. Ces mesures ont été effectuées par les capteurs du système CODEX, depuis les années 1990, puis par le système CODEX-2, qualifié en novembre 2020.

A noter que les appareils du réseau de capteurs dits « fixes » permettent aussi la quantification des teneurs en **produits hydrazinés** ainsi que les teneurs en **peroxyde et dioxyde d'azote** (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / NO<sub>2</sub>) pour les lancements Ariane 5, Vega et Soyouz **en cas d'accident du lanceur** en vol.

En effet, sous les conditions normales de température et de pression, et en vertu de l'équilibre entre peroxyde d'azote N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> et dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>, les deux espèces sont toujours présentes simultanément tel que :



#### 3.5.2. Localisation des points de mesure

Les détecteurs de type SPM (Single Point Monitor de type « Honeywell ») du réseau de capteurs dits « fixes » sont implantés sur les lieux suivants :

**Tableau 4 : Localisation des analyseurs fixes du réseau CODEX-2**

<u>COMMUNES RIVERAINES</u>			
<u>KOUROU</u>		<u>SINNAMARY</u>	
Hôtel des Roches :	Local annexe du club de bridge	Gendarmerie :	Abri en bois
Centre Hospitalier de Kourou :	Enceinte du CHK		
Vieux-Bourg :	Embarcadère des îles (cabanon en bois),		
Plage de la Cocoteraie :	Station météo Isabelle (cabanon en bois).		
<u>AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</u>			
Centre Technique :	Annexe au bâtiment électromécanique		
Sites d'observation :	AGAMI :	Mobile-home	
	TOUCAN :	Cabanon en bois	

Les gammes de mesure des analyseurs du système CODEX-2 « fixe » sont les suivantes :

**Tableau 5 : Gammes de mesure des paramètres des analyseurs du système CODEX-2 « fixe »**

Nom	Produits	Gamme de mesure	Seuil olfactif
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Produits hydrazinés	1 à 6 ppm	1,7 ppm
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Peroxyde d'azote	1 à 45 ppm	0,2 ppm
HCl	Acide chlorhydrique	2 à 15 ppm	0,77 ppm

Le système CODEX-2 comporte 10 stations mobiles. Vu le nombre, il n'est pas nécessaire d'optimiser leur localisation en fonction des conditions de vent du jour.

Les seuils de détections des analyseurs du système CODEX-2 « mobile » sont les suivantes :

**Tableau 6 : Seuils de détections des analyseurs du système CODEX-2 « mobile »**

<b>Nom</b>	<b>Produits</b>	<b>Seuil de détection en Champ Proche</b>	<b>Seuil de détection en Champ Lointain</b>
HCl	Acide chlorhydrique	2 à 15 ppm	28 à 1200 ppb

La retransmission des données en temps réel se fait à l'aide de balises par voie hertzienne et filaire vers un poste informatique au Bureau de Coordination Sauvegarde (BCS).

## 4. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LES CAMPAGNES ARIANE 5

En 2021, le CSG a opéré trois lancements Ariane 5 :

❖	VA254	le 30/07/2021	à 18H (heure locale)
❖	VA255	le 23/10/2021	à 23H10
❖	VA256	le 25/12/2021	à 9H20

Des plans de mesures environnement ont été réalisés pour chacun de ces lancements, conformément aux prescriptions de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter l'Ensemble de Lancement Ariane numéro 3 (ELA3) [DA01].

Les principaux résultats et conclusions des plans de mesures [DR08, DR10 et DR12] seront présentés dans ce document.

Cela comprend :

- la direction du nuage de combustion,
- la comparaison entre les différentes simulations des retombées atmosphériques,
- les résultats des mesures en continu de la qualité de l'air,
- les résultats des mesures des retombées chimiques particulières et gazeuses au sol,
- les mesures de l'impact des retombées chimiques sur la végétation : analyse des eaux des premières pluies sous le couvert végétal (pluiolessivats).

### **4.1. Localisation des zones de passage du nuage de combustion**

#### 4.1.1. Au moyen des résultats issus du logiciel ARPEGE / CEP

Afin d'optimiser l'emplacement des capteurs en champ lointain, des simulations SARRIM ont été effectuées avec les données prévisionnelles issues du logiciel ARPEGE (ou CEP) pour le J0 à H0.

Pour rappel, ARPEGE et CEP sont des modèles prévisionnels de profils thermodynamiques (programmes informatiques). Ils modélisent l'évolution de l'atmosphère avec un maillage (spatial et temporel) donné. Les résultats fournis par ces modèles permettent de prévoir le temps (conditions météorologiques) qu'il devrait faire pour les heures, jours ou semaines qui viennent.

Une étude comparative des directions des nuages de combustion a été réalisée sur l'ensemble des campagnes des années 2008 à 2021. Un tableau récapitulatif est présenté en [Annexe 5](#) du présent document.

Pour l'ensemble des lancements réalisés en 2021, l'analyse des simulations a montré un écart maximal de 14°, ne remettant pas en cause l'option de pose choisie pour les bacs à eau.



Figure 4 : Cartographie du CSG (Carte IGN, Géoportail ©)

**Tableau 7: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des prévisions CEP/ARPEGE**

VOL	DIRECTION BASSES COUCHES		OPTION DE POSE RETENUE
	(°)	VERS...	
VA254	52	Bec Fin	A « AGAMI »
VA255	92	Entre Agami et Diane	B « Route de l'Espace »
VA256	65,3	Mont Venus	A « AGAMI »

**Tableau 8 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine**

Vol	Concentration Maximale CEP/ARPEGE	
	HCl (ppm)	Alumine (mg/m <sup>3</sup> )
VA254	1,8	11,6
VA255	1,9	10,6
VA256	2,0	10,8

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf :	CSG-RP-SPX-22041-CNES
		Ed/Rev:	01/00 Classe: GP
		Date :	10/08/2022
		Page :	30/90

Les concentrations en acide chlorhydrique restent en dessous de la VLE (Valeur Limite d'Exposition égale à 5 ppm) sur l'ensemble des vols. Pour l'alumine, les résultats de la simulation indiquent des concentrations comparables à la VME (Valeur Moyenne d'Exposition égale à 10 mg/m<sup>3</sup>). A noter que cette simulation est majorante.

Sachant que l'exposition ne dure que quelques minutes et reste localisée à l'intérieur de l'emprise du CSG (zone évacuée à cet instant), les valeurs en alumine sont à relativiser.

#### 4.1.2. Au moyen des radiosondages en chronologie positive

La zone réelle de passage du nuage de combustion dépend des conditions météorologiques de chacun des lancements.

Le jour des lancements ARIANE 5 et VEGA, à H0 +/- 25 minutes, un radiosondage spécifique est effectué ; on parle d'un radiosondage en chronologie positive (RS CP). Ce dernier donne des informations sur 325 couches séparées de 100 mètres en altitude.

Au moyen des données météorologiques du dernier radiosondage (RS CP), l'outil de modélisation SARRIM génère des simulations permettant d'apprécier l'impact réel des retombées du nuage de combustion. La modélisation SARRIM détermine la hauteur à laquelle le nuage de combustion se stabilise ainsi que la direction et la vitesse qu'il prend dans les basses couches de l'atmosphère.

[L'Annexe 5](#) présente les directions issues des modélisations de la trace du nuage de combustion des EAP au sol réalisées pour chaque lancement au moyen du code de calcul SARRIM.

Elles permettent de déterminer les zones où les retombées chimiques sont maximales (concentrations maximales calculées en champ lointain pour le gaz chlorhydrique et l'alumine).

Les directions des vents ainsi que les concentrations maximales issues des simulations SARRIM sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 9: Tableau récapitulatif des directions et vitesses des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages**

VOL	2021		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	HCl (ppm)	Alumine (mg/m <sup>3</sup> )
VA254	30	Juillet	66	Entre Bec Fin et Agami	1,1	4,4
VA255	23	Octobre	106,4	Diane	2,4	10,8
VA256	25	Décembre	74,5	Agami	2,1	9,7

Il est important de noter que les concentrations en **acide chlorhydrique** restent en dessous de la VLE (Valeur Limite d'Exposition) de 5 ppm pour l'acide chlorhydrique, et a fortiori en-dessous de la SEI (Seuil des Effets Irréversibles) de 30 ppm pour 30 min.

Pour l'**alumine**, la VME (Valeur Moyenne d'Exposition) est de 10 mg/m<sup>3</sup> : les concentrations calculées sont inférieures ou très proches dans tous les cas.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES
		Ed/Rev: 01/00 Classe: GP
		Date : 10/08/2022
		Page : 31/90

#### 4.2. Comparaison des résultats des simulations réalisées à partir du radiosondage et des données CEP/ARPEGE

Le choix de l'emplacement des capteurs en champ lointain, c'est-à-dire le choix de l'option de pose, a été effectué au J0 au moyen de la modélisation SARRIM issues des données de la prévision météorologique du H0 (**4.1 Localisation des zones de passage du nuage de combustion**).

Pour rappel, selon les vols les capteurs ont été implantés suivant la situation présentée à l'**Annexe 3**.

Afin de s'assurer de la bonne implantation des capteurs pour ce plan de mesures, on réalise une analyse comparative des données simulées. Nous considérons que les résultats du RS CP constituent notre référence puisqu'ils correspondent à la réalité météorologique au moment de l'évènement.

Le tableau 9, ci-après, recense les résultats des prévisions météorologiques et des radiosondages en chronologie positive pour chaque lancement Ariane 5.

**Tableau 10 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour Ariane 5 en 2021**

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
<b>A254</b>		<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 1C300721.TXT DU 30/07/21 À 21H00 TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP REFERENCE 4R300721.TXT DU 30/07/21 À 21H16 TU</b>
<b>A254</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1154	1366
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	52	66
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	1,8	1,1
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	11,6	4,4
<b>A255</b>		<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 1C241021.TXT DU 24/10/21 À 0H00 TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP 1R241021.TXT DU 24/10/21 À 2H31 TU</b>
<b>A255</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	967	823,8
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	92	106,4
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	1,9	2,4
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	10,6	10,8
<b>A256</b>		<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 1C251221.TXT DU 25/12/21 À 12H00 TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP 4R251121.TXT DU 25/12/21 À 12H53 TU</b>
<b>A256</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	942,9	1010
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	65,3	74,5
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	2	2,1
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	10,8	9,7

#### **4.3. Conclusions sur les modélisations de l'outil SARRIM**

Les comparaisons entre la direction réellement prise par le nuage de combustion et celle modélisée (au moyen des données de CEP ou ARPEGE) ont montré un écart moyen inférieur à 14° pour tous les vols, ne remettant pas en cause l'option de pose choisie pour les bacs à eau.

Concernant les concentrations calculées par SARRIM, il convient de noter que les comparaisons aux résultats de mesures mettent en exergue une très large surestimation. Les calculs réalisés à partir du modèle prévisionnel CEP et des radiosondages sont par conséquent majorants.

De plus, dans la majorité des cas, les concentrations calculées à partir des données des radiosondages sont inférieures à celles calculées sur la base des données météorologiques prévisionnelles.

**Malgré les écarts observés entre les valeurs de concentration et de direction sur les deux modélisations, les capteurs environnement ont correctement été implantés au cours de l'année 2021. Ces derniers ont été soumis aux retombées provenant du nuage de combustion du lanceur Ariane 5.**

#### **4.4. Résultats des mesures en continu des retombées chimiques en acide chlorhydrique**

Sur l'ensemble des systèmes détecteurs du réseau de **Collecte de Données Environnement eXtérieur** du CSG (**CODEX-2**), composé depuis fin 2020 de 24 systèmes CODEX-2 détecteurs fixes répartis sur 8 sites, et de dix systèmes CODEX-2 mobiles.

Les SPM mobiles placés en champ proche et lointain permettent de suivre en continu les concentrations en retombées chimiques et gazeuse d'acide chlorhydrique.



Figure 5 : SPM mobile installé en champ proche

En 2021, des détections ponctuelles (>20ppm) ont été faites à l'occasion des lancements V255 et V256. Ces détections ont eu lieu en champ proche par les appareils mobiles situés à moins de 1km de la ZL3 dans l'axe des carneaux, et les teneurs mesurées **décroissent rapidement jusqu'à atteindre 0 ppm quelques minutes après le décollage du lanceur**

L'absence de situation dégradée au cours des lancements ARIANE 5 de 2021 a permis d'éviter toute détection en dioxyde d'azote ou en produits hydrazinés.

**Les mesures en continu d'acide chlorhydrique n'ont montré aucun impact sur l'environnement et les personnes, suite aux décollages du lanceur Ariane 5 en 2021.**

#### 4.5. Résultats des mesures de retombées chimiques gazeuses et particulaires en champs proche, moyen et lointain

Le présent document ne rappelle pas tous les résultats bruts ; ceux-ci sont disponibles dans les rapports des résultats des plans de mesures individuels [DR07 à 12].

Seuls les principaux résultats sont synthétisés au *paragraphe 4.5.1* du présent document.

Durant le temps d'exposition des bacs à eau, des événements pluvieux ont parfois été enregistrés sur le territoire du CSG. Les épisodes de pluies ont été enregistrés pour les vols suivants :

- VA254 : pas de précipitation
- VA255 : pas de précipitation
- VA256 : 0,8 mm

Néanmoins depuis 2018, à la demande des inspecteurs de la DGTM, et en concertation avec l'Institut Pasteur de Guyane, le volume d'eau introduit dans les bacs à eau a été ajusté en fonction de la saison et de la pluviométrie associée ; soit un volume de 250mL en saison des pluies et 500mL en saison sèche. De fait, aucun bac n'a débordé.

##### 4.5.1. Analyse des retombées en aluminium particulaire sédimentable

Le tableau ci-après présente les valeurs maximales mesurées pour le paramètre **aluminium particulaire sédimentable**, en champ proche et en champ lointain, lors de chaque lancement ARIANE 5 de l'année 2021.

**Tableau 11 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain**

	Vol	A254	A255	A256
<b>CHAMP PROCHE</b>	<b>C<sub>max</sub> (mg/m<sup>3</sup>)</b>	802,342	1226,228	11,187
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	362	362	277
	<b>Localisation</b>	<b>CP01</b> Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 49 et 50	<b>CP01</b> Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 49 et 50	<b>CP03</b> Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 49
<b>CHAMP LOINTAIN</b>	<b>C<sub>max</sub> (mg/m<sup>3</sup>)</b>	< seuil de détection	2,356	1,150
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	-	16228	2640
	<b>Localisation</b>	-	<b>CL26</b> Sur RN1 direction SINNAMARY 14 Km après carrefour piste Agami soit PK 99,1 de la RN1	<b>CL12</b> PK17,7 depuis Changement sur RTE ESPACE direction ELA (Embranchement Ancienne RN1)

#### Remarques :

- Les concentrations en aluminium particulaire les plus importantes en **champ proche**, ont été quantifiées sur le chemin de ronde, jusqu'à une distance d'environ 1080 mètres.
- En **champ lointain**, les concentrations en alumine particulaire sont faibles. La localisation du maximum atteint en champ lointain n'est pas forcément imputable au passage du nuage, celui-ci étant sous le vent du jour (confer le *Tableau 9*). L'environnement Guyanais étant particulièrement riche en alumine, celui-ci se retrouve parfois dans les concentrations mesurées dans les collecteurs. On retiendra dans tous les cas que les valeurs mesurées *hors* CSG sont assimilables au bruit de fond naturel.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev: 01/00 Classe: GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>34/90</b>

#### 4.5.2. Analyse des retombées chimiques d'acide chlorhydrique

Le tableau ci-après présente les valeurs maximales mesurées pour le paramètre **acide chlorhydrique** (concentration en ions chlorure), en champ proche et en champ lointain, lors de chaque lancement ARIANE 5 de l'année 2021.

**Tableau 12 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain**

	Vol	A254	A255	A256
<b>CHAMP PROCHE</b>	<b>C<sub>max</sub> (mg/m<sup>2</sup>)</b>	1122,960	8053,879	3046,964
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	362	362	277
	<b>Localisation</b>	<b>CP01</b> Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 49 et 50	<b>CP01</b> Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 49 et 50	<b>CP03</b> Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 49
<b>CHAMP LOINTAIN</b>	<b>C<sub>max</sub> (mg/m<sup>2</sup>)</b>	42,793	332,098	271,667
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	6154	4359	7464
	<b>Localisation</b>	<b>CL17</b> Piste Agami - PK4 après portail	<b>CL15</b> Diane	<b>CL18</b> Site Agami

**Remarques :**

- En champ proche, les concentrations maximales des retombées chimiques et particulaires en ions chlorures sont localisées sur le chemin de ronde de la zone de lancement, aux points CP01 et CP03 (correspondant à des zones adjacentes).
- En champ lointain, comme pour l'alumine, les concentrations en chlorures les plus importantes sont obtenues pour des sites variables qui dépendent des conditions météorologiques. Le maximum mesuré en champ lointain est réalisé pour le vol A255, sur le site Diane. Ce secteur, situé à une distance de 4,3km de la zone de lancement, est au cœur du CSG et a effectivement été couvert par le nuage de combustion, mais les concentrations mesurées restent peu élevées.

#### 4.5.3. Conclusions sur les retombées chimiques gazeuses et particulaires

Les mesures mettent en évidence qu'une forte proportion d'acide chlorhydrique et d'alumine retombe sur le chemin de ronde de la zone de lancement Ariane 5 (ZL3) soit jusqu'à une distance d'environ 400 mètres.

En champ lointain, les concentrations restent faibles ou négligeables.

Les valeurs de potentiel Hydrogène (pH) et de conductivité sont représentatives des concentrations en acide chlorhydrique et en alumine mesurées ; c'est-à-dire que plus la concentration en ion chlorure est importante, plus le potentiel Hydrogène diminue et plus la conductivité augmente. Les résultats attestent du passage du nuage de combustion au-dessus des bacs, selon les conditions météorologiques au moment du lancement.

A l'occasion de chaque lancement, la hauteur pluviométrique est également mesurée. Les épisodes pluvieux contribuent à un apport naturel de produits présents dans l'air guyanais tels que l'acide chlorhydrique et alumine. Seuls des épisodes pluvieux très faibles ont été enregistrés durant le temps d'exposition des capteurs, et aucun débordement n'a eu lieu.

***4.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement des  
lancements Ariane 5 en 2021***

Les mesures réalisées pour les vols Ariane 251 à 253 n'ont pas montré de particularités par rapport aux années précédentes. En effet, les plus fortes concentrations sont toujours observées en champ proche (dans un périmètre maximal de 500 mètres autour de la ZL3).

Au-delà, les concentrations sont faibles voire inférieures aux seuils de quantification.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES
		Ed/Rev: 01/00 Classe: GP
		Date : 10/08/2022
		Page : 36/90

## 5. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LA CAMPAGNE VEGA

En 2021, le CSG a opéré trois lancements Vega (en heure locale) :

❖ Vol V18	le 28/04/2021	à 22H50
❖ Vol V19	le 16/08/2021	à 22H47
❖ Vol V20	le 16/11/2021	à 6H27

Des plans de mesures environnement ont été réalisés pour ces lancements, conformément aux prescriptions de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter l'Ensemble de Lancement Vega (ELVega) [DA 03].

Les principaux résultats et conclusions des plans de mesures [DR07, DR09 et DR11] seront présentés dans ce document.

### 5.1. Localisation des zones de passage du nuage de combustion

La zone de passage du nuage de combustion dépend des conditions météorologiques de chaque lancement. Des simulations, basées sur les données issues des modèles prévisionnels CEP/ARPEGE et les radiosondages, sont réalisées au moyen du code de calcul SARRIM. Elles permettent de déterminer les zones « lointaines » où les retombées chimiques et particulaires sont maximales.

#### 5.1.1. Au moyen des résultats issus du logiciel ARPEGE / CEP

Afin d'optimiser l'emplacement des capteurs en champ lointain, des simulations SARRIM ont été effectuées avec les données prévisionnelles issues du logiciel ARPEGE (ou CEP) pour le J0 à H0.

Pour rappel, ARPEGE et CEP sont des modèles prévisionnels de profils thermodynamiques (programmes informatiques). Ils modélisent l'évolution de l'atmosphère avec un maillage (spatial et temporel) donné. Les résultats fournis par ces modèles permettent de prévoir le temps (conditions météorologiques) qu'il devrait faire pour les heures, jours ou semaines qui viennent.

Le tableau suivant indique la direction prise par les vents et l'option de pose retenue pour chacun des vols.

**Tableau 13: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE**

VOL	DIRECTION BASSES COUCHES		OPTION DE POSE RETENUE
	(°)	VERS...	
V18	80	Agami	A « AGAMI »
V19	93	Entre Agami et Diane	A « AGAMI »
V20	65,2	Venus	A « AGAMI »

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES
		Ed/Rev: 01/00 Classe: GP
		Date : 10/08/2022
		Page : 37/90

Les concentrations maximales atteintes par la simulation SARRIM des données prévisionnelles sont présentées dans le tableau ci-après.

**Tableau 14 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine**

Vol	Concentration Maximale CEP/ARPEGE	
	HCl (ppm)	Alumine (mg/m <sup>3</sup> )
V18	2,4	11,5
V19	2,6	11,4
V20	3,0	15,6

Les concentrations en acide chlorhydrique restent en dessous de la VLE (Valeur Limite d'Exposition égale à 5 ppm) sur l'ensemble des vols. Pour l'alumine, les résultats de la simulation indiquent des concentrations comparables à la VME (Valeur Moyenne d'Exposition égale à 10 mg/m<sup>3</sup>). A noter que cette simulation est majorante.

#### 5.1.2. Au moyen du radiosondage en chronologie positive

Le jour du lancement VEGA, à H0 +/- 25 minutes, un radiosondage spécifique est effectué ; on parle d'un radiosondage en chronologie positive (RS CP). Ce dernier donne des informations sur trois cent vingt-cinq couches distinctes, espacées de cent mètres en altitude.

L'outil de modélisation SARRIM génère, à partir du RS CP, des simulations permettant d'apprécier l'impact réel des retombées du nuage de combustion. Il est ainsi possible de déterminer les zones où les retombées chimiques sont maximales en champ proche et en champ lointain.

La modélisation SARRIM détermine la hauteur à laquelle le nuage de combustion se stabilise ainsi que la direction et la vitesse qu'il prend dans les basses couches de l'atmosphère.

Le tableau présenté ci-dessous rappellent les résultats obtenus pour les conditions météorologiques du H0. Il récapitule la direction des vents en basses couches ainsi que les concentrations maximales.

**Tableau 15: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages.**

VOL	2021		DIRECTION DE PROVENANCE DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	HCl (ppm)	Alumine (mg/m <sup>3</sup> )
V18	28	avril	76	Agami	0,4	2,1
V19	16	Août	80	Agami	1,6	8,9
V20	16	Novembre	116,7	Diane	3,3	10,9

Les concentrations en acide chlorhydrique restent en dessous de la VLE (Valeur Limite d'Exposition égale à 5 ppm) sur l'ensemble des vols. Pour l'alumine, les concentrations calculées sur tous les vols sont inférieures ou égales à la VME (Valeur Moyenne d'Exposition égale à 10 mg/m<sup>3</sup>).

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES
		Ed/Rev: 01/00 Classe: GP
		Date : 10/08/2022
		Page : 38/90

### 5.2. Comparaison des résultats des simulations réalisées à partir du radiosondage et des données CEP/ARPEGE.

L'optimisation de l'emplacement des capteurs en champ lointain a été réalisée au moyen de la simulation SARRIM issues des données prévisionnelles.

Par comparaison avec la simulation réalisée à H0 + 25 minutes, seul V20 présente un écart significatif entre la direction des retombées calculée par CEP et celle issues du radiosondage le plus proche du H0. Cependant, des mesures des retombées ont tout de même pu être effectuées comme indiqué au [paragraphe 5.5](#). Pour les autres vols, il n'y a pas d'écart significatif sur la direction moyenne des vents, ce qui ne remet pas en cause le choix de l'option de pose. Les capteurs ont donc été exposés aux retombées provenant du nuage de combustion de VEGA.

**Tableau 16 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour VEGA en 2021**

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
<b>V18</b>		<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 1C290421.TXT DU 29/04/21 À 03H00 TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP 2R290421.TXT DU 29/04/21 À 02H18 TU</b>
<b>V18</b>	<b>HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)</b>	<b>576</b>	<b>813</b>
	<b>BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)</b>		
	- Direction moyenne des vents (°)	80	76
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	<b>2,4</b>	<b>0,4</b>
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	<b>11,5</b>	<b>2,1</b>
<b>V19</b>		<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 1C170821.TXT DU 17/08/21 À 03H00 TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP RÉFÉRENCE 1R170821.TXT DU 17/08/21 À 02H10 TU</b>
<b>V19</b>	<b>HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)</b>	<b>640</b>	<b>624</b>
	<b>BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)</b>		
	- Direction moyenne des vents (°)	93	80
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	<b>2,6</b>	<b>1,6</b>
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	<b>11,4</b>	<b>8,9</b>
<b>V20</b>		<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 1C161121.TXT DU 16/11/21 À 09H00 TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP 3R161121.TXT DU 16/11/21 À 09H57 TU</b>
<b>V20</b>	<b>HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)</b>	<b>580,8</b>	<b>452,5</b>
	<b>BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)</b>		
	- Direction moyenne des vents (°)	65	116
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	<b>3,0</b>	<b>3,3</b>
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	<b>15,6</b>	<b>10,9</b>

### 5.3. Conclusions sur les modélisations de l'outil SARRIM

La comparaison entre la direction réellement prise par le nuage de combustion (RS CP) et celle modélisée (au moyen des données de CEP) a montré un écart maximal de 51°.

Concernant les concentrations calculées par SARRIM, les comparaisons aux résultats de mesures mettent en exergue une surestimation certaine. Les modélisations sont par conséquent jugées **majorantes**, et l'optimisation du positionnement des capteurs du PME est jugée **efficace et pertinente**.

**Malgré les écarts observés entre les valeurs de concentration et de direction sur les deux modélisations, les capteurs environnement ont correctement été implantés pour les deux premières missions du lanceur VEGA en 2021. Ces derniers ont été soumis aux retombées provenant du nuage de combustion de VEGA.**

**Pour le dernier vol de l'année 2021, malgré l'écart de direction sur les deux modélisations, le nombre important de capteurs déployés permet de pallier à ce changement non anticipé.**

### 5.4. Résultats des mesures en continu des retombées chimiques en acide chlorhydrique

Le tableau suivant présente une synthèse des résultats des mesures en continu de la pollution gazeuse en acide chlorhydrique (détections d'acide chlorhydrique des analyseurs mobiles).

La mise en place de ce réseau de détection est une obligation de l'Arrêté d'Exploiter l'ELVega

**Tableau 17: Tableau récapitulatif des détections d'acide chlorhydrique par les Honeywell pour l'année 2021**

VOL	SPM Honeywell CP3	SPM Honeywell CP5	SPM Honeywell CL7/9
<b>Localisation</b>	Chemin de ronde ZL3 – Intersection Zones 46 et 45	Chemin de ronde ZL3 – Intersection Zones 45 et 44	Pont Karouabo / Piste Agami
<b>V18</b>	ND	ND	ND
<b>V19</b>	ND	ND	ND
<b>V20</b>	ND	ND	ND

ND : Non détecté

Aucune détection n'a été effectuée, quel que soit le SPM, qu'il soit installé en champ proche ou en champ lointain.

### 5.5. Résultats des mesures de retombées chimiques gazeuses et particulaires en champs proche, moyen et lointain

Les capteurs environnement ou « bacs à eau », implantés selon la situation AGAMI, ont permis de recueillir les retombées chimiques gazeuses et particulaires en acide chlorhydrique et en alumine particulaire sédimentable.

Le processus de lancement de VEGA diffère de celui du lanceur ARIANE 5. En effet, il n'existe pas de déluge d'eau lors du décollage, à l'inverse d'ARIANE 5. Par conséquent, la dynamique du nuage de combustion est modifiée. Le nuage s'élève dans l'atmosphère chargé en produits de combustion (identiques à ceux d'AR5, mais en quantité cinq fois inférieure). Il se stabilise ensuite à une faible altitude (deux fois moins importante que pour AR5) pour retomber « rapidement » au sol.

A l'occasion de chaque lancement, la hauteur pluviométrique est également mesurée. Les épisodes pluvieux contribuent à un apport naturel de produits présents dans l'air guyanais tels que l'acide chlorhydrique et alumine.

Les précipitations relevées pour VV18 et VV19 sont de 109,9mm, et de 4,2mm pour VV20.

Néanmoins depuis 2018, à la demande des inspecteurs de la DEAL, et en concertation avec l'Institut Pasteur de Guyane, le volume d'eau introduit dans les bacs à eau a été ajusté en fonction de la saison et de la pluviométrie associée ; soit un volume de 250 mL en saison des pluies et 500 mL en saison sèche. De fait, aucun bac n'a débordé et les analyses ont pu être réalisées dans les meilleures conditions possibles.

#### 5.5.1. Analyse des retombées en aluminium particulaire sédimentable

Le tableau ci-après présente les retombées maximales en **alumine particulaire sédimentable** mesurées en champ proche et en champ lointain par les capteurs environnement du plan de mesures.

**Tableau 18 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain**

	Vol	V18	V19	V20
<b>CHAMP PROCHE</b>	<b>C<sub>max</sub> (mg/m<sup>2</sup>)</b>	< seuil détection	0,535	0,833
	<b>Distance de la ZLV (m)</b>	-	1969	1550
	<b>Localisation</b>	-	<b>CP10</b> Orchidée	<b>CP09</b> Chemin de ronde ZL3 Intersection entre zones 39 et 40
<b>CHAMP LOINTAIN</b>	<b>C<sub>max</sub> (mg/m<sup>2</sup>)</b>	< seuil détection	0,797	3,175
	<b>Distance de la ZLV (m)</b>	-	11165	10335
	<b>Localisation</b>	-	<b>CL02</b> Kourou – Hôtel Les Roches	<b>CL21</b> Piste Agami - PK11 après portail

#### **Remarques :**

- Pour V19, les concentrations maximales en champ proche et champ lointain sont observées sur des zones ne correspondant pas du tout à la direction du vent, et ne sont donc pas attribuables au lancement.
- Pour V20, en **champ proche**, les retombées maximales en alumine particulaire se trouvent sur le chemin de ronde de la zone de lancement.
- Pour V20, en **champ lointain**, les concentrations en alumine particulaire les plus importantes sont obtenues sur la piste Agami, à l'intérieur du CSG.

### 5.5.2. Analyse des retombées chimiques gazeuses et particulaires d'acide chlorhydrique

Le tableau ci-après présente les retombées maximales en **acide chlorhydrique** (concentration en ions chlorure) mesurées en champ proche et en champ lointain par les capteurs environnement du plan de mesures.

**Tableau 19 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain**

	Vol	V18	V19	V20
<b>CHAMP PROCHE</b>	C <sub>max</sub> (mg/m <sup>2</sup> )	20,061	29,828	20,349
	Distance de la ZLV (m)	1969	503	503
	Localisation	<b>CP10</b> Orchidée	<b>CP01</b> Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 47	<b>CP01</b> Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 47
<b>CHAMP LOINTAIN</b>	C <sub>max</sub> (mg/m <sup>2</sup> )	75,341	26,128	36,292
	Distance de la ZLV (m)	23669	16692	15562
	Localisation	<b>CL06</b> Hôtel du fleuve	<b>CL01</b> Kourou – Station météo Isabelle	<b>CL24</b> Sur RN1 direction Sinnamary 10 km après carrefour piste Agami soit PK 95,1 de la RN1

#### Remarques :

- En **champ proche**, les retombées en ions chlorures se trouvent principalement sur le chemin de ronde de la zone de lancement. Pour V18, la concentration maximale est mesurée sur un site non couvert par le nuage de combustion et n'est donc pas attribuable au lancement.
- En **champ lointain**, les concentrations maximales des deux vols ont été mesurées sur des sites non couverts par le nuage de combustion (Kourou). Ces concentrations ne peuvent pas être attribuées aux lancements mais à d'autres facteurs extérieurs tels que les embruns marins.

### 5.5.3. Conclusions sur les retombées chimiques gazeuses et particulaires

Les mesures réalisées pour les vols VEGA de l'année 2021 n'ont pas montré de particularité. En effet, les concentrations mesurées sont bien plus faibles que celles retrouvées suite aux tirs d'Ariane 5.

Cela s'explique aisément car le P80 de Vega contient 5,5 fois moins de propergol que les 2 EAP d'Ariane 5.

On note des pics de concentrations au droit des sites de Kourou (station Isabelle/débarcadère des îles), qui ne sont pas attribuables aux vols car les sites concernés ne sont pas exposés aux retombées du nuage de combustion. Ces concentrations peuvent s'expliquer par des phénomènes de soulèvement de poussière ou par les embruns marins.

### **5.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement du lancement VEGA en 2021**

Les mesures réalisées pour les vols VEGA de l'année 2021 n'ont pas montrés de particularité. En effet, les concentrations mesurées sont bien plus faibles que celles retrouvées suite aux tirs d'Ariane.

Les concentrations mesurées sont en effet de manière générale faibles ou non imputables au vol VEGA.

## 6. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT SOYOUZ

Le système de lancement SOYOUZ est opérationnel depuis l'année 2011 au Centre Spatial Guyanais.

Le lanceur prend son envol depuis la Zone de Lancement Soyouz (ZLS) située au sein de l'Ensemble de Lancement Soyouz, sur la commune de Sinnamary.

Son process diffère totalement de ceux attribués aux lanceurs ARIANE 5 et VEGA. C'est la nature des produits de combustion, générés lors du décollage de SOYOUZ, qui conditionne la méthodologie de plan de mesures environnement.

La propulsion du lanceur Soyouz est réalisée par la combustion de kérosène et d'oxygène liquide.

Les principaux produits issus de cette réaction sont les suivants :



Le plan de mesures environnement d'un lancement SOYOUZ est une obligation de l'arrêté d'autorisation d'exploiter l'Ensemble de Lancement Soyouz (ELS) [DA02]. Les domaines couverts par le plan de mesures SOYOUZ sont les suivants :

- **Mesurer en continu** les retombées chimiques gazeuses et particulaires issues des **moteurs du 1er (blocs latéraux) et 2<sup>nd</sup> (bloc A)** étage de Soyouz. La quantification des concentrations en **monoxyde de carbone (CO)**, en **dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)**, en **oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)**, en **oxydes de soufre (SO<sub>x</sub>)**, en **ozone (O<sub>3</sub>)**, en **composés organiques volatiles** et **hydrocarbures (COV / HCT)** et en **particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>)** a lieu sur 6 sites (villes de Kourou, de Sinnamary, Ensemble de Lancement Soyouz et BLA),
- **Mesurer, en continu et en différents lieux** (Kourou, Sinnamary, Centre Technique, sites Colibri, Agami et Toucan), les teneurs en **peroxyde d'azote (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> = 2 NO<sub>2</sub>)** et en **produits hydrazinés** par l'intermédiaire d'analyseurs de type SPM (HONEYWELL) ; ces derniers constituant le réseau CODEX-2. Les composés suivis ne sont émis qu'en cas de fonctionnement dégradé (accident) du lanceur.

L'utilisation du code de calcul SARRIM est effectuée pour les lancements SOYOUZ. Les modélisations issues uniquement du radiosondage en chronologie positive ont pour objectif de connaître la direction prise par le nuage de combustion lorsque le lanceur décolle ; et de déterminer les zones où les retombées en monoxyde et en dioxyde de carbone sont maximales.

Les données d'entrée spécifiques au SOYOUZ sont renseignées dans le code de calcul afin d'en garantir sa validité (Caractéristiques du lanceur, Position géographique de la zone de lancement, Données météorologiques du radiosondage, absence de déluge...).

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES Ed/Rev: 01/00 Classe: GP Date : 10/08/2022 Page : 43/90</p>
---	---	--

## 7. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LES CAMPAGNES SOYOUZ

En 2021, le CSG a opéré un lancement Soyouz réparti de la façon suivante au cours de l'année (en heure locale) :

❖ Vol S26 : le 04/12/2021 à 21H19

Un plan de mesures environnement a été réalisé pour ce lancement, conformément aux prescriptions de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter l'Ensemble de Lancement Soyouz (ELS) **[DA 02]**.

Les principaux résultats et conclusions seront présentés dans ce document.

### 7.1. Objectifs des mesures

Les mesures ont pour objectif d'évaluer les retombées chimiques et particulaires issues de la combustion du kérosène et de l'oxygène liquide (LOx) contenus dans les 4 blocs moteur (1<sup>er</sup> étage) et le corps central (2<sup>ème</sup> étage) du lanceur Soyouz.

Ces mesures ont pour objectif de suivre en temps réel et/ou en continu :

- les concentrations en oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et de soufre (SO<sub>x</sub>), en monoxyde de carbone (CO), en hydrocarbures (HCT) et composés organiques volatiles (COV), en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) et en ozone (O<sub>3</sub>) en situation nominale de lancement,
- les concentrations en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et des produits hydrazinés en situation dégradée (cas accidentel).

Ce suivi de qualité de l'air est effectué au moyen de 2 types d'appareillage :

- Les analyseurs en continu de la marque ENVIRONNEMENT SA dont les points de mesures sont répartis sur les villes de Kourou et de Sinnamary, sur l'ensemble de lancement Soyouz ainsi qu'aux ELA,
- Les détecteurs de type SPM de la marque HONEYWELL constituant le réseau CODEX-2 (vu pour ARIANE 5 et VEGA).

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES Ed/Rev: 01/00 Classe: GP Date : 10/08/2022 Page : 44/90</p>
---	---	--

### 7.2. Les conditions météorologiques

La localisation de la « trace » de combustion de Soyouz peut varier à chaque lancement. Cette localisation ne peut être connue à l'avance du fait de la climatologie locale. Au moyen de SARRIM et du radiosondage réalisé au plus proche du H0, une modélisation des conditions météorologiques réelles du jour du lancement peut être effectuée.

Les résultats obtenus (hauteur de stabilisation, déplacement du nuage, etc.) donneront des informations, par comparaison aux valeurs de terrain, sur le comportement réel de la « trace » de combustion ainsi que sur les concentrations au sol des retombées chimiques et particulaires.

Contrairement au plan de mesures déployés lors des missions ARIANE 5 et VEGA, aucun capteur dit « bac à eau » n'est mis en place.

Les mesures sont réalisées au moyen d'analyseurs fixes implantés en divers endroits sur les villes riveraines et au CSG.

### 7.3. Localisation des points de mesures

La localisation et la distance des points de mesures par rapport à la ZLS sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 20 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure.**

EMPLACEMENT		DISTANCE ZLS (m)	ANALYSEUR ENV. SA
<b>A I R</b>	Hôtel des Roches Kourou – (Shelter n°1)	27 950	Oui
	Gendarmerie de Sinnamary – (Shelter n°2)	15 900	Oui
	Shelter optique à l'ouest de la ZLS (bâtiment 3529) – (Shelter n°4)	190	Oui
	Zone de dépotage PHHC (bâtiment 3551) – (Shelter n°5)	550	Oui

Le détail des instruments mis en place est présenté dans le document référencé **[DR01]** ainsi qu'en **Annexe 4**.

Au total, le plan de mesures environnement d'un vol SOYOUZ représente 32 capteurs.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf :	CSG-RP-SPX-22041-CNES
		Ed/Rev:	01/00 Classe: GP
		Date :	10/08/2022
		Page :	45/90

#### 7.4. Localisation des zones de passage du nuage de combustion

##### 7.4.1. Au moyen des radiosondages

La zone de passage du nuage de combustion dépend des conditions météorologiques de chacun des lancements.

Les modélisations de la trace du nuage de combustion des moteurs du 1er (blocs latéraux) et 2<sup>nd</sup> (bloc A) étage de Soyouz au sol, réalisées pour chaque lancement au moyen du code de calcul SARRIM, sont basées sur les données issues de radiosondages en chronologie positive (RS CP).

Elles permettent de déterminer les zones où les retombées chimiques sont maximales (concentrations maximales calculées en champ lointain pour le monoxyde et dioxyde de carbone).

**Tableau 21: Tableau récapitulatif des directions calculées par SARRIM au moyen des radiosondages**

VOL	2020		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES			
					Champ proche (à 200 m ZLS)		Champ lointain (en dehors du CSG)	
	Jour	Mois	Provenance Basses couches	Vers	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)
VS26	04	décembre	101,36	Changement	1048,12	1525,44	0,10	0,15

Les concentrations maximales calculées par le logiciel SARRIM correspondent aux valeurs atteintes **en champ proche**, à environ 200 mètres de la zone de lancement. **En champ lointain**, les concentrations maximales calculées par le logiciel sont très faibles.

##### 7.4.2. Résultats des modélisations de l'outil SARRIM

Les valeurs de concentrations simulées par le code de calcul SARRIM sont établies aux vues des caractéristiques du lanceur et de ses produits de combustion, mais aussi des conditions météorologiques locales.

Le **Tableau 22** nous renseigne sur les teneurs maximales estimées par le code de calcul et nous permet d'en déduire l'impact de la trace de combustion en champ lointain. Il est important de rappeler que les produits de combustion majoritaires (Monoxyde de carbone (CO) et Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)) suivis par le Plan de Mesures Environnement du lanceur SOYOUZ ont la particularité d'être des substances naturellement présentes dans l'atmosphère et d'une manière générale dans le milieu naturel.

L'origine des émissions n'est donc pas exclusive à l'activité de lancement de SOYOUZ, elle est aussi due à la composition naturelle de l'atmosphère, à la respiration végétale, à la circulation routière, à l'émission de groupes électrogènes, au brûlage à l'air libre de végétaux etc.

Les taux habituels dans l'air ambiant sont d'environ :

- **0,2 ppm** pour le monoxyde de carbone (CO)
- **380 – 480 ppm** pour le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a défini, pour l'ensemble des populations, y compris les femmes enceintes et les personnes âgées atteintes d'affections cardiaques ou respiratoires (connues ou non), des valeurs de références considérées comme inoffensives en fonction de la durée d'exposition :

**Tableau 22 : Rappel des seuils réglementaires d'exposition pour le Monoxyde (CO) et le Dioxyde (CO<sub>2</sub>) de carbone**

Substances	Valeur Limite d'Exposition Professionnelle (VLEP)			
	15 minutes	30 minutes	1 heure	8 heures
Monoxyde de carbone (ppm)	90	52	26	9
Dioxyde de carbone (ppm)	/	/	/	5000

Ces seuils sont conformes aux recommandations de l'INRS et de l'INERIS [DR32 et DR33].

A titre d'exemple, il est intéressant de noter qu'en 2017, l'Observatoire Régional de l'Air de Guyane (ORA Guyane) a mené une étude du suivi de la concentration en *monoxyde de carbone* générée par le trafic routier, notamment en situation d'embouteillage, au niveau de l'avenue de la Madeleine sur la commune de Cayenne. Les résultats obtenus oscillent entre un maximum de 5,3 mg/m<sup>3</sup> et un minimum de 3,9 mg/m<sup>3</sup> de monoxyde de carbone (Valeur de référence 10mg/m<sup>3</sup> sur 8h de moyenne) [DR27].

#### 7.4.3. Conclusions sur les modélisations de l'outil SARRIM

Les modélisations SARRIM de la « trace » de combustion des vols SOYOUZ effectués en 2021, démontrent que la localisation ne peut être connue à l'avance. L'orientation que prendra la « trace » de combustion dépend exclusivement de la climatologie locale à l'instant du décollage en ZLS.

**En 2021, les villes de Kourou et de Sinnamary n'ont pas été exposées aux retombées de la trace de combustion des lancements SOYOUZ.**

Ces observations (concentration / direction de la trace de combustion) sont à comparer avec les résultats des mesures en continu des retombées chimiques et particulaires réalisées par les analyseurs fixes dits « shelter ENVIRONNEMENT SA » (**7.5 Mesures en continu des retombées chimiques et particulaires**).

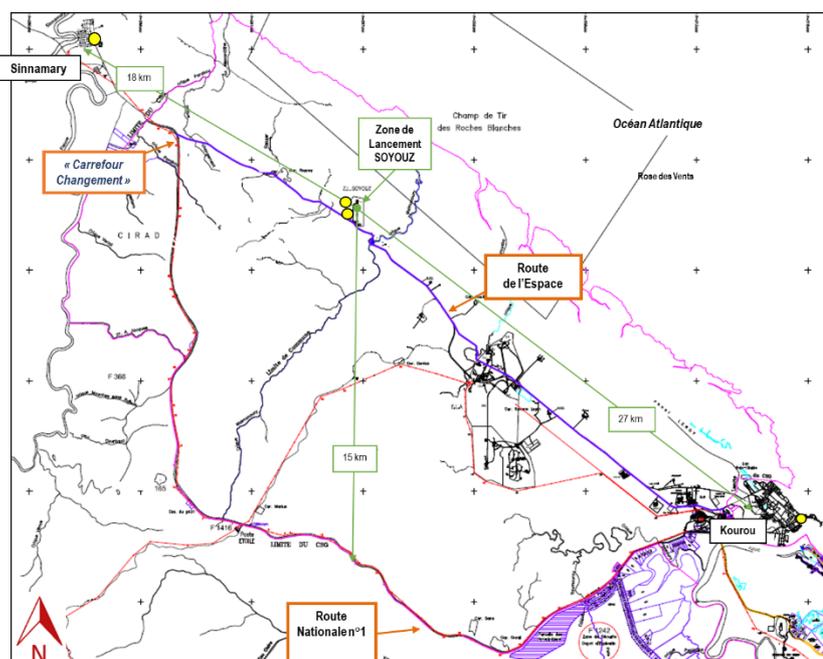
## 7.5. Mesures en continu des retombées chimiques et particulières

### 7.5.1. Objectifs des mesures

Les mesures en continu des retombées chimiques et particulières sont assurées par les analyseurs fixes de types « Shelters » de la marque ENVIRONNEMENT SA. Elles ont pour objectif de déterminer les teneurs réelles des produits de combustion en différents lieux (Villes riveraines et CSG). Ces valeurs seront corrélées et comparées aux simulations obtenues grâce au logiciel SARRIM.

### 7.5.2. Les shelters « Environnement SA »

Les quatre shelters de la marque ENVIRONNEMENT SA sont positionnés de manière fixe sur le territoire du CSG à l'ensemble de lancement Soyouz, mais aussi dans les villes de Kourou et Sinnamary (cf ronds jaunes sur la carte ci-dessous).



En situation nominale au lancement, plusieurs types d'analyseurs ENVIRONNEMENT SA sont nécessaires pour garantir le suivi de la qualité de l'air et la quantification des concentrations.

Le **Tableau 23**, au paragraphe suivant, présente une synthèse des résultats moyens des mesures en continu des détections et les concentrations pour l'ensemble des vols SOYOUZ de l'année 2021.

Il récapitule ainsi les mesures :

- |   |  |
|---|--|
| ✓ en <b>dioxyde d'azote</b> (NO <sub>2</sub> ),   | ✓ en <b>hydrocarbures</b> (HCT),                                 |
| ✓ en <b>dioxyde de soufre</b> (SO <sub>2</sub> )  | ✓ en <b>particules</b> (PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> ), |
| ✓ en <b>monoxyde de carbone</b> (CO) et en <b>dioxyde de carbone</b> (CO <sub>2</sub> ) | ✓ et en <b>ozone</b> (O <sub>3</sub> )                           |

*Nota* : Ces mesures sont exprimées en µg/m<sup>3</sup>; sachant que 1 µg est égal à 0,001 mg on appliquera un **facteur 10<sup>-3</sup>** à chacune des valeurs présentées pour en déduire l'impact sur la qualité de l'air.

### 7.5.3. Résultats des shelters ENVIRONNEMENT SA

Le tableau ci-après présente les moyennes calculées sur les 2h suivant le lancement à partir des valeurs acquises toutes les 15 minutes par chaque analyseur. Ces mesures ont été comparées aux mesures effectuées les 2h précédant le lancement afin de détecter d'éventuelles variations liées au lancement.

Ces variations temporelles par rapport à la valeur moyenne de la date du lancement sont reportées en couleur dans le tableau ci-dessous :

- une case en rouge correspond à une augmentation de la concentration mesurée dans les 2h après le lancement (rouge pâle : 10% d'augmentation, rouge moyen : 40% d'augmentation, rouge foncé : 70% d'augmentation)
- une case en vert correspond à une diminution de la concentration mesurée dans les 2h après le lancement. (vert pâle : 10% de diminution, vert moyen : 40% de diminution, vert foncé : 70% de diminution)
- une case en gris correspond à une concentration mesurée dans les 2h après le lancement égale à la concentration mesurée dans les 2h précédant le lancement.

Ainsi, si un shelter mesure le passage de la trace de combustion, on s'attend à voir des valeurs en rouge pour plusieurs paramètres mesurés dans les deux heures après le lancement, simultanément à des valeurs élevées. Ces résultats, présentés ici via des tableaux et un code couleur, sont confirmés par une inspection visuelle des courbes d'évolution temporelle des concentrations pour chaque lancement et chaque paramètre suivi.

Il est à noter que les valeurs aberrantes liées à des anomalies de fonctionnement des appareils n'ont pas été utilisées pour calculer les moyennes. De plus, certains analyseurs ont été défaillants sur l'ensemble du temps d'acquisition, ne permettant ainsi pas d'obtenir des données sur certains sites (indiqué « HS » dans le tableau).

**Tableau 23 : Ensemble des résultats des Shelters ENVIRONNEMENT SA – 2021, entre H0 et H0+2h, pour le vol VS26**

VS26 Le 04/12/21 à 21h19 (heure locale)		Shelter 1 - KRU		Shelter 2 - SIN		Shelter 4 - ZLS- LANCEMENT		Shelter 5 - ELS- DEPOTAGE	
		Moyenne [H0- 2h;H0]	Moyenne [H0;H0+2 h]	Moyenne [H0- 2h;H0]	Moyenne [H0;H0+2 h]	Moyenne [H0- 2h;H0]	Moyenne [H0;H0+2 h]	Moyenne [H0- 2h;H0]	Moyenne [H0;H0+2h ]
SO2	µg/m3	8,33	8,56	13,00	13,00	10,56	10,78	HS	HS
NO2	µg/m3	8,89	8,78	9,89	9,89	HS	HS	9,00	9,00
CO	mg/m3	0,37	0,38	0,92	0,91	3,02	3,19	1,90	2,02
CO2	mg/m3	-18,30	-18,30	719,49	749,70	705,32	746,47	574,86	587,41
O3	µg/m3	11,00	9,44	3,67	3,33	0,56	0,22	0,63	1,00
HCT	mg/m3	HS	HS	1,02	1,03	HS	HS	HS	HS
PM10	µg/m3	HS	HS	9,38	7,58	HS	HS	HS	HS
PM2_5	µg/m3	HS	HS	3,53	3,78	HS	HS	HS	HS

Légende : Les couleurs du tableau correspondent à la différence entre les mesures réalisées entre [H0-2h ; H0] et [H0 ; H0+2h]. Vert correspond à une diminution des concentrations mesurées, rouge à une augmentation.

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev: 01/00 Classe: GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>49/90</b></p>
---	---	---

Même en zone de lancement (shelters 4 et 5), on ne voit pas d'augmentation flagrante généralisée sur tous les paramètres suivis lors d'un tir, ce qui ne permet pas de conclure de façon formelle à la mesure du passage de la trace.

Le shelter de la ville de Kourou n'a mesuré lors du lancement que des variations très faibles des concentrations, à la hausse comme à la baisse.

Le shelter de la ville de Sinnamary n'a mesuré lors du lancement que des variations très faibles des concentrations, à la hausse comme à la baisse, et il ne semble pas possible de conclure à une mesure du passage de la trace de combustion Soyouz.

Les résultats présentés dans le tableau indiquent qu'il n'y a **pas d'impact direct** des produits de combustion émis par Soyouz sur le territoire du CSG et les villes de Kourou et de Sinnamary. En effet, il n'y a **pas de différence significative** entre les concentrations mesurées sur les zones couvertes par le nuage de combustion et les zones non couvertes.

**Remarques :**

Il est intéressant de rappeler que les produits suivis par le biais du plan de mesures environnement sont soit :

- naturellement présents (émissions de la forêt, composition de l'atmosphère, etc.)
- émis par l'activité humaine (véhicules motorisés, groupes électrogènes, brûlages à l'air libre de végétaux, etc.).

**Eléments de comparaison**

ATMO Guyane, chargée de la surveillance de la qualité de l'air, définit un épisode de pollution de l'air ambiant comme une période au cours de laquelle le niveau d'un ou plusieurs polluants atmosphériques, comprenant les particules en suspension (PM10), le dioxyde de soufre (SO2), le dioxyde d'azote (NO2) et l'ozone (O3), sont supérieurs au seuil d'information et de recommandation ou au seuil d'alerte. Les concentrations correspondantes à chacun des polluants sont présentées dans le tableau ci-dessous, conformément au décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air [DR16]

**Tableau 24 : seuils d'information et de recommandation, d'alerte, de différents polluants (Source : ATMO Guyane)**

POLLUANT	Seuil d'information et de recommandation	Seuil d'alerte
<p><b>Particules en suspension (PM10)</b></p>	<p>50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière sur 24h glissante</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 80 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière sur 24h glissante.</li> <li>• Dépassement du seuil d'information et de recommandation durant trois jours consécutifs.</li> </ul>
<p><b>Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b></p>	<p>300 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 500 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire sur trois heures consécutives.</li> </ul>
<p><b>Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)</b></p>	<p>200 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 400 µg/m<sup>3</sup> dépassé sur trois heures consécutives.</li> <li>• 200 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire si la procédure d'information et de recommandation a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.</li> </ul>
<p><b>Ozone (O<sub>3</sub>)</b></p>	<p>180 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1er seuil : 240 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire dépassé pendant 3 heures consécutives.</li> <li>• 2er seuil : 300 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire dépassé pendant 3 heures consécutives.</li> <li>• 3eme seuil : 360 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire.</li> </ul>

Pendant les lancements, on voit que les concentrations moyennes **atteintes** sur l'Ensemble de Lancement Soyouz, ainsi que dans les villes de Kourou et de Sinnamary, **sont très largement inférieures** aux seuils d'information et de recommandations cités ci-dessus.

L'ATMO (ex ORA) Guyane suit, de façon indépendante, la qualité de l'air grâce à la station de surveillance de BRADY, implantée au sein du Lycée G. Monnerville, depuis le 5 septembre 2015. Ainsi, depuis le vol VS12, un point de mesure indépendant permet de suivre la qualité de l'air à Kourou.



Figure 6 : Station de surveillance BRADY à Kourou, ORA 2017

La station analyse quotidiennement les teneurs en particules fines (PM10), en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), et en ozone (O<sub>3</sub>) de l'atmosphère urbaine. Les différents dépassements des seuils d'information et d'alerte sont enregistrés, et diffusés par l'ATMO dans les différents rapports consultables en ligne sur leur site internet : les rapports d'activité ainsi que les bilans par année des épisodes de pollution (cf [DR18])

Les données de BRADY étant disponibles, lorsque la station est fonctionnelle, depuis 2015, ce qui permet d'avoir le recul suffisant pour affirmer que :

- Les concentrations en **dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)** sont classiquement jugées faibles sur la ville de Kourou. Les valeurs moyennes horaire maximale et les maximums horaires ont été atteints lors de jours où il n'y a pas eu de lancement de Soyouz.
- Les concentrations en **ozone (O<sub>3</sub>)** sont également mesurées. Ce polluant « secondaire », est produit dans l'atmosphère en présence de précurseurs tels que les oxydes d'azotes et les composés organiques volatiles, sous l'action du rayonnement solaire. Les concentrations en ozone mesurées à Kourou ne dépassent classiquement pas les seuils réglementaires. De la même façon, on remarque que leurs maximums (moyenne horaire maximale et maximum horaire) sont atteints en dehors des activités de lancement du CSG.
- Chaque année, les **particules fines (PM10)** sont les polluants mesurés présentant le principal enjeu sanitaire dans le domaine de la qualité de l'air pour la Guyane. Ces particules fines ont, en l'occurrence, une origine naturelle puisqu'elles proviennent des sables du Sahara transportés par les vents en altitude, et elles sont traditionnellement très présentes de décembre à avril. De plus, les conditions météorologiques influencent la dispersion et la transformation des polluants, il est indispensable de les considérer lors de la surveillance de la qualité de l'air. Or, les années précédentes comptent parmi les années les plus chaudes relevées, ce qui participe à la dégradation des indices de qualité et peuvent expliquer la présence majoritaire des particules fines dans l'air.

On ne relève pas de corrélations particulières entre les jours de lancement et les fortes concentrations en particules fines. Les moyennes horaires maximales et les maximums horaires sont atteints hors jours de lancements.

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES Ed/Rev: 01/00 Classe: GP Date : 10/08/2022 Page : 52/90</p>
---	---	--

#### 7.5.4. Conclusion sur les résultats des Shelters ENVIRONNEMENT SA

Comme les autres années, les analyseurs des shelters ENVIRONNEMENT SA n'ont pas été toujours fonctionnels en 2021. Des défaillances techniques n'ont pas permis l'acquisition de l'intégralité des mesures de suivi de la qualité de l'air. Il a été choisi cette année de rassembler les analyseurs fonctionnels afin de constituer des stations au maximum complètes, tandis que d'autres stations, à des emplacements moins critiques, étaient complètement arrêtées. A noter qu'un autre système de mesure (RUBIX) a été utilisé en parallèle sur le vol de 2021 dans un but de qualification pour un remplacement des shelters ENVIRONNEMENT SA.

Néanmoins, parmi les valeurs d'apports gazeux ou particulaires qui ont été enregistrées, elles demeurent représentatives du bruit de fond « naturel » ; elles ne sont donc pas directement attribuables au lanceur SOYOUZ. On relève quelques valeurs non négligeables, notamment sur le Dioxyde de Carbone (CO<sub>2</sub>), cependant ces résultats restent inférieurs aux valeurs limites d'exposition professionnelle.

**En conclusion, aucune mesure n'a démontré une dégradation de la qualité de l'air sur les villes de Kourou et de Sinnamary, ou à l'intérieur du CSG, imputable au lanceur Soyouz. Les concentrations « notables » sont expliqués par des phénomènes naturels.**

#### 7.5.5. Les mesures du réseau CODEX-2

Pour chaque lancement SOYOUZ, comme pour les lancements ARIANE 5 et VEGA, le réseau de Collecte de Données Environnement Extérieur au CSG, nommé CODEX-2 est activé. On rappelle que ce dispositif vise à détecter trois types de polluants gazeux par l'intermédiaire d'analyseurs « Single Point Monitor ». La mise en place et l'activation de ce réseau de détection est une obligation de l'Arrêté d'Exploiter l'ELS.

*Pour mémoire : Les cassettes analytiques du dioxyde d'azote et des produits hydrazinés sont systématiquement activées, mais ne servent qu'en cas de fonctionnement dégradé du lanceur.*

En 2021, aucune situation dégradée n'est survenue lors de décollage du lanceur SOYOUZ, ainsi aucune teneur en dioxyde d'azote, ou en produits hydrazinés n'a été détectée par les analyseurs du réseau CODEX-2. La technologie du lanceur SOYOUZ ne mettant aucunement en œuvre d'acide chlorhydrique, le réseau CODEX-2 n'a donc pas détecté de concentration en acide chlorhydrique.

### **7.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement du lanceur Soyouz pour l'année 2021**

En 2020, les mesures de la qualité de l'air ont été réalisées par le biais des analyseurs dits « Shelters » de la marque ENVIRONNEMENT SA. Les valeurs mesurées sont négligeables, elles sont représentatives du bruit de fond naturel ambiant et ne traduisent pas d'impact directement imputable aux lancements Soyouz au CSG.

La comparaison de ces mesures avec les résultats estimés par le code de calcul SARRIM nous permet de confirmer que le logiciel est majorant et est fiable et performant sur l'orientation de la trace de combustion. Les valeurs estimées sont supérieures à celles mesurées et demeurent acceptables au regard des valeurs limites d'exposition professionnelle ou encore des émissions du trafic routier.

Nous pouvons conclure que les **impacts générés** pendant les campagnes **Soyouz de l'année 2021** sont **non quantifiables voire négligeables, et bien moins significatifs qu'une pollution due à la circulation routière** dans les villes.

<p style="text-align: center;"><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES Ed/Rev: 01/00 Classe: GP Date : 10/08/2022 Page : 53/90</p>
---	---	--

## 8. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT AU BANC D'ESSAI DES ACCELERATEURS A POUUDRE (BEAP)

Le Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre, situé dans la zone de propulseurs du Centre Spatial Guyanais (CSG), est une installation classée pour la protection de l'environnement construite à la fin des années 1980.

Initialement destiné à tester le fonctionnement des Etages Accélérateurs à Poudre (EAP) d'Ariane 5, le BEAP a également permis de réaliser les essais de développement et de qualification de l'EAP de février 1993 à juillet 1995, soit sept essais. Les spécimens d'essai sont identiques à ceux du lanceur Ariane 5 et sont donc constitués de propergol de type *butalane*, une substance composée de perchlorate d'ammonium et d'aluminium. Les spécimens d'essais sont testés dans la configuration de vol, c'est à dire en position verticale, tuyère vers le bas.

Depuis ces essais, ce banc est mis en œuvre dans le cadre du programme d'Accompagnement de Recherche et de Technologie Ariane et a permis la réalisation des essais suivants :

- ❖ ARTA 1 en mai 2000,
- ❖ ARTA 2 en novembre 2001
- ❖ ARTA 3 en novembre 2004
- ❖ ARTA 4 en juin 2008
- ❖ ARTA 5 en mai 2012
- ❖ ARTA 6 en septembre 2016
- ❖ P120C DM en juillet 2018
- ❖ P120C QM1 en janvier 2019
- ❖ P120C QM2 en octobre 2020

Lors de l'essai de mise à feu, le propergol contenu dans le spécimen d'EAP se consume et entraîne la formation d'un nuage de combustion dont l'équation chimique est identique à celle du process d'Ariane 5 et de VEGA, à savoir :



Les produits de combustion sont générés tout au long des 135 secondes pendant lesquelles va fonctionner le propulseur d'Ariane 5. Le nuage de combustion formé dans les basses couches atmosphériques est donc issu du panache de l'EAP.

Le plan de mesures environnement déployé au Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre permet donc de **quantifier** et de **surveiller** les retombées en **alumine** et en **acide chlorhydrique** issues du brûlage au sol d'un spécimen d'Etage d'Accélération à Poudre (EAP) dans le cadre du programme ARTA.

Le protocole de mesures environnementales est élaboré pour répondre aux objectifs suivants :

- évaluer l'impact du brûlage au sol d'un EAP sur l'Environnement ;
- se conformer aux prescriptions de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter le Banc d'Essais des Accélérateurs à Poudre (BEAP) **[DA04]**.

**L'arrêté N°2216 1D/4B** du 28 juillet 1992 autorisant le Centre National d'Etudes Spatiales à exploiter le Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre (BEAP) **[DA04]** précise en ce qui concerne la pollution atmosphérique (Article 04) que « Les émissions gazeuses (fumées, buées, vapeurs, gaz odorants, toxique ou inflammables etc...) provenant des diverses unités ne devront pas constituer un risque non contrôlé pour le voisinage ou nuire à la santé ou à la sécurité publique ».

En ce qui concerne les prescriptions particulières, et plus spécifiquement l'alerte préalable aux essais (Article 12.4), les procédures de sauvegarde du CNES s'assurent de la vacuité de la zone notamment dans les secteurs

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev: 01/00 Classe: GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>54/90</b></p>
---	---	---

pouvant être assujetties à des teneurs en acide chlorhydrique et en alumine supérieures aux seuils réglementaires d'expositions respectifs soit 7,6 mg/m<sup>3</sup> (ou 5 ppm) et 10 mg/m<sup>3</sup>.

Afin de satisfaire à cette obligation, l'exploitant déploie un dispositif de sauvegarde visant à effectuer des mesures de détection d'une éventuelle *toxicité* et réalise une modélisation *majorante* des retombées du nuage de combustion selon les conditions météorologiques du moment.

Concernant la pollution des eaux – *Qualité des effluents industriels* (Article 05.1), il est stipulé qu'« à chaque point de rejet dans le milieu naturel, l'effluent industriel liquide devra respecter sans dilution et avant mélange dans les eaux réceptrices les caractéristiques suivantes :

- ✓ pH compris entre 5,5 et 8,5 – Norme de mesure NFT 90 008
- ✓ MEST inférieure à 30 mg/L – Norme de mesure NFT 90 105
- ✓ DBO5 inférieure à 30 mg/L – Norme de mesure NFT 90 103
- ✓ DCO inférieure à 90 mg/L – Norme de mesure NFT 90 101
- ✓ Azote total inférieur à 10 mg/L – Norme de mesure NFT 90 110
- ✓ Hydrocarbures totaux inférieurs à 5 mg/L – Norme de mesure NFT 90 2
- ✓ Huiles et graisses inférieures à 20 mg/L.

Ainsi, les objectifs de ce plan de mesures sont en particulier :

- **Mesurer en temps réel, les concentrations en acide chlorhydrique** sur les villes de Kourou, de Sinnamary, sur le Centre Technique, sur les sites d'observation et en cinq points définis.
- **Mesurer les concentrations** en champs proche, moyen et lointain, des retombées chimiques particulières en **alumine** et en **acide chlorhydrique** ainsi que les retombées chimiques gazeuses en acide chlorhydrique.

Cette démarche permettra également de réaliser une corrélation avec les résultats trouvés avec un logiciel de modélisation nommé « Stratified Atmosphere Release of Rockets Impact Model » (SARRIM).

- **Suivre la qualité des eaux du carneau** avant leur rejet dans le milieu naturel.

**Aucun essai au BEAP n'a été réalisé en 2021.**

## 9. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES REALISEES POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ECOSYSTEMES DU CSG

### 9.1. Objectifs de la surveillance environnementale du CSG

La surveillance environnementale « globale » du Centre Spatial Guyanais est une des missions principales du CNES. Le CNES/CSG coordonne les mesures relatives au suivi de l'impact environnemental des activités industrielles du CSG [DR06].

Le territoire du CSG, de par sa superficie et ses conditions d'accès, est un espace préservé où l'on peut découvrir une très riche biodiversité. De nombreux écosystèmes tropicaux sont ainsi représentés sur la base spatiale et offrent un terrain de recherche et d'inventaire exceptionnel aux scientifiques. Ces milieux font l'objet d'étude et de programme de suivi par des organismes de recherche. Les résultats de ces projets font l'objet de publications scientifiques. Le CNES participe financièrement au pilotage de ces projets et contrôle les interventions sur site.

La présente synthèse porte sur l'analyse de plusieurs compartiments environnementaux représentés sur le territoire de la base spatiale telle que le précisent les prescriptions réglementaires qui incombent au CNES :

<b>Qualité des eaux</b>	Suivi des paramètres physico-chimique des criques du CSG
<b>Qualité des sédiments</b>	Suivi des paramètres physico-chimique des sédiments des criques du CSG
<b>Faune Aquatique</b>	Poissons / Invertébrés aquatiques
<b>Faune terrestre</b>	Etude de la grande faune sur le territoire du CSG
<b>Végétation</b>	Suivi des peuplements botaniques d'intérêts majeurs du CSG
<b>Qualité de l'air</b>	Abeilles mélipones

Le suivi de **bio indicateurs pertinents et reconnus sur le territoire guyanais** permet d'évaluer la **qualité** des milieux naturels existants au CSG.

### 9.2. Mesure de la qualité de l'eau de la crique Karouabo

Le suivi de l'impact sur la qualité des eaux de la Karouabo est une obligation des arrêtés d'autorisation d'exploiter l'Ensemble de Lancement n°3 (ARIANE 5) et l'Ensemble de Lancement VEGA (ELVega).

**En 2021, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo était opérationnel et a permis de suivre la qualité des eaux de la crique à l'occasion des lancements VEGA vols 19 et 20 (VV19 et VV20).**

Pour mémoire, le préleveur automatique est un dispositif d'échantillonnage positionné sur le pont de la crique Karouabo (au niveau de la route de l'espace) à l'intérieur du périmètre du CSG. Situé à environ 1,5 km des zones de lancements AR5, le préleveur automatique est mis en place la veille / le jour du lancement.

Il réalise un échantillonnage d'eau de surface toutes les six heures pendant six jours, soit 24 prélèvements d'eau.

### 9.2.1. Résultats des mesures

Deux campagnes d'analyse ont été réalisées au CSG en 2021, à l'occasion des lancements VEGA VV19 (16/08/2021 à 22h50 locales) et VV20 (16/11/2021 à 6h27 locales), en saison sèche. Cf [DR09] et [DR11]

Identifiant de l'échantillon	Date et heure de prélèvement	pH		Conductivité		Ions chlorures		Ions Sodium		Aluminium total	
		Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude
		-	-	µS/cm	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L
K 01	18/2/20 8:30	6,05	0,18	26	0,52	5,31	0,37	3,259	0,16	0,12	0,0312
K 02	18/2/20 14:30	5,85	0,18	24	0,48	4,54	0,32	2,753	0,14	0,11	0,0286
K 03	18/2/20 20:30	6	0,18	24	0,48	4,79	0,34	2,937	0,15	0,097	0,02522
K 04	19/2/20 2:30	6	0,18	24	0,48	4,62	0,32	2,887	0,14	0,093	0,02418
K 05	19/2/20 8:30	6,05	0,18	24	0,48	4,9	0,34	3,075	0,15	0,082	0,02132
K 06	19/2/20 14:30	6	0,18	24	0,48	4,62	0,32	2,862	0,14	0,11	0,0286
K 07	19/2/20 20:30	6,05	0,18	24	0,48	4,86	0,34	3,047	0,15	0,12	0,0312
K 08	20/2/20 2:30	6,05	0,18	23	0,46	4,63	0,32	2,866	0,14	0,098	0,02548
K 09	20/2/20 8:30	6,05	0,18	23	0,46	4,56	0,32	2,852	0,14	0,11	0,0286
K 10	20/2/20 14:30	5,85	0,18	23	0,46	4,53	0,32	2,814	0,14	0,1	0,026
K 11	20/2/20 20:30	6	0,18	23	0,46	4,67	0,33	2,957	0,15	0,093	0,02418
K 12	21/2/20 2:30	5,7	0,17	24	0,48	4,28	0,30	2,8	0,14	0,11	0,0286
K 13	21/2/20 8:30	5,75	0,17	24	0,48	4,66	0,33	3,007	0,15	0,13	0,0338
K 14	21/2/20 14:30	5,8	0,17	24	0,48	4,79	0,34	3,004	0,15	0,12	0,0312
K 15	21/2/20 20:30	5,95	0,18	25	0,5	4,81	0,34	3,109	0,16	0,1	0,026
K 16	22/2/20 2:30	6	0,18	26	0,52	4,69	0,33	3,066	0,15	0,13	0,0338
K 17	22/2/20 8:30	6,2	0,19	24	0,48	4,74	0,33	3,09	0,15	0,098	0,02548
K 18	22/2/20 14:30	6,1	0,18	26	0,52	4,81	0,34	3,423	0,17	0,12	0,0312
K 19	22/2/20 20:30	6	0,18	25	0,5	4,9	0,34	3,424	0,17	0,12	0,0312
K 20	23/2/20 2:30	5,95	0,18	26	0,52	4,82	0,34	3,44	0,17	0,11	0,0286

Identifiant de l'échantillon	Date et heure de prélèvement	pH		Conductivité		Ions chlorures		Ions Sodium		Aluminium total	
		Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude
		-	-	µS/cm	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L
K 21	23/2/20 8:30	5,95	0,18	24	0,48	4,83	0,34	3,306	0,17	0,1	0,026
K 22	23/2/20 14:30	5,95	0,18	24	0,48	4,9	0,34	3,345	0,17	0,11	0,0286
K 23	23/2/20 20:30	5,9	0,18	25	0,5	5,14	0,36	3,455	0,17	0,1	0,026
K 24	24/2/20 2:30	5,8	0,17	25	0,5	4,85	0,34	3,15	0,16	0,12	0,0312

NB : les dates dans les tableaux ci-dessus sont erronées, puisque le préleveur a effectué des mesures du 16 au 23 août 2021

Identifiant de l'échantillon	Date et heure de prélèvement	pH		Conductivité		Ions chlorures		Ions Sodium		Aluminium total	
		Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude
		-	-	µS/cm	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L
K 01	15/11/21 17:00	6,05	0,18	36	0,72	5,627	0,39	3,362	0,17	0,083	0,02158
K 02	15/11/21 23:00	5,9	0,18	25	0,5	5,414	0,38	3,276	0,16	0,089	0,02314
K 03	16/11/21 5:00	5,85	0,18	25	0,5	5,336	0,37	3,261	0,16	0,101	0,02626
K 04	16/11/21 11:00	5,8	0,17	25	0,5	4,774	0,33	3,397	0,17	0,112	0,02912
K 05	16/11/21 17:00	5,8	0,17	25	0,5	5,145	0,36	3,11	0,16	0,133	0,03458
K 06	16/11/21 23:00	5,8	0,17	25	0,5	4,974	0,35	3,316	0,17	0,134	0,03484
K 07	17/11/21 5:00	5,8	0,17	25	0,5	5,138	0,36	3,141	0,16	0,134	0,03484
K 08	17/11/21 11:00	5,75	0,17	25	0,5	5,094	0,36	3,133	0,16	0,135	0,0351
K 09	17/11/21 17:00	5,8	0,17	25	0,5	5,016	0,35	3,122	0,16	0,13	0,0338
K 10	17/11/21 23:00	5,8	0,17	25	0,5	5,054	0,35	3,11	0,16	0,132	0,03432
K 11	18/11/21 5:00	5,75	0,17	25	0,5	5,038	0,35	3,117	0,16	0,132	0,03432
K 12	18/11/21 11:00	5,7	0,17	25	0,5	5,241	0,37	3,15	0,16	0,13	0,0338
K 13	18/11/21 17:00	5,75	0,17	25	0,5	5,108	0,36	3,141	0,16	0,132	0,03432
K 14	18/11/21 23:00	5,8	0,17	25	0,5	5,06	0,35	3,118	0,16	0,122	0,03172
K 15	19/11/21 5:00	5,85	0,18	25	0,5	5,133	0,36	3,184	0,16	0,117	0,03042
K 16	19/11/21 11:00	2,65	0,08	26	0,52	5,296	0,37	3,211	0,16	0,115	0,0299
K 17	19/11/21 17:00	5,75	0,17	25	0,5	5,191	0,36	3,182	0,16	0,12	0,0312
K 18	19/11/21 23:00	Non Mesuré	#VALEUR!	Non Mesuré	#VALEUR!	Non Mesuré	#VALEUR!	Non Mesuré	#VALEUR!	Non Mesuré	#VALEUR!
K 19	20/11/21 17:00	4,9	0,15	25	0,5	5,342	0,37	3,258	0,16	0,121	0,03146
K 20	20/11/21 11:00	4,95	0,15	31	0,62	5,392	0,38	3,243	0,16	0,128	0,03328
K 21	20/11/21 17:00	5,25	0,16	27	0,54	5,538	0,39	3,294	0,16	0,114	0,02964
K 22	20/11/21 23:00	5,55	0,17	26	0,52	5,547	0,39	3,32	0,17	0,12	0,0312
K 23	21/11/21 17:00	5,35	0,16	27	0,54	5,622	0,39	3,313	0,17	0,181	0,04706
K 24	21/11/21 11:00	4,6	0,14	33	0,66	5,508	0,39	3,282	0,16	0,119	0,03094

**Tableau 25 : Suivi de la Karouabo en 2021**

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev: 01/00 Classe: GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>57/90</b></p>
---	---	---

Les résultats d'analyse sur la Karouabo révèlent :

- ❖ un pH constant au cours du temps. On ne remarque pas de diminution significative du pH de l'eau après les lancements Ariane 5 ou Vega. Le milieu est légèrement acide, notamment en saison des pluies du fait de l'apport météorique ; les résultats sont conformes à la « *normalité guyanaise* » ;
- ❖ une conductivité quasi constante au cours du temps ; les variations sont liées à l'influence des apports météoriques ;
- ❖ les concentrations en ions chlorures, en ions aluminium et en ions sodium sont faibles et constantes au cours du temps. On ne remarque pas d'augmentation de paramètres induits par les retombées chimiques et particulaires des décollages Ariane 5 ou Vega.

En conclusion, les prélèvements réalisés **en 2021** ont permis de suivre **la qualité physico-chimique des eaux de surface de la crique Karouabo** à l'occasion de deux lancements VEGA, **VV19 et VV20**.

**Les résultats obtenus** n'indiquent **aucune modification majeure** sur les divers paramètres suivis au cours de la phase de prélèvement **avant, et après le décollage**. Dès lors, les mesures **n'ont pas montré de modifications imputables aux activités de lancement**. Les différences observées semblent attribuables aux pluies (acides en Guyane). Les résultats sont représentatifs de la qualité des eaux douces de Guyane, à savoir des eaux acides et faiblement conductrices.

### 9.3. Mesure de la qualité des sédiments des criques du CSG

#### 9.3.1. Introduction sur les sols guyanais et la teneur naturelle en aluminium

La nature des sols en Guyane est à dominante argilo latéritique. Le substrat est donc riche en argile et en oxydes notamment en **alumine** ( $Al_2O_3$ ).

Des études ont été menées par l'Institut de Recherche et de Développement (IRD) sur la zone littorale entre les villes de Cayenne et de Kourou. Elles ont montré que l'alumine pouvait entrer en moyenne à **hauteur de 20 %** dans la composition du sol.

Il faut aussi noter que le potentiel corrosif des eaux pluviométriques est important en Guyane, en raison de leur caractère acide naturel. A cela, il faut ajouter le degré d'agressivité des sols (argilite) très important. Ces facteurs corrosifs entraînent un lessivage des sols, et donc, la dissolution d'éléments mobiles à très mobiles tels que le magnésium (Mg), le Zinc (Zn), le Cadmium (Cd), ou encore l'aluminium (Al).

Le potentiel de transfert élevé de l'aluminium fait qu'il se décompose assez facilement en ions  $Al^{3+}$  ou en ions hydroxylés  $Al(OH)_n$ . Ces derniers sont alors solubilisés et transportés sous forme hydrique vers des horizons d'accumulation ou sont naturellement complexés dans le sol.



Figure 7: Prise de vue de la station Paracou (Hydreco, 2019)

Les ions  $Al^{3+}$  fixés par le complexe absorbant, peuvent s'**hydroxyler** (ajout d'un groupement  $-OH$  ; donnant  $Al(OH)_3$ ) ou **se polymériser** (formation d'une grosse molécule) en donnant des hydroxydes colloïdaux (dispersion homogène de particule).

Les modifications de spéciation et de mobilité sont étroitement liées au pH du sol (confer le **Tableau 39**).

**Tableau 26 : Modification de la spéciation et de la mobilité de certains ions en fonction du paramètre pH du sol.**

VALEUR DE pH	CARACTERISTIQUES DE MOBILITE ET DE SPECIATION
pH < 5,5	$Al^{3+}$ échangeable et très mobile
5,5 < pH < 8,0	$Al^{3+}$ très peu mobile
pH > 8,0	Une partie de l'aluminium des hydroxydes est soluble sous forme d'ions aluminate

### 9.3.2. Objectifs du suivi

Conformément à l'article 8.2.4 relatif à la « **surveillance des effets sur l'environnement des activités au sols** » de l'arrêté d'autorisation d'exploiter l'ELA 3 [DA01], à l'article 8.2.5.1 relatif à la « **surveillance du milieu aquatique** » de l'arrêté d'autorisation d'exploiter l'ELVega [DA03], des analyses des métaux et substances minérales dans la **couche superficielle des sédiments** des criques du CSG doivent être réalisées une fois par an.

L'objectif de la **mesure de la qualité des sédiments** est de **qualifier et quantifier** l'éventuel impact des activités de la base spatiale, en particulier les lancements Ariane 5 et VEGA (à l'origine des productions d'alumine et d'acide chlorhydrique) sur les sols et les sédiments des criques sous le vent des installations.

Les mesures effectuées portent à la fois sur des mesures physico-chimiques des eaux et sur les sédiments.

La totalité des résultats sont présentés dans les rapports du laboratoire HYDRECO [DR13 et 14] disponibles au service SDP/ES du Centre Spatial Guyanais.

### 9.3.3. Analyses physico-chimiques de l'eau

Des mesures physico-chimiques de l'eau ont été réalisées aux zones de prélèvements de sédiments. Les prélèvements ont été réalisés à la saison des pluies et à la saison sèche 2021 au niveau de la crique de la Malmanoury et de la crique Karouabo [DR13]. Seul le prélèvement de la saison sèche a été effectué pour la criques des Pères et la crique Paracou.

**Tableau 27** : Paramètres physico-chimiques mesurés pour les trois stations en 2021 (en bleu : très bon état ; en vert : bon état ; en jaune : état moyen ; en orange : état médiocre)

		Température (°C)	Conductivité (µS/cm)	Oxygène dissous (mg/L)	Oxygène dissous (%)	Turbidité (NTU)	pH (u. pH)
Saison des pluies	Karouabo	26,7	22	2,9	36	2,90	5,16
	Malmanoury	25,1	25	5,2	62	3,86	5,39
	Crique des Pères	-	-	-	-	-	-
Saison sèche	Karouabo	29	25	2,6	33	1,77	5,38
	Malmanoury	26,5	26	4,5	56	2,84	5,66
	Crique des Pères	27,7	31	3,6	45	10,02	5,83
	Paracou	25,2	31	6,7	81	6,97	5,78

En saison des pluies, la température, la conductivité et le pH sont assez homogènes entre les stations. La turbidité est bonne ou très bonne. Le bilan en oxygène varie entre les stations : la station Karouabo est associée à un état moyen, alors que la station Malmanoury est associée à un bon état. Le facies plutôt lentique (très faible courant) de la station Karouabo peut expliquer ce bilan en oxygène, ainsi que la température plus élevée. **Pour rappel**, en Guyane, le seuil limitant est de 2 mg/L (soit environ 27% de taux d'oxygène) ; seuil pour lequel les premiers troubles se font sentir chez les poissons.

En saison sèche, le bilan oxygène est varié entre les stations. Le caractère lentique de la crique Karouabo explique certainement la température plus élevée. La crique des Pères présente une conductivité plus élevée, due au marnage de la zone. L'eau de la crique Paracou est en très bon état.

De plus, des mesures d'oxygène et matière organique, de matière en suspension, de paramètres azotés et phosphorés ainsi que de minéralisation ont été réalisées à la saison sèche sur les différentes stations, avec les résultats suivants :

- Oxygène et matières organiques : Le Carbone Organique Total présente des valeurs habituellement relevées sur le réseau hydrographique guyanais non soumis à une pression. Le Carbone Organique Dissous et la Demande Biochimique en Oxygène sont qualifiés en bon ou en très bon pour toutes les stations. Les valeurs de Matières En Suspension confirment le très bon état attribué par les mesures de turbidité.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev: 01/00 Classe: GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>60/90</b>

- Paramètres azotés et phosphorés : l'Ammonium, les Nitrates, les Nitrites, les Orthophosphates et le Phosphore total qualifient globalement les stations très bon état. De plus, les valeurs d'Azote Kjeldhal sont en-dessous de seuil de détection.
- Minéralisation : les eaux échantillonnées sont globalement peu minéralisées pour l'ensemble des stations.

#### 9.3.4. Analyses physico-chimiques des sédiments

##### A. Criques Karouabo et Malmanoury

L'analyse porte sur l'**acidité** et la **composition métallique** des sédiments. Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des analyses effectuées sur les sédiments prélevés au niveau des stations Karouabo et Malmanoury. Aucun des paramètres présents dans le ne dépasse le seuil fixé par l'arrêté du 9 août 2006. Globalement, les valeurs issues de la station Malmanoury sont plus élevées que celles issues de la station Karouabo, notamment pour le prélèvement au niveau du dégrad.

Tableau 28 : Résultats des analyses de métaux dans les sédiments de la Karouabo et de la Malmanoury

Date de prélèvement	09/07/21			09/07/21			
Station	Karouabo			Malmanoury			
	Amont	Pont	Aval	Amont	Dégrad	Aval	
pH	5	5,7	5,2	4,9	5,5	5,1	u.pH
<b>Minéraux :</b>							
Calcium	<0,10	0,26	<0,10	<0,10	0,36	0,14	g/kgMS
Magnésium	0,36	0,28	0,25	0,9	1,5	0,81	g/kgMS
Potassium	0,37	0,22	0,31	0,39	1,6	0,57	g/kgMS
<b>Polluants minéraux :</b>							
Aluminium	11	10	10	11	17	13	g/kgMS
Baryum	22	19	12	21	41	29	mg/kgMS
Cadmium	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	mg/kgMS
Chrome	11	17	16	14	59	12	mg/kgMS
Cobalt	<1,0	<1,0	<1,0	2	4	1,4	mg/kgMS
Cuivre	1,0	3,4	1,7	3,1	20	2,3	mg/kgMS
Fer	9,4	7,5	2	11	50	9,2	g/kgMS
Manganèse	9	13	9,2	34	56	26	mg/kgMS
Mercuré	0,067	<0,04	0,043	<0,04	<0,04	0,042	mg/kgMS
Molybdène	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	mg/kgMS
Nickel	1,6	3,9	2,1	5,2	14	4,5	mg/kgMS
Plomb	6	7,5	7,3	6,8	17	19	mg/kgMS
Sélénium	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	mg/kgMS
Zinc	5,2	10	7,7	12	28	13	mg/kgMS

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>61/90</b></p>
---	---	---

Concernant les métaux les plus concentrés dans le milieu, le fer, l'aluminium et le manganèse, ils sont constitutifs du milieu tout comme les minéraux complexés en oxyde, le calcium, le potassium et le magnésium. Les concentrations mesurées sont donc comparables à d'autres stations de Guyane.



Figure 8 : Crique Karouabo en saison sèche, HYDRECO 2021



Figure 9 : Crique Malmanoury en saison sèche, HYDRECO 2021

Les concentrations en métaux lourds déterminées cette année ne sont pas remarquables par rapport à 2020.

En règle générale et depuis le début du suivi des sédiments sur ces 2 criques, la Malmanoury présente des concentrations en métaux plus élevées que sur la Karouabo. Cette tendance est encore vérifiée cette année.

## **B. Crique Paracou**

Des mesures et prélèvements ont été effectués à la saison sèche 2021 sur la crique Paracou. Cette masse d'eau est en limite d'influence des vents de l'Ensemble de Lancement Soyouz ; elle représente un site de référence dans l'évaluation des retombées émises par les lancements SOYOUZ.

L'analyse porte sur l'acidité et la composition métallique des sédiments. Un total de seize métaux a été analysé, toutes les concentrations mesurées pour le Cadmium, le Cobalt, le Molybdène, et le Sélénium sont inférieures à leur limite de quantification.

Le tableau ci-après synthétise l'ensemble des résultats obtenus sur les trois points de prélèvements, en amont, au niveau du pont et en aval sur la Paracou.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>62/90</b>

**Tableau 29 : Paramètres physico-chimiques analysés sur les sédiments en laboratoire pour la station Paracou, en saison sèche 2021**

Date de prélèvement	09/07/2021			
Station	Paracou			
	Amont	Point 2	aval	
pH	5,2	5,8	5,4	u.pH
<b>Minéraux :</b>				
Calcium	0,14	0,26	<0,10	g/kgMS
Magnésium	0,12	0,11	0,12	g/kgMS
Potassium	<0,10	<0,10	0,12	g/kgMS
<b>Polluants minéraux :</b>				
Aluminium	9,4	5,7	20	g/kgMS
Baryum	17	19	17	mg/kgMS
Cadmium	<0,40	<0,40	<0,40	mg/kgMS
Chrome	7,5	5	55	mg/kgMS
Cobalt	<1,0	<1,0	<1,0	mg/kgMS
Cuivre	1,6	1,2	3,4	mg/kgMS
Fer	1,8	1,3	21	g/kgMS
Manganèse	5,8	4,6	7,7	mg/kgMS
Mercure	0,067	<0,04	0,085	mg/kgMS
Molybdène	<1,0	<1,0	<1,0	mg/kgMS
Nickel	2	1,8	2,9	mg/kgMS
Plomb	4,8	3,1	7,4	mg/kgMS
Sélénium	<5,0	<5,0	<5,0	mg/kgMS
Zinc	5,1	2,3	6,2	mg/kgMS

Aucun des paramètres dans le tableau ne dépasse le seuil S1 fixé par l'arrêté du 9 août 2006.

On peut retenir que les métaux les plus concentrés dans le milieu sont le Fer et l'Aluminium ; ces derniers sont naturellement constitutifs du milieu tout comme les minéraux complexés en oxyde tel que le Calcium, le Potassium et le Magnésium. Les concentrations mesurées sont donc comparables à d'autres stations de Guyane.

Ainsi, aucun impact des tirs de la fusée n'est mis en évidence par les analyses réalisées lors de cette étude.

### 9.3.5. Conclusions sur la qualité physico-chimiques des eaux et des sédiments des criques du CSG

L'absence d'évolution annuelle du niveau des concentrations en métaux dans les sédiments sur les criques échantillonnées semblent indiquer un impact faible ou absent des lancements et activités industrielles. On ne retrouve pas, non plus, de changement significatifs dans les résultats d'analyse qui pourrait indiquer un impact ponctuel des retombées de produit de combustion lors d'un lancement.

Les fortes concentrations en aluminium, fer, calcium, magnésium et potassium sont constitutives du milieu, liées à la nature du sédiment analysé. Les concentrations seront très faibles dans le sable, un sol argileux présentera des concentrations plus importantes. Pour les autres métaux, dans le sédiment ou sol, il n'existe pas de référentiel avec des valeurs seuil de qualité telles que pour l'eau, cependant des valeurs limites de concentration en métaux lourds sont fixées lorsque le sol est destiné à une activité précise.

Au regard du niveau de référence S1 mentionné à la rubrique 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement par l'arrêté du 09 août 2006 (législation sur les sédiments), une valeur seuil haute de qualité a été établie pour quelques métaux. Ces valeurs sont retenues lors de l'utilisation des sols pour des cultures. Aucune valeur mesurée en 2021 n'est supérieure à une valeur limite

**A la vue de tous les résultats des mesures réalisées sur l'eau, l'état environnemental de la Malmanoury, de la Karouabo et de la Paracou est moyen ou bon en ce qui concerne la qualité de l'eau.**

**Le suivi des teneurs en métaux dans les sédiments ne met pas en évidence une pollution due aux lancements.**

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>63/90</b></p>
---	---	---

Pour mémoire, il est très difficile de dissocier les teneurs naturelles de la proportion potentiellement associée à l'impact des lancements. En effet, à la sortie de la tuyère, l'aluminium est essentiellement sous forme de particules d'alumine  $Al_2O_3$ , un minéral peu soluble, identique à la forme d'aluminium présente dans les sols guyanais.

Il se produira alors les mêmes phénomènes de dissolution. Un ensemble de processus peut limiter l'acidification et les teneurs en aluminium dans les compartiments sol et eau des écosystèmes.

Ces processus sont :

- la dilution, la neutralisation de l'acidité du milieu par les anions organiques ;
- les échanges d'ions hydrogène ( $H^+$ ) avec les ions potassium, calcium et magnésium ;
- la dissolution de kaolinite, espèce minérale composée de silicate d'aluminium hydraté ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ) ;
- la complexation d'aluminium par les molécules organiques après passage des polluants en eau libre et des échanges d'ions hydrures ( $H^+$ ) avec les ions potassium, calcium et magnésium ;
- la néoformation de la kaolinite.

Les sédiments étant prélevés dans les criques Karouabo, Malmanoury, et Paracou un certain nombre de ces processus agiront sur les polluants générés par les lancements. La vase sédimentée dans le fond des marais ou en suspension, par les minéraux qu'elle contient, peut avoir, comme le sol, une certaine capacité à neutraliser les  $H^+$ . Or, le devenir des particules d'alumine et de l'aluminium dissous, déjà très présent dans le milieu, dépend essentiellement du pH.

*Note : L'étude « impact des activités futures d'Ariane 5 sur l'environnement humain et naturel » (rapport 01/CNES/2129 - IRD) [DR 2] de janvier 2003 démontre que, pour déterminer au mieux l'apport en HCl et alumine lié au lancement Ariane 5, ce sont les mesures à partir des bacs à eau mis en place à chaque lancement et les prélèvements directs des eaux de rivières qui sont les plus représentatifs.*

La surveillance de la qualité des eaux de la crique Karouabo est fondamentale puisqu'il s'agit du seul « cours d'eau » présent sous le vent des installations (ZL3 / ZLVega). En comparant les résultats obtenus sur cette crique depuis 2004, on peut remarquer qu'il n'y a pas d'accumulation de ces métaux et minéraux dans l'écosystème de la Karouabo.

<p>CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>64/90</b></p>
--	---	---

#### 9.4. Suivi de la faune aquatique des criques du CSG

La surveillance des effets sur l'environnement des activités au sol comprend « l'**analyse de la présence de lésions anatomo-pathologiques** et de l'**accumulation de substances chimiques**, dont a minima l'aluminium, **dans les espèces de poissons représentatives du milieu**, prélevées sur des sites sous influence directe des polluants à analyser, dont a minima la crique **Karouabo**, la crique **Malmanoury** et la **crique des Pères** » [DA1].

##### 9.4.1. Objectifs des mesures

Le but de cette étude ([DR13]), réalisée par le bureau d'études et de recherche en environnement HYDRECO, est d'évaluer l'impact des retombées des produits issus des poudres de propulsions des lanceurs Ariane 5 et Vega ainsi que les produits de combustion de la trace de Soyouz sur les populations de poissons et d'invertébrés aquatiques. Cette étude s'est ainsi orientée sur :

- le contrôle de la **diversité**, de l'**abondance relative** de la faune aquatique (poissons et Invertébrés aquatiques),
- la recherche de **lésions anatomo-pathologiques** sur les poissons,
- la détection d'une éventuelle **accumulation de substances chimiques** (analyse de la teneur en aluminium) dans la chair des poissons.
- L'analyse et interprétation la qualité des eaux des différentes criques annuellement suivies à l'aide du compartiment des diatomées benthiques, complément d'analyse floristique aux analyses de faune aquatique.

##### 9.4.2. Lieux échantillonnés

Les stations échantillonnées dans le cadre de cette étude ont été :

- **La crique Karouabo**. En effet, c'est la crique la plus proche du pas de tir d'Ariane 5. Elle est située sous les vents dominants. Par conséquent, c'est une rivière susceptible de recevoir la part la plus importante des retombées des activités spatiales de la base.
- **La crique Malmanoury**. C'est une rivière placée en limite d'influence des émissions (environ sept kilomètres à vol d'oiseau de la ZL3) et sous influence des vents dominants.
- **La crique des Pères**, qui est en dehors de l'influence des polluants générés par les lancements Ariane 5. Cette crique joue le rôle de « témoin » pour l'étude et a pour avantage de présenter un peuplement diversifié. A noter que cette crique subit d'autres pressions anthropiques, essentiellement agricoles.
- **La crique Paracou**, C'est la crique la plus proche du pas de tir de Soyouz, elle est située sous les vents dominants. Par conséquent, c'est une rivière susceptible de recevoir la part la plus importante des retombées de Soyouz.

En 2021, les interventions des hydrobiologistes d'HYDRECO ont eu lieu :

- Saison des pluies :

- Karouabo : 02 juillet 2021
- Malmanoury : 02 juillet 2021
- Crique des Pères : 02 juillet 2021

- Saison sèche :

- Karouabo : 9 septembre 2021
- Malmanoury : 10 septembre 2021
- Crique des Pères : 10 septembre 2021
- Paracou : 28 septembre 2021

<p>CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : CSG-RP-SPX-22041-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 10/08/2022 Page : 65/90</p>
--	---	--

### 9.4.3. Résultats du suivi de la faune aquatique pour l'année 2021

La totalité des résultats sont présentés dans le rapport du laboratoire HYDRECO disponible au service SDP/ES du Centre Spatial Guyanais. Le tableau ci-dessous présente toutefois les principales conclusions de cette étude.

**Tableau 30 : Tableau de synthèse des principaux résultats obtenus pour le suivi de la faune aquatique pour 2021**

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2021
<p><b>DESCRIPTION DE L'HABITAT</b></p>	<p>Les <b>observations 2021 in situ</b> continuent de confirmer que l'habitat de chaque station est dominé par une végétation marginale de type <b>Palmier Bâche</b>, <i>Mauritia flexuosa</i>. Cependant, de nombreux « <b>moucou-moucou</b> » (<i>Aracea, Montrichardia arborecens</i>) sont présents le long des berges. Ces dernières sont soumises à une exondation plus ou moins fréquente selon les stations, en fonction des marées et des saisons. De même, sur chaque station se trouvent des <b>bouquets d'<i>Heliconia sp.</i></b>, plante présente dans de nombreuses zones humides ou près des zones de rétention des eaux pluviales.</p> <p>Sur la Karouabo, le maintien d'un bouchon vaseux proche de l'estuaire interdit toujours toute intrusion d'eau salée et limite les inversions de courant que l'on peut constater notamment sur la Crique des Pères.</p> <p>Les relevés <i>in situ</i> permettent d'appréhender l'évolution des paramètres physico-chimiques selon les saisons. Les résultats des analyses physico-chimiques ont été présentés dans le §9.3.3 et le §9.3.4</p>
<p><b>PEUPELEMENTS DE POISSONS</b> (Richesse et Diversité)</p>	<p>Chez les poissons, les principaux paramètres étudiés sont l'abondance, la biomasse et la richesse spécifique.</p> <p>Concernant le <b>nombre de captures</b> ; en <b>saison sèche</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Sur la Crique des Pères</b>, 77,5 individus/batterie de filets représentant 15 espèces pour une biomasse/batterie de 8,71 kg/batterie ont été récoltes. Sur cette station, l'abondance était déjà en hausse en 2018 et 2019 et 2020, et 2021 enregistre également des effectifs et des biomasses sur des mêmes ordres de grandeur.</li> <li>▪ <b>Dans la Karouabo</b>, avec 16,7 individus/batterie capturés en 2021, ce paramètre diminue d'un facteur 3 par rapport aux effectifs réalisés en 2019-2020 à la même période (Saison sèche) mais reste équivalent aux captures réalisées en saison des pluies sur les années 2010 à 2018. La pluviométrie exceptionnellement forte relevée par Météo France durant toute l'année 2021 (+56% sur le CSG), année record et la plus pluvieuse depuis 1967, a donc influencée les mesures de saison sèche dont les captures s'apparentent donc plus à des niveaux de saisons de pluies.</li> <li>▪ <b>Dans la Malmanoury</b>, les captures atteignent 34,3 individus/batterie représentant 11 espèces pour 16,2 kg de biomasse/batterie. En termes de captures, la tendance annuelle est stable tandis que celle de la biomasse augmente de manière significative par rapport aux années 2019 et 2020.</li> <li>▪ Concernant la <b>Paracou</b>, l'échantillonnage a permis la récolte de 20 espèces. La richesse spécifique est supérieure aux années 2017 à 2019 mais reste similaire aux années 2014 à 2016.</li> </ul> <p>Pour réaliser l'analyse temporelle, les valeurs de capture sont ramenées à une seule batterie de filets : on parle alors de <b>Capture Par Unité d'Effort (CPUE)</b>. Seule la richesse spécifique n'a pas été transformée, elle aura tout de même une valeur indicative. La tendance annuelle est équivalente pour la CPUE, la biomasse et la richesse spécifique : elle reste équivalente le long des années. Les seuls contrastes constatés sont inter-saisonniers : les variables analysées évoluent entre les saisons des pluies et les saisons sèches.</p> <p>En ce qui concerne la <b>diversité</b>, dans l'ensemble, depuis l'année 1998, la diversité de Shannon et l'équitabilité des trois criques sont restées relativement stables. A l'exception de 2019 et 2020, l'indice de Shannon apparaît globalement plus élevé sur la</p>

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2021												
	<p>Crique des Pères tandis que son équitabilité demeure similaire à celles observées sur les stations Karouabo et Malmanoury.</p>												
<p><b>PEUPLEMENTS DE POISSONS</b> (analyse des contenus stomacaux, structure trophique et anatomopathologie)</p>	<p>Les connaissances actualisées permettent de déterminer la majorité des guildes alimentaires des espèces qui composent les populations. Selon les stations, le taux d'espèces dont le régime trophique est connu varie entre 82% et 98%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comme depuis 2015, la <b>Crique des Pères</b> demeure la seule station permettant l'observation de quatre guildes alimentaires. Il est à noter que la guildes des omnivores domine fortement cette population (67,1%), suivie des invertivores (24,5%), des piscivores (1,9%) et des herbivores (1,9%).</li> <li>▪ <b>Au sein de la station Karouabo</b>, les trois guildes observées sont les piscivores (44%), les omnivores (36%) et les herbivores (18%).</li> <li>▪ <b>Dans la station Malmanoury</b>, la population en saison sèche est principalement composée de trois guildes : les piscivores (58,4%), les omnivores (12,4%) et les herbivores (10,9%).</li> </ul> <p>Contrairement aux années précédentes, aucune espèce n'a présenté des infestations par des vers nématodes.</p> <p>L'Indice Poisson de Guyane est un outil permettant d'évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau à partir des populations de poisson présentes. Cet indice a été calibré à partir des données prélevées en saison sèche et ne peut donc être utilisé qu'en saison sèche. Le calcul de l'indice IPG-G attribue un état moyen aux stations Malmanoury, et Crique des Pères, et mauvais à la Karouabo (Tableau 31). En 2020 l'état des stations Karouabo et Crique des Pères était descendu d'une classe de qualité (de Bon à Moyen) par rapport à l'année 2019. Pour l'ensemble des stations, la note de l'IPG-G est inférieure en 2021 par rapport à 2020. Cette baisse de qualité est probablement liée au facteur climatique (fortes pluies).</p> <p><b>Tableau 31 : Notes de l'IPG-G et classes de qualité associées pour les trois stations</b></p> <table border="1" data-bbox="628 1352 1310 1543"> <thead> <tr> <th>Station</th> <th>Note</th> <th>Classe de qualité</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Malmanoury</td> <td>0,53</td> <td>Moyen</td> </tr> <tr> <td>Karouabo</td> <td>0,45</td> <td>Mauvais</td> </tr> <tr> <td>Crique des Pères</td> <td>0,64</td> <td>Moyen</td> </tr> </tbody> </table>	Station	Note	Classe de qualité	Malmanoury	0,53	Moyen	Karouabo	0,45	Mauvais	Crique des Pères	0,64	Moyen
Station	Note	Classe de qualité											
Malmanoury	0,53	Moyen											
Karouabo	0,45	Mauvais											
Crique des Pères	0,64	Moyen											
<p><b>ANALYSE DE L'ALUMINIUM DANS LE MUSCLE DES POISSONS</b></p>	<p>Pour la campagne de prélèvement 2021, trois guildes alimentaires sont représentées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les <b>piscivores</b>, avec <i>Acestrorhynchus falcatus</i>, <i>Hoplias malabaricus</i> et <i>Plagioscion squamosissimus</i>. Cette guildes comporte suffisamment d'individus pour être analysées (34 poissons). De plus, elle est présente sur chacune des trois stations.</li> <li>✓ Les <b>omnivores</b> sont représentés dans les trois stations (Karouabo, Malmanoury et la Crique des Pères) par <i>Trachelyopterus galeatus</i>.</li> <li>✓ Les <b>herbivores</b> (<i>Leporinus gosseii</i>) qui sont présents dans les trois stations.</li> </ul> <p>En ce qui concerne les données de 2021, le fait d'appartenir à une guildes alimentaire particulière ou une espèce n'a pas d'influence sur la concentration en aluminium.</p> <p>En 2021, la station Crique des Pères présente une concentration moyenne en aluminium plus élevée (6,74 µg/g) que celle de Malmanoury (4,92 µg/g) et celle de Karouabo (4,03 µg/g).</p>												

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2021
<b>DIVERSITE ET STRUCTURE DES PEUPELEMENTS D'INVERTEBRES AQUATIQUES</b>	<p>Au total, 2535 individus répartis en 44 taxa ont été récoltés en 2021. Pour la saison des pluies, il a été recensé 1884 individus répartis en 39 taxa. Pour la saison sèche, 651 individus répartis en 22 taxa ont été récoltés.</p> <p><b>En saison des pluies</b>, la station Malmanoury est celle qui dispose du nombre d'individus prélevés le plus élevé (1017 ind.). La station Karouabo est associée à une abondance échantillonnée dans la même gamme de valeur (700 ind.), par contre l'abondance relevée au niveau de la station Crique des Peres est bien plus faible (167 ind.).</p> <p><b>En saison sèche</b>, la station Karouabo n'a pu être échantillonnée. Concernant les deux stations échantillonnées, c'est à nouveau la station Malmanoury qui est associée à l'abondance la plus importante (494 ind.) alors que l'abondance de la station Crique des Pères demeure assez faible (157 ind.).</p> <p>En termes de saisonnalité, la station Cirque des Pères ne semble pas affectée (abondances similaires entre les deux campagnes), contrairement à la station Malmanoury qui est caractérisée par une abondance très supérieure en saison des pluies (environ deux fois supérieure à celle de la saison sèche).</p> <p>L'échantillonnage de la station Paracou a abouti à la détermination de 926 individus, répartis en 42 taxa, ce qui est supérieur à la moyenne trouvée dans les Petites Masses d'Eau (PME) guyanaises (21 taxa). La crique Paracou est donc un milieu propice au développement d'une benthofaune diversifiée.</p>
<b>QUALITE BIOLOGIQUE</b>	<p>La qualité biologique des criques est définie au moyen du score moyen des éphéméroptères guyanais (SMEG). Cet indicateur permet de déterminer la qualité des eaux en fonction de la présence (ou de l'absence) de taxons bio-indicateurs de qualité, ou au contraire, de pollution.</p> <p>En 2021, le calcul du SMEG donne un état moyen sur les différentes criques Karouabo, Malmanoury, et Crique des Pères.</p> <p>Concernant la crique Paracou, l'année 2021 confirme la dégradation observée en 2020 par l'indice SMEG, par rapport au bon état défini entre 2016 et 2019. Il semble que la station Paracou ne soit pas propice au développement des Ephéméroptères très polluosensibles. L'état moyen attribue par l'indice SMEG est corroboré par l'état médiocre attribué par l'IBMG 2, du fait du peu d'individus collectes de la famille des Elmidae. Toutefois, la station présente une abondance totale notable, une bonne richesse taxonomique et une appréciable représentativité des ETP (un cinquième du peuplement). L'indice de Shannon et l'IBMG témoignent du bon potentiel écologique global de la station Paracou.</p>

\* Le **Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais (SMEG)** est un indice biotique. Il permet de déterminer directement la **qualité du milieu** à partir de critères de **présence-absence** des genres d'Ephéméroptères bio-indicateurs de qualité ou, au contraire, de pollution des eaux. En effet, les **éphéméroptères** sont considérés comme de **bons indicateurs biologiques de la qualité des eaux courantes**

Nombre d'U.O.	SMEG	Communauté d'Ephémères	Classe	Qualité de l'eau	Etat du cours d'eau
Au moins 4	≥ 4,1	Naturelle ou presque naturelle	I	TRES BONNE	Criques de faible largeur ou petites rivières sans impact anthropique notable
Au moins 4	3,08 - 4,09	Peu altérée	II	BONNE	Rivière faiblement impactées ou stations suffisamment éloignées des impacts pour une récupération importante
Au moins 4	2,05 - 3,07	Assez altérée	III	MOYENNE	Influences anthropiques durables mais d'intensité moyenne
Au moins 3	1,03 - 2,04	Fortement altérée	IV	MEDIocre	Rivières exposées à des impacts anthropiques aigus et soutenus ou à conditions naturelles défavorables (oxygénation, matière organique)
Au moins 1	≤ 1,02	Détruite ; survie des U.O. de catégorie 1	V	MAUVAISE	Pollutions importantes ; fort déficit en O <sub>2</sub> et/ou substratum très modifié

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>68/90</b></p>
---	---	---

#### 9.4.4. Résultat du suivi des diatomées pour l'année 2021

Les diatomées benthiques sont des algues microscopiques, unicellulaires (algues brunes). Ces algues sont considérées comme un des bio-indicateurs des eaux courantes les plus pertinents, grâce notamment à leur sensibilité aux conditions du milieu et à la rapidité de leur cycle de développement, de quelques heures à quelques jours. Les communautés de diatomées benthiques permettent l'évaluation de la pollution, en fonction de leur sensibilité ou leur tolérance à la pollution, notamment organique, azotée et phosphorée. Elles sont connues pour réagir aux altérations de la qualité des eaux par des modifications qualitatives et quantitatives des peuplements, telles que :

- la régression du nombre de taxons et la baisse de la diversité spécifique (pollutions toxiques),
- le remplacement des formes les plus sensibles par des espèces plus résistantes ou indifférentes,
- la prolifération d'espèces présentant des affinités pour un type d'altération (formes saprophytes ou hétérotrophes pour les pollutions organiques, halophiles pour les contaminations salines),
- la diminution de la taille des espèces et présence de formes anormales (formes tétragènes).

Au CSG, ce suivi a été effectué pour la première fois en 2019 [DR14].

L'analyse floristique structurelle des communautés de diatomées benthiques a permis d'établir un premier bilan de la réponse des diatomées aux conditions de milieux. A l'exception de la Malmanoury, la structuration des communautés dans la zone prospectée est liée aux variations de pH pour la Crique des Pères, la Crique Paracou et la Karouabo.

Les peuplements de diatomées et leur composition ont également permis le calcul de l'Indice de Polluosensibilité Spécifique (IPS), mais aussi du nouvel Indice Diatomique de Guyane Française (IDGF).

L'IPS, quoique réglementaire, s'avère inadapté pour l'estimation de la qualité des cours de Guyane dans la plupart des cas.

En revanche, l'utilisation du nouvel indice diatomique spécifiquement créé par l'INRAe (ex-Irstea) et HYDRECO pour la Guyane a montré des résultats plus en adéquation avec les conditions de milieux et/ou l'intensité des pressions.

La Crique des Pères montre des signes d'altérations moins prononcées qu'en 2020 avec seulement 11% de taxons d'alerte (20% en 2020), en particulier vis-à-vis du carbone organique (5%).

La Karouabo, avec 15% de taxons d'alerte (MES, azote organique et déficit en oxygène), reste un cours d'eau très peu impacté.

La Crique Paracou ne présente qu'une faible abondance de taxons d'alerte (7%) et leur présence est probablement plus en relation avec un enrichissement naturel du milieu de l'amont vers l'aval.

Contrairement à 2019, la Malmanoury reste, comme en 2020, très peu impactée en 2021 (seulement 8% de taxons d'alerte).

Il en résulte un Très Bon Etat Ecologique (TBE) pour toutes les criques prospectées.

En 2020, nous avons observé une diminution drastique de la richesse spécifique dans tous les sites, cette perte de diversité allant de 32 % (Crique des Pères) à 62,5% (Malmanoury).

En 2021, l'évolution de la richesse spécifique est propre à chaque crique, sans qu'aucun schéma général ne se dégage.

La Crique des Pères montre, encore cette année une perte d'environ 50% de diversité par rapport à 2020. Le peuplement de la Karouabo semble se stabiliser autour de 80/90 taxons. Celui de la Malmanoury retrouve sa richesse spécifique de 2019, tandis que celui de la Crique Paracou se diversifie pour atteindre 100 taxons sans pour autant égaler la diversité observée en 2019.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>69/90</b>

Ne disposant pas de chroniques de suivi suffisamment longues, nous ne pouvons pas attribuer ce phénomène à une variabilité naturelle (saison, conditions hydraulique, climatique, ...) ou à une dégradation des conditions de milieu, notamment pour la Crique des Pères.

En 2021, ces criques présentent toujours, malgré tout, une richesse spécifique exceptionnelle avec des genres relativement rares comme les *Actinella* (Brachyraphidées), *Cymbellopsis* et *Encyonopsis* (Cymbellacées), *Frustulia* (Naviculacées), *Stenopterobia* (Suriellacées) et 2 genres indéterminés. D'autre part, l'étude 2021 a confirmé la présence et la récurrence d'espèces rares et nouvelles pour la Guyane, certaines non encore identifiées et décrites dans la littérature scientifique, d'autre connues telle qu'*Eunotia enigmatica* dans la Karouabo et la Malmanoury, et *Eunotia patrickae* dans la Karouabo, seuls sites actuels d'observation de ces espèces en Guyane.

En 2022, il est donc prévu de poursuivre l'analyse du compartiment floristique des différentes criques de la zone du Centre Spatial Guyanais sous l'influence des lanceurs Ariane 5, Vega et Soyouz afin de vérifier le maintien de cette flore exceptionnelle, mais aussi de disposer de chroniques suffisante permettant d'intégrer la variabilité des peuplements afin d'apporter des diagnostics écologiques plus pertinents, en particulier **en intégrant un suivi lors des deux saisons** (saison sèche et saison des pluies).

#### 9.4.5. Conclusions générales du suivi des criques pour 2021

En 2021, comme en 2020, les indices calculés ne convergent pas vers un avis unique. Si l'IPG-G et le SMEG accordent de états moyens aux criques étudiées, les indices relatifs aux diatomées convergent vers de très bons états écologiques.

Etat écologique attribué par les différents indicateurs	Indice Poissons de Guyane IPG-G	Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais	Indice Biologique Macro invertébrés de Guyane (IBMG).	IBMG-2	Indice de Polluosensibilité Spécifique IPS	Indice diatomique de Guyane Française. IDGF
<b>Karouabo</b>	Etat moyen	Qualité biologique moyenne			Très Bon Etat Ecologique	Très Bon Etat Ecologique
<b>Malmanoury</b>	Etat moyen	Qualité biologique moyenne			Très Bon Etat Ecologique	Très Bon Etat Ecologique
<b>Crique des Pères</b>	Etat moyen	Qualité biologique moyenne			Très Bon Etat Ecologique	Très Bon Etat Ecologique
<b>Paracou</b>		Qualité biologique moyenne	Bon état écologique	Etat écologique médiocre	Très Bon Etat Ecologique	Très Bon Etat Ecologique

#### 9.5. Suivi du patrimoine végétal du CSG

La surveillance des effets sur l'environnement des activités sols comprend aussi la flore représentative des différents milieux de la base spatiale.

Afin d'évaluer l'impact des retombées des lancements sur la flore, le CNES fait procéder, par des organismes extérieurs, à des mesures et des prospections floristiques. [DA01 ; 02 et 03]. Les prescriptions règlementaires portent sur :

- ✓ **L'analyse des concentrations des retombées** issues d'un lancement sur le **couvert végétal** (au moyen de pluviolèssivats implantés en champ proche et en champ lointain)
- ✓ **L'évolution des espèces représentatives**, grâce à l'observation périodique des écosystèmes (leur quantification de repousse...).

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>70/90</b>

### 9.5.1. Mesures d'impact sur la végétation

L'analyse chimique des premières pluies sous le couvert végétal nous renseigne sur la capacité d'amortissement par le milieu naturel de la pollution due aux rejets atmosphériques des EAP ou P80.

L'objectif du suivi des retombées chimiques des pluies et des pluviollessivats sur la végétation est d'évaluer le niveau de pollution auquel la végétation, située sous le vent des installations de l'ensemble de lancement, a été soumise lors d'un lancement Ariane 5 ou Vega. Les paramètres suivants sont ensuite analysés par l'Institut Pasteur de Cayenne :

Paramètres	Unités
le pH	unité pH
la conductivité	µS/cm à 25°C
<b>Les concentrations en ions:</b>	
Aluminium (Al)	mg/L
Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	mg/L
Calcium (Ca)	mg/L
Magnésium (Mg)	mg/L
Potassium (K)	mg/L
Sodium (Na)	mg/L

Pour l'année 2021, une campagne de mesures a eu lieu, pour VV20. Dix bacs collecteurs sont déposés sous la végétation afin de recueillir l'eau de ruissellement : cinq sont positionnés en champ proche et cinq en champ moyen.

Identifiant de l'échantillon	Date et heure de prélèvement	pH		Conductivité		Ions chlorures		Aluminium total	
		Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude
		-	-	µS/cm	µS/cm	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L
PL04	16/11/21 0:00	6,3	0,19	63	1,26	9,696	0,68	0,048	0,01248
PL08	16/11/21 0:00	5,55	0,17	25	0,5	2,989	0,21	0,025	0,0065

Comme pour les années précédentes, on mesure des concentrations non négligeables (mais qui reste faibles pour Vega) jusqu'à 500m de la zone de lancement. Cependant, dès le champ moyen, (par exemple vers 2km de la zone de lancement), on ne mesure plus aucune concentration significative. Si les retombées peuvent avoir un effet délétère sur la végétation, celui-ci est très localisé autour de la zone de lancement.

### 9.5.2. Suivi des peuplements botaniques d'intérêt majeurs sur le CSG

Le territoire du Centre Spatial Guyanais accueille de nombreuses espèces végétales spécifiques des savanes du plateau des Guyanes.

Le CSG est le seul territoire du département à abriter trois espèces d'orchidées terrestres connus de Guyane appelée « *Cyrtopodium* ». Deux d'entre elles sont aujourd'hui protégées : *Cyrtopodium andersonii* et *Cyrtopodium cristatum*, qui est connu dans les savanes dans un habitat restreint. L'espèce *Cyrtopodium parviflorum*, se trouve quant à elle dans les savanes herbacées basses sur sols argilo-sableux, plus fréquentes que les habitats très spécifiques des deux précédentes, mais ses densités sont si faibles qu'elle demeure également une espèce très rare sur le littoral guyanais.

Du fait que leurs habitats soient très restreints et exclusivement répartis au sein du Centre Spatial, l'espèce *Cyrtopodium* est aujourd'hui endémique de la base spatiale.



Figure 10 : Numérotation d'un pied *Cyrtopodium cristatum*

**L'Office National des Forêts assure, depuis 50 ans, la surveillance globale du patrimoine naturel de la base spatiale. Depuis 2010, cette surveillance est formalisée via un plan de gestion.** Parmi ces missions, l'ONF réalise une veille environnementale des « *Cyrtopodium* » localisés au niveau du pierrier de Diane sur le sentier Ebène.

Il est prévu que ces suivis soient repris au sein du contrat « Orchidées terrestres et plantes rares du CSG », toujours en cours de discussion avec les partenaires naturalistes.

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>71/90</b></p>
---	---	---

### 9.5.3. Programme de surveillance de l'espèce végétale *Stachytarpheta angustifolia*



Figure 11: *Stachytarpheta angustifolia*

Cette espèce patrimoniale et protégée a été mise en évidence par l'Herbier de l'IRD de Cayenne lors de la réalisation des inventaires préalables à la construction de l'ELS.

Avant cette découverte, *Stachytarpheta angustifolia* n'avait été récoltée que trois fois en un siècle et sur des secteurs différents.

Le suivi du bon état des peuplements et des stations de plants figure parmi les prescriptions préfectorales de l'arrêté d'autorisation d'exploiter l'ELS **[DA02]**.

Aussi, le CNES réalise ou fait réaliser au moins une fois par an, un contrôle de la dynamique des peuplements de *S. angustifolia*. En 2020, à cause du confinement dû au COVID et de la fermeture du Centre Spatial en saison des pluies, le CNES n'a pas pu réaliser la visite de vérification de la présence de *S. angustifolia*. Cependant, l'entretien de la zone à proximité du MIK, au pied du pylône électrique, lui confère des conditions favorables à son développement et son maintien, et il n'y a pas d'inquiétude quant à son maintien.



Figure 12: *S. angustifolia* sous pylône - ELS

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>72/90</b></p>
---	---	---

### 9.6. Bio surveillance de la qualité de l'air au moyen des abeilles mélipones

La bio-surveillance de l'environnement par les abeilles est à ce jour répandue en France métropolitaine et de nombreux industriels et structures publiques se sont équipés pour compléter des mesures classiquement physiques ou chimiques (sondes, filtres...).

En effet, les abeilles constituent des **indicateurs fiables** de la qualité de l'environnement principalement grâce à leur **activité de butinage** intense qui les met en contact avec un grand nombre de polluants dans un rayon qui varie généralement de 1,5 à 3 km autour de la ruche, en fonction de l'abondance de nourriture. Les ouvrières échantillonnent ainsi les polluants du sol et de l'air au travers du nectar, du pollen et du miellat qu'elles récoltent sur les plantes et les arbres.

L'abeille constitue ainsi un **bio-indicateur tout à fait pertinent sur de très nombreux polluants** (HAP, pesticides, particules...). Par ailleurs, la bioaccumulation de substances polluantes chez l'abeille peut engendrer des altérations de ses performances mais peut aussi avoir des répercussions ensuite aux niveaux écologiques supérieurs : de l'individu vers la population puis vers l'écosystème. Par ces modifications, les individus rendent compte de l'état de santé des écosystèmes et permettent une analyse « éco toxicologique », c'est-à-dire une analyse des conséquences écologiques de la pollution sur l'environnement.

#### 9.6.1. Le programme de bio surveillance au CSG

Le **bureau d'étude et de recherche guyanais NBC** et **APILAB**, bureau d'études spécialisé dans la bio surveillance, se sont associés pour fonder, en 2014, le premier groupement de bio surveillance par l'abeille.

Afin de promouvoir cette méthode en Guyane, un programme de validation du procédé a été lancé en 2014, en partenariat étroit avec l'Observatoire Régional de l'Air (ORA) et un industriel local (Ciment Guyanais).

Ces premiers essais se sont focalisés sur une espèce locale : l'**abeille mélipone**. Ces abeilles sont en effet particulièrement faciles à maintenir et elles sont complètement adaptées aux exigences d'un suivi comme sentinelle de l'environnement. D'autre part, elles ne piquent pas et ne sont absolument pas agressives.



Figure 13 : Mélipona [DR22]

Dans ce cadre et pour initier un tel suivi de la qualité de l'air par l'abeille au sein de la base spatiale européenne, le cabinet d'études NBC, en partenariat avec le CNES/CSG pour le déploiement du programme et le bureau d'études APILAB pour le volet analytique, a réalisé un programme de validation du procédé au contexte industriel spécifique du CSG, intégrant la saison sèche et la saison des pluies, depuis 2016.

Ce travail a permis de démontrer la pertinence de cette méthode de bio surveillance appliqué au contexte industriel des « **activités de lancement** » du Centre Spatial Guyanais mais aussi de disposer d'un retour objectif de cette bio surveillance de la qualité de l'air avec des abeilles guyanaises, les « *mélipones* », sur deux saisons.



Figure 14 : Ruchers Tangara



Figure 15 : Ruchers Sentier Ebène



Figure 16 : Ruchers de l'ELS

### 9.6.1. Le protocole de surveillance 2021

Depuis début 2016, le CSG a confié à NBC la charge d'appliquer cette technologie de biosurveillance par l'abeille mélipone. Le dispositif évolue tous les ans en fonction des résultats obtenus : pour l'année 2021, le protocole mis en place en 2020 a été maintenu ([DR15]).

**2016** : 12 ruches exposées et 3 ruches témoins

**2017** : 24 ruches exposées et 3 ruches témoins

**2018** : 9 ruches exposées et 3 ruches témoins

**2019** : 18 ruches exposées et 3 ruches témoins

**2020** : 15 ruches exposées et 6 ruches témoins

**2021** : 15 ruches exposées et 6 ruches témoins

Au fil des années, les efforts d'analyse ont également évolué. Ils sont synthétisés dans le tableau suivant, paramètre par paramètre.

Année de la campagne de biosurveillance	Particules (méthode Apidiag)	Pesticides	Suivi pondéral (méthode Beeguard®)	Biomarqueurs	Etude toxicité sur les miels	AtmoTrack	TOTAL
<b>2016</b>	8	0	0	4	0		<b>12</b>
<b>2017</b>	10	0	0	0	2		<b>12</b>
<b>2018</b>	8	0	2	12	0		<b>22</b>
<b>2019</b>	12	2	2	12	0		<b>28</b>
<b>2020</b>	14	4	2	14	0	3	<b>37</b>
<b>2021</b>	14	4	2	14	0	2	<b>36</b>

Tableau 32 : Evolution des efforts d'analyse (nombre de ruches) en fonction des années de suivi de biosurveillance par l'abeille

### 9.6.2. Matériels et méthodes

#### A. Les sentinelles de l'environnement

Une partie des abeilles utilisées dans le cadre de cette étude sont du genre *Mélipona*, endémique de Guyane. « Les **Mélipones** sont des abeilles qui ont la particularité de ne pas avoir de dard d'où leur nom vernaculaire « abeille sans dard ». En réalité, « le dard existe mais il est atrophié », cette particularité est avantageuse pour la mise en place de ruchers sur des espaces accueillant des travailleurs. « En revanche, si les mélipones ne piquent pas elles peuvent néanmoins mordre et certaines espèces peuvent avoir un comportement agressif. Les *Mélipones* sont regroupées dans la tribu des *Meliponini*. ».

Une étude interne à la société NBC, réalisée en partenariat étroit avec l'Observatoire Régional de l'Air de Guyane et APILAB, a démontré que les résultats des analyses pratiquées sur les individus du genre *Mélipona* et *Apis* sont parfaitement comparables entre eux dans le cadre des analyses particulières effectuées sous microscope électronique à balayage (MEB).

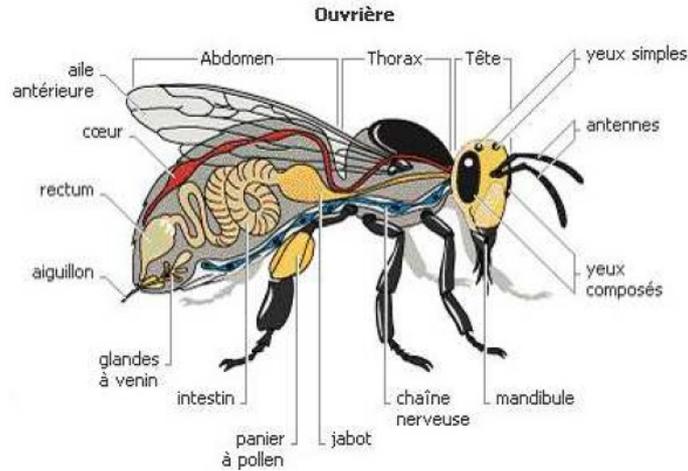


Figure 17 : Anatomie d'une abeille, NBC/APILAB

Ainsi, en réalisant leur activité de butinage, les mélipones ont la capacité de capter les particules et molécules présentes dans l'air du CSG. L'observation des abdomens des individus prélevés au MEB permet donc de caractériser les polluants présents dans l'atmosphère de la base spatiale.

## B. Les ruchers

Les ruchers (ou ruches) utilisés et déployés pour cette étude sont spécifiques aux abeilles mélipones. Ils ont été réalisés en bois local, imputrescible et non traité. Ces ruches sont donc parfaitement neutres pour les abeilles de bio surveillance.

Les ruches, installées dans le cadre de notre étude, sont différentes des ruches classiques d'*Apis mellifera*. Ce sont des sortes de boîtes avec une seule ouverture, surveillée en permanence par une gardienne. Les mélipones réalisent dans cette boîte une série de pots de stockage de miel et de pollen. On y trouve également le couvain, positionné souvent en position central – voir photo ci-dessous.



Figure 18 : Vue interne d'un rucher et de son organisation, NBC APILAB

Les ruches sont placées sur des supports leur permettant d'être à l'abri des prédateurs (Fourmis et autres), du soleil et de la pluie.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>75/90</b>

Les mélipones sont initialement sauvages et élevées par l'apiculteur et entomologiste Jean-Philippe CHAMPENOIS depuis plusieurs années. De son élevage, il réalise régulièrement de nouvelles ruches à partir de son cheptel, de sorte qu'il dispose à présent d'un pool suffisant de mélipones pour ne plus avoir à rechercher de nouveaux essaims dans la nature pour nos projets de bio surveillance.

Ces abeilles disposent d'une vie relativement courte (2 à 3 semaines). Elles sont totalement représentatives du milieu dans lequel elles évoluent. En cela, elles répondent parfaitement aux exigences et aux objectifs du programme de bio surveillance développé au CSG.

### C. Le déploiement des ruchers

En **2021**, comme en 2020, les sites suivants ont été équipés en colonies de mélipones :

- ✿ 3 ruches à la ZL2 (Ancien site Ariane 4, aire d'exposition des sites de lancement d'Ariane 5 et de Véga)
- ✿ 3 ruches sur la ZL de Soyouz
- ✿ 3 ruches témoins à la Césarée

Les sites suivants ont été équipés en colonies d'*Apis Mellifera buckfast* :

- ✿ 3 ruches au bourg de Sinnamary (proche du rond-point d'entrée du bourg)
- ✿ 3 ruches à Kourou, Pariacabo (sur le site de la Carapa)
- ✿ 3 ruches au site Ebène (aire d'exposition du future pas de tir Ariane 6)
- ✿ 3 ruches témoins à la Césarée

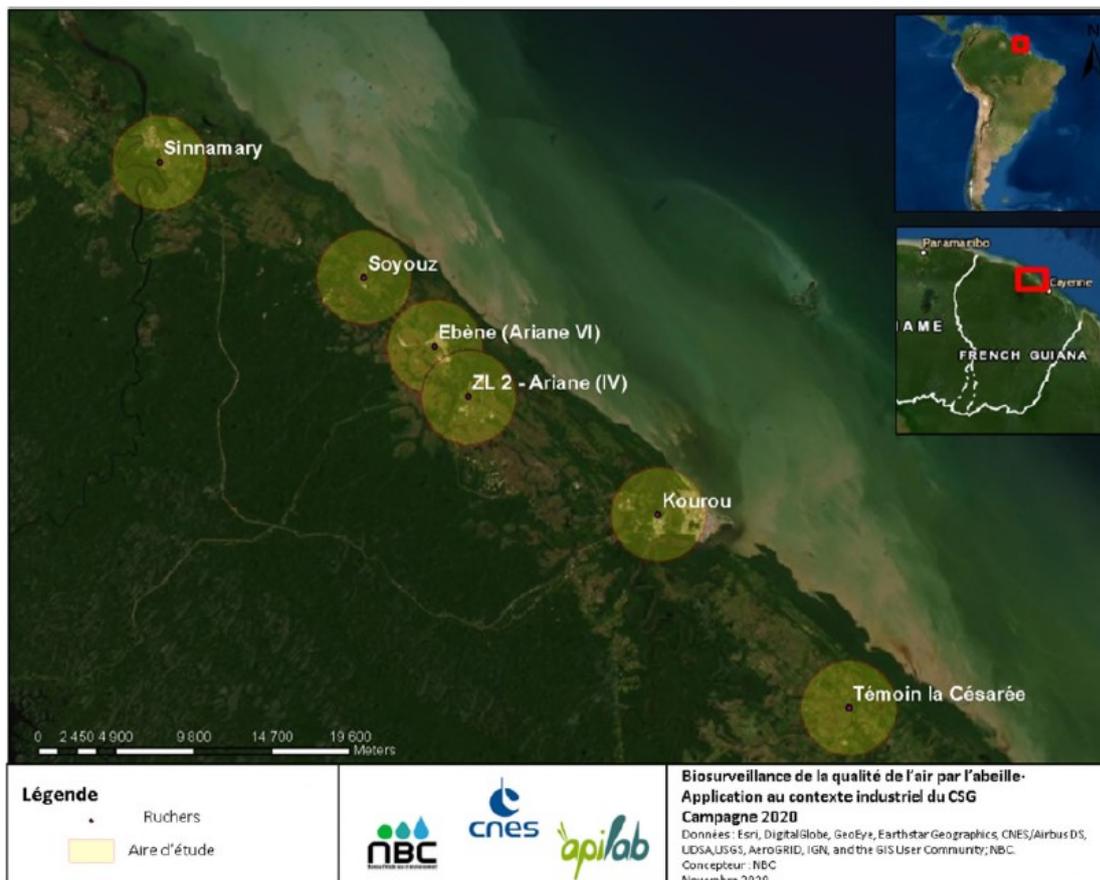


Figure 19 : Situation géographique des sites d'exposition. Les aires d'exposition de l'étude d'un rayon de 3 km sont représentées en jaune.

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>76/90</b></p>
---	---	---

#### D. Prélèvements et Analyses

Le plan de prélèvement ainsi que les échantillonnages ont été réalisés selon la norme française XP X43-909 (Bio surveillance active de l'environnement au moyen de l'abeille domestique).

Il consiste à réaliser un prélèvement de cinq individus par ruches ; ces abeilles sont ensuite lyophilisées et conditionnées individuellement dans des tubes *Eppendorf*.



Figure 20 : Prélèvement d'un individu pour analyse, CNES Optique Vidéo 2017

Sur chacun des ruchers, le **protocole 2021** s'est attaché à :

- Réaliser des prélèvements à différentes saisons : un prélèvement en saison des pluies et un prélèvement en saison sèche.
- Effectuer des **analyses particulières** sur les prélèvements de *Mélipones* et sur les *Buckfast*, par traitement au Microscope Electronique à balayage (MEB) afin d'identifier les principaux éléments, d'origine naturelle ou industrielle, présents dans l'environnement du CSG. Cette analyse particulière est effectuée depuis 2016 et un suivi temporel est possible.
- Analyser l'impact de l'environnement sur le fonctionnement des organismes biologiques des abeilles, via l'étude des **biomarqueurs**. Ils reflètent notamment l'impact de l'agriculture, du transport, de l'industrie et plus généralement des activités humaines, sur le fonctionnement des organismes biologiques. Selon leur nature et leur niveau, ces altérations peuvent avoir un impact plus ou moins important sur la santé. En effet, les polluants peuvent en particulier altérer l'équilibre cellulaire et favoriser, entre autres, la formation de composés carbonylé dans les protéines, ou « **carbonylation** ». Cette altération est irréversible et entraîne un déclin des fonctions biologiques et une vulnérabilité cellulaire.  
**Ainsi, le degré de carbonylation des protéines permet de rendre compte de manière fiable l'impact de l'environnement sur les organismes biologiques.**  
L'analyse de la carbonylation des tissus des abeilles, *Buckfast* et *Mélipones*, a été effectuée par le laboratoire OxiProteomics à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris) et répétée 4 fois par échantillon.
- Analyser les cires d'*Apis mellifera* et **doser les pesticides** bio-accumulés.
- Effectuer une **surveillance globale de la bonne santé** de la ruche via le suivi pondéral des ruchers, des conditions de température et de l'humidité.
- Evaluation via les capteurs AtmoTrack des paramètres de particules fines, des concentrations en NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO ainsi que du bruit, de la température et de l'humidité.

#### E. Communication

En plus de ses avantages strictement techniques, la biosurveillance par les abeilles propose également une **approche pédagogique de la surveillance environnementale**. Une information qualitative de l'environnement obtenue par un organisme vivant est un vecteur de communication efficace pour le grand public. Il est en effet plus simple d'imaginer le danger d'une pollution en observant ses effets sur un organisme vivant qu'en comparant les mesures chiffrées à des valeurs seuils.

En 2021, le grand public a été informé de la méthode à l'occasion du salon POLLUTEC, qui s'est tenu du 12 au 15 octobre 2021 à Lyon. Les collaborateurs de NBC y ont présenté le projet de biosurveillance par l'abeille au CSG.

### 9.6.3. Synthèse des résultats 2021

#### Particules

Concernant les éléments présents de manière abondante sur les sites de prélèvement, les conclusions sont confirmées par les études successives de 2016 à 2021.

Lors des deux saisons d'études, sur tous les sites et chez toutes les abeilles, sont retrouvés en grande majorité (systématiquement plus de 80%) de particules d'origine naturelle (ou habituellement présentes dans l'environnement). Les particules d'origine anthropique sont rares ou à l'état de traces.

ABEILLES MELIPONES		SAISON DES PLUIES (Mai 2021)			SAISON SECHE (Octobre 2021)		
Origine	Classe de particules et site	Témoin - La Césarée	ZI 2- Ariane IV	Soyouz (ELS)	Témoin - La Césarée	ZI 2- Ariane IV	Soyouz (ELS)
	Nombre de particules analysées	47	40	35	51	45	53
Environnement	Aluminosilicates	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant	Rare	Abondant
	Aluminium / Oxyde d'aluminium	Rare	Rare	Rare	Rare	Abondant	Rare
	Calcaire	Abondant	Abondant	Abondant	Rare	Abondant	Rare
	Silice / Sable	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare
	Sodium					Rare	Rare
	Sel NaCl	Rare			Rare		Rare
	Oxyde de fer	Rare	Rare		Rare	Rare	Traces
	Chlore			Rare			
	Magnésium					Rare	Traces
	Phosphore, potassium	Rare	Rare	Abondant	Rare	Rare	Rare
	Sel KCl	Rare	Rare		Traces		
	Sel CaCl						Traces
	Indéterminée	Sulfate de potassium		Rare			
Silicate de potassium				Rare			
Phosphate de calcium		Rare					
Anthropique	Titane		Rare		Traces		
	Cuivre		Rare				
	Manganèse	Rare					Rare
	Molybdène		Rare				
	Chlorure d'aluminium				Rare		
	Aluminate de calcium				Rare		Rare
	Nitrate de fer				Rare		
	Ferronickel						Rare
	Aluzinc						Rare
	Ferrochrome						Traces

ABEILLES APIS		SAISON DES PLUIES (Mai 2021)				SAISON SECHE (Octobre 2021)			
Origine	Classe de particules et site	Témoin - La Césarée (Apis)	Sinnamary	Ebène	Carapa (Kourou)	Témoin - La Césarée (Apis)	Sinnamary	Ebène	Carapa (Kourou)
	Nombre de particules analysées	44	42	45	54	70	40	64	66
Environnement	Aluminosilicates	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant
	Aluminium/ Oxyde d'aluminium	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare
	Calcaire	Abondant	Rare	Rare	Rare	Abondant	Rare	Abondant	Abondant
	Silice/ Sable	Abondant	Abondant	Abondant	Rare			Rare	Rare
	Sel NaCl	Rare	Rare			Rare	Rare	Rare	Rare
	Oxyde de fer		Rare	Rare	Rare	Rare	Traces	Rare	Rare
	Sodium					Rare	Rare	Rare	Rare
	Talc			Rare					
	Magnésium (K, Ca, P)	Rare			Traces		Traces		
	Potassium			Rare	Rare				Rare
	Phosphore + potassium				Rare				
	Brome		Rare						
	Chlore			Rare					
	Sel KCl	Rare		Rare			Traces		
	Indéterminée	Phosphate de calcium	Rare			Traces			
Silicate de potassium									Rare
Anthropique	Titane			Rare	Traces		Traces		
	Manganèse			Rare					Traces
	Technétium (Mo,P)				Traces				
	Zinc	Rare		Rare	Traces	Rare			
	Plomb				Traces				
	Molybdène					Traces			
	Indium					Traces			
	NaCl (Mo, In, Se)					Traces			
	Aluminate de potassium (P,Ca)						Rare		Rare
	Aluminate de calcium								
Sulfate de calcium						Rare			
Anthropique	Chlorure d'aluminium							Traces	
	Aluzinc						Traces		
	Ferrochrome						Traces		

**Tableau 33 : Tableau récapitulatif des particules trouvés dans les échantillons d'abeilles *Apis mellifera* et *Mélipones* – on note que de façon générale, la majorité des particules détectées sont d'origine environnementale (en vert)**

Pour les abeilles mélipones et Apis, les aluminosilicates, les oxydes d'aluminium, les calcaires, les oxydes de fer, et le sable, **d'origine environnementale**, étaient les particules les plus trouvées dans chacun des sites. Ces observations ne diffèrent pas des autres campagnes.

Parmi les particules dont **l'origine est incertaine**, on retrouve fréquemment des composés associés à l'utilisation d'engrais : le sulfate de potassium, le silicate de potassium et le phosphate de calcium. Mais d'autres utilisations anthropique, telle que la construction, font également usage de composés de soufre, phosphore, calcaire ou potassium. On retrouve fréquemment ces composés indépendamment dans l'environnement, c'est pourquoi son attribution n'est pas encore clairement établie.

Au cours des deux saisons, plusieurs types de particules **d'origine anthropique** ont été trouvés, principalement à l'état de traces.

Dans les sites du CSG :

- A Soyouz, nous avons retrouvé des particules d'aluminate de calcium, utilisé pour le ciment, de ferronickel, utilisé pour fabriquer de l'acier inoxydable, de l'aluzinc, présent sur de nombreux édifices, du manganèse et du ferrochrome, qui sont utilisés dans la fabrication d'alliages. Ces particules peuvent provenir des installations présentes près du pas de tir de Soyouz et des activités humaines présentes.

- Sur le site ZL2, les particules classifiées comme étant d'origine anthropique, correspondent à des particules de cuivre, titane et molybdène. La présence de ces particules est associée à l'activité spatiale industrielle, car elles sont couramment utilisées dans la fabrication d'avions et d'engins spatiaux.
- Sur le site d'Ebène, des traces de manganèse, de zinc, de titane, et de chlorure d'aluminium ont été retrouvés.

Dans les villes avoisinantes :

- A Sinnamary on retrouve des particules de sulfate de calcium (composé du plâtre), ainsi que d'aluminate de calcium (présent dans le ciment). On retrouve également des composés métalliques, avec du titane, de l'aluzinc et du ferrochrome.
- Sur le site de Kourou, on note la présence de plusieurs particules de métaux tels que le manganèse, le plomb, le titane, le technétium et le zinc. On relève également de l'aluminate de calcium, présent dans le ciment. Ces particules peuvent être liées à l'activité du centre spatial et aux industries environnantes.

A la Césarée, site témoin, on retrouve du titane, du chlorure d'aluminium, de l'aluminate de calcium et du nitrate ferrique.

**Certaines zones où l'on retrouve des traces de l'activité industrielle dans l'air ont été mises en évidence, sans pour autant générer d'impact sur la vie des abeilles exposées. D'autre sites (comme la ville de Sinnamary par exemple), montrent une excellente qualité de l'air (au niveau particulaire).**

### Biomarqueurs

Les analyses de biomarqueurs ont été réalisées sur les échantillons d'abeilles prélevés en saison sèche et saison des pluies.

Les résultats des analyses sont exprimés ci-dessous en unités arbitraires, avec un taux d'incertitude des mesures de 5%.

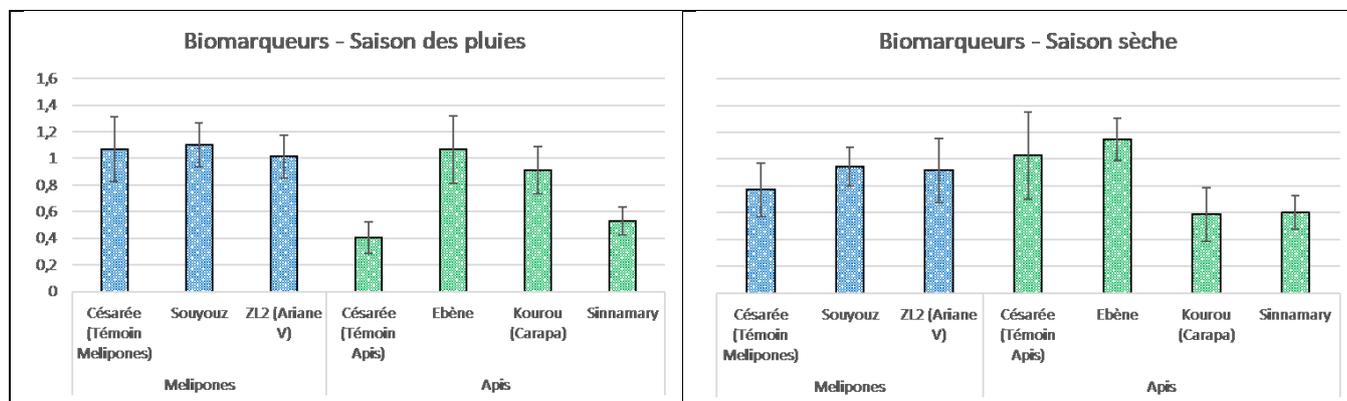


Figure 21 : Valeurs de carbonylation des protéines des 2 prélèvements saisonniers sur tous les sites, mesuré sur les abeilles de type mélipone et apis.

Les valeurs de Carbonyl Score (endommagement moléculaire) obtenues ne montrent pas d'augmentation significative entre l'échantillon prélevé d'abeilles mélipones sur le site témoin et sur les sites d'évaluation de Souyouz et ZL2/Ariane IV, les mélipones ne semblent pas sensibles à un stress engendré par les activités industrielles du site.

Au contraire, les abeilles *Apis mellifera* du site témoin présentent, en saison des pluies, une différence significative avec le niveau de carbonylation des protéines des autres sites (Kourou, Sinnamary et Ebène). Ebène est le site avec le plus haut taux de carbonylation des protéines. La présence d'activités industrielles et/ou agricoles à proximité de ces sites semble provoquer chez ces abeilles un stress oxydatif plus important que si ces activités n'étaient pas présentes. Il n'en reste pas moins que l'interprétation des résultats d'analyse reste statistique et donc conditionné à un échantillon de données suffisamment important. Les efforts devront être continués sur plusieurs années afin d'en tirer des conclusions fiables.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>79/90</b>

### Pesticides

La matrice utilisée pour la recherche de pesticides dans cette étude est la cire d'abeilles (incluant du pain d'abeille). Les sites d'exposition sont Ebène, Kourou et Sinnamary et les mesures ont été faites en saison sèche et saison des pluies.

Les analyses ont été réalisées par chromatographie gazeuse ou liquide (selon les composés recherchés) couplée à un spectrophotomètre de masse par le laboratoire Phytocontrol.

Pesticides	Saison sèche (Septembre 2020)			Saison des pluies (Janvier 2021)	Saison des pluies (Juin 2021)
	Sinnamary Matrice : Cire	Kourou Matrice : Pain d'abeille	Ebène Matrice : Cire	Kourou Matrice : Cire	Ebène Matrice : Cire
<b>Tau-Fluvalinate</b>	0.25 ± 0.10	ND	0.047 ± 0.024	0.025 ± 0.013	ND
<b>Coumaphos</b>	0.015 ± 0.008	ND	ND	ND	ND
<b>Phoxim</b>	ND	ND	ND	D < 0.01	ND

ND : Non détecté

**Tableau 34 : Concentration en mg/kg de chaque pesticide retrouvé**

Le Tau-Fluvalinate, retrouvé dans la saison sèche dans les échantillons de Sinnamary et Ebène et dans la saison des pluies sur le site de Kourou, est un insecticide utilisé pour lutter contre un large éventail de ravageurs foliaires. Il est également utilisé pour contrôler l'acarien Varroa dans les ruches et est peu toxique pour les abeilles.

Sur le site d'Ebène, le Tau-fluvalinate détecté provient de l'entretien des clôtures. En effet, le désherbage mécanique des concertinas est impossible. Il est à noter qu'en 2020, les concentrations sont largement inférieures à celles détectées en 2019.

D'un autre côté, le Coumaphos qui a été retrouvé dans l'échantillon de cire d'abeille du site Sinnamary est un insecticide interdit en France et régulé dans plusieurs pays. Il est actuellement utilisé aux Etats Unis pour lutter contre le varroa qui est un acarien responsable (avec d'autres facteurs) de la mortalité importante parmi les populations d'abeilles. Son usage se réduit à cause des craintes de haute toxicité au sein des abeilles et est désormais strictement contrôlé aux Etats-Unis.

En janvier, a été détecté (mais non quantifié) dans l'échantillon de cire de Carapa (Kourou), le Phoxim, un insecticide et acaricide utilisé pour lutter contre les parasites ou animaux envahisseurs tels que les fourmis et certains insectes du sol. Il s'agit d'un organophosphate également utilisé comme désinfectant et dont l'usage est strictement contrôlé par l'Union Européenne. Sa toxicité sur les insectes et notamment les abeilles est reconnue. Il faut remarquer qu'il y a différentes cultures dans la zone d'action des abeilles à cet endroit qui pourraient expliquer la présence de ces pesticides dans les différents sites d'analyse.

Sur le site d'Ebène aucun pesticide n'a été retrouvé pendant la saison des pluies en juin 2021.

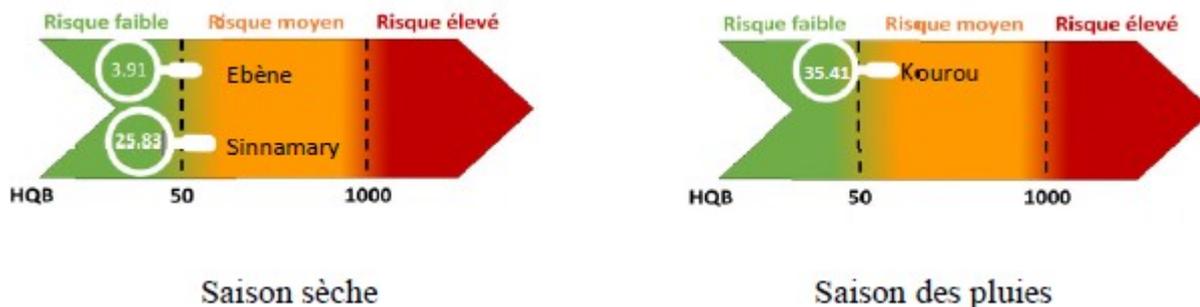


Figure 22 : Facteur de risque pour chaque site.

En conclusion, dans le CSG, des pesticides peu toxiques ont été détectés en faibles concentrations, provenant de l'entretien des clôtures. Sur Kourou et Sinnamary, des pesticides plus virulents ont été détectés et proviennent probablement de l'activité agricole voisine.

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>80/90</b></p>
---	---	---

### Suivi général

L'utilisation du dispositif Beeguard®, sur Soyouz et la ZL2, permet d'avoir une image en direct de l'écosystème représenté par la ruche suivie (évolution du poids dans le temps, donc de la production de cire et de miel), de vérifier d'éventuelles mortalités soudaines (système d'alerte), et d'avoir de surcroît des informations de température importantes à prendre en compte pour le bien être des mélipones. Les mélipones maintiennent une ventilation importante à l'intérieur des ruches avec moins de 1°C entre l'extérieur et l'intérieur, malgré une activité intense au sein de la ruche.

Il ressort que les ruchers n'ont subi aucun dommage lié à l'exposition aux lanceurs Ariane-Véga et Soyouz. **Aucune mortalité de colonie n'a été constatée sur toute la période du suivi en direct.** Les populations par ruche restent stables avec une production significative de miel, de cire et propolis pour le rucher de Soyouz.

Ce dispositif de suivi pondéral et environnemental en continu et en direct, s'avère fiable et indispensable pour suivre les colonies et vérifier d'éventuelles mortalités des mélipones liées ou non à l'activité industriel du site.

### Suivi de la qualité de l'air - capteurs AtmoTrack



Figure 23 : Capteur AtmoTrack

Les capteurs ATMOTRACK apportent des données quantitatives en temps réel qui permettent d'avoir des éléments de mesure additionnels grâce à la surveillance continue de la qualité de l'air, complétant ainsi les études de biosurveillance qui sont réalisées à des moments ponctuels.

Pour 2021, nous avons récupéré les données de deux capteurs de mesure de qualité de l'air, sur les sites de Soyouz et Kourou. Les capteurs évaluent les paramètres PM1, PM2.5, PM10, NH3, NO2, CO, bruit, température et humidité. An noter que le capteur situé sur le site de Soyouz est un Atmo1 (AtmoTrack de 1<sup>ère</sup> génération) et permet d'analyser seulement les paramètres de PM1, PM2.5, PM10.

Pour l'ensemble des paramètres, les concentrations de polluants ont été maintenues à un faible niveau et ne révèlent donc aucun impact majeur sur la qualité de l'air dans les sites étudiés. Pour le site de Carapa, nous avons observé plusieurs pics de particules PM1, PM2,5 et PM 10 les 17, 21 et 22 Octobre 2021. De plus, un pic de NH3 a été recensé le 20 Octobre 2021. Néanmoins, les valeurs moyennes de chaque paramètre restent à un faible niveau ce qui, sur le long terme, ne révèlent aucun impact majeur sur la qualité de l'air des sites étudiés. Nous avons pu confirmer qu'aucune donnée de pollution significative, qui aurait pu interférer avec les résultats, n'a été enregistrée.

**En conclusion**, la campagne 2021 montre des résultats dans la lignée des années précédentes : la conclusion générale est plutôt une bonne santé générale des abeilles et un impact limité des activités industrielles sur site. Les particules détectées sont principalement environnementales. De plus, dans le CSG, il y a moins de pesticides détectés que dans les villes de Kourou et de Sinnamary. Par contre, les analyses des stress oxydants divergent entre les mélipones et les abeilles *Apis mellifera* : les études des bio-marqueurs restent à poursuivre en 2022 afin de comprendre les raisons de ces divergences de résultats.

Les abeilles sont de très bonnes sentinelles de l'air.

## 10. CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG EN 2021

Les principales conclusions à retenir du bilan des plans de mesures environnement 2021 sont rappelées ci-après.



VS26 – CNES/CSG



VA256 – CNES/CSG



VV20 – CNES/CSG

### 10.1. Par rapport aux activités liées aux lanceurs

#### 10.1.1. Ariane 5

- Chaque lancement ARIANE 5 a bénéficié d'un plan de mesures environnement. L'ensemble des capteurs a été déployé ; aucun bac n'a débordé.
- L'optimisation de l'emplacement des capteurs par le biais des simulations SARRIM (réalisées à partir des données prévisionnelles CEP) reste la meilleure méthode actuellement disponible. La direction prise par le nuage de combustion issu de la combustion des EAP lors du décollage du lanceur Ariane 5 est généralement orientée entre la route de l'espace (direction Sinnamary) ou le site d'observation Agami (vers la RN1) suivant les conditions météorologiques du jour du lancement.
- Le réseau de détection d'acide chlorhydrique en temps réel (réseau CODEX-2 mobile), a uniquement détecté des valeurs très ponctuelles et à proximité immédiate du pas de tir. Aucune situation dégradée n'ayant eu lieu, on comprend qu'aucune teneur en produits hydrazinés ou en oxyde d'azote n'a été mesurée.
- Les mesures réalisées par l'intermédiaire des bacs à eau démontrent que les retombées chimiques gazeuses et particulaires sont essentiellement recueillies à proximité de la ZL3 (sur le chemin de ronde). Au-delà des limites du CSG, on remarque que les teneurs mesurées sont très faibles voire non quantifiables. *Pour rappel, les produits de combustion s'élèvent rapidement et ne génèrent qu'un impact localisé dans l'axe des carneaux sur une distance inférieure à 1 kilomètre.*
- En 2021, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo n'a pas été mis en œuvre conjointement à un lancement Ariane. Pour rappel, en 2020 aucun impact particulier lié au vol n'avait pu être décelé.
- Concernant l'impact sur la végétation, selon l'expérience recueillie lors des années précédentes, nous pouvons préciser que :
  - *En champ proche, les retombées chimiques sur la végétation sont dépendantes du positionnement géographique des bacs et de la direction prise par le nuage de combustion par rapport au pas de tir. Elles dépendent aussi de la pluviométrie et de l'influence des embruns marins.*
  - *En champ lointain, l'impact des retombées sur la végétation reste très négligeable compte tenu des très faibles valeurs mesurées (proches des seuils de quantification). Aucun impact attribuable aux lancements d'ARIANE 5 n'a jamais été relevé.*

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>82/90</b></p>
---	---	---

### 10.1.2. Vega

- Pour chacune des missions du lanceur Vega en 2021, un plan de mesures environnement a été déployé ; aucun bac n'a débordé.
- Les orientations prises par le nuage de combustion issu de la combustion du P80 au décollage ont été orientés vers le site d'observation Agami / Carrefour Bec fin ou la station Diane.
- L'optimisation de l'emplacement des capteurs par le biais des simulations SARRIM (réalisées à partir des données prévisionnelles CEP) reste la meilleure méthode actuellement disponible.
- Le réseau de détection d'acide chlorhydrique en temps réel (réseau CODEX-2 – fixe et mobile) n'a détecté aucune concentration notable pour les vols Vega de 2021. Aucune situation dégradée n'ayant eu lieu, on comprend qu'aucune teneur en produits hydrazinés ou en oxyde d'azote n'a été mesurée.
- Les retombées chimiques gazeuses et particulaires, récoltées par l'intermédiaire des bacs à eau, se font essentiellement à proximité de la ZL3 (sur le chemin de ronde). Au-delà, on observe quelques retombées très faibles, à la fois non quantifiables, sous le nuage de combustion.
- En 2021, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo a été mis en œuvre pour deux lancements Vega, et a donc permis de suivre la qualité des eaux de la crique. Aucun impact particulier lié au vol n'a pu être décelé.
- Concernant les pluviollessivats, la conclusion est la même que pour le lanceur Ariane 5

### 10.1.3. Soyouz

- Chaque lancement Soyouz a bénéficié d'un plan de mesures environnement.
- La direction prise par la trace issue de la combustion des moteurs du 1er (blocs latéraux) et 2<sup>nd</sup> (bloc A) étages dépend des conditions météorologiques et non de la saisonnalité.
- Le réseau de suivi de la qualité de l'air CODEX-2 n'a pas mis en évidence de concentration en acide chlorhydrique puisque ce produit n'entre pas dans la composition du nuage de combustion ; Aucune situation dégradée n'étant survenue, on comprend qu'aucune teneur en produits hydrazinés ou en oxyde d'azote n'a été mesurée.
- Le réseau de contrôle en continu de qualité de l'air ENVIRONNEMENT SA, a été partiellement fonctionnel, comme chaque année. Des défaillances sont à noter pour certains analyseurs ce qui fait que l'ensemble des capteurs n'a pu être mis en route. Les capteurs les plus proches de la Zone de lancement, ou situés dans les villes, ont été activés en priorité. Les concentrations maximales ont été mesurées sur l'ELS, à proximité de la zone de lancement. Ces valeurs s'atténuent quelques minutes après le décollage.  
L'analyse des résultats n'a montré aucune dégradation de la qualité de l'air sur les communes de Sinnamary et Kourou.

## 10.2. Par rapport au suivi de l'environnement du CSG

- **Le suivi des sédiments** : les résultats apportent une approche globale de la qualité des sédiments. En effet, il est très difficile de dissocier au sein des teneurs mesurées, la proportion associée à l'impact des lancements et celle associée à la composition naturelle en raison des nombreux processus naturels interférant sur la mesure. Par ailleurs, l'évolution temporelle de la concentration des métaux sur la Karouabo ne met pas en évidence de bioaccumulation imputable aux lancements Ariane 5 et/ou Vega. En ce qui concerne la Paracou, soumise aux influences des retombées du Soyouz, l'analyse des résultats atteste d'un bon état environnemental. Aucune dégradation attribuable aux activités de l'ELS n'est à signaler.
- **Le suivi de la qualité physico-chimique des eaux des criques du CSG** : les résultats démontrent une bonne qualité des eaux ; elles présentent une bonne oxygénation (hormis la Karouabo dont le bouchon vaseux à son estuaire limite les apports salins) et une faible turbidité. La composition chimique des criques du CSG est représentative du fonctionnement hydrologique des cours d'eau guyanais.

<p>CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>83/90</b></p>
--	---	---

- **La surveillance de la faune et flore aquatique** : les pêches aux deux saisons ont été effectuées ; les résultats montrent qu'il n'y a pas de relation entre le poids des poissons et le taux d'aluminium présent dans les muscles. Concernant les invertébrés aquatiques, les structures observées sont communes à d'autres cours d'eau guyanais. Le Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais (SMEG) démontre une qualité biologique moyenne de la crique des Pères, Malmanoury, Paracou et médiocre à la Karouabo. L'IBMG attribue un bon état à la Paracou mais l'IBMG-2 lui attribue un état médiocre. L'indice Poissons de Guyane (IPG) et l'Indice Diatomique de Guyane Française (IDGF) sont cohérents et attribuent un très bon état écologique aux criques Paracou, criques des Pères, Karouabo, et Malmanoury.
  
- **Le suivi de la Grande Faune**, par l'Office Français de la Biodiversité, a été renouvelé pour une période couvrant les années 2020-2023.
  
- **La bio surveillance de la qualité de l'air par les abeilles mélipones** : Le programme de surveillance 2020, reconduit en 2021, vient compléter le protocole évolutif mis en place depuis 2016 au CSG. La collaboration CNES/NBC/APILAB s'est poursuivie et s'est attaché à déployer d'autres métriques de surveillance, comme par exemple les capteurs ATMOTRACK. Les résultats montrent plutôt une bonne santé générale des abeilles et un impact limité des activités industrielles sur site. Les études vont se poursuivre en 2022.

Au regard des résultats obtenus sur les différentes mesures et de l'état de conservation des écosystèmes observés, nous pouvons conclure que **la surveillance des effets sur l'environnement** a bien été réalisée **conformément aux prescriptions des arrêtés préfectoraux**. Les **résultats sont conformes aux limites fixées par les obligations réglementaires**. Ainsi, nous pouvons confirmer, comme que les années précédentes, que **l'impact généré sur l'environnement par les activités de lancement du CSG est faible**.

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>84/90</b></p>
---	---	---

## 11. ANNEXE 1 : Evaluation de l'impact sur les personnes

En accord avec leur mission de sauvegarde et de protection de l'environnement, les services SDP/ES et SDP/PI du CNES/CSG détachent à l'occasion de chaque lancement ARIANE 5/VEGA un cortège de pompiers pour réaliser des mesures de toxicité en acide chlorhydrique (HCl) au niveau de différentes zones du CSG. Elles sont orientées selon les besoins opérationnels permettant ainsi la réouverture de la route de l'espace et la circulation des opérateurs.

Lorsque des mesures de détection positives sont révélées par le réseau CODEX-2 ([3.5 MESURE EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE](#)) des détections supplémentaires peuvent être menées sur la route nationale n°1.

**Ce cas de figure n'a concerné aucun lancement en 2020, puisqu'aucune concentration n'a été détectée par les SPM Honeywell et le réseau d'analyseurs fixes en champ lointain.**

Les résultats d'analyse en champ proche n'ont révélé que de rares concentrations ponctuelles (cf §4.4) ; les détecteurs affichaient tous 0 ppm en HCl quelques minutes après le décollage, pour un seuil de détection des tubes Dragër HCl à 0,1 ppm. De plus, aucune détection olfactive n'est à signaler sur les sites d'observation au lancement à l'intérieur du CSG. Pour rappel, le seuil olfactif pour l'acide chlorhydrique (HCl) est à 0,77 ppm.

Aucun impact des lancements ARIANE 5 / VEGA sur les personnes n'a été décelé.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : <b>10/08/2022</b>
		Page : <b>85/90</b>

## 12. ANNEXE 2 : RAPPELS SUR LES LIMITES REGLEMENTAIRES DE TOXICITE DES PRINCIPAUX PRODUITS EMIS PAR LES LANCEURS

### 12.1. Cas de l'alumine

L'**alumine** ne présente pas de toxicité intrinsèque, par contre comme toute poussière, au-delà d'une certaine concentration dans l'air elle peut présenter des risques. Certaines valeurs ont été déterminées pour assurer la sécurité sur les lieux de travail. Pour les poussières inertes, il existe une VME (Valeur Moyenne d'Exposition des travailleurs). Cette valeur représente la concentration maximale à laquelle une personne peut être exposée sur son lieu de travail 8 heures par jour, 5 jours par semaine sans risque pour sa santé. Bien que non adaptée à l'environnement naturel, cette valeur nous donne un élément de comparaison.

La VME des poussières inertes est donc de 10mg/m<sup>3</sup> pendant 8h, 5 jours/semaine ce qui correspond à une dose par semaine de 1440000 mg.s/m<sup>3</sup>.

Type de gaz	VME	VLE
Alumine (poussière)	10 mg/m <sup>3</sup>	-
Dose Alumine en mg.s/m <sup>3</sup>	1440000	-

### 12.2. Cas de l'acide chlorhydrique

L'**acide chlorhydrique**, ou « chlorure d'hydrogène » sous forme gazeuse, est une substance incolore voire légèrement jaune. Il est facilement soluble dans l'eau. Il présente une toxicité par inhalation et comme tout acide, il peut provoquer des brûlures au contact de la peau.

L'inhalation étant la principale voie d'exposition, un seuil olfactif a été déterminé à une valeur de 0.77 ppm, malgré sa variabilité interindividuelle. D'un point de vue réglementaire, la Valeur Limite d'Exposition « court terme » a été fixé à 7,6 mg/m<sup>3</sup> ou 5 ppm. Cette valeur représente la concentration maximale à laquelle une personne peut être exposée sur son lieu de travail 8 heures par jour, 5 jours par semaine sans risque pour sa santé

Type de gaz	S.E.I. 10 mn	S.E.I. 30 mn	S.E.L. 30 mn	VLE
HCl	240 ppm 358 mg/m <sup>3</sup>	80 ppm 90 mg/m <sup>3</sup>	470 ppm 700 mg/m <sup>3</sup>	5 ppm
Dose HCl en ppm.s	144000	144000	846000	

### 12.3. Cas du monoxyde de carbone

#### Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

Des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) dans l'air des lieux de travail ont été établies pour le monoxyde de carbone.

Substance	Pays	VME (ppm)	VME (mg/m <sup>3</sup> )
Monoxyde de carbone	France (circulaire - 1985)	50	55
Monoxyde de carbone	États-Unis (ACGIH)	25	-
Monoxyde de carbone	Allemagne (valeurs MAK)	30	35

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2021 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-22041-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>10/08/2022</b> Page : <b>86/90</b>
---	--	---

#### 12.4. Cas du dioxyde de carbone

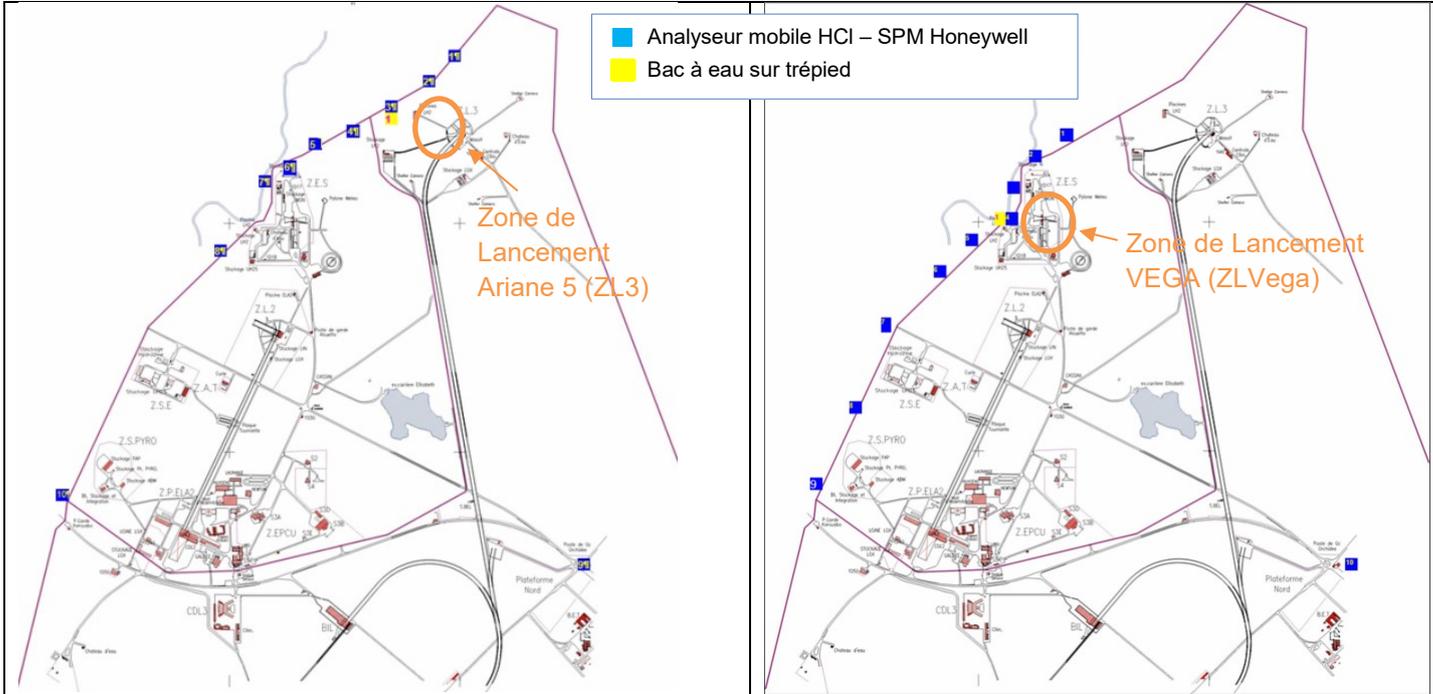
### Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

Des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) dans l'air des lieux de travail ont été établies pour le dioxyde de carbone.

Substance	PAYS	VME (ppm)	VME (mg/m <sup>3</sup> )	VLCT (ppm)
Dioxyde de carbone	Etats-Unis (ACGIH)	5 000 (TLV-TWA)	-	30 000 (TLV-STEL)
Dioxyde de carbone	Allemagne (valeurs MAK)	5 000	9 100	-

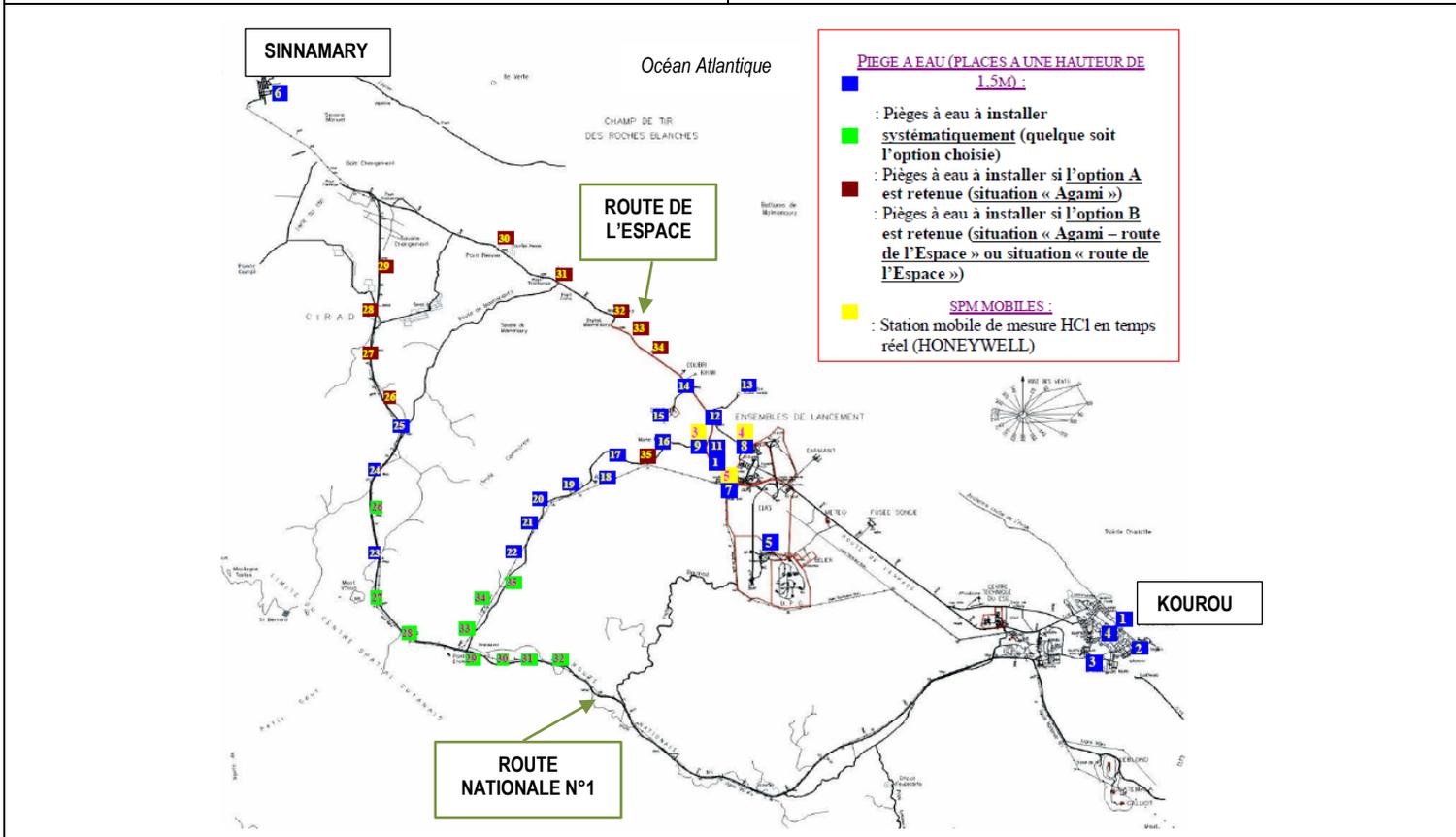
Figure 25 : Fiche toxicologique INRS

**13. ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIE DES CAPTEURS ENVIRONNEMENT (BACS A EAU) ARIANE 5 & VEGA**



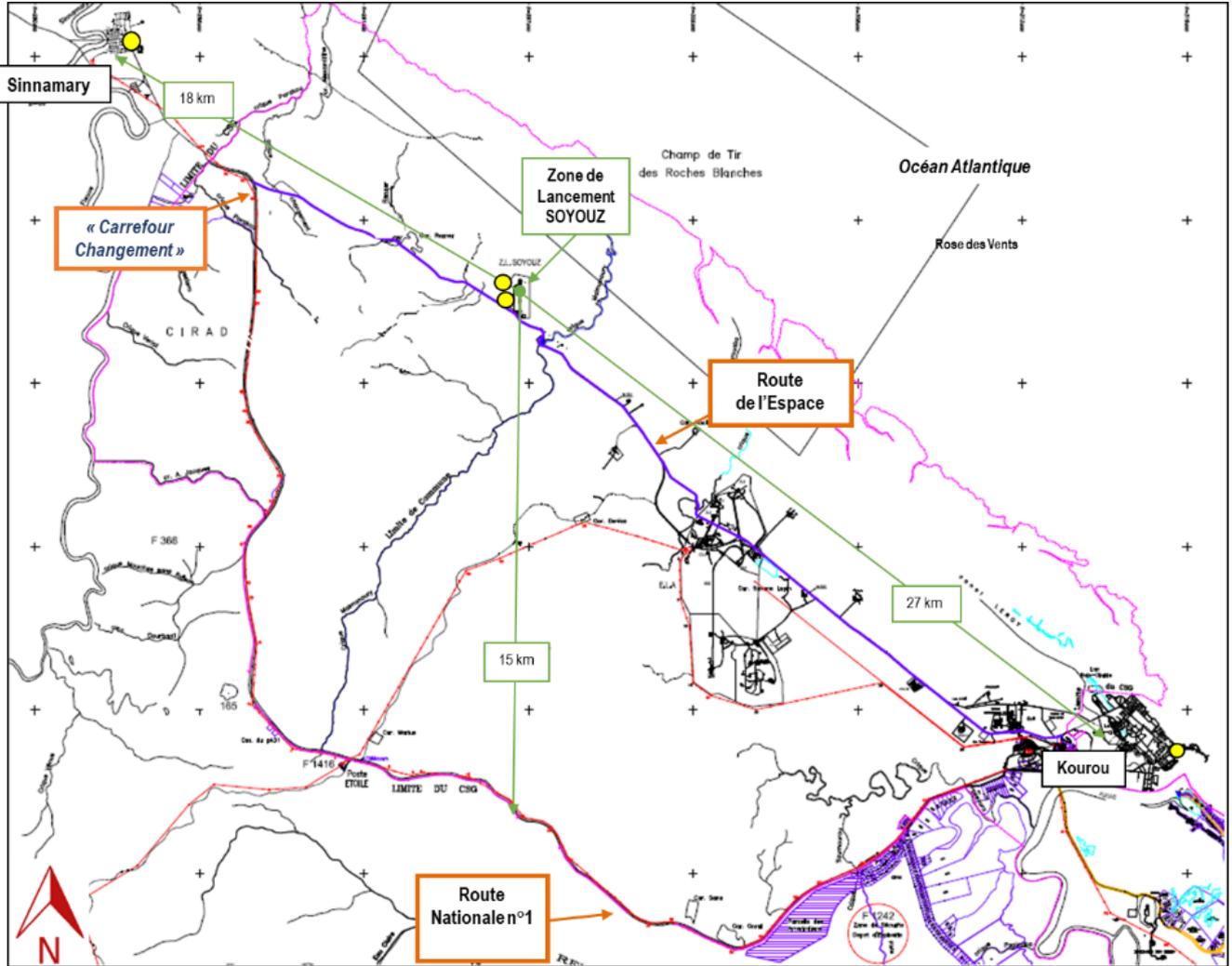
Localisation des capteurs en champ proche (ARIANE 5)

Localisation des capteurs en champ proche (VEGA)



Localisation des capteurs en champ lointain ( Options A et B) ARIANE 5 & VEGA

**14. ANNEXE 4 : CARTOGRAPHIE DES ANALYSEURS EN CONTINU ENVIRONNEMENT SA SOYOUZ**



**15. ANNEXE 5 : ETUDE COMPARATIVE DES DIRECTIONS DES NUAGES DE COMBUSTION  
LORS DE LANCEMENTS ARIANE 5**

	Direction moyenne des retombées calculée avec les prévisions CEP/ARPEGE (en °)	Direction moyenne des retombées calculée avec le radiosondage le plus proche du H0 (en °)	écart (en °)
V181	71,3	50,1	21,2
V182	77	56,1	20,9
V183	63,2	71,5	-8,3
V184	114,2	125,8	-11,6
V185	129	92,8	36,2
V186	44,8	62,5	-17,7
V187	52	40,6	11,4
V188	78,6	85,5	-6,9
V189	73,4	79,8	-6,4
V190	99,6	130,6	-31
V191	87,4	102,4	-15
V192	98	92	6
V193	74	96,4	-22,4
V194 *	89	181,7	-92,7
V195	91,6	120	-28,4
V196	103,8	65,8	38
V197	76,4	47	29,4
V198	99	111,3	-12,3
V199	52,2	56	-3,8
V200	72	61	11
V201	68	72	-4
V202	88	79	9
V203	104	107	-3
V204	114	81	33
V205	69	55	14
V206	88	82	6
V207	91	94	-3
V208	115	107	8
V209	90	65	25
V210	83	91	-8
V211	47	89	-42
V212	67	99	-32
V213	97	69	28
V214	105	93	12
V215	64	54	10
V216	54	51,5	2,5
V217	55	79,5	-24,5
V218	74	80,1	-6,1

	Direction moyenne des retombées calculée avec les prévisions CEP/ARPEGE (en °)	Direction moyenne des retombées calculée avec le radiosondage le plus proche du H0 (en °)	écart (en °)
V219	83	87,2	-4,2
V220	93	127,5	-34,5
V221	94	94	0
V222	64	67	-3
V223	90	88,6	1,4
V224	111	130	-19
V225	105	115	-10
V226	105	105	0
V227	87	96	-9
V228	69	70	-1
V229	32	45	-13
V230	80	104	-24
V231	68	102	-34
V232	100	101	-1
V233	103	107	-4
V234	88	81	7
V235	48	52	-4
V236	71	88	-17
V237	94	165	-71
V238	102	124	-22
V239	87	90	-3
V240	75	99	-24
V241	62	41	21
V242	76	72	4
V243	76	226	-150
V244	119	118	1
V245	94	113	-19
V246	45	46	-1
V247	60	54	6
V248	85	79	6
V249	103	89	14
V250	88	73	15
V251	66	70	-4
V252	56	56	0
V253	94	90	4
V254	52	66	-14
V255	92	106,4	14,4
V256	65,3	74,5	-9,2

Ecart moyen = 17°

♦♦♦♦ FIN DU DOCUMENT ♦♦♦♦