

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 2/75
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

PAGE D'ANALYSE DOCUMENTAIRE

Classification (+ qualification pour Diffusion Limitée) : Non sensible
Rédacteur(s) : Camille BONHOMME et Florent DELAMARE
Version applicable disponible sur : GED Poséidon CNES/CSG
Gestionnaire technique du document : Le service SDP/EST (Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail) est le gestionnaire technique de ce document.

MODIFICATIONS

VERSION	DATE	CHAPITRES MODIFIÉS / RAISON / NATURE DE L'ÉVOLUTION
01/00	15/09/2024	CREATION / BONHOMME C. – DELAMARE F.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 3/75

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	23.SE.RS.08	Rapport ESQS - Résultats du plan de mesures environnement Ariane VA260
DR08	CG/SDP/ES/2023/n°289	Fiche synthétique post lancement VA260
DR09	23.SE.RS.11	Rapport ESQS - Résultats du plan de mesures environnement Ariane VA261
DR10	CG/SDP/ES/2023/n°290	Fiche synthétique post lancement VA261
DR11	23.SE.RS.12	Rapport ESQS - Résultats du plan de mesures environnement VEGA VV23
DR12	CG/SDP/ES/2023/n°448	Fiche synthétique post lancement VV23
DR13	HYDRECO 2023 – Rapport final	Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut – Frédérick J., Cerdan A. & Pottier G., 2024. Surveillance de la faune aquatique dans la zone du Centre Spatial Guyanais– Rapport HYDRECO/CNES. 87 pages + Annexes.
DR14	HYDRECO 2023 - Diatomées	Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut – Kermarrec L. – 2023 – 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 2023. Contrat HYDRECO – CNES, 55p.
DR15	Rapport NBC APILAB final 2023	NBC – Biosurveillance environnementale apicole - Centre Spatial Guyanais - Rapport annuel 2023
DR16	Décret n°2010-1250	Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air
DR17	Rapport d'activité 2023	Atmo Guyane - Rapport d'activité 2023 – Surveillance de la qualité de l'air en Guyane

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 4/75
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

DOCUMENTS APPLICABLES

RÉFÉRENCE		TITRE DU DOCUMENT
DA01	Arrêté N°1632/1D/1B/ENV	Arrêté Numéro 1632/1D/1B/ENV du 24 juillet 2006 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.
DA02	Arrêté N°1655/DEAL	Arrêté Numéro 1655/DEAL du 06 octobre 2011 portant autorisation au CNES à exploiter les installations constitutives de l'ensemble de lancement VEGA (ELV) situées sur le territoire de la commune de Kourou, au sein du Centre Spatial Guyanais.
DA03	Arrête N°2216 1D/4B	Arrête Numéro 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) au Centre Spatial Guyanais sur le territoire de la commune de Kourou.
DA04	Arrêté N°R03-2017-11-15-003	Arrêté Numéro R03-2017-11-15-003 du 15 novembre 2017 autorisant le Centre National d'Etudes Spatiales à exploiter l'ensemble de lancement Ariane 6 (ELA4) implanté sur l'emprise du Centre Spatial Guyanais situé sur la commune de Kourou.
DA05	Arrêté N° R03-2022-09-22-00005	Arrêté Numéro R03-2022-09-22-00005 du 28 septembre 2022 complétant l'arrêté préfectoral n°R03-2017-11-15-003 relatif à l'exploitation des installations de l'ensemble de lancement Ariane n°4 (ELA4) sises à Kourou.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 5/75
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

TERMES ET DEFINITIONS

TERME	DÉFINITION
Abondance	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.
ARPEGE	Modèle de prévisions numériques météorologiques, conçu par Météo France
Bacs à eau	Bacs de piégeage de surface exposée connue, contenant un volume d'eau distillée dont on connaît précisément les paramètres physico-chimiques.
Biomasse	Quantité de matière constituant par l'ensemble des individus composant la population.
Biomarqueurs	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.
CEP	Modèle de prévisions numériques météorologiques, non conçu mais utilisé par Météo France.
Carbonylation	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.
Conditions météorologiques	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.
Détritivore	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.
Données prévisionnelles	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.
Géophyte	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
Hydromorphie	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
Hydroxylation	L'hydroxylation est une réaction chimique consistant à ajouter un groupe hydroxyle (-OH) à une molécule.
Ichtyofaune	Partie de la faune aquatique rassemblant l'ensemble des poissons vivants dans un espace géographique ou un habitat déterminé.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 6/75
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

TERME	DÉFINITION
Indice Biologique des Macro invertébrés de Guyane	Cet indice a été créé pour évaluer la qualité écologique des PME (Petites Masses d'Eau) de Guyane (<i>Dedieu, 2015</i>).
Indice de condition	Coefficient révélant l'état physiologique des poissons
Indice Poisson de Guyane	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.
Indice de Shannon ou Shannon-Wiener	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
Mobilité	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.
Polymérisation	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.
Pyrophyte	Une pyrophyte est une plante qui supporte le feu, on peut également parler d'espèce pyrophile.
Richesse spécifique	Nombre d'individu d'une même espèce pouvant être rencontrée dans un écosystème donné.
Richesse taxonomique	Nombre d'individu d'un même taxon pouvant être rencontrée dans un écosystème donné.
Seuil des Effets Irréversibles (SEI)	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).
Seuil des Effets Létaux (SEL)	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).
Spéciation	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.
Taxa / Taxon	Unité quelconque (genre, famille, espèce, sous-espèce, etc.) des classifications hiérarchiques des êtres vivants

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 7/75

TERME	DÉFINITION
Transect	Série de relevés de terrain selon des lignes plus ou moins droites.
Radiosondage	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.
Valeur Limite d'Exposition (VLE)	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.
Valeur Moyenne d'Exposition (VME)	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 ³ pour l'alumine.

SIGLES

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
Al₂O₃	Alumine
Al³⁺	Ion Aluminium
Al	Aluminium
ARTA	programme d'Accompagnement, de Recherche et de Technologie Ariane
AFNOR	Association Française de Normalisation
BCS	Bureau de Coordination Sauvegarde
BEAP	Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre
BLA	Base de Lancement Ariane
Ca	Calcium
CI	Contrat Industriel
CL	Champ Lointain
Cl⁻	Ion Chlorure
CHK	Centre Hospitalier de Kourou

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 8/75
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 9/75
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 10/75
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
SPM	« Single Point Monitor »
UDMH	Unsymmetrical Di MethylHydrazine (Diméthyl hydrazine asymétrique)
UPG	Usine de Propergol Guyane
VLE	Valeur Limite d'Exposition
VME	Valeur Moyenne d'Exposition
VLI	Vitesse Limite d'Impact
VTR	Valeur Toxicologique de Référence
ZL3	Zone de Lancement n°3 dédié au lanceur ARIANE 5
ZLV	Zone de Lancement VEGA
ZP	Zone de Préparation

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 11/75
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

SOMMAIRE

1. OBJET ET BILAN DES MESURES EN 2023	15
2. CATALOGUE 2023 DES FICHES SYNTHETIQUES POST-LANCEMENT	20
3. LES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE 5 VEGA ET VEGA-C	24
3.1. OBJECTIFS DES MESURES	24
3.2. SARRIM, L'OUTIL DE MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES RETOMBEES CHIMIQUES ET GAZEUSES	25
3.3. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	25
3.4. SUIVI DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMP PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN	26
3.5. MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	27
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.....	30
4.3. CONCLUSIONS SUR LES MODELISATIONS DE L'OUTIL SARRIM.....	31
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.....	32
4.6. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DES LANCEMENTS ARIANE 5 EN 2023	34
5. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LA CAMPAGNE VEGA	35
5.1. LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	35
5.2. COMPARAISON DES RESULTATS DES SIMULATIONS REALISEES A PARTIR DU RADIOSONDAGE ET DES DONNEES CEP/ARPEGE.....	36
5.3. CONCLUSIONS SUR LES MODELISATIONS DE L'OUTIL SARRIM.....	37
5.4. RESULTATS DES MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	37
5.5. RESULTATS DES MESURES DE RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN.....	37
5.6. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DU LANCEMENT VEGA EN 2023	39

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 12/75
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT AU BANC D’ESSAI DES ACCELERATEURS A POUDRE (BEAP).....	40
7. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES REALISEES POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DE L’ENVIRONNEMENT ET DES ECOSYSTEMES DU CSG	42
7.1. LES OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG	42
7.2. <i>MESURE DE LA QUALITE DE L’EAU DE LA CRIQUE KAROUABO</i>	42
7.3. MESURE DE LA QUALITE DES SEDIMENTS DES CRIQUES KAROUABO ET MALMANOURY	43
7.4. SUIVI DE LA FAUNE ET DE LA FLORE AQUATIQUE DES CRIQUES DU CSG	48
7.5. SUIVI DU PATRIMOINE VEGETAL DU CSG	54
7.6. BIO SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L’AIR AU MOYEN DES ABEILLES	55
8. CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG EN 2023	68
8.1. PAR RAPPORT AUX ACTIVITES LIEES AUX LANCEURS	68
8.2. PAR RAPPORT AU SUIVI DE L’ENVIRONNEMENT DU CSG	69
9. ANNEXE 1 : EVALUATION DE L’IMPACT SUR LES PERSONNES	70
10. ANNEXE 2 : RAPPELS SUR LES LIMITES REGLEMENTAIRES DE TOXICITE DES PRINCIPAUX PRODUITS EMIS PAR LES LANCEURS.....	71
10.1. CAS DE L’ALUMINE	71
10.2. CAS DE L’ACIDE CHLORHYDRIQUE	71
11. ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIE DES CAPTEURS ENVIRONNEMENT (BACS A EAU) ARIANE 5 & VEGA.....	72
12. ANNEXE 4 : ETUDE COMPARATIVE DES DIRECTIONS DES NUAGES DE COMBUSTION LORS DE LANCEMENTS ARIANE 5	73

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 13/75
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - principaux résultats 2021	16
Tableau 2 : Ensemble des paramètres de mesures dans les bacs à eau	26
Tableau 3: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des prévisions CEP/ARPEGE	29
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine.....	29
Tableau 5: Tableau récapitulatif des directions et vitesses des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages	30
Tableau 6 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour Ariane 5 en 2023	31
Tableau 7 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	33
Tableau 8 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	33
Tableau 9: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE	35
Tableau 10 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine.....	35
Tableau 11: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages.....	36
Tableau 12 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour VEGA en 2023.....	37
Tableau 13 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	38
Tableau 14 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	39
Tableau 15 : Suivi de la Karouabo en 2023	43
Tableau 17 : Modification de la spéciation et de la mobilité de certains ions en fonction du paramètre pH du sol.	44
Tableau 18 : Paramètres physico-chimiques mesurés pour les trois stations en 2023 (en bleu : très bon état ; en vert : bon état ; en jaune : état moyen ; en orange : état médiocre)	44
Tableau 19 : Résultats des analyses de métaux dans les sédiments de la Karouabo et de la Malmanoury	46
Tableau 20 : Tableau de synthèse des principaux résultats obtenus pour le suivi de la faune aquatique pour 2023.....	49
Tableau 21 : Notes de l'IPG-G et classes de qualité associées pour les trois stations	50
Tableau 22 : Tableau récapitulatif des particules trouvées dans les échantillons d'abeilles Mélipones et Apis mellifera.....	61
Tableau 23 : Tableau récapitulatif des particules trouvés dans les échantillons d'abeilles Mélipones et Apis mellifera.....	62
Tableau 24 : Concentration en mg/kg de chaque pesticide retrouvé.....	64

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 14/75
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Lancement VV23 vu depuis la ZLV Service CNES OPTIQUE VIDEO.....	16
Figure 2 : Bac à eau sur son trépied métallique et SPM Honeywell sur le chemin de ronde AR5	26
Figure 3 : Dépose d'un bac à eau avec son flacon d'échantillonnage.....	26
Figure 4 : Cartographie du CSG (Carte IGN, Géoportail ©)	29
Figure 5 : SPM mobile installé en champ proche.....	32
Figure 6 : Crique Karouabo en saison sèche, HYDRECO 2023.....	47
Figure 7 : Crique Malmanoury en saison sèche, HYDRECO 2023	47
Figure 8 : Mélipona	55
Figure 9 : Ruchers Tangara	56
Figure 10 : Ruchers Sentier Ebène	56
Figure 11 : Ruchers de l'ELS	56
Figure 12 : Anatomie d'une abeille, NBC/APILAB.....	57
Figure 13 : Vue interne d'un rucher et de son organisation, NBC APILAB.....	58
Figure 14 : Situation géographique des sites d'exposition. Les aires d'exposition de l'étude d'un rayon de 3 km sont représentées en jaune.....	59
Figure 15 : Prélèvement d'un individu pour analyse, CNES Optique Vidéo 2017	59
Figure 16 : Valeurs de carbonylation des protéines du prélèvement saisonnier sur tous les sites, mesuré sur les abeilles mélipones et apis.	63
Figure 17 : Quotient de risques des pesticides par site et par année.	64
Figure 18 : Position géographique des postes de mesure des ruches de biosurveillance. Site Soyouz (à gauche) et site Ebène (à droite).....	65
Figure 19 : Suivi site Soyouz	66
Figure 20 : Suivi site Ebène	66
Figure 21 : Capteur AtmoTrack	67

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 15/75
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1. Objet et bilan des mesures en 2023

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 2023 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 Vega (ELV) **[DA02]**,
- Confirmer et enrichir les résultats obtenus lors des essais au Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre (BEAP) et lors des lancements Ariane 5 et VEGA,
- 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 ELV

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

- Deux campagnes **Ariane 5** (VA260 et VA261) – **Chapitre 4**
- Une campagne **Vega** (VV23) – **Chapitre 5**
- Aucun essai n'a été réalisé en 2023 au **BEAP**– **Chapitre 6**

Par ailleurs, des **suivis annuels** sont menés sur les différents compartiments environnementaux présents au Centre Spatial Guyanais (CSG) – **cf. Chapitre 7**.

Le tableau 1 ci-dessous résume les principaux résultats 2023.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 16/75

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS																															
RAPPEL DES ACTIVITES DE LANCEMENTS AU CSG	<p>En 2023, le Centre Spatial Guyanais a opéré 3 lancements, répartis comme suit</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #4F81BD; color: white;"> <th>Lanceurs</th> <th>Missions</th> <th>J0</th> <th>H0 (Heure Locale)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Ariane 5 (2 lancements)</td> <td>VA260</td> <td>14/04/2023</td> <td>09h14</td> </tr> <tr> <td>VA261</td> <td>05/07/2023</td> <td>10h00</td> </tr> <tr> <td>VEGA (1 lancement)</td> <td>VV23</td> <td>08/10/2023</td> <td>22h36</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">Figure 1 : Lancement VV23 vu depuis la ZLV Service CNES OPTIQUE VIDEO</p>	Lanceurs	Missions	J0	H0 (Heure Locale)	Ariane 5 (2 lancements)	VA260	14/04/2023	09h14	VA261	05/07/2023	10h00	VEGA (1 lancement)	VV23	08/10/2023	22h36																
Lanceurs	Missions	J0	H0 (Heure Locale)																													
Ariane 5 (2 lancements)	VA260	14/04/2023	09h14																													
	VA261	05/07/2023	10h00																													
VEGA (1 lancement)	VV23	08/10/2023	22h36																													
SYNTHESE DES INDICATEURS DE QUALITE DES MILIEUX	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #C8E6C9;"> <th>COMPARTIMENTS</th> <th>AIR</th> <th>EAU et SEDIMENTS</th> <th>DIATOMEES</th> <th>FAUNE AQUATIQUE</th> <th>BIOSURVEILLANCE (abeilles)</th> <th>VEGETATION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">MESURES</td> <td>Réseau CODEX et CODEX-2 <i>HCl / Al₂O₃ / N₂H₄ / NO_x</i></td> <td>Suivi de la qualité physico-chimique</td> <td>IPS (Indice de Polluosensibilité Spécifique)</td> <td>Diversité, Richesse, Abondance</td> <td>Analyse particulière</td> <td rowspan="3">Surveillance environnementale du patrimoine forestier</td> </tr> <tr> <td>Analyseurs mobiles <i>HCl</i></td> <td>KAROUABO</td> <td>IDGF (Indice Diatomique de Guyane Française)</td> <td>Lésions anatomo pathologique et Dosage Aluminium (<i>poissons</i>)</td> <td>Biomarqueurs</td> </tr> <tr> <td>Bacs à eau <i>HCl / Al₂O₃</i></td> <td>MALMANOURY</td> <td></td> <td>IDF (Indice Diatomique de Guyane)</td> <td>Analyse des cires (pesticides)</td> </tr> <tr style="background-color: #E8F5E9;"> <td>ETAT GENERAL</td> <td>AUCUN IMPACT DECELE</td> <td>AUCUN IMPACT DECELE</td> <td>ETAT MOYEN A TRES BON ETAT ECOLOGIQUE</td> <td>AUCUN IMPACT DECELE</td> <td>AUCUN IMPACT DECELE</td> <td>BON ETAT ECOLOGIQUE</td> </tr> </tbody> </table>	COMPARTIMENTS	AIR	EAU et SEDIMENTS	DIATOMEES	FAUNE AQUATIQUE	BIOSURVEILLANCE (abeilles)	VEGETATION	MESURES	Réseau CODEX et CODEX-2 <i>HCl / Al₂O₃ / N₂H₄ / NO_x</i>	Suivi de la qualité physico-chimique	IPS (Indice de Polluosensibilité Spécifique)	Diversité, Richesse, Abondance	Analyse particulière	Surveillance environnementale du patrimoine forestier	Analyseurs mobiles <i>HCl</i>	KAROUABO	IDGF (Indice Diatomique de Guyane Française)	Lésions anatomo pathologique et Dosage Aluminium (<i>poissons</i>)	Biomarqueurs	Bacs à eau <i>HCl / Al₂O₃</i>	MALMANOURY		IDF (Indice Diatomique de Guyane)	Analyse des cires (pesticides)	ETAT GENERAL	AUCUN IMPACT DECELE	AUCUN IMPACT DECELE	ETAT MOYEN A TRES BON ETAT ECOLOGIQUE	AUCUN IMPACT DECELE	AUCUN IMPACT DECELE	BON ETAT ECOLOGIQUE
COMPARTIMENTS	AIR	EAU et SEDIMENTS	DIATOMEES	FAUNE AQUATIQUE	BIOSURVEILLANCE (abeilles)	VEGETATION																										
MESURES	Réseau CODEX et CODEX-2 <i>HCl / Al₂O₃ / N₂H₄ / NO_x</i>	Suivi de la qualité physico-chimique	IPS (Indice de Polluosensibilité Spécifique)	Diversité, Richesse, Abondance	Analyse particulière	Surveillance environnementale du patrimoine forestier																										
	Analyseurs mobiles <i>HCl</i>	KAROUABO	IDGF (Indice Diatomique de Guyane Française)	Lésions anatomo pathologique et Dosage Aluminium (<i>poissons</i>)	Biomarqueurs																											
	Bacs à eau <i>HCl / Al₂O₃</i>	MALMANOURY		IDF (Indice Diatomique de Guyane)	Analyse des cires (pesticides)																											
ETAT GENERAL	AUCUN IMPACT DECELE	AUCUN IMPACT DECELE	ETAT MOYEN A TRES BON ETAT ECOLOGIQUE	AUCUN IMPACT DECELE	AUCUN IMPACT DECELE	BON ETAT ECOLOGIQUE																										

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 17/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION	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.
MODELISATION DES RETOMBÉES AU SOL DU NUAGE DE COMBUSTION	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 4 : Etude comparative des directions des nuages de combustion lors de lancements ARIANE 5) démontre la pertinence de cette méthode.
SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR : CAPTEURS ENVIRONNEMENT EN CHAMP PROCHE ET EN CHAMP LOINTAIN Mesures des retombées chimiques et particulaires pour Ariane 5 et VEGA	Les mesures réalisées s'intéressent aux produits de combustion majoritairement émis par chaque lanceur lors de son décollage. Pour les lanceurs Ariane 5 et VEGA nous nous intéressons à l' acide chlorhydrique et à l' alumine ; <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les résultats des mesures effectuées pour les vols Ariane 5 de 2023 n'ont pas montré de particularité par rapport aux lancements des précédentes années. ▪ Les plus fortes concentrations sont toujours observées en champ proche (dans un périmètre maximal de 500 mètres autour du pas de tir). ▪ Les mesures réalisées pour les vols VEGA de l'année 2023 n'ont pas montrés de particularité. En effet, les concentrations mesurées sont plus faibles que celles retrouvées suite aux tirs d'Ariane. ▪ 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.
SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR : RESEAU CODEX2, ANALYSEURS FIXES ET MOBILES, Suivi en continu	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En 2023, lors des deux lancements Ariane 5, des détections d'acide chlorhydrique sur le réseau de capteur CODEX-2 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. 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 2023.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 18/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
SUIVI CONTINU DE LA QUALITE DES EAUX DE SURFACE CRIQUE KAROUABO (Uniquement pour Ariane 5 et Vega)	<p>En 2023, des prélèvements d'eau ont été effectués par prélèvement automatique, pour VV23. 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>
ANALYSE DE LA QUALITE PHYSICO- CHIMIQUE DES SEDIMENTS	<p>En 2023, 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).</p>
PEUPELEMENTS DE POISSONS « ICHTYOFAUNE »	<p>Aucune différence n'est à retenir entre les 2 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 ni Vega. Elle est tout simplement naturelle.</p>
INVERTEBRES AQUATIQUES	<p>Les résultats du suivi des invertébrés aquatiques en 2023 mettent en avant une qualité des eaux classée moyenne à très bonne.</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. Le SMEG met en avant une qualité des eaux classée moyenne à très bonne. La diversité et l'abondance des peuplements d'invertébrés recensés ne traduit pas de perturbation attribuable aux lancements.</p>
DIATOMÉES	<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 et HYDRECO pour la Guyane attribue un bon état écologique à la crique des Pères et à la Malmanoury, un état écologique moyen à la Karouabo. L'IPS (l'Indice de Polluosensibilité Spécifique) attribue un très bon état à toutes les criques sauf la crique des pères à laquelle est attribuée un état moyen.</p>

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 19/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
SUIVI DE LA VEGETATION Analyse des pluviollessivats (Uniquement pour Ariane 5 et Vega)	<p>Les pluviollessivats n'ont pas pu être exploités en 2023. Cependant, lors des années précédentes, il a été 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>
ABEILLES	<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. Lors de la campagne de surveillance 2023 par les abeilles, maintien du protocole de 2022 (sites, nombres de mesures, types d'analyses) et ajouté l'inventaire floral au travers de l'ADN environnemental du miel.</p> <p>Les changements pour 2023 sont : 3 nouvelles ruches sur le site d'Ebène, ainsi qu'un compteur d'abeilles. 5 nouvelles ruches à Sinnamary et un nouvel apiculteur pour la maintenance des ruches d'Apis Mellifera, le second apiculteur est en charge des ruches de Mélipones</p>
GRANDE FAUNE	<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 troisième phase de collaboration entre l'OFB (Office Français de la Biodiversité) et le CNES, sur l'étude de la grande faune sur le Centre Spatial Guyanais, se déroule sur une durée de 4 ans 2020-2024.</p>

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 20/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2. CATALOGUE 2023 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 événement 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.

Vous trouverez ci-dessous l'ensemble des fiches synthétiques post lancement qui a été diffusé en 2023 sur le site internet du CSG.



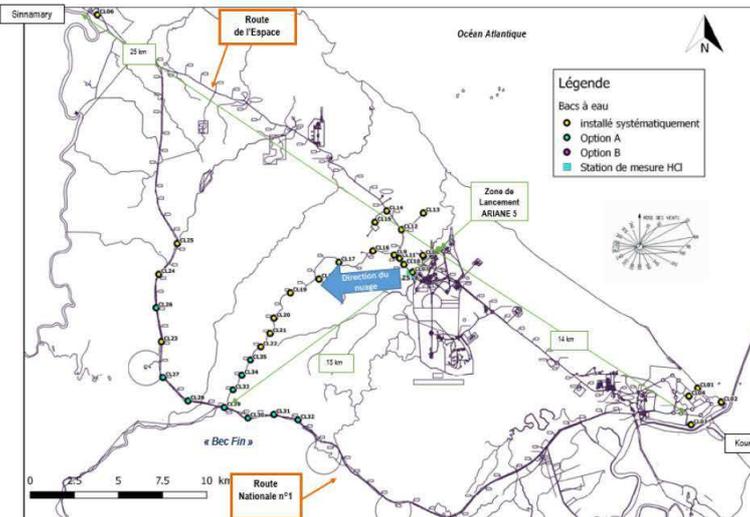
RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT VOL ARIANE 5 VA260

Réf : CG/SDP/ES/2023/h° 289

Arrêté préfectoral N°1632 1D/1B/ENV du 24 juillet 2006 autorisant l'exploitation de l'Ensemble de Lancement Ariane (ELA) sur la commune de Kourou

Vendredi
 14
 Avril
 2023

Carte du CSG et répartition des capteurs d'analyse de l'air



Ariane 5 version ECA
 Le vendredi 14 avril 2023 à 09h14 (Heure locale).

Le vol 260 en bref :

Une sonde pour l'exploration des lunes de Jupiter

JUICE au profit de l'ESA

Seuls les produits de combustion des Etages d'Accélération à Poudre (EAP) sont dispersés dans l'atmosphère



Acide chlorhydrique + Alumine
 (HCl) (Al₂O₃)

EMPLACEMENT DES CAPTEURS		DETAILS DE L'INSTRUMENTATION	
10 sites en champ proche (Zone de Lancement)	10 bacs à eau	●	●
	2 analyseurs mobiles	■	■
33 sites en champ lointain (Kourou / Sinnamary / RN1 / CSG)	33 bacs à eau	●	●
	6 analyseurs mobiles	■	■
Réseau CODEX (Kourou / Sinnamary/ CSG)	24 analyseurs fixes		
PARAMETRES DE MESURE			
Bacs à eau	pH / Conductivité / Aluminium particulaire / Chlorures (Institut Pasteur de Guyane)		
Analyseurs mobiles	Acide chlorhydrique en continu		
Analyseurs fixes	Acide chlorhydrique		



CONCLUSIONS SUR LE PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT VA 260

Teneurs maximales en acide chlorhydrique et en alumine mesurées jusqu'à 362 m de la zone de lancement soit à l'intérieur du périmètre du CSG.

Hors du CSG, les teneurs en acide chlorhydrique et en alumine émises par l'environnement naturel et l'activité humaine sont similaires. Les concentrations sont faibles, parfois non imputable au lancement (soulèvement de poussière, embruns marins) ; l'impact du lancement n'est pas décelable.

L'ensemble des capteurs a bien été exposé aux retombées du nuage de combustion (OPTION A « AGAMI »)

Impact sur les personnes non décelé
 Impact sur l'environnement non décelé

Une question ?

environnement-csg@cnes.fr





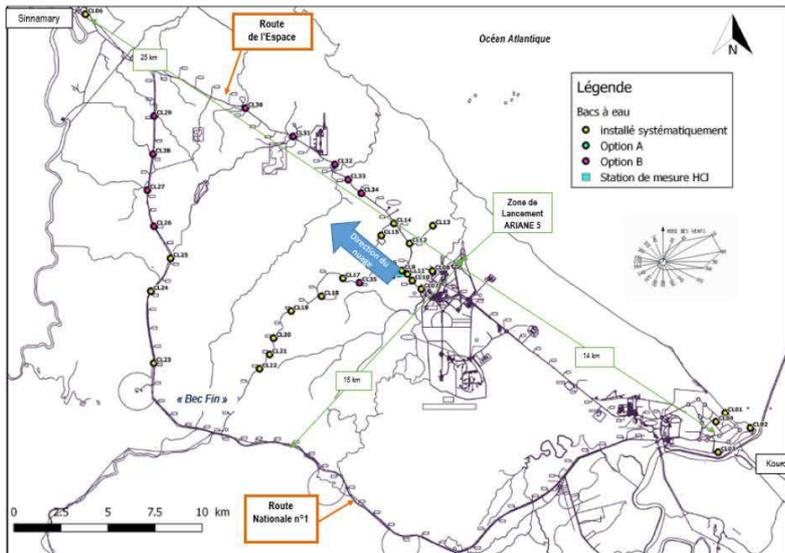
RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT VOL ARIANE 5 VA261

Réf : CG/SDP/ES/2023/n° 290

Arrêté préfectoral N°1632 1D/1B/ENV du 24 juillet 2006 autorisant l'exploitation de l'Ensemble de Lancement Ariane (ELA) sur la commune de Kourou

Mercredi
 05
 Juillet
 2023

Carte du CSG et répartition des capteurs d'analyse de l'air



Ariane 5 version ECA
 Le mercredi 05 juillet 2023 à 19h00 (Heure locale).

Le vol 261 en bref :

2 satellites de télécommunications

Syracuse 4B au profit de la D.G.A.

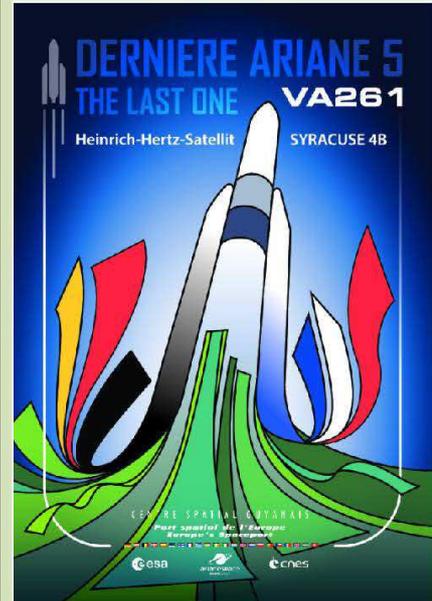
Heinrich-Hertz-Satellit
 au profit de l'agence spatiale allemande

Seuls les produits de combustion des **Etages d'Accélération à Poudre (EAP)** sont dispersés dans l'atmosphère



Acide chlorhydrique (HCl) + Alumine (Al₂O₃)

EMPLACEMENT DES CAPTEURS		DETAILS DE L'INSTRUMENTATION	
10 sites en champ proche (Zone de Lancement)	10 bacs à eau	●	●
	2 analyseurs mobiles	■	■
35 sites en champ lointain (Kourou / Sinnamary / RN1 / CSG)	35 bacs à eau	●	●
	6 analyseurs mobiles	■	■
Réseau CODEX (Kourou / Sinnamary/ CSG)	24 analyseurs fixes		
PARAMETRES DE MESURE			
Bacs à eau	pH / Conductivité / Aluminium particulaire / Chlorures <i>(Institut Pasteur de Guyane)</i>		
Analyseurs mobiles	Acide chlorhydrique en continu		
Analyseurs fixes	Acide chlorhydrique		



CONCLUSIONS SUR LE PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT VA 261

Teneurs maximales en acide chlorhydrique et en alumine mesurées jusqu'à 362 m de la zone de lancement soit à l'intérieur du périmètre du CSG.

Hors du CSG, les teneurs en acide chlorhydrique et en alumine émises par l'environnement naturel et l'activité humaine sont similaires. Les concentrations sont faibles, parfois non imputable au lancement (soulèvement de poussière, embruns marins); l'impact du lancement n'est pas décelable.

L'ensemble des capteurs a bien été exposé aux retombées du nuage de combustion (OPTION B « Route de l'Espace »)

Impact sur les personnes non décelé
Impact sur l'environnement non décelé

Une question ?

environnement-csg@cnes.fr





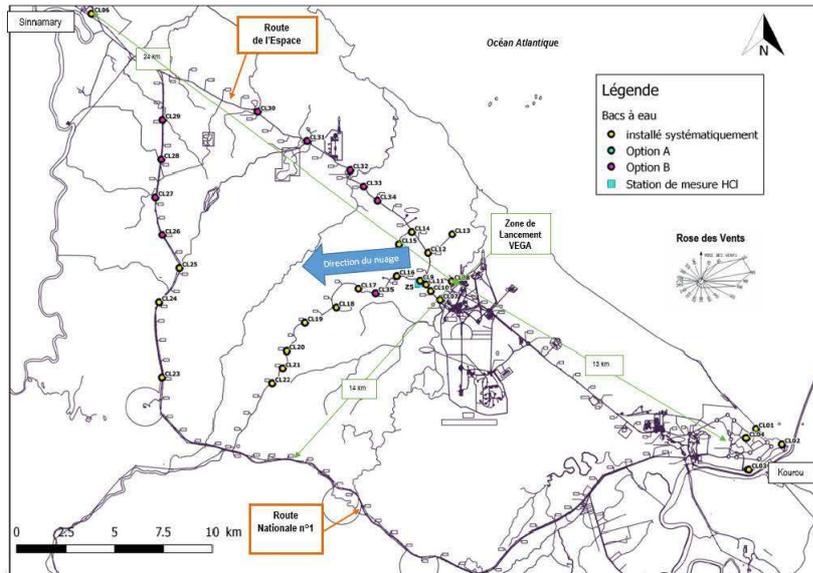
RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT VOL VEGA - VV23

Réf : CG/SDP/ES/2023/n° 448

Dimanche
 08
 octobre
 2023

Arrêté préfectoral N°1655/DEAL du 06 octobre 2011 portant autorisation au CNES à exploiter les installations constitutives de l'Ensemble de Lancement VEGA (ELV) situées sur le territoire de la commune de Kourou, au sein du Centre Spatial Guyanais

Carte du CSG et répartition des capteurs d'analyse de l'air



Seuls les produits de combustion du premier étage (P800) sont dispersés dans l'atmosphère



Acide chlorhydrique + Alumine
 (HCl) (Al₂O₃)



VEGA / Tir Nord

Le dimanche 08 octobre à 22h36''
 (Heure locale).

Le vol VV23 en bref :

1 satellite développé par l'Agence spatiale
 taïwanaise (TASA)
FORMOSAT-7R TRITON
 Permettant de calculer les champs de vent au-
 dessus des océans

1 satellite d'observation de la Terre
THEOS-2
 Développé par Airbus Défense & Space

EMPLACEMENT DES CAPTEURS	DETAILS DE L'INSTRUMENTATION
10 sites en champ proche (Zone de Lancement)	10 bacs à eau
	2 analyseurs mobiles
	5 bacs pluviessivats
35 sites en champ lointain (Kourou / Sinnamary / RN1 / CSG)	35 bacs à eau
	6 analyseurs mobiles
Réseau CODEX (Kourou / Sinnamary / CSG)	24 analyseurs fixes

PARAMETRES DE MESURE	
Bacs à eau	pH / Conductivité / Aluminium particulaire / Chlorures (Institut Pasteur de Guyane)
Analyseurs mobiles	Acide chlorhydrique en continu
Analyseurs fixes	Acide chlorhydrique
Bacs pluviessivats	Aluminium total



CONCLUSIONS SUR LE PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT VV23

Teneurs maximales en acide chlorhydrique et en alumine mesurées jusqu'à 290 mètres en zone de lancement soit à l'intérieur du périmètre du CSG.

Hors du CSG, les teneurs en acide chlorhydrique et en alumine émises par l'environnement naturel et l'activité humaine sont similaires. Les concentrations sont faibles, parfois non imputable au lancement (soulèvement de poussière, embruns marins) ; l'impact du lancement n'est pas décelable.

L'ensemble des capteurs a bien été exposé aux retombées du nuage de combustion

(OPTION B « Route de l'Espace »)

Impact sur les personnes non décelé
Impact sur l'environnement non décelé

Une question ?

environnement-csg@cnesc.fr



CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 24/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3. LES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE 5 VEGA ET VEGA-C

3.1. Objectifs des mesures

Les systèmes de lancement ARIANE 5, VEGA et VEGA-C sont quasiment identiques. En effet, les trois lanceurs utilisent un process 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, de VEGA et de VEGA-C, le propergol contenu respectivement dans les **2 EAP**, le **P80** et le **P120** 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 (Al₂O₃)** et l'**acide chlorhydrique (HCl)** issues :

- du 1^{er} 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 (Al₂O₃) et 50 tonnes l'acide chlorhydrique (HCl)
- du 1^{er} 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
- du 1^{er} étage de VEGA-C c'est-à-dire **1 P120** constitué de 142 tonnes de propergol solide

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 le logiciel de modélisation nommé « **Stratified Atmosphere Release of Rockets Impact Model** » (SARRIM).

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 25/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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, VEGA et VEGA-C).

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

- Les caractéristiques du propergol contenu dans les EAP, le P80 et le P120
- 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 et VEGA-C, 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, une prévision météorologique (réalisée pour une échéance proche du H0) a été utilisée.

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.) peuvent être corrélés aux valeurs de terrain (présentées aux **paragraphes 3.5, 4.5 et 5.5** 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, du P80 et du P120 au décollage des lanceur Ariane 5, VEGA et VEGA-C.

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 de 45 pièges à eau disposés sur un trépied à 1,50 mètre de hauteur (conformément à la norme AFNOR NF X 43-006).



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

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

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

Paramètres mesurés	Unités
pH	unité pH
Conductivité	µS/cm à 25°C
Concentration en ions chlorure	mg/L puis mg/m ²
Concentration en aluminium (particulaire, dissous et totale)	mg/L puis 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.

3.4.2. Localisation des points de mesures

Les plans de localisation des capteurs environnement en champ proche, moyen et lointain sont diffusés quelques jours avant le lancement. Ces plans sont présentés en annexe 3 du présent document.

➤ En champ proche :

Dix points de mesures sont répartis entre l'axe du carneau nord et l'axe du carneau ouest de la Zone de Lancement Ariane (ZL3) ou de la ZLV.

➤ En champ moyen et lointain :

Trente-cinq capteurs type « bac à eau » sont mis en place en champ moyen et lointain. Ils sont disposés sur plusieurs sites sur l'ensemble du CSG (dont les sites d'observation destinés au public), les villes de Kourou et de Sinnamary.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 27/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

3.5.1. Objectif des mesures

Ces mesures ont pour objectif de mesurer en temps réel :

- Les concentrations en gaz chlorhydrique en situation nominale de lancement
- Les concentrations en gaz chlorhydrique, en dioxyde d'azote (NO₂) et des produits hydrazinés en situation dégradée

Les points de mesures fixes sont répartis sur les villes de Kourou et de Sinnamary, sur le Centre Technique du CSG ainsi que sur les sites d'observation des lancements.

L'ensemble du dispositif de mesures en temps réel des concentrations atmosphériques, qu'il soit fixe ou mobile, sera configuré pour suivre les concentrations en gaz chlorhydrique, dioxyde d'azote et en produits hydrazinés lors de chaque lancement Ariane 5 et Vega.

3.5.2. Localisation des points de mesure

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

- Dans la ville Kourou au niveau :
 - Du local annexe du club de bridge de l'Hôtel des Roches
 - De l'embarcadère des îles du Salut au Vieux-Bourg (cabanon en bois)
 - De la station météo Isabelle de la plage de la Cocoteraie (cabanon en bois)
- Dans la ville de Sinnamary au niveau de la Gendarmerie (abri en bois)
- Au Centre Technique du CSG, dans une annexe au bâtiment « électromécanique »
- Sur les sites d'observation Agami (mobil home) et Toucan (cabanon en bois)

Ces dispositifs fixes sont complétés par huit détecteurs mobiles « Single Point Monitor » de marque HONEYWELL. Les détecteurs mobiles sont mis en place sur des sites dont la localisation est optimisée par simulation avec le logiciel de dispersion atmosphérique SARRIM.

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) situé au Centre Technique.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 28/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

En 2023, le CSG a opéré deux lancements Ariane 5 :

❖	VA260	le 14/04//2023	à 09h14 (heure locale)
❖	VA261	le 05/07/2023	à 10h00 (heure locale)

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 **[DR07, DR09]** 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.

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 CEP (ou ARPEGE) 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 2023. Un tableau récapitulatif est présenté en Annexe 4 du présent document.

Pour l'ensemble des lancements réalisés en 2023, l'analyse des simulations a montré un écart maximal de 33,7°, ne remettant pas en cause l'option de pose choisie pour les bacs à eau.



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

Tableau 3: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des prévisions CEP/ARPEGE

VOL	DIRECTION BASSES COUCHES		OPTION DE POSE RETENUE
	(°)	VERS...	
VA260	74,2	Agami	A « Agami »
VA261	86.4	Route de l'espace	B « Route de l'Espace »

Tableau 4 : 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 ³)
VA260	1.66	10.64
VA261	2.21	10.96

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 30/75

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/m³). A noter que cette simulation est majorant.

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, 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 4 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 5: Tableau récapitulatif des directions et vitesses des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages

VOL	2023		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	HCl (ppm)	Alumine (mg/m ³)
VA260	14	Avril	85	Agami	1.61	8.18
VA261	05	Juillet	120,1	Diane	2.47	10.93

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

Pour l'alumine, la VME (Valeur Moyenne d'Exposition) est de 10 mg/m³ : les concentrations calculées sont inférieures ou très proches dans tous les cas.

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**.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 31/75

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

Tableau 6 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour Ariane 5 en 2023

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
A260		PREVISION METEOROLOGIQUE 2C140423.TXT DU 14/04/23 À 12H00 TU	RADIOSONDAGE CP RÉFÉRENCE 4R140423.TXT DU 14/04/23 À 12H44 TU
A260	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	990.4	1040.9
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	74.2	85
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	1.66	1.61
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m³)	10.64	8.18
A261		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C050723.TXT DU 05/07/23 À 21H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R050723.TXT DU 05/07/23 À 22H21 TU
A261	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	953.4	921.5
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	86.4	120.1
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	2.21	2.47
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m³)	10.96	10.93

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 22.25° 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 2023. Ces derniers ont été soumis aux retombées provenant du nuage de combustion du lanceur Ariane 5.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 32/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

L'ensemble du système de détecteurs du réseau de **COLLECTE DE DONNÉES ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR** du CSG (**CODEX-2**) est composé de 24 systèmes CODEX-2 détecteurs fixes répartis sur 7 sites, et de huit 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 2023, des détections ponctuelles (<20ppm) ont été faites à l'occasion des lancements V260 et V261. Ces détections ont eu lieu en champ proche par les appareils mobiles situés à moins de 1km de la ZL3 dans l'axe des carreaux, 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 2023 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 2023.

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 et DR09]**.

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

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

- VA260 : 138,8 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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 33/75

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 2023.

Tableau 7 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain

	Vol	A260	A261
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m²)	164.7	164.7
	Distance de la ZL3 (m)	362	362
	Localisation	CP01 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 49 et 50	CP01 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 49 et 50
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m²)	< seuil de détection	2.296
	Distance de la ZL3 (m)	-	4006
	Localisation	-	CL14 PK16,15 depuis Changement sur RTE ESPACE direction ELA Embranchement Diane

Remarques :

- Les concentrations en aluminium particulaire les plus importantes en **champ proche**, ont été quantifiées sur le chemin de ronde, à une distance de 362 mètres.
- En **champ lointain**, les concentrations en alumine particulaire n'ont pu être détectées que pour un seul des deux lancements (VA261). Certaines détections, telle que celle réalisée au Centre Hospitalier de Kourou (CHK), ne sont pas imputables au lancement mais à d'autres facteurs extérieurs tels que les embruns marins. Les concentrations maximales ont été mesurées à l'intérieur du CSG, dans le secteur de Diane. Etant situées sous le vent du nuage, ces faibles concentrations sont attribuables au lancement. On retiendra que les valeurs mesurées hors CSG sont assimilables au bruit de fond naturel.

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 2023.

Tableau 8 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain

	Vol	A260	A261
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m²)	17358	3492
	Distance de la ZL3 (m)	277	277
	Localisation	CP03 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 49	CP03 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 49
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m²)	186.8	38.6
	Distance de la ZL3 (m)	16228	2640
	Localisation	CL26 - Sur RN1 direction SINNAMARY 14 Km après carrefour piste Agami soit PK 99,1 de la RN1	CL12 - PK17,7 depuis Changement sur RTE ESPACE direction ELA (Embranchement Ancienne RN1)

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 34/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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, au point CP03 (correspondant à une zone adjacente).
- En champ lointain, 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 A260, sur la RN1. Ce secteur, situé à une distance de 16.2 km de la zone de lancement, se situe bien dans la direction prise 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. Des épisodes pluvieux ont été enregistrés durant le temps d'exposition des capteurs, toutefois aucun débordement n'a eu lieu.

4.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement des lancements Ariane 5 en 2023

Les mesures réalisées pour les vols Ariane 260 et 261 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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 35/75

5. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LA CAMPAGNE VEGA

En 2023, le CSG a opéré un lancement Vega (en heure locale) :

❖ Vol V23 le 08/10/2023 à 22H36

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 Vega (ELV) [DA 02].

Les principaux résultats et conclusions des plans de mesures [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 V23.

Tableau 9: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE

VOL	DIRECTION BASSES COUCHES		OPTION DE POSE RETENUE
	(°)	VERS...	
V23	96.9	Entre Agami et Diane	B « Route de l'espace »

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

Tableau 10 : 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/m³)
V23	1.1	7.54

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 36/75

Les concentrations en acide chlorhydrique restent en dessous de la VLE (Valeur Limite d'Exposition égale à 5 ppm). Pour l'alumine, les résultats de la simulation indiquent des concentrations respectant la VME (Valeur Moyenne d'Exposition égale à 10 mg/m³). A noter que cette simulation est majorant.

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 rappelle les résultats obtenus pour les conditions météorologiques du H0. Il récapitule la direction des vents en basses couches ainsi que les concentrations maximales.

Tableau 11: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages.

VOL	2023		DIRECTION DE PROVENANCE DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	HCl (ppm)	Alumine (mg/m ³)
V23	08	Octobre	95.1	PK 98 de la RN1 (Entre Diane et Agami)	1.36	8.06

Les concentrations en acide chlorhydrique restent en dessous de la VLE (Valeur Limite d'Exposition égale à 5 ppm). Pour l'alumine, les concentrations calculées sont également inférieures à la VME (Valeur Moyenne d'Exposition égale à 10 mg/m³).

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, nous n'observons pas d'écart significatif (max 30°) entre la direction des retombées calculée par CEP et celle issue du radiosondage le plus proche du H0. Cela 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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 37/75

Tableau 12 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour VEGA en 2023

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
V23		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C091023.TXT DU 09/10/23 À 03H00 TU	RADIOSONDAGE CP 1R091023.TXT DU 09/10/23 À 02H24 TU
V23	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	647	594.7
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	96.9	95.1
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	1.1	1.36
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m³)	7.54	8.06

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 1.8°.

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

Malgré les écarts observés entre les valeurs de concentration, le faible écart de direction des deux modélisations, démontre que les capteurs environnement ont correctement été implantés pour la mission du lanceur VEGA en 2023. Ces derniers ont été soumis aux retombées provenant du nuage de combustion de VEGA.

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

En 2023, aucune détection n'a été effectuée, quel que soit le SPM, qu'il soit installé en champ proche ou en champ lointain.

Les mesures en continu d'acide chlorhydrique n'ont montré aucun impact sur l'environnement et les personnes, suite aux décollages du lanceur VEGA en 2023.

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

Les capteurs environnement ou « bacs à eau 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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 38/75

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.

Durant le temps d'exposition des bacs placée dans le cadre de la campagne VV23, aucune précipitation n'a été mesurée.

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 13 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain

	Vol	V23
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m²)	< 0.335
	Distance de la ZLV (m)	290
	Localisation	CP05 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 45 et 44
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m²)	18.667
	Distance de la ZLV (m)	4425
	Localisation	CL16 PK 1,5 après portail Agami (entrée du morne Bocco)

Remarques :

- Les concentrations en aluminium particulaire les plus importantes en **champ proche**, ont été quantifiées sur le chemin de ronde, à une distance de 290 mètres.
- En **champ lointain**, les concentrations en alumine particulaire les plus importantes sont obtenues sur la piste Agami, à l'intérieur du CSG.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 39/75

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 14 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain

	Vol	V23
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m²)	12.421
	Distance de la ZLV (m)	290
	Localisation	CP05 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 45 et 44
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m²)	18.231
	Distance de la ZLV (m)	17153
	Localisation	CL03 Kourou - Débarcadère des Iles

Remarques :

- En **champ proche**, les retombées en ions chlorures se trouvent principalement sur le chemin de ronde de la zone de lancement.
- En **champ lointain**, la concentration maximale a été observée sur une zone non couverte par le nuage de combustion (Kourou). Cette concentration ne peut pas être attribuée au lancement. Elle peut s'expliquer par des phénomènes de soulèvement de poussière ou par les embruns marins.

5.5.3. Conclusions sur les retombées chimiques gazeuses et particulaires

Les mesures réalisées pour le vols VEGA de l'année 2023 n'ont pas montré de particularité. En effet, les concentrations mesurées en champ proche 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 un pic de concentration au débarcadère des îles à Kourou. Celui-ci n'est pas attribuable au vol car le site concerné n'est pas exposé aux retombées du nuage de combustion. Cette concentration peut 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 2023

Les mesures réalisées pour le vol VEGA de l'année 2023 n'ont pas montrés de particularité. En effet, les concentrations mesurées sont bien plus faibles que celles retrouvées en champs proche suite aux tirs d'Ariane.

Les concentrations mesurées sont en effet de manière générale faibles.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 40/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT AU BANC D'ESSAI DES ACCELERATEURS A POUVRE (BEAP)

Le Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre (BEAP), 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 propegol 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 propegol 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 processus 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) [DA03].

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) [DA03] 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 pouvant

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 41/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

être assujetties à des teneurs en acide chlorhydrique et en alumine supérieures aux seuils réglementaires d'expositions respectifs soit 7,6 mg/m³ (ou 5 ppm) et 10 mg/m³.

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 2023.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 42/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES MESURES REALISEES POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ECOSYSTEMES DU CSG

7.1. Les 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 :

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

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

7.2. 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 2023, 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 du lancement VEGA vol 23 (VV23).

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.

7.2.1. Résultats des mesures

Une campagne d'analyse a été réalisée au CSG en 2023, à l'occasion du lancement VEGA VV23.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 43/75

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	5/10/23 17:00	6	0,18	31	0,62	6,59	0,46	3,94	0,20	0,044	0,01144
K 02	5/10/23 23:00	6,2	0,19	32	0,64	6,68	0,47	3,9	0,20	0,047	0,01222
K 03	6/10/23 5:00	6,2	0,19	31	0,62	6,52	0,46	3,87	0,19	0,056	0,01456
K 04	6/10/23 11:00	6,3	0,19	31	0,62	6,81	0,48	4,05	0,20	0,043	0,01118
K 05	6/10/23 17:00	5,9	0,18	31	0,62	6,53	0,46	4	0,20	0,054	0,01404
K 06	6/10/23 23:00	6	0,18	31	0,62	6,97	0,49	4,22	0,21	0,057	0,01482
K 07	7/10/23 5:00	6,1	0,18	31	0,62	6,5	0,46	3,85	0,19	0,051	0,01326
K 08	7/10/23 11:00	6,1	0,18	31	0,62	6,51	0,46	3,86	0,19	0,052	0,01352
K 09	7/10/23 17:00	6	0,18	30	0,6	6,43	0,45	3,84	0,19	0,048	0,01248
K 10	7/10/23 23:00	6	0,18	30	0,6	6,57	0,46	3,96	0,20	0,053	0,01378
K 11	8/10/23 5:00	6,1	0,18	31	0,62	6,48	0,45	3,85	0,19	0,048	0,01248
K 12	8/10/23 11:00	6,1	0,18	31	0,62	6,47	0,45	3,79	0,19	0,059	0,01534
K 13	8/10/23 17:00	5,9	0,18	30	0,6	6,55	0,46	3,91	0,20	0,054	0,01404
K 14	8/10/23 23:00	6	0,18	31	0,62	6,67	0,47	4,03	0,20	0,058	0,01508
K 15	9/10/23 5:00	6	0,18	31	0,62	6,47	0,45	3,83	0,19	0,051	0,01326
K 16	9/10/23 11:00	6	0,18	30	0,6	6,52	0,46	3,81	0,19	0,058	0,01508
K 17	9/10/23 17:00	6	0,18	31	0,62	6,61	0,46	3,95	0,20	0,051	0,01326
K 18	9/10/23 23:00	6	0,18	31	0,62	6,54	0,46	3,95	0,20	0,056	0,01456
K 19	10/10/23 5:00	6	0,18	30	0,6	6,45	0,45	3,83	0,19	0,058	0,01508
K 20	10/10/23 11:00	5,8	0,17	30	0,6	6,41	0,45	3,78	0,19	0,056	0,01456

Tableau 15 : Suivi de la Karouabo en 2023

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 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 particulières des décollages Ariane 5 ou Vega.

En conclusion, les prélèvements réalisés **en 2023** ont permis de suivre **la qualité physico-chimique des eaux de surface de la crique Karouabo** à l'occasion du lancement VEGA, **VV23**.

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.

7.3. Mesure de la qualité des sédiments des criques Karouabo et Malmanoury

7.3.1. 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** (Al₂O₃).

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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 44/75

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.

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.

Tableau 16 : 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

7.3.2. 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'ELV [DA02], 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/EST du Centre Spatial Guyanais.

7.3.3. Analyses physico-chimiques de l'eau

Des mesures physico-chimiques de l'eau ont été réalisées aux zones de prélèvements de sédiments en saison des pluies et en saison sèche.

Tableau 17 : Paramètres physico-chimiques mesurés pour les trois stations en 2023 (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	Malmanoury	26	25	5,4	66	3,81	5,46
	Karouabo	27,4	23	2,51	31,8	0,68	5,14
	Crique des Pères	27,3	23,4	4,97	62,5	59,2	5,65
Saison sèche	Malmanoury	30,8	51,3	4,7	62,5	4,09	5,93
	Karouabo	32,4	31,7	5,84	80,7	3,41	5,79
	Crique des Pères	28,8	2640	4,2	54	5,8	4,27

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 45/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

En saison des pluies, les paramètres physico-chimiques sont globalement cohérents avec ceux mesurés en 2022 et homogènes entre les trois stations : une faible conductivité et un pH plutôt acide.

Concernant la turbidité les stations Karouabo et Malmanoury présentent une eau limpide et la Crique des Pères présente une turbidité bien plus élevée, déclassant la station a un état moyen.

Toutefois, le bilan en oxygène diverge entre les stations échantillonnées. Ce paramètre est déclassant pour la classe d'état de l'ensemble des stations : la station Karouabo est associée à un état médiocre (valeur proche de la limite supérieure de cette classe). Le faciès plutôt lentique de cette station avec une zone de pris-pris en amont peut expliquer ce plus faible bilan en oxygène dissous. Les stations Malmanoury et Crique des Pères quant à elle, présentent de plus importants taux d'oxygènes dissous, ce qui les associes à un bon état écologique. Notons que la station Malmanoury présente des valeurs d'oxygène dissous proche de la limite supérieure de la classe de bon état.

En saison sèche, les mesures in situ sont homogènes entre les trois stations étudiées. Toutes les stations ont de faibles conductivités et turbidités (très bon état global pour ce paramètre), et un pH à tendance acide.

Le bilan en oxygène est varié : la station Karouabo présente un important bilan en oxygène dissous, l'associant à un Très Bon état écologique. En ce qui concerne les stations Malmanoury et Crique des Pères, elles sont toutes deux associées à un bon état écologique concernant les taux d'oxygène dissous.

La position aval de l'ensemble des stations ne permet pas de faire la part de chose entre un potentiel impact anthropique et les conditions naturelles induites par le marnage. De plus, les stations Karouabo et Malmanoury se situe en aval direct de zones lentiques, de pripris. Ces masses d'eau, pauvres en oxygène dissous, influencent les teneurs en oxygènes dissous des stations étudiées en aval.

Notons que les résultats obtenus lors des deux campagnes de prélèvements sur l'ensemble des stations, sont en adéquation avec les classes d'état écologique calculés les années précédentes sur les mêmes stations.

La station Malmanoury présente un Bon état écologique lors des deux saisons comme les suivis des années précédentes. La station Crique des Pères, généralement associé à un état Moyen présente en saison des pluies un état moyen et est classé en Bon état en saison sèche. Cette variation d'état écologique est dû aux variations des taux de turbidité qui sont influencés par les ruissèlements de la saison des pluies et l'impact du marnage.

Enfin la station Karouabo, dont l'état écologique oscille habituellement entre un état moyen et médiocre, présente un état médiocre en saison des pluies et un Très Bon état écologique en saison sèche. Les variations intersaison d'états écologiques sont induites par les taux d'oxygène dissous qui sont sous l'influence du marnage et la présence du pripris en amont.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 46/75

7.3.4. 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.

Tableau 18 : Résultats des analyses de métaux dans les sédiments de la Karouabo et de la Malmanoury

Paramètres	Normes	Malmanoury 07/07/2023			Karouabo 07/07/2023			Unités
		Amont	Dégrad	Aval	Amont	Pont	Aval	
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES								
pH	NF EN 15933	5,4	5,8	5,6	5,9	5,6	5,7	unité pH
MINERAUX								
Calcium (en Ca)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 0,10	0,31	0,18	< 0,10	0,18	0,24	g/kg MS
Calcium (en CaO)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 0,14	0,44	0,25	< 0,14	0,25	0,33	g/kg MS
Magnésium (en Mg)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	0,2	0,62	0,93	< 0,10	0,44	0,21	g/kg MS
Magnésium (en MgO)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	0,33	1,0	1,6	< 0,17	0,73	0,36	g/kg MS
Ptassium (en K)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	0,21	0,74	0,84	0,11	0,69	0,35	g/kg MS
Ptassium (en K2O)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	0,25	0,89	1	0,13	0,83	0,42	g/kg MS
POLLUANTS MINERAUX								
Aluminium	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	3,9	7,4	16	3,9	19	5,5	g/kg MS
Baryumm	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	8,3	18	28	6,4	22	14	mg/kg MS
Cadmium	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	mg/kg MS
Chrome Total	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	6,1	52	15	5,7	31	11	mg/kg MS
Cobalt	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 1,0	2,5	1,8	< 1,0	< 1,0	< 1,0	mg/kg MS
Cuivre	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 1,0	10	2,6	< 1,0	2,2	3,2	mg/kg MS
Fer Total	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	1,2	30	12	2,1	15	7,8	mg/kg MS
Manganèse Total	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	5,3	47	26	6,6	14	16	mg/kg MS
Mercuré	NF EN 13346 / CSOL-MO-0095	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,0	< 0,04	mg/kg MS
Molybdène	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	mg/kg MS
Nickel	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	2,3	6,6	6,3	1,6	3,5	2,5	mg/kg MS
Plomb	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	3,6	7,3	34	2,2	7,6	20	mg/kg MS
Sélénium	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	mg/kg MS
Zinc	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	2,8	14	15	2,8	6,6	11	mg/kg MS

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 47/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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 6 : Crique Karouabo en saison sèche, HYDRECO 2023



Figure 7 : Crique Malmanoury en saison sèche, HYDRECO 2023

7.3.5. 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 2023 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 et de la Karouabo 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.

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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 48/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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 (Al₂Si₂O₅(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 et Malmanoury 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 / ZLV). 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.

7.4. Suivi de la faune et de la flore 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].

7.4.1. 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

. 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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 49/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7.4.2. 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.

7.4.3. Résultats du suivi de la faune aquatique pour l'année 2023

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

Tableau 19 : Tableau de synthèse des principaux résultats obtenus pour le suivi de la faune aquatique pour 2023

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2023
DESCRIPTION DE L'HABITAT	<p>La végétation marginale de chaque station est dominée par le Palmier Bâche, <i>Mauritia flexuosa</i>. Cependant, de nombreux « moucous-moucous » (<i>Aracea</i>, <i>Montrichardia arborencens</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 bouquets d'<i>Heliconia</i> sp., 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 §7.3.3 et le §7.3.4</p>
PEUPELEMENTS DE POISSONS (Richesse et Diversité)	<p>Chez les poissons, les principaux paramètres étudiés sont l'abondance, la biomasse et la richesse spécifique. Pour réaliser l'analyse des captures et de la biomasse, les valeurs de capture sont ramenées à une seule batterie de filets : on parle alors de Capture Par Unité d'Effort (CPUE). Seule la richesse spécifique n'a pas été transformée, elle aura tout de même une valeur indicative.</p> <p>Pour résumer, pour la Karouabo et la Malmanoury, la CPUE et la biomasse restent sur des valeurs équivalentes par rapport aux années précédentes. Par contre pour la station Crique des Pères, des valeurs record de CPUE et de biomasse sont observées en 2023.</p> <p>Concernant la richesse spécifique, 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 diversité, depuis l'année 1998, la richesse spécifique, la diversité de Shannon et l'équitabilité des quatre criques sont restées relativement stables.</p>

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 50/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2023												
<p style="text-align: center;">PEUPELEMENTS DE POISSONS</p> <p>(analyse des contenus stomacaux, structure trophique et anatomopathologie)</p>	<p>Comme depuis 2019, les connaissances actualisées permettent de déterminer la majorité des guildes alimentaires des espèces qui composent les populations. En 2023 et selon les stations, le taux d'espèces dont le régime trophique est connu varie entre 78% et 99%.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Comme depuis 2015, la station Crique des Pères est la seule station permettant l'observation de guildes alimentaires supplémentaires. Il est à noter que la guildes des omnivores domine très fortement cette population (93,6%), suivie des invertivores (3,3%), des piscivores (1,2%), des détritivores (0,9%) et des herbivores (0,3%) ▪ Au sein de la station Karouabo, les trois guildes observées sont les piscivores (45,7%), les herbivores (31,7%) et les omnivores (15,5%) ▪ Dans la station Malmanoury, la population en saison sèche est principalement composée de trois guildes : les omnivores (7,5%), les piscivores (57,5%) et les herbivores (13,4%). <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.</p> <p>Le calcul de l'indice IPG-G attribue un état moyen aux stations Karouabo, Malmanoury et Crique des Pères.</p> <p>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 qu'en 2020. Elle était passée de de 0,51 à 0,45 ; 0,56 à 0,53 ; de 0,72 à 0,64 pour les stations Karouabo, Malmanoury et Crique des Pères respectivement. Cela a induit une baisse de la classe de qualité de la station Karouabo.</p> <p>En 2022, pour chaque station la note de l'IPG a encore diminué. Elle est passée à 0,35, 0,44 et 0,62 pour Karouabo, Malmanoury et Crique des Pères respectivement. Cette année-là, cela a engendré un déclassement de la qualité écologique de la station Malmanoury qui est passée de Bon à Moyen.</p> <p>Enfin, en 2023, la note de l'IPG a augmenté pour Karouabo et Malmanoury avec des valeurs respectives de 0,52 et 0,53, induisant un reclassement de la qualité à Moyenne pour ces deux stations. La station Crique des Pères conserve son statut Moyen avec une note de 0,57.</p> <p style="text-align: center;">Tableau 20 : Notes de l'IPG-G et classes de qualité associées pour les trois stations</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <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 style="background-color: yellow;">Moyen</td> </tr> <tr> <td>Karouabo</td> <td>0,52</td> <td style="background-color: yellow;">Moyen</td> </tr> <tr> <td>Crique des Pères</td> <td>0,57</td> <td style="background-color: yellow;">Moyen</td> </tr> </tbody> </table>	Station	Note	Classe de qualité	Malmanoury	0,53	Moyen	Karouabo	0,52	Moyen	Crique des Pères	0,57	Moyen
Station	Note	Classe de qualité											
Malmanoury	0,53	Moyen											
Karouabo	0,52	Moyen											
Crique des Pères	0,57	Moyen											

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 51/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2023
ANALYSE DE L'ALUMINIUM DANS LE MUSCLE DES POISSONS	<p>Pour la campagne de prélèvement 2023, trois guildes alimentaires sont représentées :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les piscivores, avec <i>Acestrorhynchus falcatus</i> et <i>Hoplias malabaricus</i>. Cette guilda comporte suffisamment d'individus pour être analysée (20 poissons). Par contre, elle est présente uniquement sur les stations Karouabo et Malmanoury (nKarouabo=10 ; nMalmanoury=10) ; ▪ Les omnivores (<i>Trachelyopterus galeatus</i>), qui sont présents dans les trois stations (nKarouabo=5 ; nMalmanoury=10 ; nCrique des Pères=10). Ces stations sont également analysables. ▪ Les herbivores (<i>Leporinus gosseii</i>) qui sont présents uniquement sur les stations Karouabo et Malmanoury (nKarouabo=10 ; nMalmanoury=5). <p>En ce qui concerne les données de 2023, le fait d'appartenir à une guilda ou une espèce a eu une influence sur la concentration en aluminium. En effet les concentrations en aluminium sont significativement supérieures chez les herbivores (pvalue<0,01), suivis par piscivores et les omnivores.</p>
DIVERSITE ET STRUCTURE DES PEUPELEMENTS D'INVERTEBRES AQUATIQUES	<p>Au total, 3878 individus répartis, en 37 taxa, ont été récoltés en 2023. 1753 répartis en 30 taxa pour la saison des pluies tandis que pour la saison sèche 2125 répartis en 27 taxa.</p> <p>En saison des pluies, la station Malmanoury est celle qui présente le plus grand nombre d'individus (868 individus), suivie par la Crique Des Pères (511 individus) et enfin la Karouabo présente une assez faible abondance de 374 individus.</p> <p>En saison sèche, la Karouabo montre une abondance de 1419 individus suivie de la Malmanoury (536) individus et enfin, la Crique Des Pères a une très faible abondance (170) individus.</p> <p>En ce qui concerne la richesse taxonomique, la Karouabo et la Crique des Pères sont assez similaires. Elles ont 19 et 21 taxa respectivement pour la saison des pluies et 15 et 13 taxa en saison sèche.</p> <p>La zone de « Kourou CSG » s'est vue impactée par les conditions météorologiques exceptionnelles, impactant les petits cours d'eau comme, menant à un assèchement presque total de cette dernière en fin de saison sèche.</p>
QUALITE BIOLOGIQUE	<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 2023, la station Malmanoury en saison des pluies atteint le bon état écologique et le maintien après le test de robustesse. Les stations Malmanoury et Crique Des Pères en saison sèche atteignent un état moyen et le conservent après le test de robustesse. Les stations Karouabo et Crique Des Pères en saison des pluies atteignent un état écologique moyen et sont déclassées à l'état médiocre après le test de robustesse. Pour finir la station Karouabo en saison sèche est mal notée (médiocre). Seul un genre d'éphémère a été retrouvé ne permettant pas de réaliser le test de robustesse.</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**

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 52/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

SMEG	Communauté d'Ephémères	Classe	Qualité de l'eau	Etat du cours d'eau
≥ 4,1	Naturelle ou presque naturelle	I	TRES BONNE	Criques de faible largeur ou petites rivières sans impact anthropique notable
3,08 - 4,09	Peu altérée	II	BONNE	Rivière faiblement impactées ou stations suffisamment éloignées des impacts pour une récupération importante
2,05 - 3,07	Assez altérée	III	MOYENNE	Influences anthropiques durables mais d'intensité moyenne
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)
≤ 1,02	Détruite ; survie des U.O. de catégorie 1	V	MAUVAISE	Pollutions importantes ; fort déficit en O ₂ et/ou substratum très modifié

7.4.4. Résultat du suivi des diatomées pour l'année 2023

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 tératogènes).

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

L'analyse floristique structurale des communautés de diatomées benthiques a permis d'établir un premier bilan de la réponse des diatomées aux conditions de milieux.

Les peuplements de diatomées et leur composition ont 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 présente un Bon Etat écologique. Cependant, le nombre de nouvelles observations étant important, la note IDGF est considérée comme non valide, le nombre d'UTI étant inférieur à 350. Ce site montre un mélange de taxons d'alerte ayant principalement une affinité pour l'Azote organique (Azote Kjeldahl), un déficit en oxygène, la matière organique (DCO, COT et DBO5) et la minéralisation. Ces altérations restent modérées avec un pourcentage de 17% de taxons d'alerte sur le peuplement global et 45% des UTI.

Le pourcentage de taxons d'alerte est le plus faible dans la Karoubao (5%) mais correspond à 64% des UTI. Ces taxons révèlent des signes d'altération par les Matières en suspension, la Trophie (Phosphore total), l'Azote organique (Azote Kjeldahl) et un déficit en oxygène. Cette crique est en Etat écologique Moyen, mais le calcul de l'indice est invalide car il est basé uniquement sur 56 UTI.

La Malmanoury se situe en Bon Etat écologique (BE), avec une fiabilité réduite du calcul d'IDGF. Les taxons d'alerte (17 % du peuplement global et 29% des UTI) montrent principalement une affinité aux matières en suspension (MES).

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 53/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Après la forte baisse de diversité observé entre 2019 et 2021, la richesse spécifique de la Crique des Pères semble se stabiliser.

Les peuplements des autres stations montrent une perte de diversité spécifique continue depuis 2021 et une perte de plus de la moitié des espèces depuis 2019. La Karouabo est le site le plus impacté par cette diminution drastique du nombre d'espèces (environ 70% depuis 2019).

Le nombre d'espèces d'Eunotioides recensées pour seulement 2 genres, Actinella et Eunotia, est élevé, mais est moins diversifié que les années précédentes : par exemple, 310 taxons en 2019, 124 taxons en 2022. Le genre Eunotia compte le plus grand nombre d'espèces et est typique de la flore des diatomées observée dans les eaux guyanaises.

Le groupe morphologique des Biraphidées Symétriques regroupe taxonomiquement un très grand nombre de genres à l'échelle mondiale et est bien représenté en nombre d'espèces dans la zone étudiée (14 genres pour 64 espèces). Cependant, comme observé chez les Eunotioides, leur richesse spécifique est moindre que les années passées : 14 genres pour 102 espèces en 2022.

La présence et parfois l'abondance dans tous les sites de nouvelles espèces non encore observées/répertoriées dans le guide iconographique des diatomées de Guyane montre que la zone prospectée présente un intérêt floristique certain, tant au niveau qualitatif que quantitatif (67 nouveaux taxons répartis en 10 genres observés en 2023).

7.4.5. Conclusions générales du suivi des criques pour 2023

L'oxygénation de l'eau, la turbidité et les températures relevées in situ sont les paramètres physicochimiques qui varient légèrement entre les trois stations étudiées. L'ensemble des autres paramètres mesurés in situ (conductivité et pH), les analyses d'eau et de sédiment en laboratoire présentent des résultats classant en bon état les cours d'eau et mettent en évidence l'absence d'impacts anthropiques au niveau des stations Karouabo et Malmanoury. Les taux d'oxygène dissous, la température de l'eau et le pH sont plus du fait des paramètres environnementaux imposées par les faciès échantillonnés, que témoins d'un impact anthropique sur la physico-chimie de l'eau. En effet, les mesures et analyses physico-chimiques ne mettent pas en évidence d'impacts des activités anthropiques notables sur les masses d'eau. Les descripteurs biologiques apportent un bilan de classe d'état écologique plus nuancé.

La station Karouabo est la station la plus proche des sites de lancement Ariane 5 et Vega. De plus, elle se situe sous les vents dominants et est susceptible de recevoir la part la plus importante des retombées des activités spatiales. Le faciès lentique de cette station est mis en évidence par la température élevée en saison sèche.

La composition spécifique piscicole de 2023 est proche des années précédentes de suivi. Au niveau de cette station, les piscivores et les herbivores représentent un pourcentage équivalent. Selon l'étude de l'indice de condition K, quelle que soit l'espèce analysée, l'indice de condition K prend une valeur moyenne par rapport aux années précédentes. L'indice Poisson de Guyane attribue un état moyen comme en 2020. Au vu de ces caractéristiques, la proximité du lanceur et/ou d'autres activités semblent impacter la qualité écologique générale de la station, bien qu'il ne soit pas possible de définir précisément les conséquences.

Concernant les invertébrés aquatiques, la station Karouabo est classée en état moyen en saison des pluies, notamment dû à sa faible richesse en éphémères. En saison sèche, cette station a manifesté une dynamique écologique particulière au vu des campagnes précédentes. Elle est caractérisée par une augmentation significative de la population de *Cyclestheria hislopi*, ce qui a modifié sa structure communautaire normalement dominée par les Chironomidae. Ces changements pouvant être la cause de multiples paramètres, il est difficile de conclure sur leur origine. Malgré l'augmentation de l'abondance causé par *C. hislopi* l'état du cours d'eau est classé en médiocre. Cela est dû à un nombre encore plus faible de genre d'éphémères échantillonné en saison sèche malgré l'augmentation notable d'oxygène dissous. Cependant, toutes les métriques de diversité ainsi que l'indice SMEG restent dans les normes des résultats du suivi historique.

La station Malmanoury est également sous des vents dominants et peu subir les impacts des lanceurs. Cependant, elle est plus éloignée de ces structures et leurs effets peuvent donc être réduits. Cette station présente des conditions physico-chimiques plus favorables à la faune aquatique que la station Karouabo : une température plus fraîche en saison sèche et une meilleure oxygénation en saison des pluies.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 54/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

La composition spécifique piscicole de 2023 est proche des années précédentes de suivi. Au niveau de cette station, les piscivores dominent le peuplement et les omnivores et les Surveillance de la faune aquatique sur la zone du Centre Spatial Guyanais Année 2023 Rapport final herbivores représentent un pourcentage non négligeable. Selon l'étude de l'indice de condition K, quelle que soit l'espèce analysée, l'indice de condition K prend une valeur moyenne. De plus, l'indice Poisson de Guyane attribue indique un reclassement à un état moyen à la station Malmanoury. Au vu de ces caractéristiques, il n'est pas possible de définir précisément les conséquences du lanceur et/ou de la proximité d'autres activités.

En termes de faune benthique, la station Malmanoury, se distingue par sa capacité à supporter une biodiversité riche et variée en saison des pluies, avec une présence notable d'Éphémères parmi une dominance de Chironomidae. Cette bonne représentation d'éphémères se traduit par un bon état écologique en saison des pluies, malgré un recul en saison sèche où la diversité et l'abondance décroissent. La conséquence de cette diminution de diversité globale et en éphémères, se traduit par une note indicielle d'état moyen. La variabilité des conditions environnementales entre les saisons pourrait impacter la faune benthique. Cependant, toutes les métriques de diversité ainsi que l'indice SMEG restent dans les normes des résultats du suivi historique.

La station Crique des Pères est située sur le Kourou et ne subit pas les effets des lanceurs : cette station sert de site témoin. Néanmoins, la présence anthropique est avérée via la présence d'abattis, de carbet et d'un espace de baignade, engendrant de potentiels impacts indirects par le biais des rejets et / ou ruissellements des eaux de pluies. De plus, les relevés physico-chimiques suggèrent un impact des intrants salés.

La composition spécifique piscicole de 2023 est proche des années précédentes de suivi. Au niveau de cette station, les omnivores dominent largement le peuplement. Selon l'étude de l'indice de condition K, quelle que soit l'espèce analysée, l'indice de condition K prend une valeur moyenne. De plus, l'indice Poisson de Guyane attribue un état moyen (en baisse successive par rapport aux années 2019, 2020, 2021 et 2022) à la station Crique des Pères.

L'étude de la faune benthique au niveau de la station Crique des Pères présente des caractéristiques écologiques et biologiques distinctes en comparaison des deux autres stations. En 2023, la Crique Des Pères a montré une réduction de la biodiversité et de l'abondance, en saison sèche. Cette même saison sèche nous avons mesuré une conductivité (relative à la salinité) 10 fois supérieur à la moyenne des mesures relevées depuis 2016. Ces résultats de conductivité sont probablement expliqués par le grand déficit de pluviométrie (-95%) accentuant la remontée saline lors de la marée montante. La station est classée en état moyen pour les deux saisons. Excepté pour le pourcentage d'EPT qui connaît son plus haut niveau depuis 2017, toutes les métriques de la diversité ainsi que l'indice SMEG restent dans les normes des résultats du suivi historique.

Malgré son statut de station de référence, la station Crique des Pères présente de nombreuses variations de son habitat dues d'une part à l'important marnage induit par sa position aval, mais également due aux activités humaine (agriculture, habitations) par rapport aux deux autres stations. De plus, les impacts anthropiques présents sur cette station sont différents de ceux observés sur la Malmanoury et la Karouabo (présence de la zone de lancement). Ainsi, il n'est pas possible de définir clairement si les différences entre les populations biologiques sont dues aux lanceurs, au passage de personnes (zones agricole et abattis, le carbet et la zone de baignade) et/ou aux spécificités des habitats.

7.5. 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 à l'**analyse des concentrations des retombées** issues d'un lancement sur le **couvert végétal** (au moyen de pluviollessivats implantés en champ proche et en champ lointain)

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 P120.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 55/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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
Les concentrations en ions:	
Aluminium (Al)	mg/L
Chlorures (Cl ⁻)	mg/L
Calcium (Ca)	mg/L
Magnésium (Mg)	mg/L
Potassium (K)	mg/L
Sodium (Na)	mg/L

Pour l'année 2023, une campagne de mesure a eu lieu, suite au lancement VV23. 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. Les précipitations nulles durant la période d'exposition n'ont pas permis de récupérer de l'eau dans les bacs à pluviollessivats.

Lors des années précédentes, on mesure des concentrations non négligeables (mais qui reste faibles) 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.

7.6. Bio surveillance de la qualité de l'air au moyen des abeilles

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.

Elles réalisent ainsi chaque jour des millions de micro-prélèvements de leur environnement,

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.

7.6.1. 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 8 : Mélipona

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 56/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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 9 : Ruchers Tangara



Figure 10 : Ruchers Sentier Ebène



Figure 11 : Ruchers de l'ELS

7.6.1. Le protocole de surveillance 2023

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 2023**, le protocole mis en place en 2022 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

2022 : 15 ruches exposées et 6 ruches témoins

2023 : 23 ruches exposées et 6 ruches témoins

Pour la campagne 2023, les installations sont restées les mêmes avec quelques modifications :

- ◆ 3 nouvelles ruches et 1 compteur d'abeilles ont été installés sur le site d'Ebène
- ◆ L'étude de l'oxydation des protéines sur ces sites a été privilégiée de manière à compléter les investigations des années précédentes.
- ◆ Réalisation des mesures 2 fois par an sur les cires des ruchers d'Apis mellifera Buckfast : les cires sont bio-accumulatrices de certaines molécules telles que des pesticides

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 57/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7.6.2. 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).

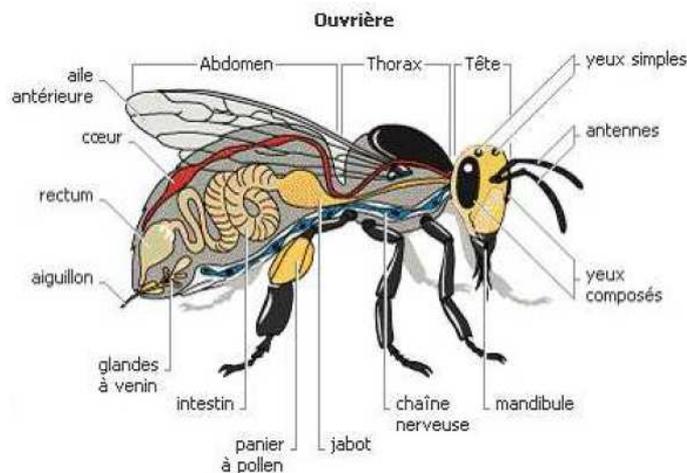


Figure 12 : Anatomie d'une abeille, NBC/APILAB

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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 58/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Figure 13 : 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.

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 **2023**, comme en 2022, 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* :

- ✿ 8 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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 59/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

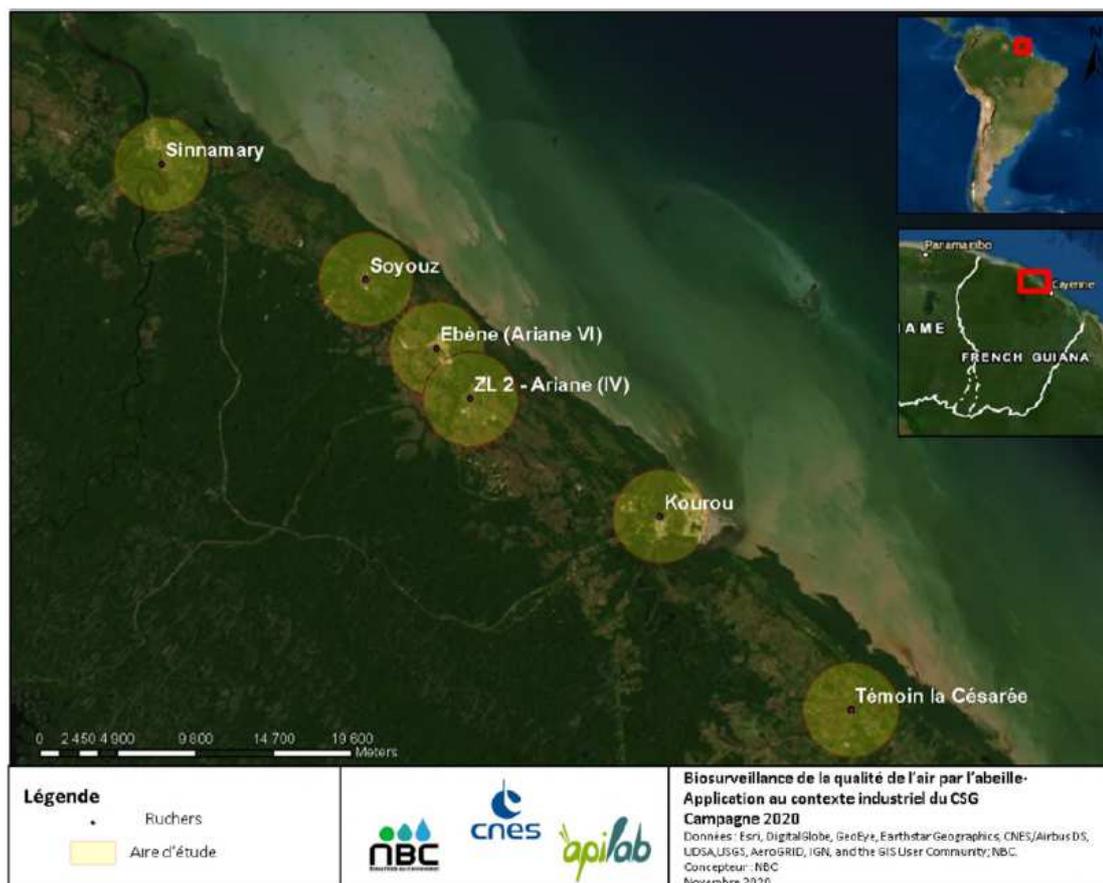


Figure 14 : Situation géographique des sites d'exposition. Les aires d'exposition de l'étude d'un rayon de 3 km sont représentées en jaune.

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

Sur chacun des ruchers, le **protocole 2023** 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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 60/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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 **dosier 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.
- Evaluer via les capteurs AtmoTrack des paramètres de particules fines, des concentrations en NH3, NO2, 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.

VOLONTARIAT INTERNATIONAL EN ENTREPRISE

NBC : « Le V.I.E valorise notre image auprès des grands comptes »



Le Volontariat International en Entreprise, ce dispositif ouaté de ceure pour Nicolas Brehm!
 « Ce sont toutes de belles histoires, le facteur humain est très important. J'encourage les entreprises basées dans les territoires ultra-marins, désireuses de se positionner à l'international, d'avoir recours à ce dispositif soutenu financièrement par Business France et par le Ministère des Outre-Mer. Ces territoires bénéficient d'un fort potentiel économique, mais sont insuffisamment valorisés du point de vue du commerce extérieur et du V.I.E », détaille le chef d'entreprise.

Dans ses jeunes années, il exerce son service national civil comme VAI (Volontaire à l'Aide Technique) - un ancien dispositif de coopération) en Guyane pour l'IRD (ex ORSTOM). Par la suite, il choisit Cayenne pour établir le siège social de NBC, son bureau d'études en environnement dédié aux domaines de l'eau et de la qualité de l'air. Accompagné initialement par la CCI Guyane (devenue guichet unique de la Team France Export Guyane) pour son développement international, il est orienté sur le recrutement d'un V.I.E pour renforcer son équipe RH. Lorsqu'il fait appel à Yervy, jeune ingénierie pour son tout premier contrat V.I.E de deux ans, Nicolas Brehm s'imaginer pas que ce dernier pilotera, huit ans plus tard, le département R&D de l'entreprise.

De cette rencontre naîtra une amitié au long cours. « Yervy a réalisé pour NBC une thèse Cifre en Guadeloupe qu'il a soutenue fin 2023 dans le cadre de son doctorat. Il s'occupe des procédés de désamination caproïque, c'est-à-dire la capacité à désaliniser les eaux peu salées. Collaborateur de l'entreprise, nous publions ensemble dans les revues scientifiques. Une belle amitié est née », raconte Nicolas Brehm qui, depuis, a fait appel à cinq V.I.E.

Un dispositif très avantageux au regard de la qualification des jeunes, source de plus-value réelle pour l'entreprise qui compte des multinationales parmi ses clients. « Le fait d'avoir un V.I.E nous a énormément aidés à nous positionner auprès des grands comptes tels que TotalEnergies, Vinet Airports, Air Liquide. Recruter un V.I.E est extrêmement positif en termes d'image. Cela démontre notre dynamisme à l'international tout en donnant leur chance aux jeunes talents », complète le dirigeant, présent depuis près de vingt ans en République Dominicaine et qui a ouvert récemment une filiale au Mexique en avril 2023. NBC emploie sept collaborateurs et réalise un chiffre d'affaires annuel de 750 000 €.

L'AIDE OUTRE-MER
 (Partenariat Ministère chargé des Outre-Mer / Business France)
 50 % de l'indemnité du V.I.E incluant les frais de gestion et de protection sociale, ainsi que les prestations annexes Appui au recrutement et coaching.
 D'autres dispositifs de soutien aux entreprises sont disponibles.
 Pour en savoir plus : businessfrance.fr/vie
 Contact : Patricia Calut, p.calut@guyane.cci.fr

PUBLIREDICTIONNEL

Dernier article de l'année 2023 pour la revue GUYAMAG

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 61/75

7.6.3. Synthèse des résultats 2023

Particules

Concernant les éléments présents de manière abondante sur les sites de prélèvement, les conclusions sont confirmées par les études successives de 2016 à 2023.

ABEILLES MELIPONES		SAISON DES PLUIES (Septembre 2023)			SAISON SECHE (Décembre 2023)		
Origine	Classe de particules et site	Témoin - La Césarée	ZL 2- Ariane IV	Soyouz (ELS)	Témoin - La Césarée	ZL 2- Ariane IV	Soyouz (ELS)
		Nombre de particules analysées	57	86	28	61	38
Environnement	Aluminosilicates	Abondant	-	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant
	Composés d'aluminium	-	Rare	Rare	-	-	Rare
	Calcaire	Rare	Abondant	Rare	Rare	Rare	Notable
	Silice / Sable	Notable	Rare	Rare	Abondant	Abondant	Notable
	Sel NaCl	Rare	-	Notable	Abondant	Rare	Rare
	Composés du fer	Rare	Abondant	Abondant	Abondant	Rare	Rare
	Sel KCl	-	-	Notable	Notable	Abondant	Rare
	Gypse (CaSO4)	-	Notable	-	-	-	-
Organique	Particules organiques (P,K,S,Ca)	Notable	Traces	Rare	Traces	Abondant	Rare
Anthropique	Potassium (Ca,Cl,Mo)	-	-	-	-	-	Rare
	Titane (Fe, Si)	Rare	Rare	Rare	-	-	-
	Composés du fer (Si,K,Mn, Cr, Cl)	-	-	-	Notable	-	-
	Oxyde de Zinc (Al, Si, Cl, K, Ca)	Rare	Abondant	-	Rare	-	-
	Phosphate de calcium (+Na, Cl, K, S)	-	-	-	-	-	Abondant

Tableau 21 : Tableau récapitulatif des particules trouvées dans les échantillons d'abeilles *Mélipones et Apis melifera*

L'étude de particules réalisée sur les abeilles mélipones prélevées à Soyouz et ZL2 pendant la saison des pluies montre des résultats similaires à ceux du site témoin, notamment sur les particules potentiellement d'origine anthropique. Lors de la saison des pluies, les particules d'origine naturelles sont très similaires entre les 2 sites d'exposition et sont en plus faible quantité que sur le site témoin

Des traces de chlorures de sodium et de potassium (sels marins) ainsi que des particules de sodium ont été observés sur les différents sites étudiés.

Lors de la saison sèche, sur le site de ZL2 des particules classées comme potentiellement d'origine organique ont été retrouvées. Ces particules peuvent provenir du pollen, des engrais ou d'autres activités anthropiques.

Sur les sites de ZL2, Soyouz et le site témoin, des particules de titane ont été retrouvées. Celui-ci est présent dans la composition des réacteurs.

Nous avons également retrouvé sur le site témoin et ZL2 des particules d'oxyde de zinc (ZnO) pouvant être liés à l'activité du centre spatial.

Enfin, lors de la saison sèche à Soyouz, des particules de phosphate de calcium pouvant être lié à l'utilisation d'engrais agricoles ont été retrouvées.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 62/75

ABEILLES APIS		SAISON DES PLUIES (Septembre 2023)				SAISON SECHE (Décembre 2023)			
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	61	68	97	63	42	25	64	51
Environnement	Aluminosilicates	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant	Notable	Notable	Rare
	Composés d'aluminium	Notable	Traces	Rare	-	-	-	-	Traces
	Calcaire	Notable	Notable	Abondant	Abondant	Rare	Rare	Rare	Rare
	Silice / Sable	Notable	Notable	Rare	Notable	Notable	-	Traces	Rare
	Sel NaCl	Rare	Rare	Rare	Notable	Notable	Abondant	-	Rare
	Composés du fer	Rare	Notable	Rare	Rare	Notable	Rare	Rare	Rare
	Sel KCl	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Abondant	Abondant	Abondant
	Gypse (CaSO4)	-	-	Traces	-	-	-	-	-
	Ce + La (+K, Cl, Na)	Rare	-	-	-	-	-	-	-
Magnésium	Rare	-	-	-	-	-	Traces	-	
Organique	Particules organiques (P, K, S, Ca)	-	Rare	-	-	-	-	-	-
Anthropique	Titane (Fe, Si)	-	Rare	Rare	-	-	-	Traces	-
	Silicate de zirconium (ZrSiO4)	-	-	-	Traces	-	-	-	-
	Composés de Mg + P (+K)	-	-	-	Traces	-	-	-	-
	Composés du fer (Si, K, Mn, Cr, Cl)	-	-	-	-	Notable	Rare	-	Traces
	Oxyde de Zinc (Al, Si, Cl, K, Ca)	-	Traces	-	Traces	Rare	-	-	-
	KCl (+S, Ca, Mg, P)	-	-	-	-	-	-	Abondant	-
	Phosphate de potassium (+Cl, S)	-	-	-	-	-	-	Traces	Rare
	Phosphate de calcium et magnésium (+Na, Cl, K, S)	-	-	-	-	-	-	Traces	-

Tableau 22 : Tableau récapitulatif des particules trouvées dans les échantillons d'abeilles Mélipones et Apis mellifera

Sur l'ensemble des campagnes, et comme pour les abeilles mélipones, nous avons retrouvé en majorité des particules d'aluminosilicates, de calcaires, de sable et de sel, sur chacun des sites. Des traces de chlorures de sodium et de potassium (sels marins) ainsi que des particules de sodium ont été observés sur les différents sites étudiés.

De plus, la présence de composés de fer et de chlorure de potassium a été remarquée sur l'ensemble des sites étudiés. Ces éléments sont très probablement d'origine naturelle et présents dans les sols guyanais.

Sur le site témoin quelques particules d'oxyde de zinc et de composés de fer ont été retrouvées, pouvant être associées aux activités du centre spatial. Des traces de titane ont été aussi observées sur les sites de Sinnamary et Ebène en saison des pluies.

Sur le site de Kourou des traces de Silicate de zirconium (ZrSiO4), de composés de magnésium, et d'oxyde de zinc ont également été retrouvées, en saison des pluies. Ces particules ont donc été classées comme étant d'origine anthropique.

Enfin, sur les trois sites d'exposition, une quantité abondante de particules de chlorure de potassium, particule pouvant provenir de l'environnement marin à proximité, mais également de l'utilisation d'engrais à des fins agricoles a été rencontrée. Ces particules sont donc à la fois d'origine anthropique et naturelle.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 63/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Biomarqueurs

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

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

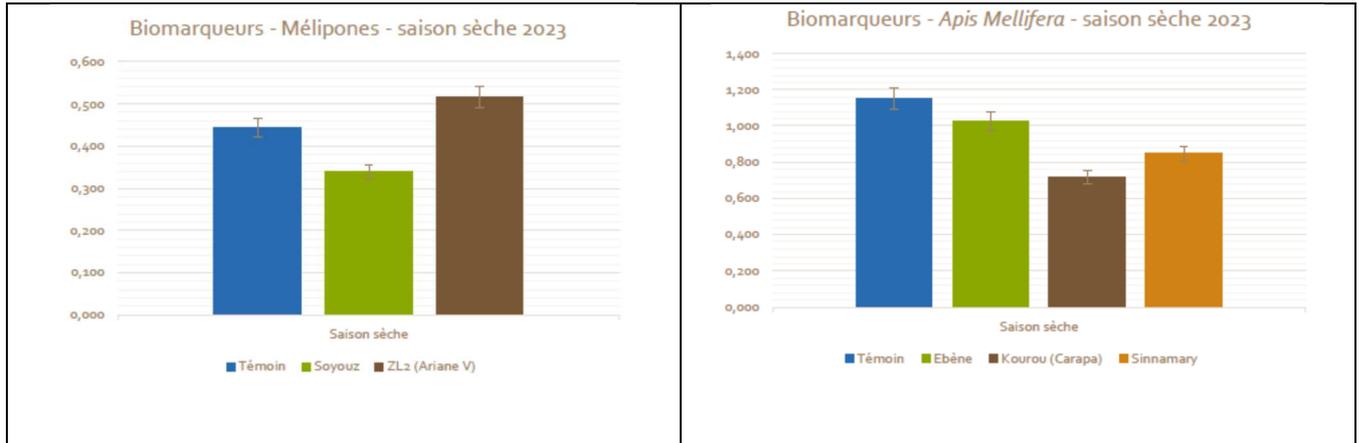


Figure 16 : Valeurs de carbonylation des protéines du prélèvement saisonnier sur tous les sites, mesuré sur les abeilles mélipones et apis.

- Mélipones :

Le niveau de carbonylation des protéines des abeilles Mélipones mesuré sur les sites d'exposition est relativement similaire au niveau de carbonylation des protéines mesurées sur le site témoin.

Nous observons, pour le site d'Ariane, une diminution de près de 3 fois le niveau de carbonylation en comparaison avec l'année 2022.

Le site d'Ariane et le site témoin ont également un niveau de carbonylation deux fois plus faible que pour l'année 2022.

- Apis :

Le niveau de carbonylation des protéines des abeilles Apis, mesuré sur le site témoin est supérieur au niveau de carbonylation des protéines mesurées sur les sites d'exposition.

On constate que le site d'Ebène est celui qui a le plus fort taux de carbonylation des protéines, avec des valeurs similaires aux années précédentes.

Les sites de Sinnamary et de Kourou ont des valeurs nettement supérieures à l'année 2022 (2 fois supérieure).

On peut donc en déduire que la présence d'activités industrielles et/ou agricoles à proximité du site Ebène semble provoquer chez les abeilles Apis mellifera un stress oxydatif plus important que si ces activités n'étaient pas présentes. En revanche, les résultats obtenus avec les Mélipones n'ont pas permis d'en arriver à la même conclusion, avec des niveaux de stress oxydatif supérieures sur le site témoin inexplicables. Néanmoins, les différentes campagnes d'analyse des biomarqueurs amènent à certaines hypothèses. Il semblerait que les abeilles Mélipones soient plus sensibles au stress environnant que les Apis mellifera. De plus, nous avons pu observer des niveaux de carbonylation plus élevés chez les Mélipones lors de la saison des pluies, et cela sur l'ensemble des campagnes réalisées. Ainsi, il serait possible que la saison puisse être un facteur de stress pour les abeilles Mélipones, en plus des activités anthropiques environnantes. Cette hypothèse ne se vérifie pas avec les Apis mellifera ou la saison n'a pas l'air de changer les niveaux de carbonylation retrouvés. Il est important de préciser que les populations de Mélipones sont plus petites que celles d'Apis mellifera. De ce fait, elles sont donc naturellement plus vulnérables de par la taille des colonies et plus sensibles à leur environnement et aux influences extérieures. Cela pourrait être un facteur déterminant qui expliquerait les résultats retrouvés.

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.

Pesticides	Saison sèche (Septembre 2020)		Saison des pluies (Janvier 2021)	Saison des pluies (Juin 2021)	Saison des pluies (Juillet 2022)	Saison sèche (Octobre 2023)	Saison des pluies (Février 2024)	
	Sinnamary	Kourou	Ebène	Kourou	Ebène	Kourou	Sinnamary	Sinnamary
	Matrice : Cire	Matrice : Pain d'abeille	Matrice : Cire	Matrice : Cire	Matrice : Cire	Matrice : Cire	Matrice : Cire	Matrice : Cire
Tau-Fluvalinate	0,25 ± 0,10	ND	0,047 ± 0,024	0,025 ± 0,013	ND	0,031 ± 0,016	0,11 ± 0,06	ND
Coumaphos	0,015 ± 0,008	ND	ND	ND	ND	0,016 ± 0,008	0,061 ± 0,031	ND
Phoxim	ND	ND	ND	D < 0,01	ND	ND	ND	ND
Fenprothiazate	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,029 ± 0,015	ND
Propargite	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,33 ± 0,12	ND
Amitraze	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,17 ± 0,08

Tableau 23 : Concentration en mg/kg de chaque pesticide retrouvé

Le Tau-Fluvalinate retrouvé dans l'échantillon de cire d'abeille 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.

Des traces de Coumaphos ont également été détectées (mais non quantifiées) dans l'échantillon de cire de Kourou, C'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.

De plus, des traces d'amitraze ont été détectées. Celui-ci est un acaricide utilisé pour lutter contre le ver de la capsule, la tordeuse, les acariens rouges, les mineuses de feuilles, les cochenilles, les pucerons, les tiques, psylles, et le varroa. Il est moyennement toxique pour les abeilles.

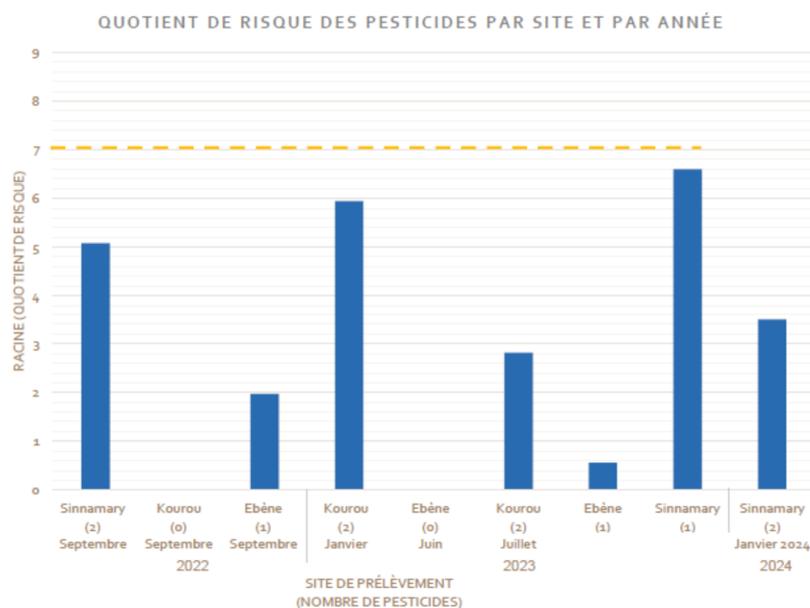


Figure 17 : Quotient de risques des pesticides par site et par année.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 65/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

On observe qu'à travers les années, la concentration de pesticides retrouvée dans les deux sites évalués représente un risque faible pour la santé des abeilles. Le premier seuil à partir duquel un échantillon contient des charges de pesticides considérées comme dangereuses n'a jamais été excédé.

En conclusion, dans le CSG, des pesticides peu toxiques ont été détectés en faibles concentrations, représentant un risque très faible pour la santé des abeilles. Il est important de noter que les usages de pesticide sur la base spatiale sont parfaitement maîtrisés. Les résultats le montrent très bien.

Suivi pondéral, de température et d'humidité des ruches en continu

L'utilisation du dispositif Beeguard®, sur Soyouz et Ebène, 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.

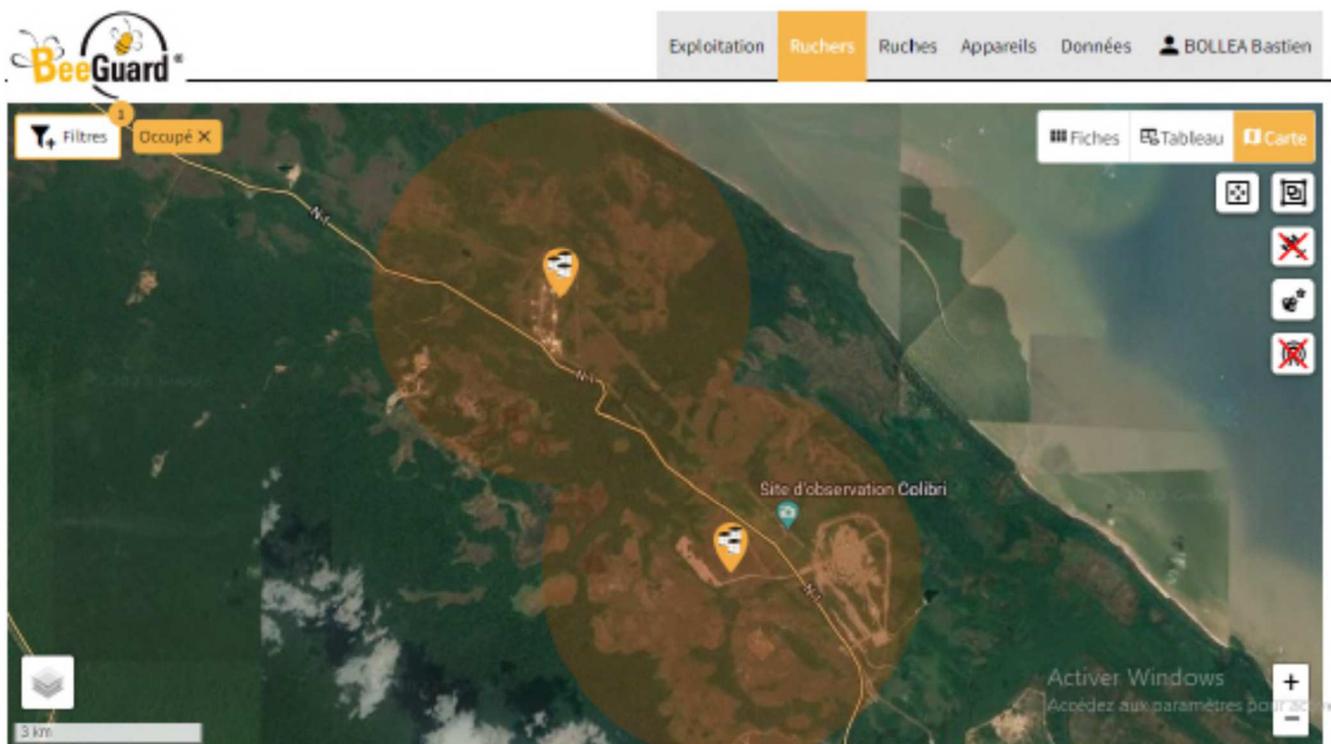


Figure 18 : Position géographique des postes de mesure des ruches de biosurveillance. Site Soyouz (à gauche) et site Ebène (à droite).

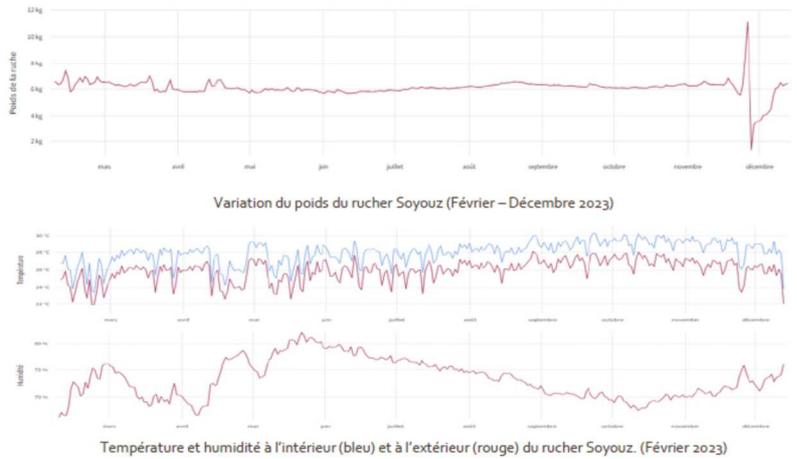


Figure 19 : Suivi site Soyouz

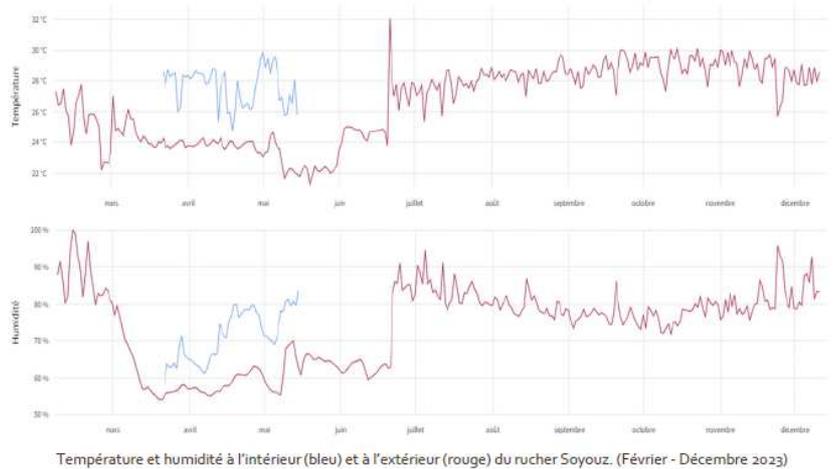
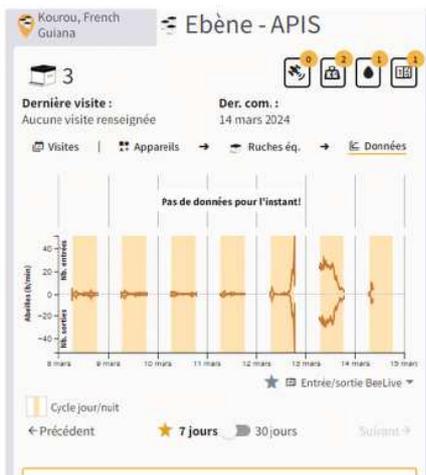


Figure 20 : Suivi site Ebène

Pendant le mois de mesures (février 2023), le poids moyen de la ruche est passé de 6,5 kg à 6,7 kg, ce qui n'indique pas de problèmes sérieux dans les ruches. Les abeilles consomment la nourriture stockée et maintiennent la colonie. La variation de la température et de l'humidité mesurée au cours du temps est normale.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 67/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Suivi de la qualité de l'air - capteurs AtmoTrack



Figure 21 : 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.

Grâce à ce système, il est possible d'évaluer les paramètres comme : PM1, PM2.5, PM10, NH3, NO2, CO, bruit, température et humidité. Toutes ces données sont remontées sur l'interface et sont visibles en temps réel.

Le capteur situé sur le site de Soyouz est un Atmo1 (AtmoTrack de 1^{ère} génération) et permet d'analyser seulement les paramètres de PM1, PM2.5, PM10.

Le capteur situé sur le site de Kourou est un Atmo2 (AtmoTrack de 2^{ème} génération) et permet d'analyser l'ensemble des paramètres.

Les activités développées dans le contexte industriel du Centre Spatial Guyanais se reflètent dans les résultats des études réalisées lors de la campagne de 2023.

Concernant les données Atmotrack, pour l'ensemble des paramètres, les concentrations de polluants ont été maintenues à un faible niveau sur les sites étudiés. Cependant, les capteurs Atmotrack ont mis en évidence des pics élevés de particules PM10, notamment en février sur le site d'Ariane.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 68/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

8. CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG EN 2023

Les principales conclusions à retenir du bilan des plans de mesures environnement 2023 sont rappelées ci-après.

8.1. Par rapport aux activités liées aux lanceurs

8.1.1. 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 et de la ZLV (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 2023, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo n'a pas été mis en œuvre conjointement à un lancement Ariane.
- 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.*

8.1.2. Vega

- Pour la mission du lanceur Vega en 2023, 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 entre le site d'observation Agami / Carrefour Bec fin et 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 le vol Vega de 2023. Aucune situation dégradée n'ayant eu lieu, on comprend qu'aucune teneur en produits hydrazinés ou en oxyde d'azote n'a été mesurée.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 69/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- Les retombées chimiques gazeuses et particulaires, récoltées par l'intermédiaire des bacs à eau, se font essentiellement à proximité de la ZLV (sur le chemin de ronde). Au-delà, on observe quelques retombées très faibles, à la fois non quantifiables, sous le nuage de combustion.
- En 2023, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo a été mis en œuvre pour un lancement 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 pluviolessivats, la conclusion est la même que pour le lanceur Ariane 5

8.2. 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.
- **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.
- **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 l'identité de la crique et le taux d'aluminium présent dans les muscles des poissons. 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 pour la crique des Pères et la Karouabo et une bonne qualité biologique de la Malmanoury. L'indice Poissons de Guyane (IPG) attribue un état moyen à la crique des pères, la Malmanoury et la Karouabo, alors que l'Indice Diatomique de Guyane Française (IDGF) attribue un bon état écologique à la crique des Pères et à la Karouabo, et un très bon état écologique à la crique Malmanoury.
- **Le suivi de la Grande Faune**, par l'Office Français de la Biodiversité, a été renouvelé pour une période couvrant les années 2020-2024.
- **La bio surveillance de la qualité de l'air par les abeilles mélipones** : Le programme de surveillance 2020, reconduit en 2021, 2022 et en 2023, vient compléter le protocole évolutif mis en place depuis 2016 au CSG avec la collaboration CNES/NBC/APILAB. Les résultats montrent plutôt une bonne santé générale des abeilles et un impact limité des activités industrielles sur site.

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 les années précédentes, que **l'impact généré sur l'environnement par les activités de lancement du CSG est faible**.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 70/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

9. 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/EST 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 RETOMBÉES 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 2023, 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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 71/75

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

10.1. 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/m³ pendant 8h, 5 jours/semaine ce qui correspond à une dose par semaine de 1440000 mg.s/m³.

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

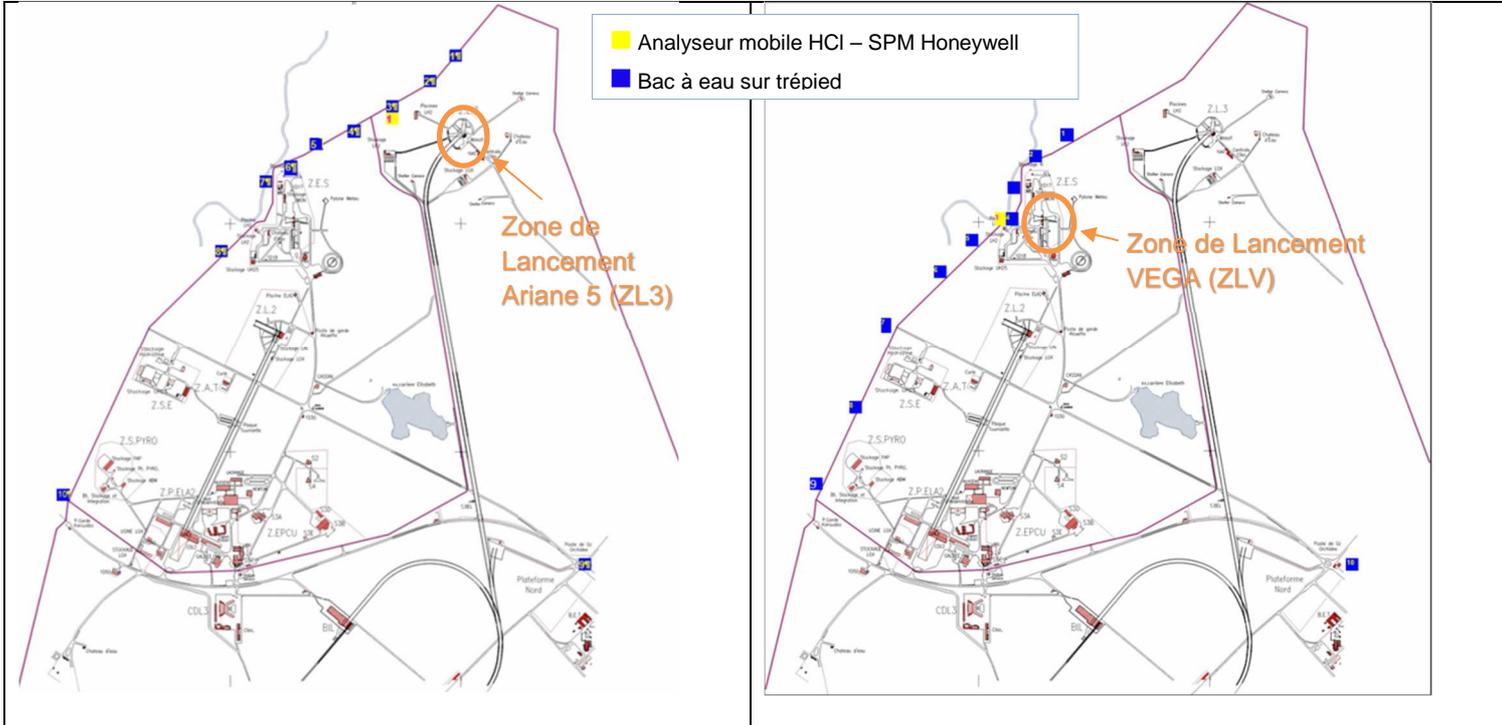
10.2. Cas de l'acide chlorhydrique

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/m³ 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

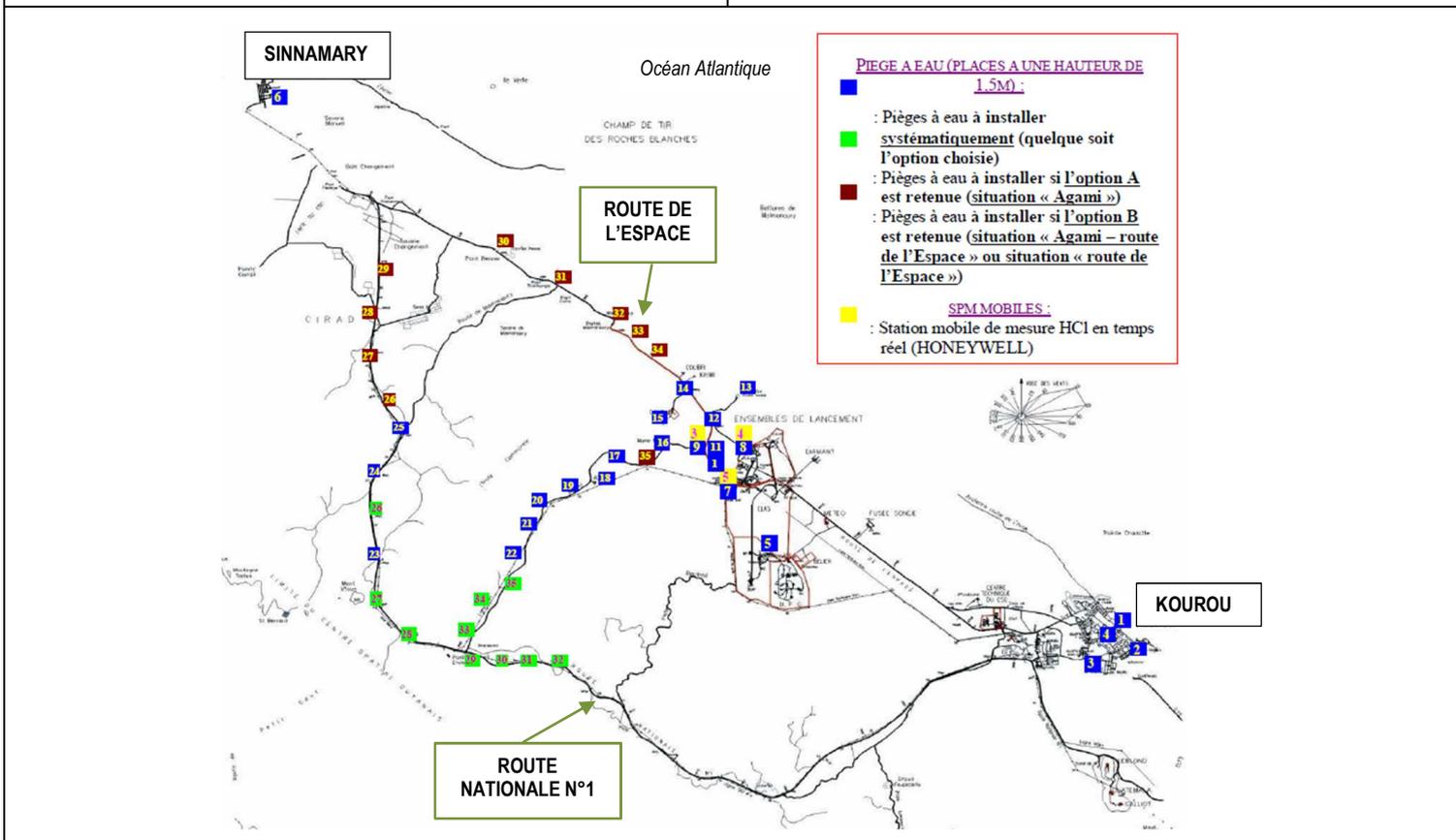
Type de gaz	S.E.I. 10 mn	S.E.I. 30 mn	S.E.L. 30 mn	VLE
HCl	240 ppm 358 mg/m ³	80 ppm 90 mg/m ³	470 ppm 700 mg/m ³	5 ppm
Dose HCl en ppm.s	144000	144000	846000	

**11. 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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 15/09/2024
		Page : 73/75

12. ANNEXE 4 : 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

	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 °)
V218	74	80,1	-6,1
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
V257	104	90,9	13,1
V258	97	84,6	12,4

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement, Sauvegarde Sol et Sécurité du Travail	BILAN 2023 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22901-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 15/09/2024 Page : 75/75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	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 °)
V259	79	88	-9
V260	74,2	85	-10,8
V261	86,4	120,1	-33,7

Ecart moyen = 17°

♦♦♦♦ FIN DU DOCUMENT ♦♦♦♦