

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 2/94
---	--	---

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/ES (Environnement et Sauvegarde Sol) est le gestionnaire technique de ce document.

MODIFICATIONS

VERSION	DATE	CHAPITRES MODIFIÉS / RAISON / NATURE DE L'ÉVOLUTION
01/00	15/12/2023	CREATION / BONHOMME C. – DELAMARE F.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 3/94
---	---	---

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	22.SE.RS.06	Rapport ESQS - Résultats du plan de mesures environnement Ariane VA257
DR08	N°2022-513	Fiche synthétique post lancement VA257
DR09	22.SE.RS.05	Rapport ESQS - Résultats du plan de mesures environnement VEGA VV21
DR10	N°2022-512	Fiche synthétique post lancement VV21
DR11	22.SE.RS.08	Rapport ESQS - Résultats du plan de mesures environnement Ariane VA258
DR12	N°2022-514	Fiche synthétique post lancement VA258
DR13	23.SE.RS.07	Rapport ESQS - Résultats du plan de mesures environnement Ariane VA259
DR14	N°2023-250	Fiche synthétique post lancement VA259
DR15	23.SE.RS.08	Rapport ESQS - Résultats du plan de mesures environnement VEGA VV22
DR16	N°2023-251	Fiche synthétique post lancement VV22
DR17	HYDRECO 2022 – Rapport final	Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut – Frédéric J., Pottier G., Cerdan A. & Vigouroux R., 2023. Surveillance de la faune aquatique dans la zone du Centre Spatial Guyanais– Rapport HYDRECO/CNES. 79 pages + Annexes.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 4/94
---	---	---

RÉFÉRENCE		TITRE DU DOCUMENT
DR18	HYDRECO Diatomées 2022	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 2022. Contrat HYDRECO – CNES, 55p.
DR19	Rapport NBC APILAB final 2022	NBC – Biosurveillance environnementale apicole Centre Spatial Guyanais Rapport annuel 2022
DR20	Décret n°2010-1250	Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air
DR21	Rapport d'activité 2022	Atmo Guyane - Rapport d'activité 2022 – Surveillance de la qualité de l'air en Guyane
DR22	Bilans 2022 des épisodes de pollution de l'air en Guyane Française	Atmo Guyane – Episodes de pollution de l'air en Guyane Française https://www.atmo-guyane.org/bilan-2022-des-episodes-de-pollution/
DR23	Fiche toxicologique INRS	Fiche toxicologique n°47 – Monoxyde de Carbone (CO) – Edition 2009
DR24	Fiche toxicologique	Fiche toxicologique n°238 – Dioxyde de Carbone (CO ₂) – Edition 2005

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 5/94
---	--	--

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°1689/2D/2B/ENV	Arrêté Numéro 1689/2D/2B/ENV du 26 juillet 2007 autorisant la Société Arianespace à exploiter l'ensemble de lancement Soyouz (ELS), sise sur la commune de Sinnamary.
DA03	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.
DA04	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.
DA05	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.
DA06	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 et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 6/94
---	---	---

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.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 7/94
---	---	---

TERME	DÉFINITION
Ichtyofaune	Partie de la faune aquatique rassemblant l'ensemble des poissons vivants dans un espace géographique ou un habitat déterminé.
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).

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 8/94
---	---	---

TERME	DÉFINITION
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
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

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 9/94
---	--	--

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
Ca	Calcium
CI	Contrat Industriel
CL	Champ Lointain
Cl⁻	Ion Chlorure
CHK	Centre Hospitalier de Kourou
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
ELS	Ensemble de Lancement SOYOUZ
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
H₂	Dihydrogène
HC	Hydrocarbures imbrûlés

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 10/94
---	--	--

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
HCl	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
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
N₂H₄	Hydrazine
N₂O₄	Peroxyde d'Azote
NO₂	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

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 11/94
---	--	--

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
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
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
ZLS	Zone de Lancement SOYOUZ
ZLV	Zone de Lancement VEGA
ZP	Zone de Préparation

SOMMAIRE

1. OBJET ET BILAN DES MESURES EN 2022	17
2. CATALOGUE 2022 DES FICHES SYNTHETIQUES POST-LANCEMENT	22
3. LES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE 5, VEGA ET VEGA-C	23
3.1. OBJECTIFS DES MESURES	23
3.2. SARRIM, L'OUTIL DE MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES RETOMBEES CHIMIQUES ET GAZEUSES	24
3.3. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	24
3.4. SUIVI DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMP PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN	25
3.5. MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	26
4. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LES CAMPAGNES ARIANE 5	27
4.1. LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	27
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.....	31
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 2022	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.....	37
5.3. CONCLUSIONS SUR LES MODELISATIONS DE L'OUTIL SARRIM.....	38
5.4. RESULTATS DES MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	38
5.5. RESULTATS DES MESURES DE RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN.....	38

<p>CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p>BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</p>	<p>Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 13/94</p>
---	---	---

5.6. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DES LANCEMENTS VEGA EN 2022	40
6. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT SOYOUZ.....	41
7. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LES CAMPAGNES SOYOUZ.....	42
7.1. OBJECTIFS DES MESURES	42
7.2. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	42
7.3. LOCALISATION DES POINTS DE MESURES.....	43
7.4. LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	43
7.5. MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES ET PARTICULAIRES	45
7.6. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DU LANCEUR SOYOUZ POUR L'ANNEE 2022	50
8. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT AU BANC D'ESSAI DES ACCELERATEURS A POUVRE (BEAP).....	51
9. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES REALISEES POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ECOSYSTEMES DU CSG	53
9.1. LES OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG	53
9.2. MESURE DE LA QUALITE DE L'EAU DE LA CRIQUE KAROUABO	53
9.3. MESURE DE LA QUALITE DES SEDIMENTS DES CRIQUES KAROUABO ET MALMANOURY	55
9.4. SUIVI DE LA FAUNE ET DE LA FLORE AQUATIQUE DES CRIQUES DU CSG	62
9.5. SUIVI DU PATRIMOINE VEGETAL DU CSG	68
9.6. BIO SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR AU MOYEN DES ABEILLES	69
10. CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG EN 2022	83
10.1. PAR RAPPORT AUX ACTIVITES LIEES AUX LANCEURS	83
10.2. PAR RAPPORT AU SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT DU CSG	84
11. ANNEXE 1 : EVALUATION DE L'IMPACT SUR LES PERSONNES.....	86
12. ANNEXE 2 : RAPPELS SUR LES LIMITES REGLEMENTAIRES DE TOXICITE DES PRINCIPAUX PRODUITS EMIS PAR LES LANCEURS.....	87
12.1. CAS DE L'ALUMINE	87
12.2. CAS DE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE	87
12.3. CAS DU MONOXYDE DE CARBONE	88
12.4. CAS DU DIOXYDE DE CARBONE.....	88

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 14/94
---	--	---

**13. ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIE DES CAPTEURS
ENVIRONNEMENT (BACS A EAU) ARIANE 5 & VEGA..... 89**

**14. ANNEXE 4 : CARTOGRAPHIE DES ANALYSEURS EN CONTINU
ENVIRONNEMENT SOYOUZ 90**

**15. ANNEXE 5 : ETUDE COMPARATIVE DES DIRECTIONS DES
NUAGES DE COMBUSTION LORS DE LANCEMENTS ARIANE 5 92**

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 15/94
--	---	--

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - principaux résultats 2021	18
Tableau 2 : Ensemble des paramètres de mesures dans les bacs à eau	25
Tableau 3: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des prévisions CEP/ARPEGE	28
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine.....	28
Tableau 5: Tableau récapitulatif des directions et vitesses des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages	29
Tableau 6 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour Ariane 5 en 2021	30
Tableau 7 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	32
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.....	36
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 2022.....	37
Tableau 13 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	39
Tableau 14 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	40
Tableau 15 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure.....	43
Tableau 16: Tableau récapitulatif des directions calculées par SARRIM au moyen des radiosondages...	43
Tableau 17 : Rappel des seuils réglementaires d'exposition pour le Monoxyde (CO) et le Dioxyde (CO ₂) de carbone.....	44
Tableau 18 : Ensemble des résultats des Shelters ENVIRONNEMENT SA – 2022, entre H0 et H0+2h, pour le vol VS27	47
Tableau 19 : seuils d'information et de recommandation, d'alerte, de différents polluants (<i>Source : ATMO Guyane</i>).....	48
Tableau 20 : Suivi de la Karouabo en 2022	54
Tableau 21 : Modification de la spéciation et de la mobilité de certains ions en fonction du paramètre pH du sol.	55
Tableau 22 : Paramètres physico-chimiques mesurés pour les trois stations en 2022 (<i>en bleu : très bon état ; en vert : bon état ; en jaune : état moyen ; en orange : état médiocre</i>).....	56
Tableau 23 : Résultats des analyses de métaux dans les sédiments de la Karouabo et de la Malmanoury	58
Tableau 24 : Paramètres physico-chimiques analysés sur les sédiments en laboratoire pour la station Paracou, en saison des pluies 2022.	60
Tableau 25 : Tableau de synthèse des principaux résultats obtenus pour le suivi de la faune aquatique pour 2022.....	63
Tableau 26 : Notes de l'IPG-G et classes de qualité associées pour les trois stations	64
Tableau 27 : Résultats d'analyses des pluviollessivats suite au lancement VV21	69
Tableau 28 : Evolution des efforts d'analyse (nombre de ruches) en fonction des années de suivi de biosurveillance par l'abeille.....	71

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 16/94
--	---	--

Tableau 29 : Tableau récapitulatif des particules trouvés dans les échantillons d'abeilles *Mélipones* et *Apis mellifera* – on note que de façon générale, la majorité des particules détectées sont d'origine environnementale (en vert)..... 77

Tableau 30 : Concentration en mg/kg de chaque pesticide retrouvé..... 80

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Lancement VA259 vu depuis la ZL3 Service CNES OPTIQUE VIDEO 18

Figure 2 : Bac à eau sur son trépied métallique et SPM Honeywell sur le chemin de ronde AR5 25

Figure 3 : Dépose d'un bac à eau avec son flacon d'échantillonnage..... 25

Figure 4 : Cartographie du CSG (Carte IGN, Géoportail ©) 28

Figure 5 : SPM mobile installé en champ proche..... 31

Figure 6 : Station de surveillance BRADY à Kourou, ORA 2017 49

Figure 7: Prise de vue de la station Paracou (Hydreco, 2019) 55

Figure 8 : Crique Karouabo en saison sèche, HYDRECO 2021 59

Figure 9 : Crique Malmanoury en saison sèche, HYDRECO 2021 59

Figure 10 : Mélipona [DR24]..... 69

Figure 11 : Ruchers Tangara 70

Figure 12 : Ruchers Sentier Ebène 70

Figure 13 : Ruchers de l'ELS 70

Figure 14 : Anatomie d'une abeille, NBC/APILAB..... 72

Figure 15 : Vue interne d'un rucher et de son organisation, NBC APILAB 73

Figure 16 : Situation géographique des sites d'exposition. Les aires d'exposition de l'étude d'un rayon de 3 km sont représentées en jaune..... 74

Figure 17 : Prélèvement d'un individu pour analyse, CNES Optique Vidéo 2017 74

Figure 18 : Valeurs de carbonylation des protéines des 2 prélèvements saisonniers sur tous les sites, mesuré sur les abeilles mélipones et apis. 78

Figure 19 : Facteur de risque pour chaque site. 80

Figure 20 : Capteur AtmoTrack 81

Figure 21 : Fiche toxicologique INRS 88

Figure 22 : Fiche toxicologique INRS 88

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 17/94
---	--	---

1. Objet et bilan des mesures en 2022

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 2022 par le Centre National d'Etudes Spatiales au Centre Spatial Guyanais (CNES - CSG) et ses partenaires afin d'**évaluer l'impact des activités de lancements sur l'environnement**. Il est élaboré pour répondre aux objectifs suivants :

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

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

- Trois campagnes **Ariane 5** (VA257 à VA259) – **Chapitre 4**
- Deux campagnes **Vega - C** (VV21 à VV22) – **Chapitre 5**
- Une campagne **Soyouz** (VS27) – **Chapitre 7**
- Aucun essai n'a été réalisé en 2022 au **BEAP** – **Chapitre 8**

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

Le tableau 1 ci-dessous résume les principaux résultats 2022.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
 Direction
 Sous-Direction Protection
 Service Environnement et
 Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
 Date : **15/12/2023**
 Page : **18/94**

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS																														
RAPPEL DES ACTIVITES DE LANCEMENTS AU CSG	En 2022, le Centre Spatial Guyanais a opéré 6 lancements, répartis comme suit																														
	 <p>Figure 1 : Lancement VA259 vu depuis la ZL3 Service CNES OPTIQUE VIDEO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lanceurs</th> <th>Missions</th> <th>J0</th> <th>H0 (Heure Locale)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Ariane 5 (3 lancements)</td> <td>VA257</td> <td>22/06/2022</td> <td>18h50</td> </tr> <tr> <td>VA258</td> <td>07/09/2022</td> <td>18h45</td> </tr> <tr> <td>VA259</td> <td>13/12/2022</td> <td>17h30</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">VEGA - C (2 lancements)</td> <td>VV21</td> <td>13/07/2022</td> <td>10h13</td> </tr> <tr> <td>VV22</td> <td>20/12/2022</td> <td>22H47</td> </tr> <tr> <td>Soyouz (1 lancement)</td> <td>VS27</td> <td>10/02/2022</td> <td>15H09</td> </tr> </tbody> </table>						Lanceurs	Missions	J0	H0 (Heure Locale)	Ariane 5 (3 lancements)	VA257	22/06/2022	18h50	VA258	07/09/2022	18h45	VA259	13/12/2022	17h30	VEGA - C (2 lancements)	VV21	13/07/2022	10h13	VV22	20/12/2022	22H47	Soyouz (1 lancement)	VS27	10/02/2022
Lanceurs	Missions	J0	H0 (Heure Locale)																												
Ariane 5 (3 lancements)	VA257	22/06/2022	18h50																												
	VA258	07/09/2022	18h45																												
	VA259	13/12/2022	17h30																												
VEGA - C (2 lancements)	VV21	13/07/2022	10h13																												
	VV22	20/12/2022	22H47																												
Soyouz (1 lancement)	VS27	10/02/2022	15H09																												
SYNTHESE DES INDICATEURS DE QUALITE DES MILIEUX	COMPARTIMENTS	AIR	EAU et SEDIMENTS	DIATOMÉES	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 (poissons)	Biomarqueurs																									
		Bacs à eau <i>HCl / Al₂O₃</i>	MALMANOURY		IDF (Indice Diatomique de Guyane)	Analyse des cires (pesticides)																									
		Shelters SOYOUZ <i>CO / CO₂ / NO_x / SO_x / PM / HCT</i>	PARACOU		SMEG et SMEG-2 (invertébrés)	Comparaison avec AtmoTrack																									
ETAT GENERAL	AUCUN IMPACT DECELE	AUCUN IMPACT DECELE	ETAT MOYEN A TRES BON ETAT ECOLOGIQUE	AUCUN IMPACT DECELE	AUCUN IMPACT DECELE	BON ETAT ECOLOGIQUE																									

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
 Direction
 Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
 Sauvegarde Sol**

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
 Date : **15/12/2023**
 Page : **19/94**

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 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	<p>Les mesures réalisées s'intéressent aux produits de combustion majoritairement émis par chaque lanceur lors de son décollage.</p> <p>Pour les lanceurs Ariane 5 et VEGA nous nous intéressons à l'acide chlorhydrique et à l'alumine ; Pour le lanceur SOYOUZ, on s'intéresse aux émissions en monoxyde et dioxyde de carbone, les oxydes d'azote et de soufre ainsi que les particules fines (PM₁₀ et PM_{2,5}).</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les résultats des mesures effectuées pour les vols Ariane 5 de 2022 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 2022 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, SHELTERS ENVIRONNEMENT Suivi en continu	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En ce qui concerne les lanceurs Ariane 5 et VEGA, en 2022, les capteurs CODEX-2 ne détectent généralement pas d'acide chlorhydrique, même pour ceux en champ proche. Sur deux lancements Ariane 5 et un lancement VEGA-C, des détections d'acide chlorhydrique à proximité immédiate du pas de tir (à moins de 1 kilomètre des zones de lancement) ont été faites, avec des teneurs mesurées qui décroissent rapidement jusqu'à atteindre 0 ppm quelques minutes après le décollage. ▪ Les analyseurs fixes, installés afin de suivre la qualité de l'air pendant le vol Soyouz, n'ont détecté aucune teneur imputable au lanceur lors de la mission Soyouz. En effet, les plus fortes concentrations sont toujours observées en champ proche voire localisées sur le pas de tir. Ces dernières restent inférieures aux seuils réglementaires d'exposition ou très limitées dans le temps. Par ailleurs, aucune trace de produits hydrazinés ou dioxyde d'azote n'a été enregistrée, s'agissant de chronologies nominales. <p>En conséquence, les mesures, n'ayant pas caractérisé un phénomène de dégradation de la qualité de l'air, ont démontré qu'aucun impact sur les personnes n'a été décelé en 2022.</p>

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 20/94
---	---	--

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
SUIVI CONTINU DE LA QUALITE DES EAUX DE SURFACE CRIQUE KAROUABO (Uniquement pour Ariane 5 et Vega)	En 2022, des prélèvements d'eau ont été effectués par prélèvement automatique, pour VA257. Les analyses n'ont pas mis en évidence de pollution des eaux liées au lancement. Lors des années précédentes, aucun impact n'a jamais été décelé par le préleveur automatique.
ANALYSE DE LA QUALITE PHYSICO- CHIMIQUE DES SEDIMENTS	En 2022, comme les années précédentes, aucun impact des lancements n'est mis en évidence par les analyses, et cela quelle que soit la crique étudiée (Karouabo, Malmanoury, Paracou).
PEUPELEMENTS DE POISSONS « ICHTYOFAUNE »	Aucune différence n'est à retenir entre les 3 criques, aussi la « contamination » d'aluminium n'est pas localisé mais généralisée. Elle n'est, par conséquent, pas attribuable aux activités de lancements Ariane 5, Vega ni Soyouz. Elle est tout simplement naturelle.
INVERTEBRES AQUATIQUES	Les résultats du suivi des invertébrés aquatiques en 2022 mettent en avant une qualité des eaux classée moyenne à très bonne. 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.
DIATOMEES	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. 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 Karouabo, et un très bon état écologique aux criques Paracou, et Malmanoury. 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.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
Sauvegarde Sol**

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **21/94**

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
SUIVI DE LA VEGETATION Analyse des pluviollessivats (Uniquement pour Ariane 5 et Vega)	<p>Comme pour les années précédentes, il a été démontré en 2022 que l'on mesure des concentrations non négligeables à 450m de la zone de lancement. Mais à 1800m de la zone de lancement, on ne mesure plus aucune concentration significative. Si les retombées peuvent avoir un effet délétère sur la végétation, celui-ci est très localisé autour de la zone de lancement.</p> <p>En 2022, des capteurs de pluviollessivats ont été posés pour la campagne VV21 et VA257.</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.</p> <p>Lors de la campagne de surveillance 2022 par les abeilles, ont été effectuées des analyses particulières, des analyses de biomarqueurs, un dosage des pesticides dans les cires, et un suivi de la bonne santé globale de la ruche et une comparaison effectuées avec les capteurs AtmoTrack.</p> <p>Les années précédentes montraient une bonne santé générale des abeilles et un impact limité des activités industrielles sur site. La campagne 2021 est dans la lignée des années précédentes.</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 et
Sauvegarde Sol**

**BILAN 2022 DES PLANS DE
MESURES ENVIRONNEMENT
REALISES AU CENTRE
SPATIAL GUYANAIS**

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **22/94**

2. CATALOGUE 2022 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.

Les fiches synthétiques associées aux lancements de 2022 sont disponibles sur le site internet du CSG : <https://centrespatialguyanais.cnes.fr/fr/centre-spatial-guyanais/environnement-et-securite/environnement/etudier-les-impacts>

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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 25/94
---	---	--

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

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



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

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

Paramètres mesurés	Unités
pH	unité pH
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$ 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.

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 type « 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 la toiture du bâtiment des urgences du Centre Médico-Chirurgical de Kourou (CMCK)
 - 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.

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

En 2022, le CSG a opéré trois lancements Ariane 5 :

❖	VA257	le 22/06/2022	à 18h50 (heure locale)
❖	VA258	le 07/09/2022	à 18h45
❖	VA259	le 13/12/2022	à 17h30

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, DR11 et DR13] 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 2022. Un tableau récapitulatif est présenté en [Annexe 5](#) du présent document.

Pour l'ensemble des lancements réalisés en 2022, l'analyse des simulations a montré un écart maximal de 13,1°, ne remettant pas en cause l'option de pose choisie pour les bacs à eau.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
 Direction
 Sous-Direction Protection
 Service Environnement et
 Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
 Date : **15/12/2023**
 Page : 28/94



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...	
VA257	104	Diane	B « Route de l'Espace »
VA258	97	Entre Agami et Diane	B « Route de l'Espace »
VA259	79	Agami	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)
VA257	1.36	12.47
VA258	1.04	3.88
VA259	2.6	11.51

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
Sauvegarde Sol**

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **29/94**

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

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

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

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

VOL	2022		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	HCl (ppm)	Alumine (mg/m ³)
VA257	22	Juin	90.9	Entre Agami et Diane	4.14	9.88
VA258	07	Septembre	84.6	Entre Agami et Diane	0.93	4.35
VA259	13	Décembre	88	Entre Agami et Diane	0.94	3.3

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 Irréversibles) 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 dans tous les cas.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 30/94
--	---	---

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

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

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

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

Le tableau 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 2021

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
A257		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C220622.TXT DU 22/06/22 À 21H00 TU	RADIOSONDAGE CP REFERENCE 4R220622.TXT DU 22/06/22 À 22H07 TU
A257	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	990.8	1225
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	104	90.9
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	1.36	4.14
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	12.47	9.88
A258		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C070922.TXT DU 07/09/22 À 21H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R070922.TXT DU 07/09/22 À 22H19 TU
A258	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1076.6	1168.8
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	97	84.6
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	1.04	0.93
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	3.88	4.35
A259		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C121222.TXT DU 12/12/22 À 18H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R131222.TXT DU 13/12/22 À 20H45 TU
A259	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	905.7	1181.1
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	79	88
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	2.6	0.94
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	11.51	3.3

4.3. Conclusions sur les modélisations de l'outil SARRIM

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

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

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

Malgré les écarts observés entre les valeurs de concentration et de direction sur les deux modélisations, les capteurs environnement ont correctement été implantés au cours de l'année 2022. Ces derniers ont été soumis aux retombées provenant du nuage de combustion du lanceur Ariane 5.

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

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 8 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 2022, des détections ponctuelles (<20ppm) ont été faites à l'occasion des lancements V258 et V259. Ces détections ont eu lieu en champ proche par les appareils mobiles situés à moins de 1km de la ZL3 dans l'axe des carneaux, et les teneurs mesurées **décroissent rapidement jusqu'à atteindre 0 ppm quelques minutes après le décollage du lanceur**

L'absence de situation dégradée au cours des lancements ARIANE 5 de 2022 a permis d'éviter toute détection en dioxyde d'azote ou en produits hydrazinés.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 32/94
--	---	--

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 2022.

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, DR11 et DR13].

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 :

- VA257 : 0,8 mm
- VA258 : 1.4 mm
- VA259 : 40.1 mm

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

4.5.1. Analyse des retombées en aluminium particulaire sédimentable

Le tableau ci-après présente les valeurs maximales mesurées pour le paramètre **aluminium particulaire sédimentable**, en champ proche et en champ lointain, lors de chaque lancement ARIANE 5 de l'année 2022.

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

	Vol	A257	A258	A259
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m²)	199.37	11.063	222.237
	Distance de la ZL3 (m)	362	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	CP01 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 49 et 50
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m²)	< seuil de détection	< seuil de détection	< seuil de détection
	Distance de la ZL3 (m)	-	-	-
	Localisation	-	-	-

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 sont restées pour ces trois lancements sous le seuil de détection.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 33/94
--	---	--

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 2022.

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

	Vol	A257	A258	A259
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m²)	8597.04	4945.56	4952.529
	Distance de la ZL3 (m)	277	277	533
	Localisation	CP03 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 49	CP03 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 49	CP05 Chemin de ronde ZL3 - Milieu de la zone 47
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m²)	37.866	83.866	85.376
	Distance de la ZL3 (m)	4425	2790	12236
	Localisation	CL16 Piste Agami - PK 1,5 après portail Agami (entrée du morne Bocco)	CL11 Intersection Piste Agami - Route de l'Espace	CL05 Site Toucan

Remarques :

- En champ proche, les concentrations maximales des retombées chimiques et particulaires en ions chlorures sont localisées sur le chemin de ronde de la zone de lancement, aux points CP03 et CP05 (correspondant à des zones adjacentes).
- 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 A259, sur le site Toucan. Ce secteur, situé à une distance de 12.2 km de la zone de lancement, est au cœur du CSG et a effectivement été couvert par le nuage de combustion, mais les concentrations mesurées restent peu élevées.

4.5.3. Conclusions sur les retombées chimiques gazeuses et particulaires

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

En champ lointain, les concentrations restent faibles ou négligeables.

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

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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
Sauvegarde Sol**

**BILAN 2022 DES PLANS DE
MESURES ENVIRONNEMENT
REALISES AU CENTRE
SPATIAL GUYANAIS**

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **34/94**

4.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement des lancements Ariane 5 en 2022

Les mesures réalisées pour les vols Ariane 257 à 259 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 et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 35/94
---	--	--

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

En 2022, le CSG a opéré deux lancements Vega (en heure locale) :

- ❖ Vol V21 le 13/07/2022 à 10H13
- ❖ Vol V22 le 20/12/2022 à 22H45

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

Les principaux résultats et conclusions des plans de mesures **[DR09 et DR15]** seront présentés dans ce document.

5.1. Localisation des zones de passage du nuage de combustion

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

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

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

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

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

Tableau 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...	
V21	91	Entre Agami et Diane	B « Route de l'espace »
V22	56.6	PK86 de la RN1	A « AGAMI »

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 36/94
---	---	--

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/m ³)
V21	1.8	10.3
V22	2.1	9.7

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.

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	2022		DIRECTION DE PROVENANCE DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	HCl (ppm)	Alumine (mg/m ³)
V21	13	Juillet	144.2	Route de l'espace (nord)	0,9	4,8
V22	20	Décembre	62.7	Venus	1	4

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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 37/94
--	---	--

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

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

Par comparaison avec la simulation réalisée à H0 + 25 minutes, seul VV21 présente un écart significatif entre la direction des retombées calculée par CEP et celle issues du radiosondage le plus proche du H0. Cependant, l'option de pose choisie est cohérente des retombées réelles. Pour VV22, il n'y a pas d'écart significatif sur la direction moyenne des vents, ce qui ne remet pas en cause le choix de l'option de pose. Sur les deux vols, les capteurs ont été exposés aux retombées provenant du nuage de combustion de VEGA.

Tableau 12 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour VEGA en 2022

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
V21		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C290421.TXT DU 29/04/21 À 03H00 TU	RADIOSONDAGE CP 2R290421.TXT DU 29/04/21 À 02H18 TU
V21	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	662.8	619.5
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	91	144.2
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	1.8	0.9
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m³)	10.3	4.8
V22		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C170821.TXT DU 17/08/21 À 03H00 TU	RADIOSONDAGE CP RÉFÉRENCE 1R170821.TXT DU 17/08/21 À 02H10 TU
V22	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	687.1	780.5
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	56.6	67.2
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	2.1	1
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m³)	9.8	4

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 53°.

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

Malgré les écarts observés entre les valeurs de concentration et de direction sur les deux modélisations, les capteurs environnement ont correctement été implantés pour les deux missions du lanceur VEGA en 2022. 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 2022, une détection (<20ppm) a été recensée à l'occasion du lancement VV22. Cette détection a eu lieu en champ proche par un des appareils mobiles situés à moins de 1km de la ZL3 dans l'axe des carneaux, et les teneurs mesurées **décroissent rapidement jusqu'à atteindre 0 ppm quelques minutes après le décollage du lanceur**

Les mesures en continu d'acide chlorhydrique n'ont montré aucun impact sur l'environnement et les personnes, suite aux décollages du lanceur VEGA-C en 2022.

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.

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

Les précipitations relevées pour VV21 et VV22 sont respectivement de 11 mm et 4,6 mm.

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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 39/94
---	---	--

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	V21	V22
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m²)	< 0.814	< 0.383
	Distance de la ZLV (m)	503	503
	Localisation	CP01 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 47	CP01 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 47
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m²)	< Seuil de détection	< Seuil de détection
	Distance de la ZLV (m)	-	-
	Localisation	-	-

Remarques :

- Les concentrations en aluminium particulaire les plus importantes en **champ proche**, ont été quantifiées sur le chemin de ronde, à une distance de 500 mètres.
- En **champ lointain**, les concentrations en alumine particulaire sont restées pour ces deux lancements sous le seuil de détection.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 40/94
---	---	--

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	V21	V22
CHAMP PROCHE	C _{max} (mg/m ²)	51.2	104.2
	Distance de la ZLV (m)	1550	503
	Localisation	CP09 Chemin de ronde ZL3 Intersection entre zones 39 et 41	CP01 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 47
CHAMP LOINTAIN	C _{max} (mg/m ²)	139.8	155.6
	Distance de la ZLV (m)	2640	295 615
	Localisation	CL12 PK17,7 depuis Changement sur RTE ESPACE direction ELA	CL32 Sur RN1 direction Kourou 4,5 km après carrefour piste Agami soit PK 80,6 de la RN1

Remarques :

- En **champ proche**, les retombées en ions chlorures se trouvent principalement sur le chemin de ronde de la zone de lancement.
- 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 V22, sur la RN1. Ce secteur, situé à une distance de 12.2 km de la zone de lancement a effectivement été couvert par le nuage de combustion, mais les concentrations mesurées restent peu élevées.

5.5.3. Conclusions sur les retombées chimiques gazeuses et particulaires

Les mesures réalisées pour les vols VEGA-C de l'année 2022 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 P120 de Vega-C contient 142 T de propergol, alors que chaque EAP d'Ariane 5 en contient 240.

5.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement des lancements VEGA en 2022

Les mesures réalisées pour les vols VEGA de l'année 2022 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 et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 41/94
---	---	--

6. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT SOYOUZ

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

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

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

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

Les principaux produits issus de cette réaction sont les suivants :



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

- **Mesurer en continu** les retombées chimiques gazeuses et particulaires issues des **moteurs du 1er (blocs latéraux) et 2nd (bloc A)** étage de Soyouz. La quantification des concentrations en **monoxyde de carbone** (CO), en **dioxyde de carbone** (CO₂), en **oxydes d'azote** (NO_x), en **oxydes de soufre** (SO_x), en **ozone** (O₃), en **composés organiques volatiles** et **hydrocarbures** (COV / HCT) et en **particules** (PM₁₀ et PM_{2,5}) a lieu sur 6 sites (villes de Kourou, de Sinnamary, Ensemble de Lancement Soyouz et BLA),
- **Mesurer, en continu et en différents lieux** (Kourou, Sinnamary, Centre Technique, sites Colibri, Agami et Toucan), les teneurs en **peroxyde d'azote** (N₂O₄ = 2 NO₂) et en **produits hydrazinés** par l'intermédiaire d'analyseurs de type SPM (HONEYWELL) ; ces derniers constituant le réseau CODEX-2. Les composés suivis ne sont émis qu'en cas de fonctionnement dégradé (accident) du lanceur.

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

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

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

En 2022, le CSG a opéré un lancement Soyouz réparti de la façon suivante au cours de l'année (en heure locale) :

❖ Vol S27 : le 10/02/2022 à 15H09

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

Les principaux résultats et conclusions seront présentés dans ce document.

7.1. Objectifs des mesures

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

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

- Les concentrations en oxydes d'azote (NO_x) et de soufre (SO_x), en monoxyde de carbone (CO), en hydrocarbures (HCT) et composés organiques volatiles (COV), en particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et en ozone (O₃) en situation nominale de lancement,
- Les concentrations en dioxyde d'azote (NO₂) et des produits hydrazinés en situation dégradée (cas accidentel).

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

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

7.2. Les conditions météorologiques

La localisation de la « trace » de combustion de Soyouz peut varier à chaque lancement. Cette localisation ne peut être connue à l'avance du fait de la climatologie locale. Au moyen de SARRIM et du radiosondage réalisé au plus proche du H0, une modélisation des conditions météorologiques réelles du jour du lancement peut être effectuée. Les résultats obtenus (hauteur de stabilisation, déplacement du nuage, etc.) donneront des informations, par comparaison aux valeurs de terrain, sur le comportement réel de la « trace » de combustion ainsi que sur les concentrations au sol des retombées chimiques et particulières.

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

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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 43/94
--	---	---

7.3. Localisation des points de mesures

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

Tableau 15 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure.

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

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

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

7.4. Localisation des zones de passage du nuage de combustion

7.4.1. Au moyen des radiosondages

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

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

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

Tableau 16: Tableau récapitulatif des directions calculées par SARRIM au moyen des radiosondages

VOL	2022		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES			
					Champ proche (à 200 m ZLS)		Champ lointain (en dehors du CSG)	
	Jour	Mois	Provenance Basses couches	Vers	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)
VS27	10	Février	82	Changement	3599	5238	< 0,01	< 0,01

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 44/94
---	---	--

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

7.4.2. Résultats des modélisations de l'outil SARRIM

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

Le tableau ci-dessus nous renseigne sur les teneurs maximales estimées par le code de calcul et nous permet d'en déduire l'impact de la trace de combustion en champ lointain. Il est important de rappeler que les produits de combustion majoritaires (Monoxyde de carbone (CO) et Dioxyde de carbone (CO₂)) suivis par le Plan de Mesures Environnement du lanceur SOYOUZ ont la particularité d'être des substances naturellement présentes dans l'atmosphère et d'une manière générale dans le milieu naturel.

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

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

- **0,2 ppm** pour le monoxyde de carbone (CO)
- **380 – 480 ppm** pour le dioxyde de carbone (CO₂)

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

Tableau 17 : Rappel des seuils règlementaires d'exposition pour le Monoxyde (CO) et le Dioxyde (CO₂) de carbone

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

Ces seuils sont conformes aux recommandations de l'INRS et de l'INERIS [DR23 et DR24].

7.4.3. Conclusions sur les modélisations de l'outil SARRIM

Les modélisations SARRIM de la « trace » de combustion du vos SOYOUZ effectué en 2022, démontre que la localisation ne peut être connue à l'avance. L'orientation que prendra la « trace » de combustion dépend exclusivement de la climatologie locale à l'instant du décollage en ZLS.

En 2022, les villes de Kourou et de Sinnamary n'ont pas été exposées aux retombées de la trace de combustion des lancements SOYOUZ.

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

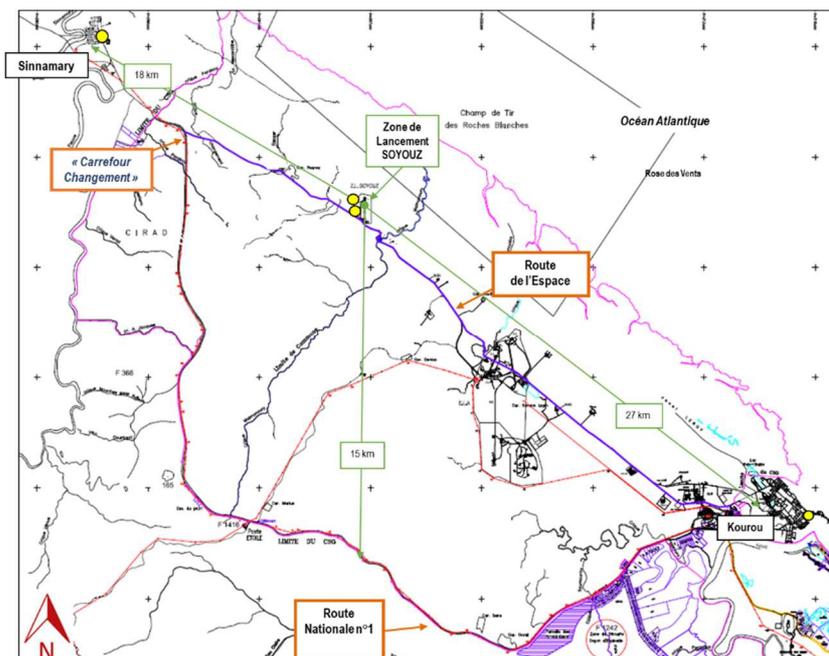
7.5. Mesures en continu des retombées chimiques et particulaires

7.5.1. Objectifs des mesures

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

7.5.2. Les Shelters « Environnement SA »

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



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

Le **Tableau** au paragraphe suivant, présente une synthèse des résultats moyens des mesures en continu des détections et les concentrations pour le vol SOYOUZ de l'année 2022.

Il récapitule ainsi les mesures :

- ✓ en **dioxyde d'azote** (NO₂),
- ✓ en **dioxyde de soufre** (SO₂)
- ✓ en **monoxyde de carbone** (CO) et en **dioxyde de**
- ✓ en **hydrocarbures** (HCT),
- ✓ en **particules** (PM₁₀ et PM_{2,5}),
- ✓ et en **ozone** (O₃)

carbone (CO₂)

*Nota : Ces mesures sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$; sachant que $1 \mu\text{g}$ est égal à $0,001 \text{ mg}$ on appliquera un **facteur 10^{-3}** à chacune des valeurs présentées pour en déduire l'impact sur la qualité de l'air.*

7.5.3. Résultats des Shelters ENVIRONNEMENT SA

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

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

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

Ainsi, si un shelter mesure le passage de la trace de combustion, on s'attend à voir des valeurs en rouge pour plusieurs paramètres mesurés dans les deux heures après le lancement, simultanément à des valeurs élevées.

Ces résultats, présentés ici via des tableaux et un code couleur, sont confirmés par une inspection visuelle des courbes d'évolution temporelle des concentrations pour chaque lancement et chaque paramètre suivi.

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

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 47/94
--	---	---

Tableau 18 : Ensemble des résultats des Shelters ENVIRONNEMENT SA – 2022, entre H0 et H0+2h, pour le vol VS27

VS27 Le 10/02/22 à 15h09 (heure locale)		Shelter 1 - KRU		Shelter 4 - ZLS- LANCEMENT		Shelter 5 - ELS-DEPOTAGE	
		Moyenne [H0-2h;H0]	Moyenne [H0;H0+2h]	Moyenne [H0-2h;H0]	Moyenne [H0;H0+2h]	Moyenne [H0-2h;H0]	Moyenne [H0;H0+2h]
SO2	µg/m3	HS	HS	12,00	12,00	HS	HS
NO2	µg/m3	10,00	10,00	HS	HS	9,00	9,00
CO	mg/m3	0,01	0,00	0,70	0,61	6,06	6,07
CO2	mg/m3	-18,30	-18,30	754,56	753,62	838,58	781,06
O3	µg/m3	10,00	10,44	1,22	0,67	2,33	3,44
HCT	mg/m3	HS	HS	HS	HS	HS	HS
PM10	µg/m3	HS	HS	HS	HS	HS	HS
PM2_5	µg/m3	HS	HS	HS	HS	HS	HS

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

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

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

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

Remarques :

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

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

Éléments de comparaison

ATMO Guyane, chargée de la surveillance de la qualité de l'air, définit un épisode de pollution de l'air ambiant comme une période au cours de laquelle le niveau d'un ou plusieurs polluants atmosphériques, comprenant les particules en suspension (PM10), le dioxyde de soufre (SO2), le dioxyde d'azote (NO2) et l'ozone (O3), sont supérieurs au seuil d'information et de recommandation ou au seuil d'alerte. Les concentrations correspondantes à chacun des polluants sont présentées dans le tableau ci-dessous, conformément au décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air **[DR20]**.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 48/94
--	---	--

Tableau 19 : seuils d'information et de recommandation, d'alerte, de différents polluants (Source : ATMO Guyane)

POLLUANT	Seuil d'information et de recommandation	Seuil d'alerte
Particules en suspension (PM10)	50 µg/m ³ en moyenne journalière sur 24h glissante	<ul style="list-style-type: none"> 80 µg/m³ en moyenne journalière sur 24h glissante. Dépassement du seuil d'information et de recommandation durant trois jours consécutifs.
Dioxyde de soufre (SO₂)	300 µg/m ³ en moyenne horaire	<ul style="list-style-type: none"> 500 µg/m³ en moyenne horaire sur trois heures consécutives.
Dioxyde d'azote (NO₂)	200 µg/m ³ en moyenne horaire	<ul style="list-style-type: none"> 400 µg/m³ dépassé sur trois heures consécutives. 200 µg/m³ en moyenne horaire si la procédure d'information et de recommandation a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.
Ozone (O₃)	180 µg/m ³ en moyenne horaire	<ul style="list-style-type: none"> 1er seuil : 240 µg/m³ en moyenne horaire dépassé pendant 3 heures consécutives. 2er seuil : 300 µg/m³ en moyenne horaire dépassé pendant 3 heures consécutives. 3eme seuil : 360 µg/m³ en moyenne horaire.

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

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

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
Sauvegarde Sol**

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **49/94**



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

La station analyse quotidiennement les teneurs en particules fines (PM10), en dioxyde d'azote (NO₂), et en ozone (O₃) de l'atmosphère urbaine. Les différents dépassements des seuils d'information et d'alerte sont enregistrés, et diffusés par l'ATMO dans les différents rapports consultables en ligne sur leur site internet : les rapports d'activité ainsi que les bilans par année des épisodes de pollution (cf. **[DR22]**)

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

- Les concentrations en **dioxyde d'azote (NO₂)** sont classiquement jugées faibles sur la ville de Kourou. Les valeurs moyennes horaire maximale et les maximums horaires ont été atteints lors de jours où il n'y a pas eu de lancement de Soyouz.
- Les concentrations en **ozone (O₃)** sont également mesurées. Ce polluant « secondaire », est produit dans l'atmosphère en présence de précurseurs tels que les oxydes d'azotes et les composés organiques volatiles, sous l'action du rayonnement solaire. Les concentrations en ozone mesurées à Kourou ne dépassent classiquement pas les seuils réglementaires. De la même façon, on remarque que leurs maximums (moyenne horaire maximale et maximum horaire) sont atteints en dehors des activités de lancement du CSG.
- Chaque année, les **particules fines (PM10)** sont les polluants mesurés présentant le principal enjeu sanitaire dans le domaine de la qualité de l'air pour la Guyane. Ces particules fines ont, en l'occurrence, une origine naturelle puisqu'elles proviennent des sables du Sahara transportés par les vents en altitude, et elles sont traditionnellement très présentes de décembre à avril. De plus, les conditions météorologiques influencent la dispersion et la transformation des polluants, il est indispensable de les considérer lors de la surveillance de la qualité de l'air. Or, les années précédentes comptent parmi les années les plus chaudes relevées, ce qui participe à la dégradation des indices de qualité et peuvent expliquer la présence majoritaire des particules fines dans l'air.

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

7.5.4. Conclusion sur les résultats des Shelters ENVIRONNEMENT SA

Comme les autres années, les analyseurs des shelters ENVIRONNEMENT SA n'ont pas été toujours fonctionnels en 2022. Des défaillances techniques n'ont pas permis l'acquisition de l'intégralité des mesures de suivi de la qualité de l'air. Il a été choisi cette année de rassembler les analyseurs fonctionnels afin de constituer des stations au maximum complètes, tandis que d'autres stations, à des emplacements moins critiques, étaient complètement arrêtées.

Néanmoins, parmi les valeurs d'apports gazeux ou particulaires qui ont été enregistrées, elles demeurent représentatives du bruit de fond « naturel » ; elles ne sont donc pas directement attribuables au lanceur SOYOUZ. Les résultats restent inférieurs aux valeurs limites d'exposition professionnelle.

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

7.5.5. Les mesures du réseau CODEX-2

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

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

En 2022, aucune situation dégradée n'est survenue lors de décollage du lanceur SOYOUZ, ainsi aucune teneur en dioxyde d'azote, ou en produits hydrazinés n'a été détectée par les analyseurs du réseau CODEX-2. La technologie du lanceur SOYOUZ ne mettant aucunement en œuvre d'acide chlorhydrique, le réseau CODEX-2 n'a donc pas détecté de concentration en acide chlorhydrique.

7.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement du lanceur Soyouz pour l'année 2022

En 2022, les mesures de la qualité de l'air ont été réalisées par le biais des analyseurs dits « Shelters » de la marque ENVIRONNEMENT SA. Les valeurs mesurées sont négligeables, elles sont représentatives du bruit de fond naturel ambiant et ne traduisent pas d'impact directement imputable aux lancements Soyouz au CSG.

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

Nous pouvons conclure que les **impacts générés** pendant la campagne **Soyouz de l'année 2022** sont **non quantifiables voire négligeables, et bien moins significatifs qu'une pollution due à la circulation routière** dans les villes.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 51/94
---	---	---

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

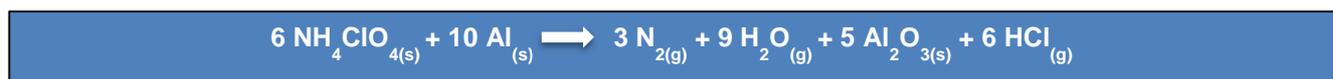
Le Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre (BEAP), situé dans la zone de propulseurs du Centre Spatial Guyanais (CSG), est une installation classée pour la protection de l'environnement construite à la fin des années 1980.

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 propergol de type *butalane*, une substance composée de perchlorate d'ammonium et d'aluminium. Les spécimens d'essais sont testés dans la configuration de vol, c'est à dire en position verticale, tuyère vers le bas.

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

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

Lors de l'essai de mise à feu, le propergol contenu dans le spécimen d'EAP se consume et entraîne la formation d'un nuage de combustion dont l'équation chimique est identique à celle du 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) **[DA04]**.

L'arrêté N°2216 1D/4B du 28 juillet 1992 autorisant le Centre National d'Etudes Spatiales à exploiter le Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre (BEAP) **[DA04]** précise en ce qui concerne la pollution atmosphérique (Article 04) que « Les émissions gazeuses (fumées, buées, vapeurs, gaz odorants, toxiques 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 ».

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
Sauvegarde Sol**

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **52/94**

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 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 2022.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 53/94
--	--	--

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

9.1. 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.

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

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

En 2022, 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 Ariane 5 vol 257.

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

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

9.2.1. Résultats des mesures

Une campagne d'analyse a été réalisée au CSG en 2022, à l'occasion du lancement Ariane VA257. Cf. [DR07].

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
 Direction
 Sous-Direction Protection
 Service Environnement et
 Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
 Date : **15/12/2023**
 Page : **54/94**

Identifiant de l'échantillon	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	5,55	0,17	18	0,36	3,566	0,25	2,708	0,14	0,105	0,0273
K 02	5,7	0,17	18	0,36	3,45	0,24	2,587	0,13	0,114	0,02964
K 03	5,75	0,17	18	0,36	3,351	0,23	2,442	0,12	0,092	0,02392
K 04	5,8	0,17	19	0,38	3,396	0,24	2,506	0,13	0,093	0,02418
K 05	5,65	0,17	19	0,38	3,508	0,25	2,489	0,12	0,111	0,02886
K 06	5,55	0,17	20	0,4	3,894	0,27	2,524	0,13	0,103	0,02678
K 07	5,6	0,17	20	0,4	3,767	0,26	2,643	0,13	0,102	0,02652
K 08	5,7	0,17	20	0,4	3,701	0,26	2,603	0,13	0,099	0,02574
K 09	5,7	0,17	19	0,38	3,628	0,25	2,699	0,13	0,128	0,03328
K 10	5,5	0,17	20	0,4	3,393	0,24	2,527	0,13	0,116	0,03016
K 11	5,5	0,17	19	0,38	3,34	0,23	2,477	0,12	0,107	0,02782
K 12	5,4	0,16	19	0,38	3,411	0,24	2,43	0,12	0,144	0,03744
K 13	5,65	0,17	19	0,38	3,133	0,22	2,518	0,13	0,132	0,03432
K 14	5,45	0,16	20	0,4	3,214	0,22	2,49	0,12	0,138	0,03588
K 15	5,4	0,16	20	0,4	3,14	0,22	2,247	0,11	0,129	0,03354
K 16	5,4	0,16	21	0,42	3,786	0,27	2,839	0,14	0,127	0,03302
K 17	5,4	0,16	21	0,42	3,648	0,26	2,7	0,14	0,135	0,0351
K 18	5,7	0,17	20	0,4	3,865	0,27	2,815	0,14	0,128	0,03328
K 19	5,65	0,17	20	0,4	3,874	0,27	2,879	0,14	0,12	0,0312
K 20	5,71	0,17	21	0,42	3,605	0,25	2,671	0,13	0,117	0,03042
K 21	5,55	0,17	21	0,42	3,589	0,25	2,721	0,14	0,118	0,03068
K 22	5,55	0,17	22	0,44	3,993	0,28	2,844	0,14	0,125	0,0325
K 23	5,5	0,17	22	0,44	4,008	0,28	2,714	0,14	0,122	0,03172
K 24	5,55	0,17	21	0,42	3,999	0,28	2,805	0,14	0,131	0,03406

Tableau 20 : Suivi de la Karouabo en 2022

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 le lancement Ariane 5. Le milieu est légèrement acide, notamment en saison des pluies du fait de l'apport météorique ; les résultats sont conformes à la « *normalité guyanaise* » ;
- ❖ Une conductivité quasi constante au cours du temps ; les variations sont liées à l'influence des apports météoriques ;
- ❖ Les concentrations en ions chlorures, en ions aluminium et en ions sodium sont faibles et constantes au cours du temps. On ne remarque pas d'augmentation de paramètres induits par les retombées chimiques et particulaires du décollage Ariane 5.

En conclusion, les prélèvements réalisés **en 2022** ont permis de suivre **la qualité physico-chimique des eaux de surface de la crique Karouabo** à l'occasion du lancement Ariane 5.

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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 55/94
---	---	--

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

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

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

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 Al³⁺ ou en ions hydroxylés Al(OH)_n. Ces derniers sont alors solubilisés et transportés sous forme hydrique vers des horizons d'accumulation ou sont naturellement complexés dans le sol.



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

Les ions Al³⁺ fixés par le complexe absorbant peuvent s'**hydroxyler** (ajout d'un groupement –OH ; donnant Al(OH)₃) ou **se polymériser** (formation d'une grosse molécule) en donnant des hydroxydes colloïdaux (dispersion homogène de particule).

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

Tableau 21 : 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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 56/94
---	---	--

9.3.2. Objectifs du suivi

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

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

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

La totalité des résultats sont présentés dans les rapports du laboratoire HYDRECO [DR17 et 18] disponibles au service SDP/ES du Centre Spatial Guyanais.

9.3.3. Analyses physico-chimiques de l'eau

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

Tableau 22 : Paramètres physico-chimiques mesurés pour les trois stations en 2022 (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	25,8	24	4,6	57	4,80	4,89
	Karouabo	27	24	2,8	35	2,47	4,75
	Crique des Pères	26,9	23,6	4,4	55	13,83	5,90
Saison sèche	Malmanoury	25,9	27,6	4,7	56	3,12	6,29
	Karouabo	26,9	23,1	3	38	5,58	5,15
	Crique des Pères	28	90,2	3,4	43	6,72	5,45

En saison des pluies, les paramètres physico-chimiques sont globalement cohérents avec ceux mesurés en 2021 et homogènes entre les trois stations : une faible conductivité, une eau limpide (turbidité associée en très bon état) et un pH plutôt acide.

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 moyen (valeur proche de la limite inférieure de cette classe). Le faciès plutôt lentique de cette station expliquer ce plus faible bilan en oxygène dissous. Les stations Malmanoury et Crique des Pères quant à elles, présentent de plus importants taux d'oxygènes dissous, ce qui les associe à un bon état écologique.

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, comme pour la saison des pluies, varié : comme en saison des pluies, la station Malmanoury présente un important bilan en oxygène, l'associant à un bon état écologique. En ce qui concerne les stations Karouabo et Crique des Pères, elles sont toutes deux associées à un état écologique moyen concernant les taux d'oxygène dissous, démontrant un écart par rapport à un cours d'eau strictement dulçaquicole en bon état écologique.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
Sauvegarde Sol**

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **57/94**

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

- L'oxygène et matières organiques : le Carbone Organique Total présente des valeurs normalement relevées sur le réseau hydrographique guyanais, non soumis à une pression. Le Carbone Organique Dissous et la Demande Biochimique en Oxygène sont qualifiés en très bon état pour toutes les stations.
- Le Carbone Organique Dissous et la Demande Biochimique en Oxygène sont qualifiés en très bon état pour toutes les stations
- Les paramètres azotés et phosphorés : l'ammonium, les nitrates, les nitrites, les orthophosphates et le phosphore total qualifient globalement les stations très bon état. De plus, les valeurs d'azote Kjeldahl sont en-dessous de seuil de détection pour l'ensemble des stations.
- La minéralisation : l'ensemble des eaux échantillonnées sont globalement peu minéralisées pour l'ensemble des stations.

9.3.4. Analyses physico-chimiques des sédiments

A. Criques Karouabo et Malmanoury

L'analyse porte sur l'**acidité** et la **composition métallique** des sédiments. Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des analyses effectuées sur les sédiments prélevés au niveau des stations Karouabo et Malmanoury. Aucun des paramètres présents dans le ne dépasse le seuil fixé par l'arrêté du 9 août 2006.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 58/94
--	---	--

Tableau 23 : Résultats des analyses de métaux dans les sédiments de la Karouabo et de la Malmanoury

Paramètres	Normes	Malmanoury 24/05/2022			Karouabo 24/05/2022			Unités
		Amont	Pont	Aval	Amont	Pont	Aval	
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES								
pH	NF EN 15933	4,9	4,7	4,9	5,2	5,1	5	unité pH
Fraction < 2 mm	Méthode interne au laboratoire	97,6	99,3	79,0	99,3	94,0	99,2	%
Matières sèches (Fraction < 2 mm)	NF EN 12880	34,4	51,5	49,9	54,3	40,4	39,8	%
MINERAUX								
Calcium (en Ca)	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	0,15	0,18	0,39	0,12	0,30	0,18	g/kg MS
Calcium (en CaO)	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	0,21	0,25	0,54	0,17	0,42	0,25	g/kg MS
Magnésium (en Mg)	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	0,64	1,5	0,76	0,13	0,29	0,38	g/kg MS
Magnésium (en MgO)	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	1,1	2,5	1,3	0,22	0,48	0,64	g/kg MS
Potassium (en K)	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	0,65	0,96	0,83	0,14	0,41	0,3	g/kg MS
Potassium (en K2O)	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	0,78	1,2	0,99	0,17	0,49	0,36	g/kg MS
POLLUANTS MINERAUX								
Aluminium	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	25,0	20,0	6,8	5,0	7,6	20,0	g/kg MS
Baryum	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	43	45	19	9	15	65	mg/kg MS
Cadmium	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	mg/kg MS
Chrome Total	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	23	23	55	8,4	13	68	mg/kg MS
Cobalt	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	1,7	3,1	2,8	< 1,0	< 1,0	1,9	mg/kg MS
Cuivre	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	2,8	4,4	11	1,1	5,4	14	mg/kg MS
Fer Total	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	5	10	32	3	11	29	mg/kg MS
Manganèse Total	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	18	35	50	9,3	21	22	mg/kg MS
Mercuré	NF EN 13346 / CSOL-MO-0095	0,085	0,057	0,056	< 0,040	< 0,040	0,056	mg/kg MS
Molybdène	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	mg/kg MS
Nickel	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	6,6	9,3	7,8	2,7	3,2	9,6	mg/kg MS
Plomb	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	12	18	6,5	2,7	17	13	mg/kg MS
Sélénium	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	mg/kg MS
Zinc	NF EN 13346 / NF EN ISO 1885	10	15	16	7	11	12	mg/kg MS

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



Figure 8 : Crique Karouabo en saison sèche, HYDRECO 2021



Figure 9 : Crique Malmanoury en saison sèche, HYDRECO 2021

B. Crique Paracou

Des mesures et prélèvements ont été effectués à la saison des pluies 2022 sur la crique Paracou. Cette masse d'eau est en limite d'influence des vents de l'Ensemble de Lancement Soyouz ; elle représente un site de référence dans l'évaluation des retombées émises par les lancements SOYOUZ.

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

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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 60/94
--	---	--

Tableau 24 : Paramètres physico-chimiques analysés sur les sédiments en laboratoire pour la station Paracou, en saison des pluies 2022.

Paramètres	Normes	Résultats			Unités
		Amont	Pont	Aval	
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES					
pH	NF EN 15933	5,2	5,3	5,3	unité pH
Fraction < 2 mm	Méthode interne au laboratoire	99,3	99,2	98,3	%
Matières sèches (Fraction < 2 mm)	NF EN 12880	62,7	62,4	62,5	%
MINERAUX					
Calcium (en Ca)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	0,18	0,15	0,15	g/kg MS
Calcium (en CaO)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	0,25	0,21	0,21	g/kg MS
Magnésium (en Mg)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 0,10	< 0,10	< 0,10	g/kg MS
Magnésium (en MgO)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 0,17	< 0,17	< 0,17	g/kg MS
Ptassium (en K)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 0,10	< 0,10	< 0,10	g/kg MS
Ptassium (en K2O)	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 0,12	< 0,12	< 0,12	g/kg MS
POLLUANTS MINERAUX					
Aluminium	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	3,3	2,9	3,4	g/kg MS
Baryum	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	9,2	7,8	10	mg/kg MS
Cadmium	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 0,40	< 0,40	< 0,40	mg/kg MS
Chrome Total	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	3,1	2,4	3,4	mg/kg MS
Cobalt	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 1,0	< 1,0	< 1,0	mg/kg MS
Cuivre	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 1,0	< 1,0	< 1,0	mg/kg MS
Fer Total	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	0,60	0,64	0,64	mg/kg MS
Manganèse Total	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	3,6	2,7	4	mg/kg MS
Mercure	NF EN 13346 / CSOL-MO-0095	< 0,040	< 0,040	< 0,040	mg/kg MS
Molybdène	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 1,0	< 1,0	< 1,0	mg/kg MS
Nickel	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	1,6	1,1	1,1	mg/kg MS
Plomb	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	1	< 1,0	< 1,0	mg/kg MS
Sélénium	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	< 5,0	< 5,0	< 5,0	mg/kg MS
Zinc	NF EN 13346 / NF EN ISO 11885	2,9	< 2,0	< 2,0	mg/kg MS
INDICE HYDROCARBURES					
Indice Hydrocarbures (C10-C40)	NF EN 14039	8	6	6	g/kg MS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ces processus sont :

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

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

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

La surveillance de la qualité des eaux de la crique Karouabo est fondamentale puisqu'il s'agit du seul « cours d'eau » présent sous le vent des installations (ZL3 / 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.

9.4. 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].

9.4.1. Objectifs des mesures

Le but de cette étude ([DR17]), réalisée par le bureau d'études et de recherche en environnement HYDRECO, est d'évaluer l'impact des retombées des produits issus des poudres de propulsions des lanceurs Ariane 5 et Vega ainsi que les produits de combustion de la trace de Soyouz sur les populations de poissons et d'invertébrés aquatiques. Cette étude s'est ainsi orientée sur :

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

9.4.2. Lieux échantillonnés

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

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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 63/94
---	---	--

9.4.3. Résultats du suivi de la faune aquatique pour l'année 2022

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

Tableau 25 : Tableau de synthèse des principaux résultats obtenus pour le suivi de la faune aquatique pour 2022

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2022
DESCRIPTION DE L'HABITAT	<p>La végétation marginale de chaque station est dominée par le Palmier Bâche, <i>Mauritia flexuosa</i>. Cependant, de nombreux « moucou-moucou » (<i>Aracea</i>, <i>Montrichardia arborecens</i>) sont présents le long des berges. Ces dernières sont soumises à une exondation plus ou moins fréquente selon les stations, en fonction des marées et des saisons. De même, sur chaque station se trouvent des 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 §9.3.3 et le §9.3.4</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 temporelle, 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>Concernant le nombre de captures ; en saison sèche :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sur la Crique des Pères, 41,25 individus/batterie représentant 19 espèces pour une biomasse/batterie de 8685,55 g/batterie ont été récoltés. Sur cette station, l'abondance était déjà supérieure sur les années 2018 à 2021, 2022 enregistre également des effectifs et des biomasses sur des mêmes ordres de grandeur. Enfin, la richesse spécifique est stable depuis la baisse survenue en 2018 (Figure 13). Le calcul de l'indice de Shannon attribue une valeur de 2,64 au peuplement, pour une équitabilité de 0,62. De plus, <i>Triportheus brachipomus</i> domine la population en abondance d'individus (47,7%) et en biomasse (32,7%). ▪ Dans la Karouabo, pour l'ensemble des batteries de filets, avec 23,5 individus/batterie capturés en 2022, ce paramètre diminue d'un rapport de 3 par rapport aux effectifs associés à 2019 et reste équivalent aux années 2010 à 2018 et 2021. L'espèce la plus capturée est <i>Hoplicas malabricus</i> avec 31,9% de l'effectif total. Cette espèce comptabilise également la plus forte biomasse (44,3%). Par rapport aux années antérieures, la biomasse totale de la station tend à la baisse en 2021 puis se stabilise en 2022. Au total 9 espèces ont été identifiées sur cette station. L'indice de Shannon et l'équitabilité sont respectivement mesurés à 2,26 et 0,71 ▪ Dans la Malmanoury, les captures atteignent 27 individus/batterie représentant 15 espèces pour 9103,9 g de biomasse/batterie. En termes de captures, la tendance annuelle est stable par rapport aux années précédentes. Par contre celle de la biomasse oscille depuis 2018 en prenant des valeurs

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 64/94
--	---	--

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2022												
	<p>relativement hautes par rapport aux années précédentes. Pour cette année, Trachelyopterus galeatus domine la communauté (28,7%) suivi par Leporinus gosseï (24,0%) et Acestrorhynchus falcatus (14,8%). Par contre, en termes de biomasse, c'est l'espèce Sciades couma qui domine ce peuplement (36,8%) et Leporinus gosseï occupe le second rang (15,7%). L'indice de Shannon s'élève à 3,01 et l'équitabilité à 0,77.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Concernant la Paracou en 2022, l'échantillonnage a permis de récolter 20 espèces (Tableau 28). La richesse spécifique est supérieure aux années 2017, 2018 et 2019. Elle reste tout de même similaire aux années 2014, 2015, 2016, 2020 et 2021. <p>La tendance annuelle est équivalente pour la CPUE, la biomasse et la richesse spécifique : elle reste équivalente le long des années. Les seuls contrastes constatés sont inter-saisonniers : les variables analysées évoluent entre les saisons des pluies et les saisons sèches.</p> <p>En ce qui concerne la diversité, depuis l'année 1998, la richesse spécifique, la diversité de Shannon et l'équitabilité des quatre criques sont restées relativement stables.</p>												
PEUPELEMENTS DE POISSONS (analyse des contenus stomacaux, structure trophique et anatomo- pathologie)	<p>Comme en 2019, 2020 et 2021, les connaissances actualisées permettent de déterminer la majorité des guildes alimentaires des espèces qui composent les populations. En 2022 et selon les stations, le taux d'espèces dont le régime trophique est connu varie entre 96% et 98%.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Comme depuis 2015, la Crique des Pères II est à noter que la guildes des omnivores domine très fortement cette population (88%), suivie des piscivores (6%), des invertivores (3%), des herbivores (1%) et des détritivores (1%). ▪ Au sein de la station Karouabo, les trois guildes observées sont les piscivores (40%), les herbivores (28%) et les omnivores (32%) ▪ Dans la station Malmanoury, la population en saison sèche est principalement composée de trois guildes : les omnivores (39%), les piscivores (32%) et les herbivores (25%). <p>L'Indice Poisson de Guyane est un outil permettant d'évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau à partir des populations de poisson présentes. Cet indice a été calibré à partir des données prélevées en saison sèche et ne peut donc être utilisé qu'en saison sèche. Le calcul de l'indice IPG-G attribue un état moyen aux stations Malmanoury, et Crique des Pères, et mauvais à la Karouabo (Tableau 26). En 2022, pour chaque station la note de l'IPG a diminué par rapport à 2021. Elle est passée de 0,35 ; 0,44 et 0,62 pour Karouabo, Malmanoury et Crique des Pères respectivement. Cela a engendré un déclassement de la qualité écologique de la station Malmanoury qui est passée de Moyenne à Mauvais.</p> <p>Tableau 26 : Notes de l'IPG-G et classes de qualité associées pour les trois stations</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Station</th> <th style="width: 33%;">Note</th> <th style="width: 33%;">Classe de qualité</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Malmanoury</td> <td>0,44</td> <td style="background-color: #FFD700;">Mauvais</td> </tr> <tr> <td>Karouabo</td> <td>0,35</td> <td style="background-color: #FFD700;">Mauvais</td> </tr> <tr> <td>Crique des Pères</td> <td>0,62</td> <td style="background-color: #FFFF00;">Moyen</td> </tr> </tbody> </table>	Station	Note	Classe de qualité	Malmanoury	0,44	Mauvais	Karouabo	0,35	Mauvais	Crique des Pères	0,62	Moyen
Station	Note	Classe de qualité											
Malmanoury	0,44	Mauvais											
Karouabo	0,35	Mauvais											
Crique des Pères	0,62	Moyen											
ANALYSE DE L'ALUMINIUM DANS	Pour la campagne de prélèvement 2021, trois guildes alimentaires sont représentées :												

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 65/94
--	---	--

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2022
LE MUSCLE DES POISSONS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les piscivores, avec <i>Acestrorhynchus falcatus</i>, <i>Hoplias malabaricus</i> et <i>Plagioscion squamosissimus</i>. Cette guilda comporte suffisamment d'individus pour être analysées (20 poissons). Par contre, elle est présente sur uniquement sur les stations Karouabo et Malmanoury (nKarouabo=5 ; nMalmanoury=15). ▪ Les omnivores (<i>Trachelyopterus galeatus</i>), qui sont présents dans les trois stations (nKarouabo=10 ; nMalmanoury=10 ; nCrique des Pères=10). Ces stations sont également analysables. ▪ Les herbivores (<i>Leporinus gossei</i>) qui sont présents uniquement sur les stations Karouabo et Malmanoury (nKarouabo=10 ; nMalmanoury=10). <p>En ce qui concerne les données de 2022, 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 omnivores (pvalue<0,01) par rapport aux piscivores et aux herbivores.</p> <p>Sur l'ensemble des captures sur la période 2009-2022, il n'y a pas d'effet significatif global des stations (Karouabo, Malmanoury et Crique des Pères, pvalue=0,41) sur les concentrations en aluminium. Les concentrations moyennes en aluminium ont été de 5,31 ; 6,04, et 6,03 µg/g pour les stations Malmanoury, Karouabo et Crique des Pères respectivement.</p>
DIVERSITE ET STRUCTURE DES PEUPELEMENTS D'INVERTEBRES AQUATIQUES	<p>Au total, 2715 individus répartis, en 39 taxa, ont été récoltés en 2022. 1348 répartis en 35 taxa pour la saison des pluies tandis que pour la saison sèche 1367 répartis en 30 taxa.</p> <p>En saison des pluies, les stations Malmanoury et Crique des Pères sont celles qui disposent du nombre d'individus prélevés le plus élevé (557 et 550 individus respectivement). La station Karouabo quant à elle est associée à une abondance échantillonnée plus faible (241 ind.).</p> <p>En saison sèche, les abondances des trois stations montrent des résultats très similaires. En comparaison aux années précédentes la distribution du nombre d'individus entre les stations est homogène.</p> <p>En ce qui concerne la richesse taxonomique, la Karouabo et la Crique des Pères sont assez similaires. Le nombre de taxa entre la saison des pluies et la saison sèche varie entre 9 et 17, avec une richesse plus importante en saison des pluies. La Malmanoury, quant à elle, est la station la plus riche en saison des pluies (23 taxa) mais présente la richesse la plus faible de toutes les stations en saison sèche.</p> <p>L'échantillonnage de la station Paracou a abouti à la détermination de 967 individus, répartis en 48 taxa, ce qui est supérieur à la moyenne trouvée dans les Petites Masses d'Eau (PME) guyanaises (21 taxa). La crique Paracou est donc un milieu propice au développement d'une benthofaune diversifiée.</p>

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 66/94
--	---	--

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2022
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 2021, le calcul du SMEG donne un état « moyen » pour la Karouabo et la Crique des Pères, et un état « bon » pour la Malmanoury.</p> <p>Concernant la crique Paracou, l'indice SMEG est associée à la meilleure note de l'indice (« très bon état » écologique). En comparaison, l'année dernière l'état attribué était « moyen ».</p>

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

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

9.4.4. Résultat du suivi des diatomées pour l'année 2022

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 saprophiles 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 **[DR18]**.

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

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 montre des signes d'altérations équivalents à ceux observés en 2021 avec seulement 10% de taxons d'alerte (11% en 2021) et moins prononcés qu'en 2020 (20%). La Karouabo, avec 15% de taxons d'alerte (MES, azote organique et déficit en oxygène), reste un cours d'eau très peu impacté. Ces deux stations, Karouabo et Crique des Pères, sont classées en Bon Etat Ecologique (BE).

La crique Paracou ne présente qu'une très faible abondance de taxons d'alerte (3%) et leur présence est probablement plus en relation avec un enrichissement naturel du milieu de l'amont vers l'aval. La Malmanoury reste très peu impactée depuis 2020 (seulement 8% de taxons d'alerte en 2022, comme en 2021). Il en résulte un Très Bon Etat Ecologique (TBE) pour ces deux stations.

En 2022, l'évolution de la richesse spécifique est propre à chaque crique, sans qu'aucun schéma général ne se dégage.

Après une perte importante de diversité spécifique entre 2019 et 2021, la station Crique des Pères montre une légère augmentation en 2022. Le peuplement de la Karouabo présente à nouveau une perte de diversité. Les peuplements de la Malmanoury et de la Crique Paracou retrouvent des richesses spécifiques similaires à celles de 2020.

Ne disposant pas de chroniques de suivi suffisamment longues, nous ne pouvons pas attribuer ce phénomène à une variabilité naturelle (saison, conditions hydraulique, climatique, ...) ou à une dégradation des conditions de milieu, notamment pour la Crique des Pères où le substrat artificiel de prélèvements était enroulé dans des branchages.

En 2022, ces cours d'eau présentent toujours une richesse spécifique exceptionnelle avec le maintien de genres relativement rares comme les Actinella (Eunotioides), Cymbellopsis et Encyonopsis (Biraphidées Asymétriques), Frustulia et Brachysira (Biraphidées Symétriques), Stenopterobia (Surirelloïdes) et plusieurs genres indéterminés. D'autre part, l'étude 2022 a confirmé la présence et la récurrence d'espèces rares et nouvelles pour la Guyane. Il convient donc de poursuivre l'analyse du compartiment floristique des différents cours d'eau de la zone du Centre Spatial Guyanais sous l'influence des lanceurs Ariane 5, Vega et Soyouz afin de vérifier le maintien de cette flore exceptionnelle, mais aussi de disposer de chroniques suffisantes permettant d'intégrer la variabilité des peuplements afin d'apporter des diagnostics écologiques plus pertinents, en particulier en intégrant un suivi lors des deux saisons (saison sèche et saison des pluies).

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 68/94
---	---	--

9.4.5. Conclusions générales du suivi des criques pour 2022

En 2022, comme en 2021, les indices calculés ne convergent pas vers un avis unique. Si l'IPG-G et le SMEG accordent de états moyens à médiocres aux criques étudiées, les indices relatifs aux diatomées convergent vers de bons ou très bon états écologiques.

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

9.5. *Suivi du patrimoine végétal du CSG*

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

Afin d'évaluer l'impact des retombées des lancements sur la flore, le CNES fait procéder 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.

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-C. 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 2022, des campagnes de mesures ont eu lieu, suite aux lancements VV21 et VA257. 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. Suite au lancement VA257, la quantité d'eau dans les pluviollessivats était trop faible pour permettre une analyse.

Identifiant de l'échantillon	pH		Conductivité		Ions chlorures		Aluminium total	
	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude	Echantillon	Incertitude
	-	-	µS/cm	µS/cm	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L
CP04	5,4	0,16	<10	<0,2	0,768	0,06	<0,25	< 0,311
CL08	5,55	0,17	<10	<0,2	0,819	0,05	<0,25	< 0,308

Tableau 27 : Résultats d'analyses des pluviollessivats suite au lancement VV21

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

9.6. 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. Les ouvrières échantillonnent ainsi les polluants du sol et de l'air au travers du nectar, du pollen et du mielat qu'elles récoltent sur les plantes et les arbres.

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

9.6.1. Le programme de bio surveillance au CSG

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

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

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



Figure 10 : Mélipona [DR24]

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
Sauvegarde Sol**

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **70/94**

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 11 : Ruchers Tangara



Figure 12 : Ruchers Sentier Ebène



Figure 13 : Ruchers de l'ELS

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 71/94
---	---	--

9.6.1. Le protocole de surveillance 2022

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 2022**, le protocole mis en place en 2020 a été maintenu ([DR19]).

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

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

Année de la campagne de biosurveillance	Particules (méthode Apidiag)	Pesticides	Suivi pondéral (méthode Beeguard®)	Biomarqueurs	Etude toxicité sur les miels	AtmoTrack	TOTAL
2016	8	0	0	4	0		12
2017	10	0	0	0	2		12
2018	8	0	2	12	0		22
2019	12	2	2	12	0		28
2020	14	4	2	14	0	3	37
2021	14	4	2	14	0	2	36
2022	14	4	2	14	0	2	36

Tableau 28 : Evolution des efforts d'analyse (nombre de ruches) en fonction des années de suivi de biosurveillance par l'abeille

9.6.2. Matériels et méthodes

A. Les sentinelles de l'environnement

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

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

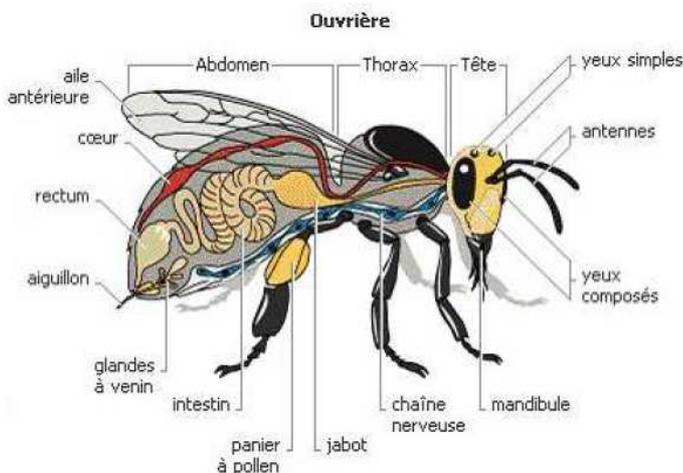


Figure 14 : Anatomie d'une abeille, NBC/APILAB

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

B. Les ruchers

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

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



Figure 15 : 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 **2022**, comme en 2021, les sites suivants ont été équipés en colonies de mélipones :

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

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

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

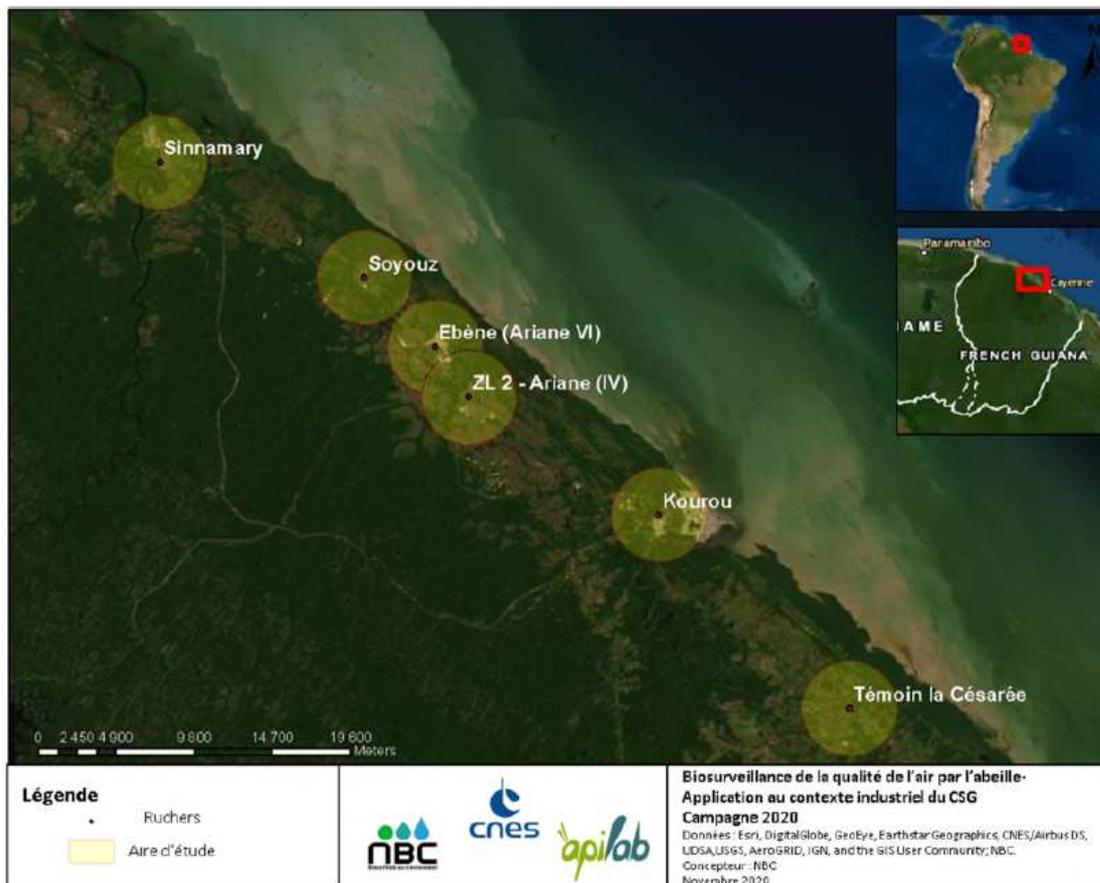


Figure 16 : Situation géographique des sites d'exposition. Les aires d'exposition de l'étude d'un rayon de 3 km sont représentées en jaune.

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

Sur chacun des ruchers, **le protocole 2022** s'est attaché à :

- Réaliser des prélèvements à différentes saisons : un prélèvement en saison des pluies et un prélèvement en saison sèche.
- Effectuer des **analyses particulières** sur les prélèvements de *Mélipones* et sur les *Buckfast*, par traitement au Microscope Electronique à balayage (MEB) afin d'identifier les principaux éléments, d'origine naturelle ou industrielle, présents dans l'environnement du CSG. Cette analyse particulière est effectuée depuis 2016 et un suivi temporel est possible.
- Analyser l'impact de l'environnement sur le fonctionnement des organismes biologiques des abeilles, via l'étude des **biomarqueurs**. Ils reflètent notamment l'impact de l'agriculture, du transport, de l'industrie et

plus généralement des activités humaines, sur le fonctionnement des organismes biologiques. Selon leur nature et leur niveau, ces altérations peuvent avoir un impact plus ou moins important sur la santé.

En effet, les polluants peuvent en particulier altérer l'équilibre cellulaire et favoriser, entre autres, la formation de composés carbonylé dans les protéines, ou « **carbonylation** ». Cette altération est irréversible et entraîne un déclin des fonctions biologiques et une vulnérabilité cellulaire.

Ainsi, le degré de carbonylation des protéines permet de rendre compte de manière fiable l'impact de l'environnement sur les organismes biologiques.

L'analyse de la carbonylation des tissus des abeilles, Buckfast et Mélipones, a été effectuée par le laboratoire OxiProteomics à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris) et répétée 4 fois par échantillon.

- Analyser les cires d'*Apis mellifera* et **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.

En 2022, le grand public a été informé de la méthode à l'occasion de la présentation du projet de biosurveillance par l'abeille dans une interview donnée à BFM Business le 16 Avril 2022 par Nicolas Brehm. Cet échange a permis de présenter NBC mais aussi d'améliorer la portée du projet de biosurveillance et de sensibiliser les téléspectateurs. Deux articles ont également été publiés par les journaux « FORBES » et « InformationEntreprise » sur Nicholas Brehm et les activités de NBC. Une grosse partie de ces articles est dédiée à la biosurveillance de l'air par l'abeille avec une présentation de cette technologie ainsi que des partenaires impliqués dans ce projet.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
 Direction
 Sous-Direction Protection
 Service Environnement et
 Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
 Date : **15/12/2023**
 Page : **76/94**

9.6.3. Synthèse des résultats 2022

Particules

Concernant les éléments présents de manière abondante sur les sites de prélèvement, les conclusions sont confirmées par les études successives de 2016 à 2022.

Lors des deux saisons d'études, sur tous les sites et chez toutes les abeilles, sont retrouvés en grande majorité (systématiquement plus de 89%) de particules d'origine naturelle (ou habituellement présentes dans l'environnement). Les particules d'origine anthropique sont rares ou à l'état de traces.

ABEILLES MELIPONES		SAISON DES PLUIES (Juillet 2022)			SAISON SECHE (Novembre 2022)		
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	86	75	67	61	54	46
Environnement	Aluminosilicates	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant
	Oxyde d'aluminium	Rare	-	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant
	Calcaire	Rare	Abondant	Notable	Abondant	Rare	Abondant
	Silice / Sable	Notable	Rare	Rare	Notable	Notable	Notable
	Sodium	-	Rare	-	-	-	-
	Sel NaCl	-	-	Traces	Rare	Rare	Rare
	Oxyde de fer	Rare	Rare	Rare	Rare	-	Rare
	Magnésium	Rare	-	Traces	-	-	-
	Sel KCl	Traces	-	-	Traces	Traces	-
Organique	Particules organiques (P,K,S,Ca)	-	-	-	-	Notable	-
Anthropique	Ferroaluminium	Rare	Traces	Rare	Traces	Rare	-
	Potassium (Ca,Cl,Mo)	Rare	Rare	-	-	-	Rare
	Alliage titane-fer	Rare	-	-	-	-	-
	Oxyde de fer (Si,K,Co)	Traces	-	-	-	-	-
	Zirconium (Al,Si)	Traces	-	-	-	-	-
	Alliage fer-cobalt	Traces	-	-	-	Traces	-
	Oxyde de sodium (Zn)	Traces	-	-	-	-	-
	Calcaire (Mo,Zr)	-	Rare	-	-	-	Rare
	Oxyde d'aluminium (Ca,Zr,Mo)	-	Traces	Traces	-	Traces	-
	Chlorure de sodium (Ca,K,Mo)	-	Traces	-	-	-	-
	Aluminosilicate (Ca,Fe,Mo,Zn,Ti)	-	Traces	Traces	-	-	-
	NaK (Al,Ca,Mo)	-	-	Traces	-	-	-
	Aluminure de titane	-	-	-	Rare	-	-
	Molybdène (K,Ca)	-	-	-	-	Rare	-
	Brome	-	-	-	-	-	Rare

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
 Direction
 Sous-Direction Protection
 Service Environnement et
 Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
 Date : **15/12/2023**
 Page : **77/94**

ABEILLES APIS		SAISON DES PLUIES (Juillet 2022)				SAISON SECHE (Novembre 2022)			
Origine	Classe de particules et site	Témoign - La Césarée (Apis)	Sinnamary	Ebène	Carapa (Kourou)	Témoign - La Césarée (Apis)	Sinnamary	Ebène	Carapa (Kourou)
	Nombre de particules analysées	60	65	79	84	54	60	46	62
Environnement	Aluminosilicates	Abondant	Abondant	Notable	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant	Abondant
	Aluminium/ Oxyde d'aluminium	Abondant	Notable	Notable	Notable	Abondant	Abondant	Abondant	Rare
	Calcaire	Notable	Notable	Abondant	Abondant	Abondant	Rare	Notable	Notable
	Silice/ Sable	Rare	Rare	Rare	Notable	Rare	Notable	Notable	Rare
	Sel NaCl	Traces	Traces	-	Rare	Notable	Rare	Rare	-
	Oxyde de fer	Rare	Rare	Notable	Rare	Rare	Traces	Rare	Notable
	Sel CaCl	-	-	-	-	-	-	-	Traces
	Manganèse	Traces	-	-	-	-	-	-	-
	Potassium	Traces	-	-	-	-	-	-	-
Sel KCl	-	Notable	-	Traces	-	-	-	-	
Organique	Particules organiques (P,K,S,Ca)	-	-	-	-	-	-	Traces	-
Anthropique	Etain (Al)	Rare	-	-	-	-	-	-	-
	Aluminure de titane (Ca,Fe)	Rare	-	-	-	-	-	-	-
	Titane (Na)	Rare	-	-	Traces	-	-	-	Rare
	Calcaire (Al,K,Mo,Zr)	Traces	-	-	Traces	-	Traces	-	-
	NaCl (Ca,Al,Si,K,Zr,Br)	Traces	-	-	-	-	Traces	-	-
	Ferroaluminium (Na,Si)	-	Rare	Traces	-	Traces	Traces	Rare	Rare
	Aluminate de calcium (Mg,Mo)	-	-	Abondant	-	-	-	-	-
	Ferrocrome	-	-	Traces	-	-	-	-	-
	Silice (Mg,Ti)	-	-	-	Traces	-	-	-	-
	Oxyde d'aluminium (Ba,Ce)	-	-	-	Traces	-	-	-	-
	Cérium	-	-	-	-	-	Traces	-	-
	Alliage fer-cobalt	-	-	-	-	-	-	-	Rare

Tableau 29 : Tableau récapitulatif des particules trouvés dans les échantillons d'abeilles *Mélipones* et *Apis mellifera* – on note que de façon générale, la majorité des particules détectées sont d'origine environnementale (en vert)

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

Parmi les particules dont **l'origine est incertaine**, on retrouve fréquemment des composés associés à l'utilisation d'engrais : le sulfate de potassium, le silicate de potassium et le phosphate de calcium. Mais d'autres utilisations anthropique, telle que la construction, font également usage de composées de soufre, phosphore, calcaire ou

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Direction Sous-Direction Protection Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 78/94
---	---	--

potassium. On retrouve fréquemment ces composés indépendamment dans l'environnement, c'est pourquoi son attribution n'est pas encore clairement établie.

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

Dans les sites du CSG :

- A Soyouz, nous avons retrouvé des particules de ferroaluminium qui rentrent dans la composition de réacteurs et autres pièces. De plus, la présence de NaK et d'aluminium comprenant des traces de molybdène et titane démontrent la présence d'activités anthropiques sur ce site.
- Sur le site ZL2, les particules classifiées comme étant d'origine anthropique correspondent à des particules de ferroaluminium, d'alliage fer-cobalt d'aluminium et de calcaire comprenant des traces de molybdène, de zirconium et de zinc. La présence de ces particules est associée à l'activité spatiale industrielle, car elles sont couramment utilisées dans la fabrication d'avions et d'engins spatiaux.
- Sur le site d'Ebène, nous avons trouvé en grande quantité des aluminates de calcium. L'aluminate de calcium est un composant principal du ciment. Cette forte présence peut s'expliquer par les nombreux chantiers ayant eu lieu à cette période, sur ce site.

Dans les villes avoisinantes :

- A Sinnamary, nous avons retrouvé une majorité de ferroaluminium, qui rentrent dans la composition de réacteurs. De plus, nous avons noté la présence de cérium ainsi que du cuivre de molybdène pouvant avoir pour origine les activités ayant lieu sur le site.
- Sur le site de Kourou, on note la présence de titane en faible quantité, d'aluminosilicates, d'oxydes de fer et de chlorure de potassium probablement lié à l'activité industrielle du centre spatial et des sites environnants.

A la Césarée, site témoin, on retrouve de l'étain, du titane, de l'aluminure de titane et du ferroaluminium. Ces éléments sont très utilisés dans les alliages métalliques et l'industrie spatiale.

Certaines zones où l'on retrouve des traces de l'activité industrielle dans l'air ont été mises en évidence, sans pour autant générer d'impact sur la vie des abeilles exposées.

Biomarqueurs

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

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

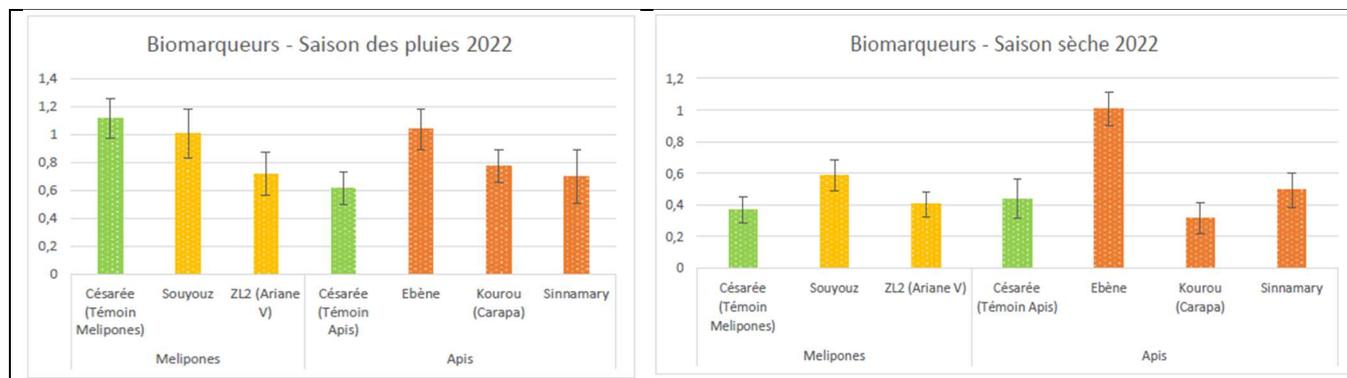


Figure 18 : Valeurs de carbonylation des protéines des 2 prélèvements saisonniers sur tous les sites, mesuré sur les abeilles mélipones et apis.

Saison des pluies

- Mélépones :

Les valeurs de carbonylation des protéines (endommagement moléculaire) obtenues ne montrent pas de différence significative entre l'échantillon prélevé d'abeilles mélépones sur le site témoin et sur le site d'évaluation de Soyouz. Sur le site ZL2, nous observons des valeurs inférieures au site témoin.

- Apis :

Le niveau d'oxydation mesuré sur les sites Sinnamary et Kourou ne sont pas différents de celui du témoin. Les valeurs de carbonylation des protéines obtenues sur le site Ébène sont significativement supérieures à celles du site Témoin.

Saison sèche

- Mélépones :

Les valeurs de carbonylation des protéines (endommagement moléculaire) sont significativement supérieures sur le site de Soyouz comparé au site Témoin. Etant donné la faible activité du site en 2022 en raison du contexte politique actuel, nous pouvons supposer que les activités humaines ne sont pas les causes de ce taux de carbonylation et que d'autres éléments extérieurs ont pu causer ce résultat.

Concernant le site ZL2, il n'y a pas de différence significative avec le Témoin, et nous observons une diminution du niveau de carbonylation par rapport aux années précédentes.

Nous ne pouvons donc pas conclure sur un éventuel impact des activités humaines de ces sites sur les ruches présentes.

- Apis :

Le niveau d'oxydation mesuré sur les sites Sinnamary et Kourou ne sont pas différents de celui du témoin. Les valeurs de carbonylation des protéines obtenues sur le site Ébène sont significativement supérieures à celles du site Témoin.

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 Mélépones 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 Mélépones soient plus sensibles au stress environnant que les Apis mellifera. De plus, nous avons pu observer des niveaux de carbonylation plus élevés chez les Mélépones 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 Mélépones, 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 Mélépones 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.

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

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
 Direction
 Sous-Direction Protection
 Service Environnement et
 Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
 Date : **15/12/2023**
 Page : **80/94**

Pesticides	Saison sèche (Septembre 2020)			Saison des pluies (Janvier 2021)	Saison des pluies (Juin 2021)	Saison des pluies (Juillet 2022)	Saison sèche (Novembre 2022)
	Sinnamary Matrice : Cire	Kourou Matrice : Pain d'abeille	Ebène Matrice : Cire	Kourou Matrice : Cire	Ebène Matrice : Cire	Kourou Matrice : Cire	Ebène Matrice : Cire
Tau-Fluvalinate	0.25 ± 0.10	ND	0.047 ± 0.024	0.025 ± 0.013	ND	0.031 ± 0.016	ND
Coumaphos	0.015 ± 0.008	ND	ND	ND	ND	0.016 ± 0.008	ND
Phoxim	ND	ND	ND	D < 0.01	ND	ND	ND
Propargite	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.015 ± 0.008

LQ : 0.01

ND : Non détecté

Tableau 30 : Concentration en mg/kg de chaque pesticide retrouvé

Saison des pluies

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.

De plus, nous avons détecté (mais non quantifié) dans l'échantillon de cire de Kourou, des traces de Coumaphos, qui 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.

Saison sèche

Le Propargite retrouvé dans l'échantillon de cire d'abeille de Kourou est un acaricide utilisé pour neutraliser les mites dans diverses cultures (arbres fruitiers, légumes, tomates, arbres d'ornements, etc.). Il s'agit d'un pesticide faiblement toxique pour l'abeille.

Kourou - Saison des pluies

Ebène - Saison sèche

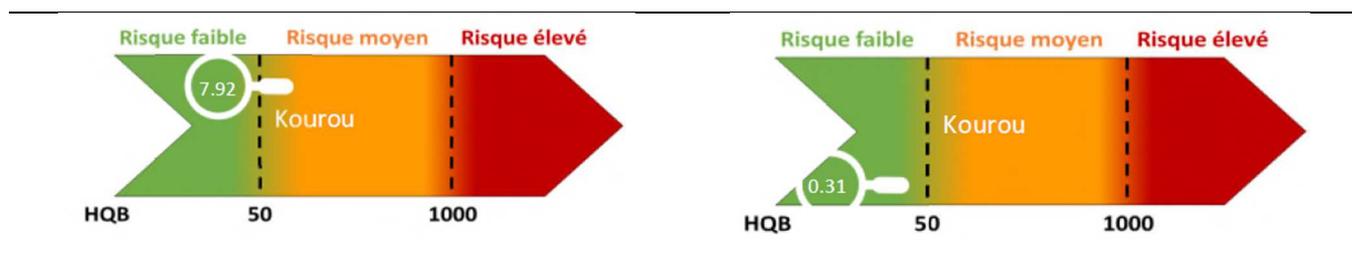


Figure 19 : Facteur de risque pour chaque site.

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.

En 2019, 2020 et 2021 nous avons poursuivi cette méthode de monitoring à distance. C'est ainsi que pour l'année 2022 on compte avec deux balances au niveau du site d'Ebène et de Soyouz. Néanmoins, en raison du contexte politique actuel, nous allons proposer une modification sur l'emplacement de Soyouz pour améliorer la précision des données reçues.

Sur le site Ebène, nous avons malheureusement rencontré des problèmes techniques vis-à-vis des équipements de monitoring qui nous ont empêché d'obtenir des résultats cohérents en 2022. Seuls les résultats du site de Soyouz seront donc présentés par la suite. Le site Soyouz est équipé d'un capteur de poids et d'un GPS. Ce dernier enregistre les données de la température du couvain et de la température extérieure.

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.

Suivi de la qualité de l'air - capteurs AtmoTrack



Figure 20 : 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.

Depuis 2020, nous avons installé trois capteurs de mesure de qualité de l'air, sur les sites de Soyouz, Kourou et de ZL2/Ariane IV. Grâce à ce système, il est possible de suivre en temps réel les paramètres : PM2.5, PM10, NH3, NO2, CO, bruit, température et humidité.

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
Sauvegarde Sol**

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **82/94**

Saison des pluies :

Pendant cette période, nous avons pu observer un pic de concentration en particules 2.5 et 10 sur le site de Kourou, entre le 26 et le 27 Octobre. Cela peut être dû aux activités ayant lieu sur place et qui ont pu générer, pendant 2 jours, des émissions de particules fines dans l'air.

Concernant le reste des paramètres, les concentrations de polluants ont été maintenues à un faible niveau et ne révèlent donc aucun impact majeur sur la qualité de l'air dans les sites étudiés.

Saison sèche :

Nous avons rencontré un problème technique sur l'atmotrack de Carapa à partir du 20 Janvier.

Pendant cette période, les concentrations de polluants ont été maintenues à un faible niveau et ne révèlent donc aucun impact majeur sur la qualité de l'air dans les sites étudiés.

En conclusion, la campagne 2022 montre des résultats dans la lignée des années précédentes.

Dans le cas de l'étude des particules, la présence de plusieurs éléments liés à l'activité industrielle : éléments métalliques et éléments issus de matériaux de construction. Cependant, **la proportion de particules anthropiques reste toujours très faible par rapport aux particules d'origine environnementale**. Au cours de cette campagne et sur l'ensemble des sites, nous pouvons observer une moyenne de particules d'origine naturelle de plus de 89%.

D'autre part, à travers l'étude des biomarqueurs, 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* ne parviennent pas à arriver aux mêmes conclusions. Néanmoins, nous observons des valeurs supérieures sur le site Soyouz lors de la saison sèche, qui peuvent être liées à un stress supérieur. Cette observation renforce l'hypothèse que la saison puisse avoir une influence sur le stress environnemental sur les *Mélipones*.

S'agissant de l'étude sur les pesticides, nous avons identifié, sur le site de Kourou (en dehors de l'enceinte du CSG), une très faible quantité de Coumaphos, dont l'utilisation est contrôlée du fait de son impact avéré sur l'environnement et sur les insectes en particulier. 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. Sur ce même site a été retrouvé le tau-fluvalinate qui est fréquemment utilisée dans l'apiculture pour contrôler les acariens qui attaquent les abeilles. Ce composé n'est pas très toxique pour les abeilles.

L'analyse de pesticides lors de la saison sèche a été réalisée sur le site d'Ebène. Lors de cette campagne, nous avons retrouvé une faible quantité de Propargite qui est un acaricide utilisé dans diverses cultures. C'est un pesticide faiblement toxique pour l'abeille.

Les données Beeguard sur le poids et la température de la ruche n'ont pas été concluantes cette année. Le site de Soyouz a révélé des données mais sur une période trop réduite. Le site d'Ebène a connu de nombreux problèmes techniques pendant la campagne (équipements, problème réseau, etc...). Nous allons proposer un nouveau site pour remplacer celui de Soyouz qui est actuellement inactif en raison du contexte politique actuel.

Concernant les données Atmotrack, nous avons pu réaliser un suivi tout au long de l'année. Pour l'ensemble des paramètres, les concentrations de polluants ont été maintenues à un faible niveau et ne révèlent donc aucun impact majeur sur la qualité de l'air dans les sites étudiés.

10. CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG EN 2022

Les principales conclusions à retenir du bilan des plans de mesures environnement 2022 sont rappelées ci-après.

10.1. Par rapport aux activités liées aux lanceurs

10.1.1. Ariane 5

- Chaque lancement ARIANE 5 a bénéficié d'un plan de mesures environnement. L'ensemble des capteurs a été déployé ; aucun bac n'a débordé.
- L'optimisation de l'emplacement des capteurs par le biais des simulations SARRIM (réalisées à partir des données prévisionnelles CEP) reste la meilleure méthode actuellement disponible. La direction prise par le nuage de combustion issu de la combustion des EAP lors du décollage du lanceur Ariane 5 est généralement orientée entre la route de l'espace (direction Sinnamary) ou le site d'observation Agami (vers la RN1) suivant les conditions météorologiques du jour du lancement.
- Le réseau de détection d'acide chlorhydrique en temps réel (réseau CODEX-2 mobile), a uniquement détecté des valeurs très ponctuelles et à proximité immédiate du pas de tir. Aucune situation dégradée n'ayant eu lieu, on comprend qu'aucune teneur en produits hydrazinés ou en oxyde d'azote n'a été mesurée.
- Les mesures réalisées par l'intermédiaire des bacs à eau démontrent que les retombées chimiques gazeuses et particulaires sont essentiellement recueillies à proximité de la ZL3 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 2022, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo a été mis en œuvre pour un lancement Ariane 5, 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 l'impact sur la végétation, selon l'expérience recueillie lors des années précédentes et en 2022, 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.*

10.1.2. Vega

- Pour chacune des missions du lanceur Vega-C en 2022, 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 P120 au décollage ont été orientés vers le site d'observation Agami / Carrefour Bec fin ou la station Diane.
- L'optimisation de l'emplacement des capteurs par le biais des simulations SARRIM (réalisées à partir des données prévisionnelles CEP) reste la meilleure méthode actuellement disponible.

- Le réseau de détection d'acide chlorhydrique en temps réel (réseau CODEX-2 – fixe et mobile) n'a détecté aucune concentration notable pour les vols Vega de 2022. Aucune situation dégradée n'ayant eu lieu, on comprend qu'aucune teneur en produits hydrazinés ou en oxyde d'azote n'a été mesurée.
- Les retombées chimiques gazeuses et particulaires, récoltées par l'intermédiaire des bacs à eau, se font essentiellement à proximité de la ZL3 (sur le chemin de ronde). Au-delà, on observe quelques retombées très faibles, à la fois non quantifiables, sous le nuage de combustion.
- En 2022, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo n'a pas été mis en œuvre conjointement à un lancement Vega. Pour rappel, en 2021 aucun impact particulier lié au vol n'avait pu être décelé.
- Concernant les pluviocessivats, la conclusion est la même que pour le lanceur Ariane 5

10.1.3. Soyouz

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

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

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

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
Sauvegarde Sol**

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **85/94**

démontre une qualité biologique moyenne pour la crique des Pères et la Karouabo, une bonne qualité biologique de la Malmanoury et une très bonne qualité de Paracou. L'IBMG attribue un bon état à la Paracou mais l'IBMG-2 lui attribue un état médiocre. L'indice Poissons de Guyane (IPG) attribue un état moyen à la crique des pères et un mauvais état à 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 aux criques Paracou, et Malmanoury.

- **Le suivi de la Grande Faune**, par l'Office Français de la Biodiversité, a été renouvelé pour une période couvrant les années 2020-2024.
- **La bio surveillance de la qualité de l'air par les abeilles mélipones** : Le programme de surveillance 2020, reconduit en 2021 et en 2022, 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**.

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

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

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

Ce cas de figure n'a concerné aucun lancement en 2022, 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 et Sauvegarde Sol	BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-22623-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : DL Date : 15/12/2023 Page : 87/94
--	---	--

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

12.1. Cas de l'alumine

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

La VME des poussières inertes est donc de 10mg/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	-

12.2. Cas de l'acide chlorhydrique

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

L'inhalation étant la principale voie d'exposition, un seuil olfactif a été déterminé à une valeur de 0.77 ppm, malgré sa variabilité interindividuelle. D'un point de vue réglementaire, la Valeur Limite d'Exposition « court terme » a été fixé à 7,6 mg/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	

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
**Service Environnement et
Sauvegarde Sol**

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **88/94**

12.3. Cas du monoxyde de carbone

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

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

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

Figure 21 : Fiche toxicologique INRS

12.4. Cas du dioxyde de carbone

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

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

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

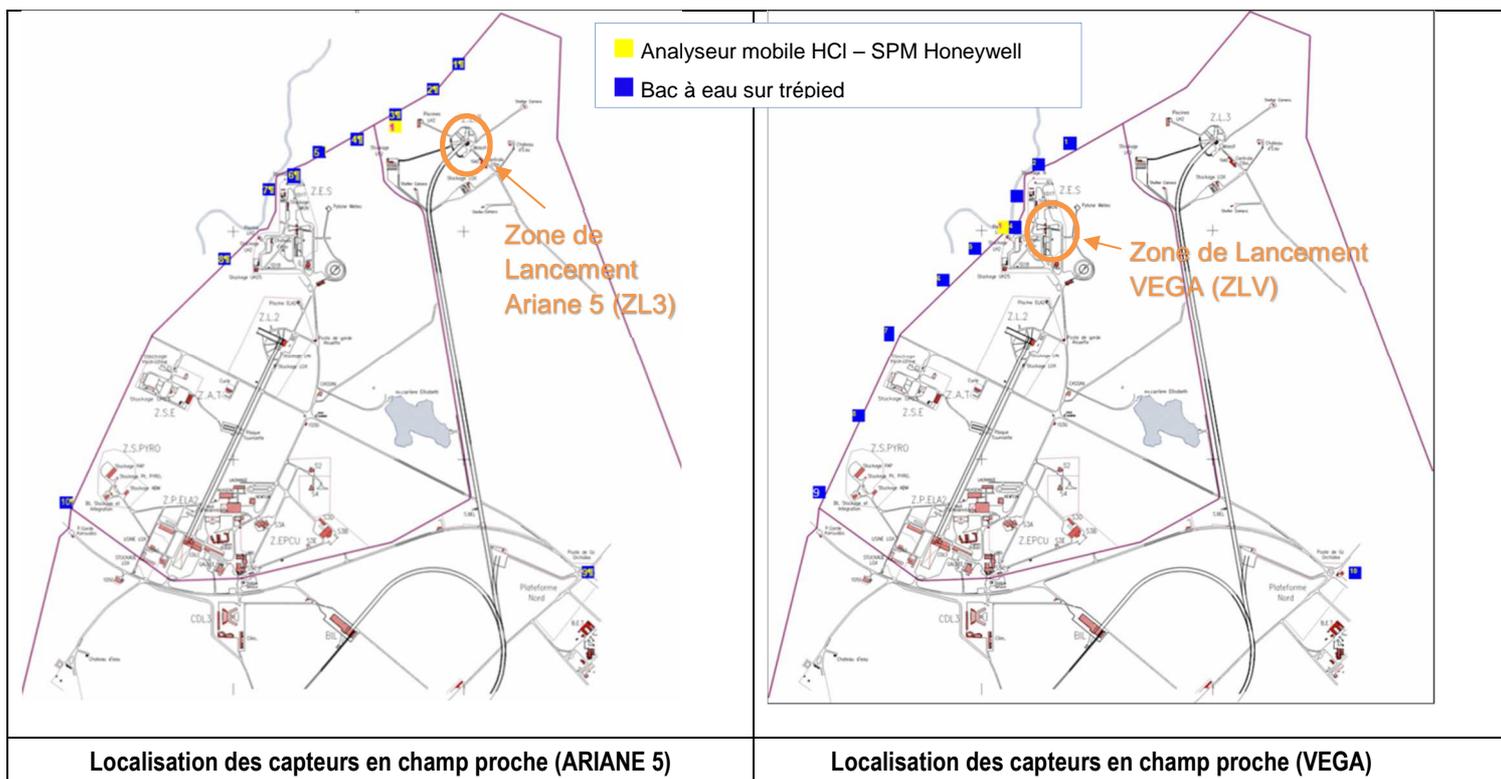
Figure 22 : Fiche toxicologique INRS

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
Service Environnement et
Sauvegarde Sol

**BILAN 2022 DES PLANS DE
MESURES ENVIRONNEMENT
REALISES AU CENTRE
SPATIAL GUYANAIS**

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **89/94**

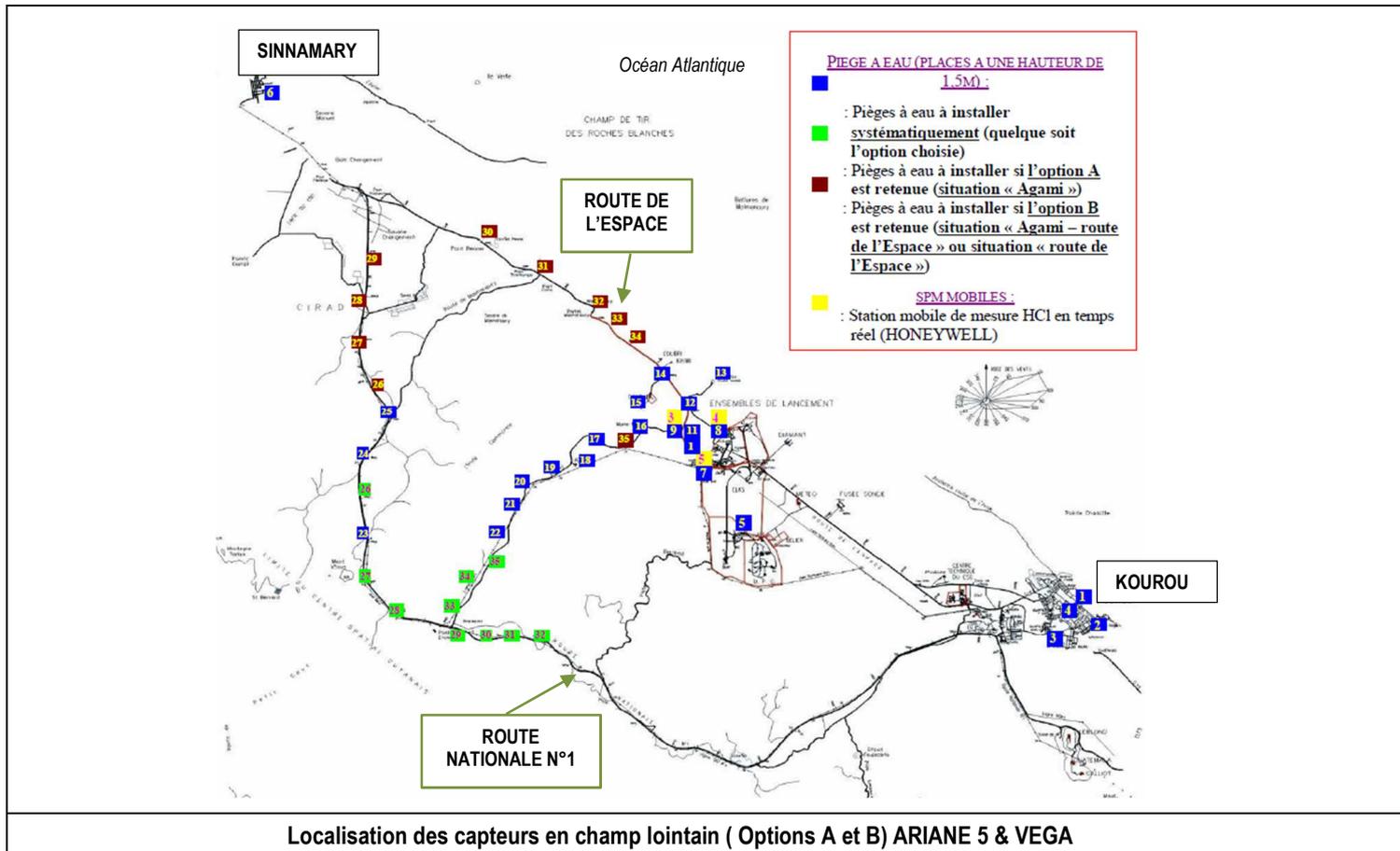
**13. ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIE DES CAPTEURS ENVIRONNEMENT (BACS A EAU)
ARIANE 5 & VEGA**



CENTRE SPATIAL GUYANAIS
 Direction
 Sous-Direction Protection
 Service Environnement et
 Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
 Date : **15/12/2023**
 Page : 90/94



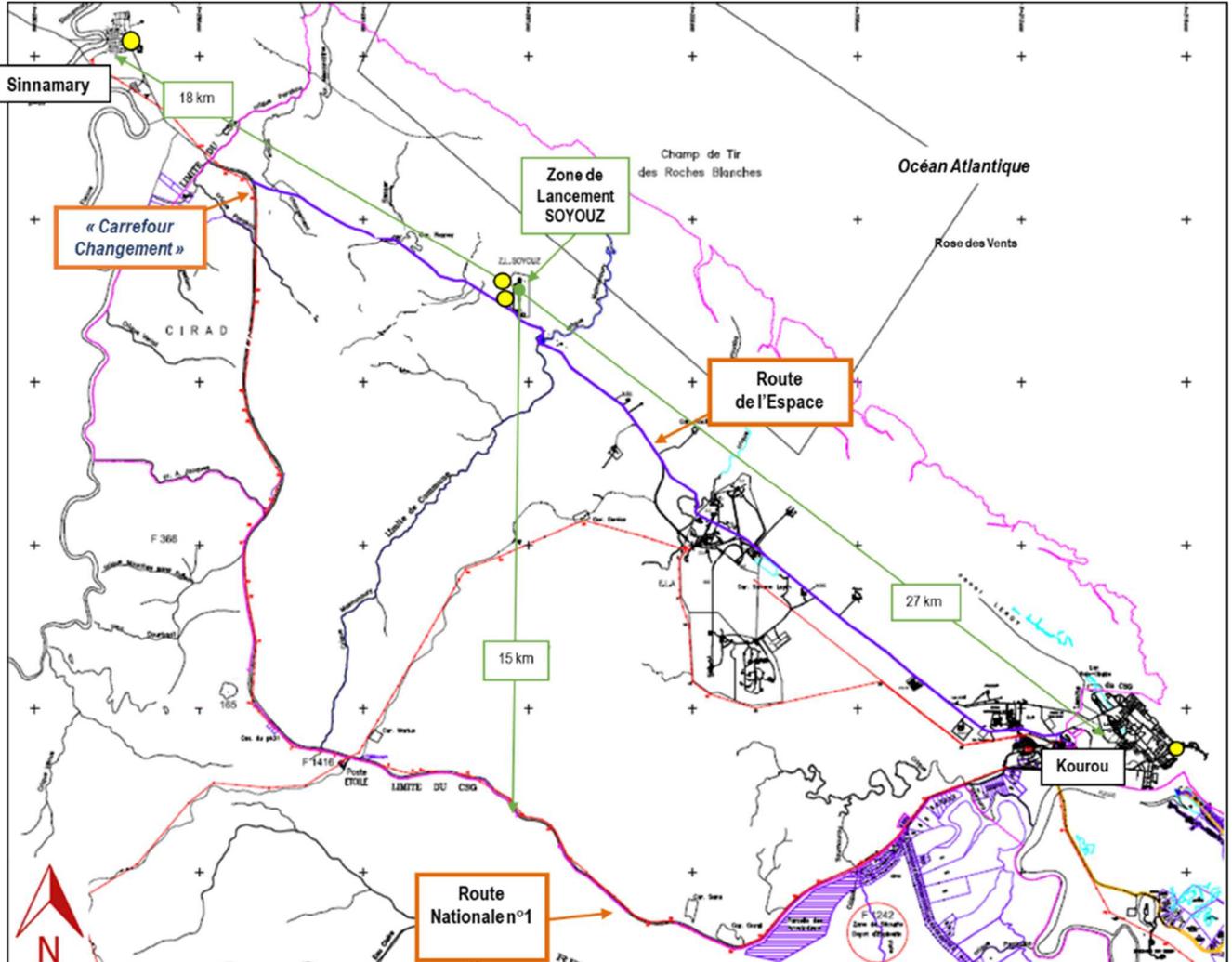
14. ANNEXE 4 : CARTOGRAPHIE DES ANALYSEURS EN CONTINU ENVIRONNEMENT SOYOUZ

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
Service Environnement et
Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : 91/94



Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
 Direction
 Sous-Direction Protection
 Service Environnement et
 Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
 Date : **15/12/2023**
 Page : **92/94**

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

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

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
 Direction
 Sous-Direction Protection
 Service Environnement et
 Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
 Date : **15/12/2023**
 Page : **93/94**

	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 °)
V215	64	54	10
V216	54	51,5	2,5
V217	55	79,5	-24,5
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

Diffusion Limitée

CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Direction
Sous-Direction Protection
Service Environnement et
Sauvegarde Sol

BILAN 2022 DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf : **CSG-RP-SPX-22623-CNES**
Ed/Rev : 01/00 Classe : DL
Date : **15/12/2023**
Page : **94/94**

	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 °)
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
V259	79	88	-9

Ecart moyen = 17°

♦♦♦♦ FIN DU DOCUMENT ♦♦♦♦