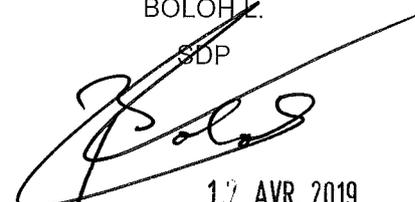


**BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES
ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS**

	DATE ET SIGNATURE
PRÉPARÉ PAR	LOSADA C. SDP/ES  le 03/04/19
VÉRIFIÉ PAR	RICHARD S SDP/ES  04.04.19
APPROUVÉ PAR	LEGRAND F. SDP/ES 

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

APPLICATION AUTORISÉE PAR	BOLOH L. SDP  12 AVR. 2019
--------------------------------------	--

Nombre total d'exemplaires : 08

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

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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 2/100
--	--	---

PAGE D'ANALYSE DOCUMENTAIRE

Classification (+ qualification pour Diffusion Limitée) : Non sensible
Rédacteur(s) : Célie LOSADA
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	27/03/2019	CREATION / LOSADA C.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 3/100
--	--	---

DOCUMENTS DE REFERENCE

RÉFÉRENCE		TITRE DU DOCUMENT
DR01	CG/SDP/ES/N°16-228	Plan de mesures Environnement Ariane 5, Vega et Soyuz – 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	CG/SDP/ES/N°15-730	CG/SDP/ES/N°15-730 - Résultats du plan de mesures environnement Ariane 5 vol A222 du 26 Avril 2015 à 17h00
DR08	CG/SDP/ES/N°15-815	CG/SDP/ES/N°15-815 - Résultats du plan de mesures environnement Ariane 5 vol A223 du 27 Mai 2015 à 18h16
DR09	CG/SDP/ES/N°15-816	CG/SDP/ES/N°15-816 - Résultats du plan de mesures environnement Ariane 5 vol A224 du 15 Juillet 2015 à 18h42
DR10	CG/SDP/ES/N°16-305	CG/SDP/ES/N°16-305 - Résultats du plan de mesures environnement Ariane 5 vol A225 du 20 Août 2015 à 17h34
DR11	CG/SDP/ES/N°16-306	CG/SDP/ES/N°16-306 - Résultats du plan de mesures environnement Ariane 5 vol A226 du 30 Septembre 2015 à 17h30
DR12	CG/SDP/ES/N°16-307	CG/SDP/ES/N°16-307 - Résultats du plan de mesures environnement Ariane 5 vol A227 du 10 Novembre 2015 à 18h34
DR13	CG/SDP/ES/N°15-362	CG/SDP/ES/N°15-362 Résultats du plan de mesure environnement VEGA VOL V04 du 11 Février 2015 à 10h40
DR14	CG/SDP/ES/N°15-817	CG/SDP/ES/N°15-817 – Résultats du plan de mesure environnement VEGA VOL V05 du 22 Juin 2015 à 22h52
DR15	CG/SDP/ES/N°16-344	CG/SDP/ES/N°15-511 - Résultats du plan de mesures environnement VEGA VOL V06 du 03 Décembre 2015 à 01h04
DR16	CG/SDP/ES/N°15-930	CG/SDP/ES/N°15-930 - Résultat du plan de mesures environnement Soyuz ST-B Vol S11 du 21 Mars 2015 à 18h46

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 4/100
--	--	---

RÉFÉRENCE		TITRE DU DOCUMENT
DR17	HYDRECO 2015 - Suivi des criques Karouabo et Malmanoury	Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut – Mesures et analyses physico-chimiques des sédiments et des eaux pour le suivi des criques Karouabo et Malmanoury – Année 2015.
DR18	HYDRECO 2015 - Suivi de la crique Paracou	Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut – Mesures et analyses physico-chimiques des sédiments et des eaux pour l'état initial de la crique Paracou amont – Année 2015.
DR19	HYDRECO 2015 – Rapport final	Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut – Surveillance de la faune aquatique dans la zone du Centre spatial Guyanais : Etude de l'impact des retombées des produits issus de la propulsion des lanceurs Ariane 5 et Soyouz sur les populations de poissons et les invertébrés aquatiques – Rapport final Année 2015
DR20	ECOBIOS 2015 – Etat des populations d'Ibis rouges de la base spatiale	Cabinet ECOBIOS – Descripteurs aviens des impacts des lanceurs, bilan de biodiversité, et étude de la qualité des écosystèmes sur la base spatiale. Opérations 2015.
DR21	Rapport d'activité 2015	Observatoire Régional de l'Air de Guyane - Rapport d'activité 2015 – Surveillance de la qualité de l'air en Guyane
DR22	ORA Etude Dioxyde d'azote	Observatoire Régional de l'Air de Guyane – Campagne de mesures des émissions liées au trafic en vue de l'installation d'une station fixe – Etude 2017
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
DR25	Rapport DEAL 2014	Evaluation de l'état des masses d'eau – Révision de l'état des lieux du district hydrographique de Guyane
DR26	-	-

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 5/100
--	--	---

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 (ELVega) situées sur le territoire de la commune de Kourou, au sein du Centre Spatial Guyanais.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 6/100
--	--	---

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.
CEP	Modèle de prévisions numériques météorologiques, non conçu mais utilisé par Météo France.
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.
Données prévisionnelles	Ensemble des données météorologiques issues de modèles prévisionnels de profils thermodynamiques (CEP/ARPEGE) permettant une visualisation de l'évolution de l'atmosphère avec un maillage (spatial et temporel) donné. Ces données constituent les informations d'entrée pour effectuer la simulations SARRIM dite PREVI.
Géophyte	Une plante géophyte est dans la classification de Raunkier un type de plante vivace, possédant des organes lui permettant de passer la mauvaise saison enfouie dans le sol. La plante est donc inapparente au cours de quelques mois de son cycle annuel
Hydromorphie	L'hydromorphie, appelée aussi hydromorphisme, est une qualité de sol. Un sol est dit hydromorphe lorsqu'il montre des marques physiques d'une saturation régulière en eau
Hydroxylation	L'hydroxylation est une réaction chimique consistant à ajouter un groupe hydroxyle (-OH) à une molécule.
Ichtyofaune	Partie de la faune aquatique rassemblant l'ensemble des poissons vivants dans un espace géographique ou un habitat déterminé.
Indice de condition	Coefficient révélant l'état physiologique des poissons
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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 7/100
--	--	---

TERME	DÉFINITION
Mobilité	La mobilité d'un élément chimique est caractérisée par son aptitude à passer dans les compartiments du sol où il est de moins en moins énergiquement retenu. Les variations des conditions physico-chimiques (pH, température, force ionique...etc.) peuvent jouer directement sur la mobilité des éléments en faisant passer les métaux présents dans un sol d'une forme à une autre.
Polymérisation	La polymérisation désigne la réaction chimique ou le procédé par lesquels des petites molécules réagissent entre elles pour former des molécules de masses molaires plus élevées.
Pyrophyte	Une pyrophyte est une plante qui supporte le feu, on peut également parler d'espèce pyrophile.
Richesse spécifique	Nombre d'individu d'une même espèce pouvant être rencontrée dans un écosystème donné.
Richesse taxonomique	Nombre d'individu d'un même taxon pouvant être rencontrée dans un écosystème donné.
Seuil des Effets Irréversibles (SEI)	Concentration maximale de polluants dans l'air pour un temps d'exposition donné (10 minutes) en dessous de laquelle chez la plupart des individus, on n'observe pas d'effets irréversibles (persistance dans le temps d'une atteinte lésionnelle ou fonctionnelle, directement consécutive à une exposition en situation accidentelle).
Seuil des Effets Létaux (SEL)	Concentration maximale de polluant dans l'air pour un temps d'exposition donné (10 minutes) en dessous de laquelle chez la plupart des individus, on n'observe pas d'effets létaux (décès).
Spéciation	La spéciation chimique est un paramètre fondamental qui contrôle la migration, la biodisponibilité et la toxicité des éléments chimiques dans les eaux, les sols et les sédiments. Ce paramètre résulte des interactions entre solutés, surfaces minérales, substances organiques et biologiques.
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.

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 8/100
--	--	---

SIGLES

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

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev :01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 9/100
--	--	--

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
EPS	Etage à Propergol Stockable
ESQS	Europe Spatiale Qualité Sécurité
FAG	Forces Armées de Guyane
GPS	Système de Positionnement Global
H₂	Dihydrogène
HC	Hydrocarbures imbrûlés
HCl	Acide Chlorhydrique
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
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
ppb	Partie par milliard en volume (10 ⁻⁹), soit 1 mm ³ /m ³
ppm	partie par million

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 10/100
--	--	--

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
PRS	Pupitre Responsable Sauvegarde
RN1	Route Nationale N°1
RS	Radiosondage
RSM	Responsable Sauvegarde Météo
SARRIM	« Stratified Atmosphere Release of Rockets Impact Model »
SDP/ES	Service Environnement et Sauvegarde Sol du Centre Spatial Guyanais
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SMEG	Score Moyen des Ephéméroptère de Guyane
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 SOYUZ
ZLVega	Zone de Lancement VEGA
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique
ZP	Zone de Préparation

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 11/100
--	--	---

SOMMAIRE

1.	BILAN DES MESURES EN 2015.....	15
2.	OBJET - DOMAINE D'APPLICATION.....	21
3.	LES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE 5 ET VEGA.....	22
3.1.	OBJECTIFS DES MESURES	22
3.2.	SARRIM, L'OUTIL DE MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES RETOMBEES CHIMIQUES ET GAZEUSES	23
3.3.	LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	24
3.4.	SUIVI DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN	24
3.5.	MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	26
4.	SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LES CAMPAGNES ARIANE 5	28
4.1.	LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	28
4.2.	COMPARAISON DES RESULTATS DES SIMULATIONS REALISEES A PARTIR DU RADIOSONDAGE ET DES DONNEES CEP/ARPEGE.....	31
4.3.	CONCLUSIONS SUR LES MODELISATIONS DE L'OUTIL SARRIM.....	33
4.4.	RESULTATS DES MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	34
4.5.	RESULTATS DES MESURES DE RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN.....	35
4.6.	CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DES LANCEMENTS ARIANE 5 EN 2015	38
5.	SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LA CAMPAGNE VEGA	39
5.1.	LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	39
5.2.	COMPARAISON DES RESULTATS DES SIMULATIONS REALISEES A PARTIR DU RADIOSONDAGE ET DES DONNEES CEP/ARPEGE.....	41
5.3.	CONCLUSIONS SUR LES MODELISATIONS DE L'OUTIL SARRIM.....	42
5.4.	RESULTATS DES MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	43
5.5.	RESULTATS DES MESURES DE RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN.....	43
5.6.	CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DU LANCEMENT VEGA EN 2015.....	46
6.	LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT SOYUZ.....	47
7.	SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LES CAMPAGNES SOYUZ.....	48

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 12/100
--	--	---

7.1. OBJECTIFS DES MESURES	48
7.2. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	49
7.3. LOCALISATION DES POINTS DE MESURES.....	49
7.4. LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	50
7.5. MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES ET PARTICULAIRES	54
7.6. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DU LANCEUR SOYUZ POUR L'ANNEE 2015.....	56
8. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES REALISEES POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ECOSYSTEMES DU CSG	57
8.1. OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG 57	
8.2. MESURE DE LA QUALITE DE L'EAU DE LA CRIQUE KAROUABO	58
8.3. MESURE DE LA QUALITE DES SEDIMENTS DES CRIQUES DU CSG 61	
8.4. SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE DES CRIQUES DU CSG.....	70
8.5. SUIVI DE L'AVIFAUNE DU CSG.....	79
8.6. SUIVI DU PATRIMOINE VEGETAL DU CSG	85
9. CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG EN 2015	90
9.1. PAR RAPPORT AUX ACTIVITES LIEES AUX LANCEURS	90
9.2. PAR RAPPORT AU SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT DU CSG	92
10. ANNEXE 1 : EVALUATION DE L'IMPACT SUR LES PERSONNES.....	94
11. ANNEXE 2 : RAPPELS SUR LES LIMITES REGLEMENTAIRES DE TOXICITE DES PRINCIPAUX PRODUITS EMIS PAR LES LANCEURS.....	95
11.1. CAS DE L'ALUMINE	95
11.2. CAS DE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE	95
11.3. CAS DU MONOXYDE DE CARBONE	95
11.4. CAS DU DIOXYDE DE CARBONE.....	96
12. ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIE DES CAPTEURS ENVIRONNEMENT (BACS A EAU) ARIANE 5 & VEGA.....	97
13. ANNEXE 4 : CARTOGRAPHIE DES ANALYSEURS EN CONTINU ENVIRONNEMENT SA SOYOUZ	98
14. ANNEXE 5 : ETUDE COMPARATIVE DES DIRECTIONS DES NUAGES DE COMBUSTION LORS DE LANCEMENTS ARIANE 5	99

<p>CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p align="center">BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</p>	<p>Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 13/100</p>
---	--	--

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des divers suivis environnementaux au CSG	15
Tableau 2 : Ensemble des paramètres de mesures dans les bacs à eau	25
Tableau 3 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure.....	25
Tableau 4 : Gammes de mesure des paramètres des analyseurs du système CODEX « fixe »	27
Tableau 5 : Seuils de détections des analyseurs du système CODEX « mobile »	27
Tableau 6: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE	29
Tableau 7 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine.....	30
Tableau 8: Tableau récapitulatif des directions et vitesses des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages.	31
Tableau 9 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour Ariane 5 en 2015	32
Tableau 10: Tableau récapitulatif des détections d'acide chlorhydrique par les Honeywell pour l'année 2015.....	34
Tableau 11 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	36
Tableau 12 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	37
Tableau 13: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE	40
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine.....	40
Tableau 15: Tableau récapitulatif des directions et concentrations chimiques calculées par SARRIM au moyen du radiosondage positif	41
Tableau 16 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour VEGA en 2015.....	41
Tableau 17: Tableau récapitulatif des détections d'acide chlorhydrique par les Honeywell pour l'année 2015.....	43
Tableau 18 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	44
Tableau 19 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain	45
Tableau 20 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure.....	49
Tableau 21: Tableau récapitulatif des directions calculées par SARRIM au moyen des radiosondages...	50
Tableau 22 : Rappel des seuils réglementaires d'exposition pour le Monoxyde (CO) et le Dioxyde (CO ₂) de carbone.....	51
Tableau 23 : Ensemble des résultats des mesures en continu des Shelters ENVIRONNEMENT SA.....	55
Tableau 24 : Modification de la spéciation et de la mobilité de certains ions en fonction du paramètre pH du sol.	62
Tableau 25 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les paramètres physico-chimiques des criques Malmanoury, Karouabo, Paracou et la Crique des Pères	63
Tableau 26 : Moyenne (M) et écart type (δ) des concentrations obtenues pour les analyses des sédiments de la Malmanoury et de la Karouabo	66
Tableau 27 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les analyses de sédiments de la crique Paracou.	67
Tableau 28 : Moyenne (M) et écart type (δ) des concentrations obtenues pour les analyses des sédiments de la crique Paracou.....	68
Tableau 29 : Tableau de synthèse des principaux résultats obtenus pour le suivi de la faune aquatique pour 2015.	71
Tableau 30 : Tableau de synthèse des résultats du suivi de la colonie d'échassiers et des écosystèmes littoraux du CSG pour l'année 2015	81
Tableau 31 : Ensemble des paramètres de l'analyse sur la végétation.....	86
Tableau 32 : Résultats obtenus pour les pluviollessivats pour les lancements A223 et A227 en champ proche (CP04)	87

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 14/100
--	--	--

Tableau 33 : Tableau des résultats obtenus pour les pluviollessivats pour les lancements VA223 et VA227 en champ lointain (CL08) 88

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Bac à eau sur son trépied métallique et SPM Honeywell sur le chemin de ronde AR5 24

Figure 2 : Dépose d'un bac à eau avec son flacon d'échantillonnage 25

Figure 3 : Cartographie du CSG (Carte IGN, Géoportail ©)..... 29

Figure 4 : SPM en cours de mise en place 34

Figure 5 : SPM mobile installé en champ proche..... 34

Figure 6 : Station de surveillance BRADY à Kourou, ORA 2017 51

Figure 7 : Bilan des indices de qualité de l'air (IQA) à la station Brady en nombre de jour [DR23]..... 52

Figure 8: Prise de vue de la station Paracou (Hydreco, 2015) 61

Figure 9 : Vol d'Ibis rouges sur le littoral du CSG, Olivier TOSTAIN, 2015 80

Figure 10 : Roche Agave, Olivier TOSTAIN, 2015..... 81

Figure 11 : Plage à ipomée à l'ouest de l'estuaire de la Malmanoury, Olivier TOSTAIN, 2015..... 82

Figure 12 : Avancée en rive droite de l'estuaire du Sinnamary, Olivier TOSTAIN, 2015..... 82

Figure 13 : Des canards et de nombreux limnicoles illustrent la biodiversité de de l'estuaire du Sinnamary, Olivier TOSTAIN, 2015 83

Figure 14 : Thalasseus aculavidus eurygnathus « Sterne de Cayenne » nichant à l'ombre des palétuviers, Olivier TOSTAIN, 2015 84

Figure 15 : Sternes fuligineuse *Onichoprion fuscatus*, Olivier TOSTAIN, 2015..... 84

Figure 16 : Prises de vues des battures de la Malmanoury, Olivier TOSTAIN, 2015 84

Figure 17 : Mouettes atricilles, Olivier TOSTAIN, 2015 85

Figure 18 : Numérotation d'un pied *Cyrtopodium cristatum* 89

Figure 19 : *S. angustifolia* 89

Figure 21 : Fiche toxicologique INRS 95

Figure 22 : Fiche toxicologique INRS 96

Figure 23 : Localisation des analyseurs d'air (ENVIRONNEMENT SA) en champ proche et lointain SOYUZ 98

CENTRE SPATIAL GUYANAIS Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe: GP Date : 27/03/2019 Page : 15/100
--	--	--

1. BILAN DES MESURES EN 2015

Comme toute activité industrielle, l'activité spatiale n'est pas sans effets sur l'environnement. Afin d'en évaluer l'impact, des plans de mesures sont mis en place à chaque lancement. Par ailleurs, des suivis annuels sont menés sur les différents compartiments environnementaux présents au Centre Spatial Guyanais (CSG).

Tableau 1 : Synthèse des divers suivis environnementaux au CSG

Faune Aquatique	Poissons / Invertébrés aquatiques
Avifaune	Peuplement d'oiseaux nicheurs / Ibis Rouges et échassiers des écosystèmes littoraux du CSG
Végétation	Couverts végétaux en champ proche et en champ lointain
	Suivi des peuplements botaniques d'intérêts majeurs du CSG
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

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 Ariane 5, Vega et Soyuz **[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.

En outre, des plans de mesures sont également déployés lors d'un essai de mise à feu d'un spécimen au Banc d'Essais des Accélérateurs à Poudre et lors d'un brûlage d'un segment rebuté à l'Aire de Destruction des Propergols. Ce cas de figure ne sera pas abordé dans la présente synthèse, puisqu'aucun évènement de cette nature n'a eu lieu au CSG au cours de l'année 2015.

Ainsi, les objectifs principaux de ces mesures visent à maîtriser les émissions des installations et de suivre leurs effets sur l'environnement grâce à une surveillance continue entre les lancements / essais / brûlages.

Une synthèse des résultats des mesures réalisées au cours de l'année 2015 est présentée dans le tableau ci-dessous.

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS																																																
<p>RAPPEL DES ACTIVITES DE LANCEMENTS AU CSG</p>	<p>En 2015, le Centre Spatial Guyanais a opéré 12 chronologies de lancement, réparties comme suit :</p>  <table border="1" data-bbox="1122 539 2096 1007"> <thead> <tr> <th>Lanceurs</th> <th>Missions</th> <th>J0</th> <th>H0 (Heure Locale)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">Ariane 5 (6 lancements)</td> <td>Vol A222</td> <td>26/04/2015</td> <td>à 17h00 min</td> </tr> <tr> <td>Vol A223</td> <td>27/05/2015</td> <td>à 18h16 min</td> </tr> <tr> <td>Vol A224</td> <td>15/07/2015</td> <td>à 18h42 min</td> </tr> <tr> <td>Vol A225</td> <td>20/08/2015</td> <td>à 17h34 min</td> </tr> <tr> <td>Vol A226</td> <td>30/09/2015</td> <td>à 17h30 min</td> </tr> <tr> <td>Vol A227</td> <td>10/11/2015</td> <td>à 18h34 min</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Soyuz (3 lancements)</td> <td>Vol S11</td> <td>21/03/2015</td> <td>à 18h46 min</td> </tr> <tr> <td>Vol S12</td> <td>10/09/2015</td> <td>à 23h08 min</td> </tr> <tr> <td>Vol S13</td> <td>17/12/2015</td> <td>à 08h51 min</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Vega (3 lancements)</td> <td>Vol V04</td> <td>11/02/2015</td> <td>à 10h40 min</td> </tr> <tr> <td>Vol V05</td> <td>22/06/2015</td> <td>à 22h52 min</td> </tr> <tr> <td>Vol V06</td> <td>03/12/2015</td> <td>à 01h04 min</td> </tr> </tbody> </table>						Lanceurs	Missions	J0	H0 (Heure Locale)	Ariane 5 (6 lancements)	Vol A222	26/04/2015	à 17h00 min	Vol A223	27/05/2015	à 18h16 min	Vol A224	15/07/2015	à 18h42 min	Vol A225	20/08/2015	à 17h34 min	Vol A226	30/09/2015	à 17h30 min	Vol A227	10/11/2015	à 18h34 min	Soyuz (3 lancements)	Vol S11	21/03/2015	à 18h46 min	Vol S12	10/09/2015	à 23h08 min	Vol S13	17/12/2015	à 08h51 min	Vega (3 lancements)	Vol V04	11/02/2015	à 10h40 min	Vol V05	22/06/2015	à 22h52 min	Vol V06	03/12/2015	à 01h04 min
Lanceurs	Missions	J0	H0 (Heure Locale)																																														
Ariane 5 (6 lancements)	Vol A222	26/04/2015	à 17h00 min																																														
	Vol A223	27/05/2015	à 18h16 min																																														
	Vol A224	15/07/2015	à 18h42 min																																														
	Vol A225	20/08/2015	à 17h34 min																																														
	Vol A226	30/09/2015	à 17h30 min																																														
	Vol A227	10/11/2015	à 18h34 min																																														
Soyuz (3 lancements)	Vol S11	21/03/2015	à 18h46 min																																														
	Vol S12	10/09/2015	à 23h08 min																																														
	Vol S13	17/12/2015	à 08h51 min																																														
Vega (3 lancements)	Vol V04	11/02/2015	à 10h40 min																																														
	Vol V05	22/06/2015	à 22h52 min																																														
	Vol V06	03/12/2015	à 01h04 min																																														
<p>SYNTHESE DES INDICATEURS DE QUALITE DES MILIEUX</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMPARTIMENTS</th> <th>AIR</th> <th>EAU</th> <th>SEDIMENT</th> <th>FAUNE AQUATIQUE</th> <th>AVIFAUNE</th> <th>VEGETATION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">MESURES</td> <td>Réseau CODEX HCl / Al₂O₃ / N₂H₄ / NO_x</td> <td>Suivi de la qualité physico-chimique</td> <td>Suivi de la qualité physico-chimique</td> <td>Diversité, Richesse, Abondance</td> <td>Dynamique de reproduction</td> <td>Pluiolessivats</td> </tr> <tr> <td>Analyseurs mobiles HCl</td> <td>KAROUABO</td> <td>KAROUABO</td> <td>Lésions anatomo pathologique</td> <td>Protocole « Coquille d'œuf »</td> <td>Surveillance espaces naturels littoraux</td> </tr> <tr> <td>Bacs à eau HCl / Al₂O₃</td> <td>MALMANOURY</td> <td>MALMANOURY</td> <td>Dosage Aluminium</td> <td rowspan="2">Colonies Ibis rouges et ardéidés</td> <td>Peuplements botaniques d'intérêt majeurs</td> </tr> <tr> <td>Shelters SOYOUZ CO / CO₂ / NO_x / SO_x / PM / HCT</td> <td>PARACOU</td> <td>PARACOU</td> <td>SMEG</td> <td>Espèce végétale patrimoniale</td> </tr> <tr> <td>ETAT GENERAL</td> <td>AUCUN IMPACT DECELE</td> <td>BON ETAT ECOLOGIQUE DES EAUX</td> <td>BON ETAT CHIMIQUE</td> <td>AUCUN IMPACT DECELE</td> <td>AUCUN IMPACT DECELE</td> <td>BON ETAT ECOLOGIQUE</td> </tr> </tbody> </table>	COMPARTIMENTS	AIR	EAU	SEDIMENT	FAUNE AQUATIQUE	AVIFAUNE	VEGETATION	MESURES	Réseau CODEX HCl / Al ₂ O ₃ / N ₂ H ₄ / NO _x	Suivi de la qualité physico-chimique	Suivi de la qualité physico-chimique	Diversité, Richesse, Abondance	Dynamique de reproduction	Pluiolessivats	Analyseurs mobiles HCl	KAROUABO	KAROUABO	Lésions anatomo pathologique	Protocole « Coquille d'œuf »	Surveillance espaces naturels littoraux	Bacs à eau HCl / Al ₂ O ₃	MALMANOURY	MALMANOURY	Dosage Aluminium	Colonies Ibis rouges et ardéidés	Peuplements botaniques d'intérêt majeurs	Shelters SOYOUZ CO / CO ₂ / NO _x / SO _x / PM / HCT	PARACOU	PARACOU	SMEG	Espèce végétale patrimoniale	ETAT GENERAL	AUCUN IMPACT DECELE	BON ETAT ECOLOGIQUE DES EAUX	BON ETAT CHIMIQUE	AUCUN IMPACT DECELE	AUCUN IMPACT DECELE	BON ETAT ECOLOGIQUE										
COMPARTIMENTS	AIR	EAU	SEDIMENT	FAUNE AQUATIQUE	AVIFAUNE	VEGETATION																																											
MESURES	Réseau CODEX HCl / Al ₂ O ₃ / N ₂ H ₄ / NO _x	Suivi de la qualité physico-chimique	Suivi de la qualité physico-chimique	Diversité, Richesse, Abondance	Dynamique de reproduction	Pluiolessivats																																											
	Analyseurs mobiles HCl	KAROUABO	KAROUABO	Lésions anatomo pathologique	Protocole « Coquille d'œuf »	Surveillance espaces naturels littoraux																																											
	Bacs à eau HCl / Al ₂ O ₃	MALMANOURY	MALMANOURY	Dosage Aluminium	Colonies Ibis rouges et ardéidés	Peuplements botaniques d'intérêt majeurs																																											
	Shelters SOYOUZ CO / CO ₂ / NO _x / SO _x / PM / HCT	PARACOU	PARACOU	SMEG		Espèce végétale patrimoniale																																											
ETAT GENERAL	AUCUN IMPACT DECELE	BON ETAT ECOLOGIQUE DES EAUX	BON ETAT CHIMIQUE	AUCUN IMPACT DECELE	AUCUN IMPACT DECELE	BON ETAT ECOLOGIQUE																																											

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
<p>LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION</p>	<p>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. La climatologie guyanaise est parfois, difficilement prévisible.</p>
<p>MODELISATION DES RETOMBES AU SOL DU NUAGE DE COMBUSTION</p>	<p>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.</p>
<p>SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR : CAPTEURS ENVIRONNEMENT EN CHAMP PROCHE ET EN CHAMP LOINTAIN</p> <p>Mesures des retombées chimiques et particulaires pour Ariane 5 et VEGA</p>	<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 n°222 à 227 n'ont pas montré de particularité par rapport aux lancements des précédentes années. ▪ Pour AR5 et VEGA, les plus fortes concentrations sont toujours observées en champ proche, soit à une distance maximale de 500 mètres autour de la zone de lancement. ▪ Les mesures réalisées en champ proche pour le vol Vega n°04 ont révélé une concentration maximale en acide chlorhydrique bien supérieure aux maximums des vol VEGA n°05 et n°06. On note néanmoins que cette valeur est quarante (40) fois inférieure au maximum mesuré pour les vols Ariane au cours de l'année 2015. Ces derniers n'ont pas révélé d'émissions particulières en acide chlorhydrique et en alumine que ce soit en champ proche ou en champ lointain. Les valeurs recueillies sont similaires aux mesures sur les vols précédents. ▪ En 2015, on continu d'observer qu'en bord de mer, le dépôt sec des aérosols marins décroît très vite en fonction de la distance à la côte. L'influence de ces aérosols est variable car l'intensité de la source de particules marines est directement liée à la force du vent à la surface de la mer. Ces dépôts peuvent donc être plus ou moins importants selon les variations saisonnières de l'intensité du vent mais aussi de la salinité de l'eau de mer. Il est à noter que cette influence reste faible au CSG, quand il ne pleut pas. Cependant 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. Ce phénomène est régulièrement observé à Kourou et à Sinnamary.



**BILAN 2015 DES RESULTATS DES
PLANS DE MESURES
ENVIRONNEMENT REALISES AU
CENTRE SPATIAL GUYANAIS**

Réf : **CSG-RP-SPX-19496-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
 Date : **27/03/2019**
 Page : **18/100**

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
<p align="center">SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR :</p> <p>RESEAU CODEX, ANALYSEURS FIXES ET MOBILES, SHELTERS ENVIRONNEMENT</p> <p align="center">Suivi en continu</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En ce qui concerne les lanceurs Ariane 5 et VEGA, seuls les appareils situés en champ proche (à moins de 1 kilomètre des zones de lancement) détectent occasionnellement la présence d'acide chlorhydrique. Ces détections positives sont tributaires de la vitesse et de l'orientation du vent au moment du décollage. A noter que les teneurs mesurées décroissent rapidement jusqu'à atteindre 0 ppm quelques minutes après le décollage d'Ariane 5 / VEGA. En 2015, aucune détection de concentration en acide chlorhydrique n'est à retenir. L'unique mesure est survenu 30 minutes après le décollage de la mission VA225. ▪ Les analyseurs fixes, installés afin de suivre la qualité de l'air pendant les vols Soyuz, n'ont détecté aucune teneur imputable au lanceur lors des missions Soyuz n°11 à n°13. 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 chronologie nominale. ▪ 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 2015.
<p align="center">SUIVI CONTINU DE LA QUALITE DES EAUX DE SURFACE CRIQUE KAROUABO</p> <p align="center">(Uniquement pour Ariane 5 et Vega)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En 2015, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo a été installé en saison des pluies (VA222) et en saison sèche (VA227). ▪ Les résultats obtenus pour le suivi en continu de la qualité des eaux de la crique 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 lancements d'Ariane 5. ▪ Depuis 2012, aucun suivi n'avait pu être réalisé compte tenu d'un dysfonctionnement du dispositif. L'analyse comparative des résultats obtenus en 2012 et en 2015 sont similaires. Les différences observées semblent attribuables aux pluies, légèrement acide en Guyane. Les résultats sont représentatifs de la qualité des eaux douces de Guyane, à savoir des eaux acides et faiblement conductrices. On ne constate pas de dégradation du milieu entre l'année 2012 et l'année 2015.
<p align="center">ANALYSE DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES SEDIMENTS</p>	<p>En 2015, les résultats ne présentent pas de variations marquées entre les points situés en amont et ceux situés en aval, et cela quelle que soit la crique étudiée (Karouabo, Malmanoury, Paracou).</p> <p>Parmi l'ensemble des métaux analysés, une dizaine présente leurs maximums de concentration. Cette tendance confirme les observations de l'année 2013. On remarque néanmoins une diminution générale des concentrations pour tous les métaux et pour toutes les zones suivies. Ainsi, aucun phénomène de bioaccumulation des métaux n'est à signaler.</p> <p>Aucun impact des lancements n'est mis en évidence par les analyses réalisées en 2015.</p>

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
<p>PEUPELEMENTS DE POISSONS</p> <p align="center">« ICHTYOFAUNE »</p>	<p>L'absence de relation entre le poids des poissons et le taux d'aluminium dans les muscles, montre que ce composé n'est pas bioaccumulable (contrairement au mercure). Aussi, l'aluminium dans la chair des poissons ne semble pas devoir être un facteur d'inquiétude en termes d'écotoxicité.</p> <p>Aucune différence n'est à retenir entre les 3 criques, aussi la « contamination » d'aluminium n'est pas localisé mais généralisée. Elle n'est, par conséquent, pas attribuable aux activités de lancements Ariane 5, VEGA ni Soyuz. Elle est tout simplement naturelle.</p>
<p>INVERTEBRES AQUATIQUES</p>	<p>La qualité biologique des criques est définie au moyen du Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais (SMEG) ; cet indicateur est calculé en fonction de la présence (ou de l'absence) de taxons bio indicateurs de la qualité ou au contraire, de pollution. Les résultats du suivi des invertébrés aquatiques en 2015 ne mettent pas en évidence d'évolutions notables par rapport aux années précédentes. Le SMEG classe les cours d'eau du CSG sous influence anthropique faible à moyenne selon les saisons. La diversité et l'abondance des peuplements d'invertébrés recensés ne traduit pas de perturbation attribuable aux lancements.</p>
<p>AVIFAUNE</p>	<p>En 2015, la surveillance des nichoirs n'a pas pu être réalisée au Centre Spatial Guyanais.</p> <p>Néanmoins, la mise en place des nichoirs ayant permis de « saturer » le milieu, on peut observer un taux d'occupation important de ces derniers ; les cycles de reproductions semblent normaux.</p>
<p>LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET SUIVI DE L'EFFECTIF DE LA COLONIE D'IBIS ROUGES ET D'ARDEIDES</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La colonie la plus importante d'ibis et d'ardéidés des rivages guyanais est toujours présente sur le littoral de la base spatiale (1900 couples) ▪ La population nicheuse est stable et variée. ▪ On note la présence systématique de spatules rose associés aux colonies mixtes d'ardéidés et d'ibis.
<p>EVOLUTION DES ESPACES NATURELS LITTORAUX</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En 2015, la consolidation du banc de vase et l'extension de la jeune mangrove se poursuit et se traduit l'arrivée de nouveaux couples d'ibis rouges ▪ Les vasières, bordant les îlots situés en rive gauche de l'estuaire du Sinnamary, sont favorables aux ardéidés et aux spatules. Ces milieux riches sont également un espace privilégié pour les canards et autres limnicoles. ▪ Néanmoins, le bilan 2015 a aussi montré un déficit conséquent des effectifs sur les Battures de la Malmanoury. Des déprédations volontaires d'origine humaine ont été constatés du fait de la présence de cadavres de sternes adultes, de la présence d'œufs cassés ou abandonnés ou encore du fait de la dispersion des mouettes dans les massifs de cactus....



**BILAN 2015 DES RESULTATS DES
PLANS DE MESURES
ENVIRONNEMENT REALISES AU
CENTRE SPATIAL GUYANAIS**

Réf : **CSG-RP-SPX-19496-CNES**
 Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
 Date : **27/03/2019**
 Page : **20/100**

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
<p align="center">SUIVI DE LA VEGETATION Analyse des pluviollessivats (Uniquement pour Ariane 5 et Vega)</p>	<p>En 2015, le suivi de l'impact des lancements sur la végétation a été réalisé en saison des pluies (VA223) et en saison sèche (VA227).</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les teneurs en ions fluctuent de façon importante en champ proche. Les retombées chimiques sur la végétation sont, par conséquent, fortement dépendantes : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Du positionnement géographique des bacs, ✓ De la direction prise par le nuage de combustion, ✓ De la pluviométrie et des conditions météorologiques du moment. ▪ Pour le champ lointain, les résultats obtenus sont quasi-constants et homogènes. <p>L'impact des retombées chimiques sur la végétation est modéré en champ proche et négligeable en champ lointain.</p>
<p align="center">SUIVI DES PEUPELEMENTS BOTANIKES D'INTERET MAJEUR</p>	<p>Le CSG est le siège du développement de nombreuses espèces endémiques des savanes ; il est le seul territoire du département à abriter les 3 espèces d'orchidées terrestres <i>Cyrtopodium</i>.</p> <p>En 2015, les espaces naturels littoraux n'ont pas été suivis comme les années précédentes.</p> <p>Néanmoins, les visites régulières de l'Office National des Forêts ont permis de confirmer le maintien des <i>Cyrtopodiums</i> du sentier Ebène</p> <p>L'espèce végétale protégée et patrimoniale <i>Stachytarpheta angustifolia</i> recensée sur l'Ensemble de Lancement Soyouz est toujours présente et se maintient dans le secteur du bâtiment d'assemblage du lanceur russe (MIK).</p>

2. OBJET - DOMAINE D'APPLICATION

Ce document présente les résultats des mesures réalisées en 2015 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 comprend une synthèse des principaux résultats et conclusions relatifs aux mesures effectuées dans le cadre des douze (12) lancements opérés au CSG soient :

- des six (6) campagnes Ariane 5 (vols A222 à A227)
- des trois (3) campagnes Vega (vol. V04 à V06)
- des trois (3) campagnes Soyuz (vols S11 à S13)

Ce document 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 Soyuz (ELS) **[DA02]**,
 - l'Ensemble de Lancement Vega (ELVega) **[DA03]**,
- confirmer et enrichir les résultats obtenus lors des essais au banc et lors des lancements Ariane 5, VEGA, et Soyuz
- confirmer les conclusions inscrites dans les études d'impact réalisées dans le cadre de la constitution des Dossiers de Demande d'Autorisation d'Exploiter les Ensembles de Lancement
 - Ariane 5 soit ELA3
 - VEGA soit ELVega
 - Soyuz soit ELS

3. LES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE 5 ET VEGA

3.1. Objectifs des mesures

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

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



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

Le plan de mesures environnement permet donc de **quantifier** et de **surveiller** les retombées des produits majoritaires qui ne sont pas naturellement présent dans l'air, c'est-à-dire l'**alumine (Al₂O₃)** et l'**acide chlorhydrique (HCl)** issues :

- du 1^{er} étage d'Ariane c'est-à-dire **2 EAP** constitués de 240 tonnes de propergol solide chacun, soit un total de 480 tonnes ; on estime 80 tonnes d' alumine (Al₂O₃) et 50 tonnes l'acide chlorhydrique (HCl)
- du 1^{er} étage de VEGA c'est-à-dire **1 P80** constitué de 88 tonnes de propergol solide ; on estime que les émissions de VEGA sont 5,5 fois inférieures à celle d'Ariane 5

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

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

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

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

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

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 particulières au sol liées à la combustion de propergol solide ou encore d'une explosion d'un lanceur (Ariane 5 et Vega).

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

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

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

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

- est très fiable dans l'estimation de la direction réellement prise par le nuage de combustion.

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

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

3.3. Les conditions météorologiques

La localisation du nuage de combustion d'un décollage d'Ariane 5, ou bien de VEGA, peut varier à chaque évènement. Cette localisation ne peut être connue à l'avance du fait de la spécificité de la climatologie locale. Afin d'optimiser l'emplacement des capteurs sur la trajectoire la plus probable du nuage, un radiosondage (réalisé au plus proche du H0) ainsi qu'une prévision météorologique (réalisée pour une échéance proche du H0) ont été utilisés.

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

- Les résultats de simulation obtenus à partir des données météorologiques prévisionnelles (CEP ou ARPEGE) ont permis de choisir l'option de pose des capteurs,
- Les résultats de simulation obtenus à partir du radiosondage effectué en chronologie positive (hauteur de stabilisation, déplacement du nuage, etc.) pourront être corrélés aux valeurs de terrain (présentées aux **paragraphes 4.5 et 5.5** du présent document).

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

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

3.4.1. Objectif des mesures

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

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

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



Figure 1 : Bac à eau sur son trépied métallique et SPM Honeywell sur le chemin de ronde



Figure 2 : Dépose d'un bac à eau avec son flacon

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

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

Paramètres mesurés	Unités
pH	unité pH
Conductivité	µS/cm
Concentration en ion chlorure	mg/m ²
Concentration en aluminium (particulaire, dissous et totale)	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

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

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

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

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

On distingue au sein du réseau de capteurs, le réseau de capteurs dits « fixes » qui constituent le système de Collecte des Données Environnement eXtérieures du CSG (CODEX), du réseau de capteurs dits « mobiles » correspondant aux bacs à eau et à un ensemble de 4 capteurs disposés sur site selon les résultats des simulations SARRIM issues des données météorologiques prévisionnelles.

Rappelons que le positionnement de ces instruments, hormis l'orientation pressentie par la modélisation issue du logiciel SARRIM, dépend également de l'accessibilité aux différentes zones. Seront ainsi privilégiées les zones dites « ouvertes » accessible par voie routière (Route Nationale n°1, Route de l'espace, Piste Agami etc.).

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

- 45 bacs à eau (chaque bac reposant à 1,5 m de hauteur sur un trépied),
 - 4 SPM-Honeywell mobiles (HCl en continu),
 - 8 SPM-Honeywell fixes, chacun comprenant :
 - 1 SPM pour HCl
 - 1 SPM pour les produits hydrazinés
 - 1 SPM pour le N₂O₄ / NO₂
- } Soit 24 analyseurs fixes

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

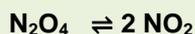
3.5. Mesures en continu des retombées chimiques gazeuses en acide chlorhydrique

3.5.1. Objectif des mesures

Ces mesures ont pour objectif de suivre en temps réel les concentrations en acide chlorhydrique. La mise en place de ce réseau de détection est une obligation de l'Arrêté d'autorisation d'Exploiter de l'ELA3. Cette obligation est reprise dans l'Arrêté d'autorisation d'Exploiter de l'ELVega.

A noter que les appareils du réseau de capteurs dits « fixes » permettent aussi la quantification des teneurs en **produits hydrazinés** ainsi que les teneurs en **peroxyde et dioxyde d'azote** (N₂O₄ / NO₂) pour les lancements Ariane 5, Vega et Soyouz **en cas d'accident du lanceur** en vol.

En effet, sous les conditions normales de température et de pression, et en vertu de l'équilibre entre peroxyde d'azote N₂O₄ et dioxyde d'azote NO₂, les deux espèces sont toujours présentes simultanément tel que :



3.5.2. Localisation des points de mesure

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

COMMUNES RIVERAINES

<u>KOUROU</u>		<u>SINNAMARY</u>	
Hôtel des Roches :	Local annexe du club de bridge	Gendarmerie :	Abri en bois
Centre Hospitalier de Kourou :	Enceinte du CHK		
Vieux-Bourg :	Embarcadère des îles (cabanon en bois),		
Plage de la Cocoteraie :	Station météo Isabelle (cabanon en bois).		

AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Centre Technique :	Annexe au bâtiment électromécanique		
Sites d'observation :	AGAMI :	Mobile-home	
	TOUCAN :	Cabanon en bois	

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

Tableau 4 : Gammes de mesure des paramètres des analyseurs du système CODEX « fixe »

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

En ce qui concerne le système CODEX « mobile », quatre (4) unités de détecteurs mobiles sont mises en place sur des sites dont la localisation est optimisée par simulation avec le logiciel de dispersion atmosphérique SARRIM.

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

Tableau 5 : Seuils de détections des analyseurs du système CODEX « mobile »

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

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

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

En 2015, le CSG a opéré six (6) lancements Ariane 5 en heure locale :

- Vol 222 : 24/04/2015 à 17h00 min
- Vol 223 : 27/05/2015 à 18h16 min
- Vol 224 : 15/07/2015 à 18h42 min
- Vol 225 : 20/08/2015 à 17h34 min
- Vol 226 : 30/09/2015 à 17h30 min
- Vol 227 : 10/11/2015 à 18h34 min

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].

Seuls les principaux résultats et conclusions des rapports de synthèse [DR 7 à 12] seront présentés dans ce document.

Cela comprend :

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

4.1. Localisation des zones de passage du nuage de combustion

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

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

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

Une étude comparative des directions des nuages de combustion a été réalisée sur l'ensemble des campagnes des années 2008 à 2015. Un tableau récapitulatif est présenté en **Annexe 4** du présent document).

Pour l'ensemble des lancements réalisés en 2015, l'analyse des simulations a montré :

- des écarts moyens comparables à l'année précédente, avec une valeur de 11 % en 2015 et une valeur de 13% en 2014,
- la confirmation de l'efficacité des modèles CEP ou ARPEGE pour l'optimisation de l'emplacement des capteurs en champ lointain (confer le paragraphe 4.2.3).



Figure 3 : Cartographie du CSG (Carte IGN, Géoportail ©)

Tableau 6: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE

VOL	DIRECTION BASSES COUCHES		OPTION DE POSE RETENUE
	(°)	VERS...	
VA222	64	Entre Bec Fin et Agami	AGAMI
VA223	90	Entre Diane et Agami	ROUTE DE L'ESPACE
VA224	111	Diane	ROUTE DE L'ESPACE
VA225	105	Diane	ROUTE DE L'ESPACE
VA226	105	Diane	ROUTE DE L'ESPACE
VA227	87	Agami	AGAMI

Tableau 7 : 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)
VA222	1,2	5,7
VA223	2,4	11,1
VA224	1,0	5,7
VA225	2,9	15,3
VA226	1,0	7,1
VA227	2,1	10,3

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 estimées pour les vols VA223, VA225 et VA227 sont supérieures au seuil réglementaire fixé par la VME (Valeur Moyenne d'Exposition égale à 10 mg/m³). Dans le cadre des lancements Ariane 5, l'exposition ne dure que quelques minutes et est localisée à l'intérieur de l'emprise du CSG, on rappelle que la zone est évacuée à cet instant. Ces valeurs sont donc à relativiser.

4.1.2. Au moyen des radiosondages en chronologie positive

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

Le jour des lancements ARIANE 5 et VEGA, à H0 +/- 25 minutes, un radiosondage spécifique est effectué ; on parle d'un radiosondage en chronologie positive (RS CP). Ce dernier donne des informations sur trois cent vingt-cinq couches distinctes tous les cent mètres.

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 l'acide chlorhydrique et l'alumine).

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

	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 27/03/2019
		Page : 31/100

Tableau 8: Tableau récapitulatif des directions et vitesses des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages.

VOL	2015		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	HCl (ppm)	Alumine (mg/m ³)
A222	26	Avril	67	Entre Bec Fin et Agami	1,5	5,2
A223	27	Mai	51	Agami	1,1	6,1
A224	15	Juillet	130	Soyuz	0,6	3,7
A225	20	Août	115	Diane	3,1	12,5
A226	30	Septembre	105	Diane	2,7	12,1
A227	10	Novembre	96	Entre Agami et Diane	1,6	8,9

Il est important de noter que **les concentrations en acide chlorhydrique (HCl) restent en dessous de la VLE** (Valeur Limite d'Exposition) définie pour ce produit qui s'élève à **5 ppm**. De la même manière, les teneurs maximales mesurées en acide chlorhydrique restent très éloignées du 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. On note des dépassements de cette concentration pour les vols VA225 et VA226 avec un maximum de 12,5 mg/m³. Cette valeur peut être expliquée par le fait que ces valeurs sont calculées au centre du nuage, elles sont largement moins importantes en périphérie. Il n'en demeure pas moins qu'il s'agit de concentrations simulées et généralement surestimées.

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

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

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

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

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

Tableau 9 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour Ariane 5 en 2015

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
A222		PREVISION METEOROLOGIQUE 2C260415.TXT DU 26/04/2015 À 18H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R260415.TXT DU 26/04/2015 À 20H22 TU
A222	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1311	1350
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	64	67
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	1,2	1,5
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	0,2	5,2
A223		PREVISION METEOROLOGIQUE 2C280515.TXT DU 28/05/2015 À 00H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R270515.TXT DU 27/05/2015 À 21H45 TU
A223	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1006	1146
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	90	88,6
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	2,4	1,1
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	11,1	6,1
A224		PREVISION METEOROLOGIQUE 2C150715.TXT DU 15/07/2015 À 00H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R150715.TXT DU 15/07/2015 À 22H20 TU
A224	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1134	1130
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	111	130
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	1,0	0,6
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	5,7	3,7
A225		PREVISION METEOROLOGIQUE 2C200815.TXT DU 20/08/2015 À 18H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R200815.TXT DU 20/08/2015 À 20H53 TU
A225	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1004	1107
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	105	115
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	2,9	3,1
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	15,3	12,5

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
	A226	PREVISION METEOROLOGIQUE 2A300915.TXT DU 30/09/2015 À 21H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R300915.TXT DU 30/09/2015 À 20H59 TU
	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1097	1044
A226	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	105	105
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	1,0	2,7
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	7,1	12,1
	A227	PREVISION METEOROLOGIQUE 2C111115.TXT DU 11/11/2015 À 00H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R101115.TXT DU 10/11/2015 À 21H57 TU
	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1024	1320
A227	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	87	96
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	2,1	1,6
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	10,3	8,9

Les observations menées pour suivre la corrélation entre les simulations SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE et les mesures Radiosondage ont montré un écart maximal de 15% sur la localisation des retombées au sol pour le vol VA224. Ces écarts ne remettent pas en cause le choix des options de pose. Les bacs ont donc été soumis aux retombées chimiques et particulaires provenant du nuage de combustion d'Ariane 5.

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 des écarts plus ou moins faibles pour la totalité des vols effectués en 2015.

Concernant les concentrations calculées par SARRIM, on note que les calculs de concentrations en acide chlorhydrique et en alumine réalisés à partir du modèle prévisionnel CEP et des radiosondages présentent des valeurs du même ordre de grandeur. L'optimisation du positionnement des capteurs du PME est donc 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 au cours de l'année 2015. Ces derniers ont donc été soumis aux retombées provenant du nuage de combustion du lanceur Ariane 5.

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

Sur l'ensemble des systèmes détecteurs du réseau de **Collecte de Données Environnement extérieur** du CSG (**CODEX**), composé de vingt-quatre (24) systèmes CODEX détecteurs fixes et quatre (4) systèmes CODEX 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 4 : SPM en cours de mise en place



Figure 5 : SPM mobile installé en champ proche

Le tableau suivant présente une synthèse des résultats des mesures en continu des concentrations en acide chlorhydrique dans l'air (détections d'acide chlorhydrique des analyseurs mobiles).

Tableau 10: Tableau récapitulatif des détections d'acide chlorhydrique par les Honeywell pour l'année 2015

VOL	Honeywell 1 CP03	Honeywell 3 CL09	Honeywell 4 CL08	Honeywell 5 CL14
Localisation des Single Point Monitor Honeywell	Chemin de ronde de la ZL3 - Intersection entre la zone 49 et 48	Portail de la piste Agami	Parking de l'ancienne RN1	PK16, 15 depuis changement sur RTE ESPACE direction ELA Embranchement Diane
A222	ND	ND	ND	ND
A223	ND	ND	ND	ND
A224	ND	ND	ND	ND
A225	Artefact (concentration mesurée 30 min après le tir)	ND	ND	ND
A226	ND	ND	ND	ND
A227	3,8 ppm	ND	ND	ND

ND : Non détecté

Concernant les analyseurs fixes placés en 8 points à l'intérieur et à l'extérieur de la base spatiale, aucune concentration en acide chlorhydrique n'a été détectée.

L'absence de situation dégradée au cours des lancements ARIANE 5 de 2015 a permis d'éviter toute détection en dioxyde d'azote ou en produits hydrazinés.

En conclusion, seul l'appareil mobile situé en champ proche (CP03 à moins de 1 kilomètre de la ZL3) a détecté une concentration en acide chlorhydrique. Cette détection positive a eu lieu lors du vol VA227. On note que la teneur mesurée correspond à un pic de concentration représentatif du décollage du lanceur. En outre, retenons que cette concentration a diminuée 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 Ariane 5 en 2015.

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

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

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

Durant le temps d'exposition des bacs à eau, des événements pluvieux ont parfois été enregistrés sur le territoire du CSG. Néanmoins en 2015, aucun bac n'a débordé et les analyses ont pu être réalisées dans les meilleures conditions possibles.

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 2015.

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

	Vol	A222	A223	A224	A225	A226	A227
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m ²)	110,06	727,10	405,56	593,39	302,93	38,86
	Distance de la ZL3 (m)	277	362	256	362	362	445
	Localisation	CP03 Chemin de Ronde ZL3 - intersection zone 49 et 48	CP 01 Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 50	CP 02bis Chemin de Ronde de la ZL3 - milieu de la zone 46	CP 01 Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 50	CP 01 Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 50	CP 04 Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 48 et 47
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m ²)	3,20	10,27	2,03	6,13	2,36	2,34
	Distance de la ZL3 (m)	4300	2800	16000	264,1	1874,1	10580,5
	Localisation	CL15 Diane	CL09 Portail piste « Agami »	CL 01 Kourou-Station météo Isabelle	CL 12 PK17,7 depuis Changement sur RTE ESPACE direction ELA (Embranchement Ancienne RN1)	CL 08 Parking Ancienne RN1	CL 20 Piste Agami – PK10 après portail

Remarques :

- Les concentrations en aluminium particulaire les plus importantes en **champ proche**, ont été quantifiées sur le chemin de ronde de la zone de lancement n°3, à savoir jusqu'à une distance d'environ 600 mètres.
- En **champ lointain**, les concentrations en alumine particulaire les plus importantes sont atteintes au niveau de point de mesures situés à l'intérieur du CSG ; elles dépendent des conditions météorologiques du moment (confer le *Tableau 9*). On retiendra dans tous les cas que les valeurs mesurées *hors CSG* sont négligeables puisque assimilables au bruit de fond naturel. On note également que le maximum pour le vol VA224 a été mesuré à Kourou. Sachant que le bac n'était pas sur la trajectoire du nuage de combustion, cette valeur n'est pas attribuable au tir mais à d'autres facteurs extérieurs tels que les envols de poussière.

4.5.2. Analyse des retombées chimiques d'acide chlorhydrique

Le tableau ci-après présente les valeurs maximales mesurées en **acide chlorhydrique** ; il s'agit de la concentration en **ions chlorures** dans les bacs à eau placés en champ proche et en champ lointain, lors de chaque lancement ARIANE 5 de l'année 2015.

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

	Vol	A222	A223	A224	A225	A226	A227
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m ²)	1693,10	8494,58	12077,59	1858,0	5173,1	9628,22
	Distance de la ZL3 (m)	277	277	256	277	277	277
	Localisation	CP03 Chemin de Ronde ZL3 - Intersection zone 49 et 48	CP03 Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 48	CP 02bis Chemin de Ronde de la ZL3 – milieu de la zone 46	CP03 Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 48	CP03 Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 48	CP03 Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 48
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m ²)	82,3	154,11	58,79	84,7	88,1	66,61
	Distance de la ZL3 (m)	4300	2800	17800	2640,1	1874,1	16 000
	Localisation	CL15 Diane	CL09 Portail piste « Agami »	CL 02 Kourou – Hôtel des Roches	CL 12 PK17,7 depuis Changement sur RTE ESPACE direction ELA (Embranchement Ancienne RN1)	CL 08 Parking Ancienne RN1	CL04 Kourou - CMCK

Remarques :

- En **champ proche**, les retombées chimiques et particulaires maximales en ions chlorures sont mesurées sur le chemin de ronde de la zone de lancement dédiée au lanceur Ariane 5 soit jusqu'à une distance de 300 mètres environ (confer le *Tableau 12*).
- En **champ lointain**, comme pour l'alumine, les concentrations en chlorures les plus importantes sont obtenues pour des sites variables qui dépendent des conditions météorologiques (confer le *Tableau 11*).

En 2015, nous observons une influence importante de l'apport maritime en ions chlorures pour les capteurs situés en bord de mer. En effet, le dépôt sec des aérosols marins décroît très vite en fonction de la distance à la côte. L'influence de ces aérosols est variable car l'intensité de la source de particules marines est directement liée à la force du vent à la surface de la mer. Ces dépôts peuvent donc être plus ou moins importants selon les variations saisonnières de l'intensité du vent mais aussi de la salinité de l'eau de mer. Il est à noter que cette influence reste faible au Centre Spatial Guyanais, quand il ne pleut pas.

Cependant l'essentiel des capteurs positionnés près de la côte demeurent influencés par l'air marin et enregistrent régulièrement des pics de concentrations.

Ce phénomène est régulièrement observé sur les points **CL06** (gendarmerie de Sinnamary située à proximité du fleuve), **CL02** (Hôtel des Roches), **CL04** (CMCK de Kourou) et **CL 05** (Toucan).

Les apports en ions chlorures en ces points ne sont donc pas imputables à l'opération du lancement.

4.5.3. Conclusions sur les retombées chimiques gazeuses et particulaires

Les mesures mettent en évidence que les fortes concentrations en acide chlorhydrique et en alumine particulaire sont mesurées sur le chemin de ronde de la zone de lancement Ariane 5 (ZL3) soit jusqu'à une distance d'environ 600 mètres.

En champ lointain, les concentrations les plus importantes demeurent faibles à négligeables et ne témoignent aucunement d'un impact décelé ; elles sont parfois influencées par l'environnement naturel (embruns marins, débris végétaux), les mesures sont représentatives du bruit de fond naturel.

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 augmentent. 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 naturellement présents dans l'air guyanais tels que l'acide chlorhydrique et alumine.

4.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement des lancements Ariane 5 en 2015

Les mesures réalisées pour les vols Ariane 222 à 227 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 600 mètres autour de la ZL3).

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

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

En 2015, le CSG a opéré trois (3) missions Vega :

- ❖ Vol VV04 : 11/02/2015 à 10h40 min (en heure locale)
- ❖ Vol VV05 : 22/06/2015 à 22h52 min (en heure locale)
- ❖ Vol VV06 : 03/12/2015 à 01h04 min (en heure locale)

Un plan de mesures environnement a été réalisé pour ces trois lancements de l'année 2015, conformément aux prescriptions de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter l'Ensemble de Lancement Vega (ELVega) **[DA03]**.

Seuls les principaux résultats et conclusions du rapport de synthèse **[DR 13, 14 et 15]** 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.

La partie suivante présente les résultats de ces modélisations de la trace du nuage de combustion du P80 au sol du lancement VV03.

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.

Les résultats des modélisations SARRIM au moyen des données issues de CEP/ARPEGE concernant la direction prise par le nuage de combustion sont présentés dans le tableau suivant.

	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 27/03/2019
		Page : 40/100

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

Vol	DIRECTION BASSES COUCHES		OPTION DE POSE RETENUE
	(°)	VERS...	
V04	74	Agami	AGAMI
V05	90	Entre Agami et Diane	AGAMI
V06	66	Entre Bec Fin et Agami	AGAMI

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

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

Vol	Concentration Maximale CEP/ARPEGE	
	HCl (ppm)	Alumine (mg/m ³)
V04	1,9	8,6
V05	1,9	8,8
V06	3,1	14,5

Il est important de noter que la concentration maximale en champ lointain en acide chlorhydrique reste en dessous de la VLE (Valeur Limite d'Exposition égale à 5 ppm) sur ces vols. Ces teneurs maximales restent très éloignées du Seuil des Effets Irréversibles (SEI) fixé à 30 ppm pour 30 minutes.

Pour l'alumine, la concentration maximale donnée par la simulation pour V06 dépasse le seuil réglementaire fixé par la VME (Valeur Moyenne d'Exposition égale à 10 mg/m³).

5.1.2. Au moyen du radiosondage en chronologie positive

Les jours de lancement VEGA, à H0 +/- 24 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 tous les cent mètres.

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.

	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 27/03/2019
		Page : 41/100

Tableau 15: Tableau récapitulatif des directions et concentrations chimiques calculées par SARRIM au moyen du radiosondage positif

VOL	2014		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	HCl (ppm)	Alumine (mg/m ³)
VV04	11	Février	73	AGAMI	0,6	2,5
VV05	22	Juin	95	Entre Agami et Diane	1,0	5,9
VV06	03	Décembre	73	AGAMI	0,5	1,6

On peut remarquer que les valeurs en HCl sont inférieures à la Valeur Limite d'Exposition (VLE) de 5 ppm. De même, la Valeur Maximale d'Exposition en Alumine est respectée.

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 + 24 minutes, nous n'observons pas d'écart significatif (8%) entre la direction des retombées calculée par CEP et celle issues du radiosondage le plus proche du H0. Les capteurs ont donc été installés de manière optimale.

Ces derniers prévoient :

Tableau 16 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour VEGA en 2015

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
	V04	PREVISION METEOROLOGIQUE 1A110215.TXT DU 11/02/2015 À 12H00 TU	RADIOSONDAGE CP 3R110215.TXT DU 11/02/2015 À 14H07 TU
V04	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	610	960
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	74	73
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	1,9	0,6
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	8,6	2,5

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
V05		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C230615.TXT DU 23/06/2015 À 00H00 TU	RADIOSONDAGE CP 1R230615.TXT DU 23/06/2015 À 02H13 TU
V05	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	593	584
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	90	95
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	1,9	1,0
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	8,8	5,9
V06		PREVISION METEOROLOGIQUE 2C031215.TXT DU 03/12/2015 À 06H00 TU	RADIOSONDAGE CP 2R031215.TXT DU 03/12/2015 À 04H24 TU
V06	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	524	704
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	66	73
	- Concentration maximale en acide chlorhydrique en champ lointain (ppm)	3,1	0,5
	- Concentration maximale en alumine particulaire en champ lointain (mg/m ³)	14,5	1,6

Pour rappel, les capteurs ont été implanté suivant la situation AGAMI, à savoir Ouest / Sud – Ouest.

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 des écarts qui ne remettent pas en cause le choix de l'option de pose (< 7°)

Concernant les concentrations calculées par SARRIM, les comparaisons aux résultats de mesures mettent en exergue une surestimation certaine. En effet, les calculs de concentrations en acide chlorhydrique et en alumine réalisés à partir du modèle prévisionnel CEP sont supérieures à celle mesurée à l'aide des radiosondages. 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 ces trois missions du lanceur VEGA.

Ces derniers ont ainsi été soumis aux retombées provenant du nuage de combustion de VEGA.

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

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

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

Tableau 17: Tableau récapitulatif des détections d'acide chlorhydrique par les Honeywell pour l'année 2015

VOL	Honeywell 1 CP4	Honeywell 3 CL9	Honeywell 4 CL8	Honeywell 5 CL14
Localisation	Chemin de ronde de la ZL3 entre la zone 48 et la zone 47	Portail de la piste Agami	Parking de l'ancienne RN1	Route de l'Espace direction ELA Embranchement Diane (PK 16,15)
VV04	ND	ND	ND	ND
VV05	ND	ND	ND	ND
VV06	ND	ND	ND	ND

ND : Non détecté

Sur l'ensemble des systèmes détecteurs du réseau de Collecte des Données d'Environnement eXtérieur du CSG (CODEX), composé de vingt-quatre (24) analyseurs fixes et 4 analyseurs mobiles, aucune concentration en acide chlorhydrique n'a été détectée lors des trois lancements Vega de 2015. L'absence de situation dégradée pour ce vol, a confirmé l'absence de détection de dioxyde d'azote ou de produits hydrazinés dans l'atmosphère.

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

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

Le process 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 (5,5) fois inférieure). Il se stabilise ensuite à une faible altitude (deux (2) fois moins importante que pour AR5) pour retomber « rapidement » au sol.

Durant le temps d'exposition, des épisodes pluvieux ont été recensés sur le territoire du CSG. En effet, on peut retenir une hauteur pluviométrique de 18,5 mm à l'occasion du lancement VV04, 1,8 mm lors du lancement

VV05 et enfin 5 mm pour VV06. En conséquence de ces pluies, le volume moyen des échantillons recueillis en 2015 est de 580 ml environ, au lieu des 500 ml initialement versés.

5.5.1. Analyse des retombées en aluminium particulaire sédimentable

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

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

	Vol	V04	V05	V06
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m²)	10,24	<LQ	0,921
	Distance de la ZL3 (m)	168	/	
	Localisation	CP 04 Chemin de ronde de la ZL3 Milieu zone 45	/	CP 05 Chemin de ronde ZL3 Intersection entre zone 45 et 44
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m²)	<LQ	<LQ	0,757
	Distance de la ZL3 (m)	/	/	2239
	Localisation	/	/	CL 09 Portail Piste Agami

Remarques :

- On note l'absence de quantification en alumine :
 - en **champ lointain** pour le vol **VV04**
 - en **champ proche et lointain** pour **VV05**
- Concernant **VV06**, Les concentrations mesurées en champ proche et en champ lointain sont faibles (proches de la limite de quantification du laboratoire).
- La seule concentration notable mesurée lors des lancements VEGA de 2015 est de 10,24 mg/m² lors du tir VV04 en champ proche à une distance inférieure à 200m du pas de tir.

	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 27/03/2019
		Page : 45/100

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

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

	Vol	V04	V05	V06
CHAMP PROCHE	C_{max} (mg/m²)	309,66	17,09	42,9
	Distance de la ZL3 (m)	168	168	503
	Localisation	CP 04 Chemin de ronde de la ZL3 Milieu zone 45	CP 04 Chemin de ronde de la ZL3 Milieu zone 45	CP01 Chemin de ronde ZL3 - Intersection entre zone 48 et 47
CHAMP LOINTAIN	C_{max} (mg/m²)	92,50	17,59	71,0
	Distance de la ZL3 (m)	16629	3883	1830
	Localisation	CL 01 Kourou Station Météo Isabelle	CL15 Diane	CL10 Mi-chemin Karouabo - embranchement Piste Agami

Remarques :

- Pour le vol VV04, la concentration maximale est mesurée **en champ proche** à hauteur de 309,66 mg/m². On note que cette valeur est 40 fois inférieure au maximum mesuré pour les vols Ariane 5 en 2015. En **champ lointain**, des pics de concentration d'ions chlorures sont observés sur les points situés à proximité du littoral (CL 01 (Kourou - Station Météo Isabelle) et CL 03 (Kourou – Débarcadère des Iles). Ce phénomène, traduisant l'influence des embruns marin, est couramment observé dans les zones implantées à proximité de la mer et disparaît très vite en fonction de la distance à la côte.
- L'influence de ces aérosols est variable car l'intensité de la source de particules marines est directement liée à la force du vent à la surface de la mer. Ces dépôts peuvent donc être plus ou moins importants selon les variations saisonnières de l'intensité du vent mais aussi de la salinité de l'eau de mer. Il est à noter que cette influence reste faible au CSG, quand il ne pleut pas.
En 2015, des évènements pluvieux se sont produits durant la durée d'exposition des capteurs, on peut en déduire que les concentrations des capteurs environnement du littoral du CSG ont pu être influencé par les aérosols marins ;
- Les concentrations mesurées pour VV05 et VV06 sont faibles, que ce soit en champ proche ou en champ lointain.

5.5.3. Conclusions sur les retombées chimiques gazeuses et particulaires

Les mesures réalisées pour les vols VEGA de 2015 ont montré des teneurs plus faibles par rapport au lancement Ariane, ce qui est attendu du fait que le P80 de Vega contient 5,5 fois moins de propergol que les 2 EAP du lanceur Ariane 5. Les mesures n'ont pas montré de particularités par rapport aux années précédentes.

5.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement du lancement VEGA en 2015

L'impact des retombées en **acide chlorhydrique** et en **aluminium particulaire sédimentable** des vols Vega de 2015 est **très limité** (quantitativement) voire négligeable que ce soit en **champ proche** ou en **champ lointain**.

Les écarts mis en évidence lors de la comparaison des résultats des simulations étant faible (< 10%), nous permettent de confirmer l'utilisation des données prévisionnelles dans l'optimisation de l'implantation des capteurs.

6. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT SOYUZ

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 Soyuz, sur la commune de Sinnamary.

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

La propulsion du lanceur Soyuz 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 Soyuz (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. 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 SOYUZ

En 2015, le CSG a opéré un nombre de trois (3) lancements Soyuz répartis de la façon suivante au cours de l'année (en heure locale) :

❖ Vol S11:	21/03/2015	à	18h46 min
❖ Vol S12:	10/09/2015	à	23h08 min
❖ Vol S13:	17/12/2015	à	08h51 min

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 Soyuz (ELS) **[DA 02]**.

7.1. Objectifs des mesures

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

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 Soyuz ainsi qu'aux ELA,
- Les détecteurs de type SPM de la marque HONEYWELL constituant le réseau CODEX (vu pour ARIANE 5 et VEGA).

	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 27/03/2019 Page : 49/100
---	--	---

7.2. Les conditions météorologiques

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

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

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

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

7.3. Localisation des points de mesures

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

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

EMPLACEMENT		DISTANCE ZLS (m)	ANALYSEUR ENV. SA
A I R	Hôtel des Roches Kourou – (Shelter n°1)	27 950	Oui
	Gendarmerie de Sinnamary – (Shelter n°2)	15 900	Oui
	BLA – EPCU S3G (Laboratoire de chimie CSG) - (Shelter n°3)	10 520	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
	Zone de stockage PHHC (bâtiment 3556) – (Shelter n°6)	750	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 SOYUZ représente quarante-huit (48) 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 1^{er} (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 21: Tableau récapitulatif des directions calculées par SARRIM au moyen des radiosondages

VOL	2015		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)
VS11	21	Mars	43,3	Sud Sud-Ouest	1,57	2,29
VS12	10	Septembre	97,8	Ouest	2,10	3,06
VS13	17	Décembre	75,8	Sud-Ouest	<0,01	0,01

Pour l'année 2015, tout comme les années précédentes, la direction prise par le nuage de combustion est directement liée aux conditions météorologiques du moment du lancement et non aux grandes saisons météorologiques locales.

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 20** 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 SOYUZ 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 du SOYUZ, elle est aussi dû 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 22 : 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 [DR24 et DR25].

A titre d'exemple, il est intéressant de noter qu'en 2017, l'Observatoire Régional de l'Air de Guyane (ORA Guyane) a mené une étude du suivi de la concentration en *monoxyde de carbone* générée par le trafic routier, notamment en situation d'embouteillage, au niveau de l'avenue de la Madeleine sur la commune de Cayenne. Les résultats obtenus oscillent entre un maximum de 5,3 mg/m³ et un minimum de 3,9 mg/m³ de monoxyde de carbone (Valeur de référence 10mg/m³ sur 8h de moyenne) [DR24].

Par ailleurs, au dernier trimestre de l'année 2015, l'ORA a pu démarrer le suivi des indices de qualité de l'air sur la commune de Kourou grâce à l'installation d'une station fixe de surveillance nommée « BRADY » au sein du lycée G. Monnerville (Rapport d'activité 2015 – [DR23]).

La station analyse quotidiennement les teneurs en **particules fines (PM₁₀)**, en **dioxyde d'azote (NO₂)**, et en **ozone (O₃)** de l'atmosphère urbaine.

La surveillance du paramètre **dioxyde de soufre (SO₂)** est assuré ponctuellement dans certaines zones, en raison des faibles concentrations recueillies au cours des cinq (5) dernières années.



Figure 6 : Station de surveillance BRADY à Kourou, 2015

En 2015, sur la ville de Kourou et ailleurs en Guyane, le polluant majoritaire responsable de la dégradation de la qualité de l'air demeure les particules fines (PM₁₀), et très particulièrement en décembre avec le retour de la saison des poussières du Sahara. Voici les principaux résultats recueillis sur la station BRADY (Kourou).

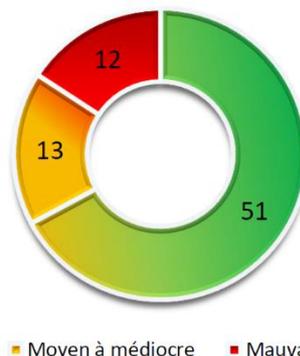


Figure 7 : Bilan des indices de qualité de l'air (IQA) à la station Brady en nombre de jour [DR23]

Les émissions en **dioxyde d'azote (NO₂)** n'ont pas engendré de dépassement des seuils réglementaires sur la Guyane ; les concentrations moyennes annuelles sont de l'ordre de **3 µg/m³**, elles sont jugées **faibles**.

Sur la ville de Kourou, la valeur moyenne horaire maximale est de 10 µg/m³ et le maximum horaire a été atteint le 09/11/2015 à 07h. Cette mesure n'est pas imputable à une activité de lancement au Centre Spatial Guyanais.

Pour mémoire, les oxydes d'azote (NO_x), donc les plus communs dans l'air sont le monoxyde et le dioxyde d'azote, proviennent majoritairement de la circulation automobile.

Les concentrations en **ozone (O₃)** ont été mesurés en 2015. 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. En 2015, les concentrations ne dépassent pas les seuils réglementaires à Kourou. Les concentrations moyennes annuelles sont de l'ordre de **37 µg/m³**, tandis que la valeur moyenne horaire maximale s'élève à 70 µg/m³ mais demeure et la valeur maximale horaire a été atteinte le 03/12/15 à 05h. On remarque que ce maximum est atteint plus de quatre (4) heures après le décollage de VEGA V06 ; compte tenu de ce constat nous pouvons affirmer que cette valeur n'est pas imputable à l'activité de lancement du CSG.

Enfin, comme 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. D'origine anthropique, les particules fines sont émises par les procédés de combustion nécessaire à la production électrique, aux transports et à l'industrie en général. Elles peuvent aussi avoir une origine naturelle et être émises par les océans, mais aussi les déserts ou les volcans.

Les objectifs de qualité (30 µg/m³) et la valeur limite (40 µg/m³) fixée par la réglementation n'ont pas été dépassés en 2015. Les concentrations moyennes annuelles en particules sont de l'ordre de **29 µg/m³** ; la valeur moyenne horaire maximale sur la ville de Kourou s'élève à 109 µg/m³ et la valeur maximale horaire a été atteinte le 09/12/15. Ici encore, on remarque que ce maximum est atteint en dehors des activités de lancement du CSG.

Sachant que 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. La pluviométrie moyenne de l'année 2015 est conforme aux normales 1981-2010 (2800 mm). Cependant par période, on constate des excès avec une saison sèche déficitaire en précipitations et une saison des pluies en excédent. Les températures restent proches des normales de janvier à juin. On constate des écarts pendant la saison sèche. Le mois de septembre 2015 est le mois le plus chaud depuis 1955 en Guyane. Le temps chaud et sec du deuxième semestre est à relier à l'influence du phénomène El Niño.

Ces conditions environnementales ont participé à la dégradation des indices de qualité et peuvent expliquer la présence majoritaire des particules fines dans l'air.

	BILAN 2015 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS	Réf : CSG-RP-SPX-19496-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 27/03/2019 Page : 53/100
---	--	--

7.4.3. Conclusions sur les modélisations de l'outil SARRIM

Les modélisations SARRIM de la « trace » de combustion de la totalité des vols SOYUZ effectués en 2015, démontrent que la localisation ne peut être connue à l'avance ; l'orientation que prendra la « trace » de combustion dépend exclusivement de la climatologie locale à l'instant du décollage en ZLS.

En 2015, les villes de Kourou et de Sinnamary n'ont pas été exposées aux retombées de la trace de combustion des lancements SOYUZ.

Les concentrations estimées en champ lointain par le logiciel SARRIM sont inférieures aux Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP) réglementaires, bien moins significatives que celles issues de la pollution routière, notamment en situation d'embouteillage.

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

7.5. Mesures en continu des retombées chimiques et particulières

7.5.1. Objectifs des mesures

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

7.5.2. Les shelters « Environnement SA »

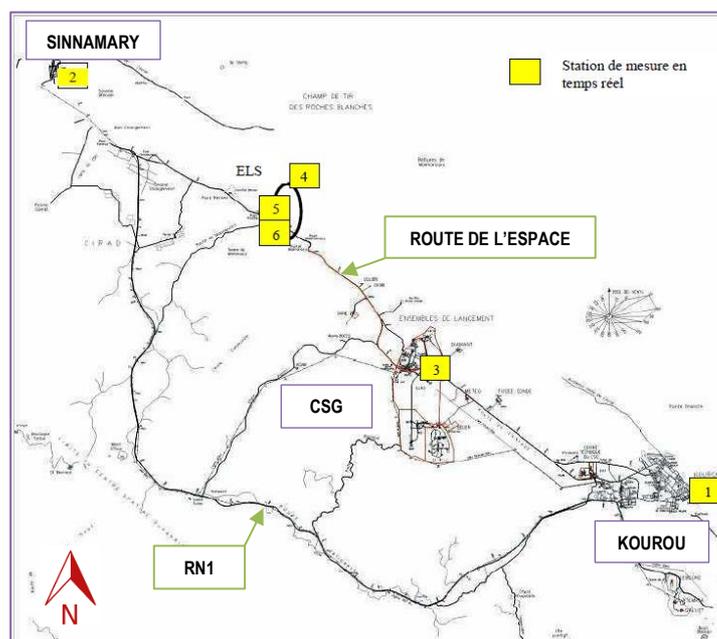
Les six (6) shelters de la marque ENVIRONNEMENT SA sont positionnés de manière fixe sur le territoire du CSG dont l'ensemble de lancement Soyuz ainsi qu'au carrefour RENNEN, mais aussi dans les villes de Kourou et Sinnamary.

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

Le **Tableau 23**, en page suivante, présente une synthèse des résultats des mesures en continu des détections et les concentrations pour les vols SOYUZ de l'année 2015.

Il s'agit de moyennes calculées sur les 24 heures du jour du lancement (J-0) (valeurs acquises toutes les 15 minutes).

A 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).



Il récapitule ainsi les mesures :

- | | |
|---|--|
| ✓ en dioxyde d'azote (NO ₂), | ✓ en hydrocarbures (HCT), |
| ✓ en dioxyde de soufre (SO ₂) | ✓ en particules (PM ₁₀ et PM _{2,5}), |
| ✓ en monoxyde de carbone (CO) et en dioxyde de carbone (CO ₂) | ✓ et en ozone (O ₃) |

*Nota : Ces mesures sont exprimées en µg/m³ ; sachant que 1 µg est égal à 0,001 mg on appliquera un **facteur 10⁻³** à chacune des valeurs présentées pour en déduire l'impact sur la qualité de l'air.*

Tableau 23 : Ensemble des résultats des mesures en continu des Shelters ENVIRONNEMENT SA

Paramètre	Unité	Vol	Résultats moyens					
			SHELTER 1	SHELTER 2	SHELTER 3	SHELTER 4	SHELTER 5	SHELTER 6
			KRU	SIN	S3G	3529 - ZLS	3551 - ELS	3556 - ELS
SO2	µg/m3	VS11	27,97	26,53	HS	HS	28,44	26,45
		VS12	HS	2,00	HS	6,43	0,74	2,57
		VS13	0,05	5,44	1,02	0,00	0,11	0,86
NO2	µg/m3	VS11	20,59	40,34	HS	HS	20,61	19,08
		VS12	HS	1,80	0,00	HS	0,76	20,37
		VS13	1,27	3,06	HS	HS	2,93	19,89
CO	mg/m3	VS11	8,03	1,45	HS	HS	2,24	1,86
		VS12	HS	0,33	0,15	0,44	0,53	0,56
		VS13	4,14	0,46	0,03	0,47	0,75	0,74
CO2	mg/m3	VS11	308,42	744,07	HS	HS	755,63	769,55
		VS12	HS	785,64	799,56	745,54	2294,41	2864,79
		VS13	359,27	743,94	222,57	711,30	784,60	729,24
O3	µg/m3	VS11	27,92	18,51	HS	HS	43,54	57,21
		VS12	HS	26,67	25,54	37,20	22,11	35,05
		VS13	16,70	22,89	33,40	46,64	28,11	44,80
HCT	mg/m3	VS11	1,15	0,90	HS	HS	0,75	1,00
		VS12	HS	0,00	HS	0,16	0,21	0,28
		VS13	0,60	HS	HS	0,00	0,30	0,26
PM10	µg/m3	VS11	20,36	16,54	HS	HS	16,41	18,46
		VS12	HS	18,07	0,00	12,08	214,04	11,89
		VS13	54,89	16,31	35,18	51,63	44,28	51,93
PM 2,5	µg/m3	VS11	9,77	7,51	HS	HS	3,02	8,79
		VS12	HS	2,35	0,00	2,83	23,31	0,00
		VS13	0,00	8,86	36,04	HS	10,55	0,00

Légende :

- L'astérisque (*) indique une valeur moyenne sur 5 heures ;
- Les valeurs écrites en **gras** correspondent au maximum mesurés sur le shelter d'intérêt ;
- **HS** : **Hors Service** – mesure absente ;
- **NA** : **Valeur Non Acquise** – mesure absente.

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.).

Les résultats présentés dans le tableau indiquent qu'il n'y a pas d'impact direct des produits de combustion émis par Soyuz sur le territoire du CSG et les villes de Kourou et de Sinnamary. En effet, il n'y a pas de différence significative entre les concentrations mesurées au droit des zones couvertes par le nuage de combustion et les zones non concernées. De plus, les concentrations moyennes mesurées à J0 sont inférieures aux seuils réglementaires d'exposition.

7.5.3. Conclusion sur les résultats des Shelters ENVIRONNEMENT SA

Les analyseurs des shelters ENVIRONNEMENT SA n'ont pas été toujours fonctionnels en 2015. Des défaillances techniques n'ont pas permis l'acquisition de l'intégralité des mesures de suivi de la qualité de l'air. 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 SOYUZ. On relève quelques valeurs non négligeables, notamment sur le Dioxyde de Carbone (CO₂) au droit de l'ensemble de lancement Soyuz. Cependant, ces résultats restent inférieurs aux valeurs limites d'exposition professionnelle.

En outre, les résultats en Monoxyde de Carbone (CO) restent inférieurs aux mesures du trafic routier sur la commune de Cayenne (pris en exemple au 7.4.2 Résultats des modélisations de l'outil SARRIM).

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

7.5.4. Les mesures du réseau CODEX

Pour chaque lancement SOYUZ, comme pour les lancements ARIANE 5 et VEGA, le réseau de Collecte de Données Environnement Extérieur au CSG nommé CODEX 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 2015, aucune situation dégradée n'est survenue lors de décollage du lanceur SOYUZ, ainsi aucune teneur en dioxyde d'azote, ou en produits hydrazinés n'a été détectée par les vingt-quatre (24) analyseurs du réseau CODEX. La technologie du lanceur SOYUZ ne mettant aucunement en œuvre d'acide chlorhydrique, le réseau CODEX 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 Soyuz pour l'année 2015

En 2015, 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 très faibles à négligeables, elles sont représentatives du bruit de fond naturel ambiant et ne traduisent pas d'impact directement imputable aux lancements SOYUZ au CSG.

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

Nous pouvons conclure que les **impacts générés** pendant les campagnes **Soyouz de l'année 2015** sont **non quantifiables voire négligeables, et bien moins significatifs qu'une pollution due à la circulation routière** dans les villes. La qualité de l'air est jugée **bonne sur les villes de Kourou et de Sinnamary**, ainsi qu'à **l'intérieur** du Centre Spatial Guyanais.

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

8.1. Objectifs de la surveillance environnementale du CSG

La surveillance environnementale « **globale** » du Centre Spatial Guyanais est une des missions principales du CNES.

Sans préjudice des dispositions prévues dans les arrêtés préfectoraux autorisant les établissements du CSG à exploiter des installations classées pour la protection de l'environnement, le CNES/CSG coordonne les mesures relatives au suivi de l'impact environnemental des activités industrielles du CSG **[DR06]**.

En effet, 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. Le CNES participe financièrement au pilotage de ces projets et contrôle les interventions sur site. Les résultats de ces projets font l'objet de publications scientifiques.

La présente synthèse porte sur l'analyse de plusieurs compartiments environnementaux représentés sur le territoire de la base spatiale telle que le précise les prescriptions réglementaires qui nous incombent. Elle ne reprend aucunement les résultats des projets scientifiques. **Ces dispositions spécifiques à chaque lanceur / activité s'appliquent aux différents compartiments environnementaux suivants :**

Faune Aquatique	Poissons / Invertébrés aquatiques
Avifaune	Peuplement d'oiseaux nicheurs / Ibis Rouges et échassiers des écosystèmes littoraux du CSG
Végétation	Couverts végétaux en champ proche et en champ lointain
	Suivi des peuplements botaniques d'intérêts majeurs du CSG
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

De nombreux bio indicateurs ont été définis au sein de ces divers écosystèmes visés par les arrêtés préfectoraux, en collaboration avec des partenaires scientifiques locaux et les services administratifs.

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

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

8.2.1. Objectifs des mesures

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

Ce suivi a pour objectif de suivre la composition chimique de la crique et de contrôler l'impact des activités de lancement sur la qualité des eaux du bassin versant de la crique Karouabo, située sous le vent des installations de l'Ensemble de Lancement n°3.

En 2015, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo était opérationnel et a permis de suivre la qualité des eaux de la crique à l'occasion des lancements Ariane 5 VA222 et VA227.

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 et VEGA, 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 6 jours.

8.2.2. Résultats des mesures

Deux campagnes d'analyses ont eu lieu au CSG en 2015, une à l'occasion d'un lancement Ariane 5 en saison des pluies et une autre à l'occasion d'un lancement Ariane 5 en saison sèche.

Les mesures sur la Karouabo en saison des pluies ont été réalisés lors du lancement VA222.

Le dispositif de prélèvement automatique a été installé le 26 avril 2015 et retiré le samedi 2 mai 2015. Les échantillons recueillis ont été conditionnés et adressés à l'Institut Pasteur de Guyane pour analyse le lundi 04 mai 2015.

Le tableau suivant présente les résultats d'analyses effectués en saison des pluies

2015 - VA222	ECHANTILLON	DATE et HEURE de prélèvement	pH	CONDUCTIVITE	CHLORURES	SODIUM	ALUMINIUM
			<i>En unité pH</i>	<i>en μS/cm à 25°C</i>	<i>en mg/l</i>	<i>en mg/l</i>	<i>en mg/l</i>
AVANT H0	K 1	26/04/15 à 07h00	5,95	31	7,37	4,03	0,16
	K 2	26/04/15 à 13h00	5,65	30	7,28	3,99	0,16
DECOLLAGE VA222 le 26/04/15 à 17h00							
APRES H0	K 3	26/04/15 à 19h00	5,6	30	7,39	3,99	0,16
	K 4	27/04/15 à 01h00	5,65	31	7,6	4,05	0,14
	K 5	27/04/15 à 07h00	5,4	32	7,72	4,02	0,13
	K 6	27/04/15 à 13h00	5	34	7,51	4,05	0,14
	K 7	27/04/15 à 19h00	5,6	30	7,47	4,04	0,13
	K 8	28/04/15 à 01h00	5,7	30	7,55	4,02	0,13
	K 9	28/04/15 à 07h00	5,75	30	7,54	4,03	0,14
	K 10	28/04/15 à 13h00	5,75	30	7,57	4,04	0,14
	K 11	28/04/15 à 19h00	5,7	31	7,57	4,03	0,14
	K 12	29/04/15 à 01h00	5,8	30	7,65	4,04	0,12
	K 13	29/04/15 à 07h00	5,85	30	7,59	4,02	0,15
	K 14	29/04/15 à 13h00	5,85	30	7,66	4,04	0,14
	K 15	29/04/15 à 19h00	5,8	30	7,59	4,02	0,14
	K 16	30/04/15 à 01h00	5,85	30	7,55	4,05	0,13
	K 17	30/04/15 à 07h00	5,85	30	7,58	4,06	0,12
	K 18	30/04/15 à 13h00	5,9	30	7,5	4,03	0,13
	K 19	30/04/15 à 19h00	5,9	30	7,44	3,99	0,13
	K 20	01/05/15 à 01h00	5,9	30	7,42	3,99	0,13
	K 21	01/05/15 à 07h00	5,9	30	7,43	4,02	0,12
	K 22	01/05/15 à 13h00	5,9	30	7,49	4,07	0,16
	K 23	01/05/15 à 19h00	5,91	30	7,45	4,03	0,16
	K 24	02/05/15 à 01h00	5,9	30	7,44	3,99	0,16
Moyenne			5,75	30,38	7,52	4,03	0,14
Ecart type			0,21	0,92	0,10	0,02	0,01
Nombre de mesures			9	9	9	9	9

Les mesures sur la Karouabo en saison sèche ont été réalisés lors du lancement VA227.

Le dispositif de prélèvement automatique a été installé le 10 novembre 2015 à 8h34 et retiré le 16 novembre 2015. Les échantillons recueillis ont été conditionnés et adressés à l'Institut Pasteur de Guyane pour analyse.

2015 - VA227	ECHANTILLON	DATE et HEURE de prélèvement	pH	CONDUCTIVITE	CHLORURES	SODIUM	ALUMINIUM
			<i>En unité pH</i>	<i>en μS/cm à 25°C</i>	<i>en mg/l</i>	<i>en mg/l</i>	<i>en mg/l</i>
AVANT H0	K 1	10/11/15 à 08h34	6,55	33	7,41	4,38	0,065
	K 2	10/11/15 à 14h34	6,53	32	7,25	4,33	0,052
DECOLLAGE VA227 le 10/11/15 à 18h34							
APRES H0	K 3	10/11/15 à 20h34	6,54	32	7,37	4,36	0,049
	K 4	10/11/15 à 02h34	6,57	32	7,26	4,31	0,052
	K 5	11/11/15 à 08h34	6,52	32	7,19	4,28	0,046
	K 6	11/11/15 à 14h34	6,43	32	7,38	4,32	0,048
	K 7	11/11/15 à 20h34	6,47	33	7,4	4,42	0,052
	K 8	12/11/15 à 02h34	6,46	32	7,46	4,35	0,051
	K 9	12/11/15 à 08h34	6,47	32	7,4	4,39	0,05
	K 10	12/11/15 à 14h34	6,52	32	7,3	4,32	0,066
	K 11	12/11/15 à 20h34	6,63	33	7,29	4,54	0,069
	K 12	13/11/15 à 02h34	6,52	32	7,32	4,44	0,063
	K 13	13/11/15 à 08h34	6,49	32	7,28	4,4	0,056
	K 14	13/11/15 à 14h34	6,47	32	7,14	4,39	0,119
	K 15	13/11/15 à 20h34	6,45	32	7,34	4,45	0,064
	K 16	14/11/15 à 02h34	6,46	32	7,07	4,4	0,071
	K 17	14/11/15 à 08h34					
	K 18	14/11/15 à 14h34	6,46	32	7,06	4,36	0,066
	K 19	14/11/15 à 20h34					
	K 20	15/11/15 à 02h34	6,42	32	7,23	4,43	0,045
	K 21	15/11/15 à 08h34	6,41	32	7,22	4,4	0,054
	K 22	15/11/15 à 14h34	6,41	32	7,25	4,41	0,076
K 23	15/11/15 à 20h34	6,6	32	7,16	4,37	0,063	
K 24	16/11/15 à 02h34	6,52	32	7,13	4,41	0,087	
Moyenne			6,50	32,14	7,27	4,38	0,06
Ecart type			0,06	0,35	0,11	0,06	0,02
Nombre de mesures			9	9	9	9	9

Les échantillons K17 et K19 n'ont pas pu être analysés du fait d'un problème d'aspiration au niveau du dispositif de prélèvement (feuilles ou autre élément en suspension dans l'eau).

8.2.3. Conclusions générales sur la mesure de la qualité de l'eau de la Karouabo

Les résultats d'analyse sur la Karouabo, en saison sèche et en saison des pluies, révèlent :

- ❖ un pH constant au cours du temps. On ne remarque aucune diminution du pH de l'eau après les lancements 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 aucune augmentation d'un paramètre induite par les retombées chimiques et particulières des décollages du lanceur Ariane 5.

En conclusion, les prélèvements semi continus réalisées **en 2015** ont permis de suivre **la qualité physico-chimique des eaux de surface de la crique Karouabo** à l'occasion des **lancements Ariane 5** pour les missions **VA222 et VA227**.

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 lancements d'Ariane 5**. 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.

8.3. Mesure de la qualité des sédiments des criques du CSG

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

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

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



Figure 8: Prise de vue de la station Paracou (Hydreco, 2015)

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

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

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

Les modifications de spéciation et de mobilité sont étroitement liées au pH du sol (confer le **Tableau 24**).

Tableau 24 : 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 aluminates

8.3.2. Objectifs du suivi

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

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

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

8.3.3. Localisation des points de prélèvements

Les prélèvements permettant le suivi des retombées des lanceurs Ariane 5 et VEGA ont été réalisés en avril 2015, pour la saison des pluies, et en septembre 2015, pour la saison sèche, au niveau de la crique de la Malmanoury et de la crique Karouabo [DR 17].

La crique des Pères, un affluent en rive droite du Kourou, est située en dehors de l'influence des zones de lancement et est donc entièrement protégée de toutes retombées chimiques et gazeuses issue du nuage de combustion. En tant que point de « référence », la crique a également été échantillonnée, avril 2015, pour la saison des pluies, et en septembre 2015, pour la saison sèche.

Concernant les effets des émissions du lanceur SOYOUZ sur le milieu aquatique, nous nous intéressons depuis 2011 à l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de la crique Paracou. En 2015, une campagne d'échantillonnage a été réalisée lors de la saison sèche (Novembre 2015).

Les stations de prélèvements ont été réparties le long d'un transect longitudinal sur les criques ; 5 points ont été définis le long du cours d'eau, dans le sens du courant, 3 en amont et 2 en aval des ponts.

Pour la « Petite Masse d'Eau » Paracou, la station de prélèvement est située sur une portion de rivière qui s'écoule dans une forêt primaire de bas fond. Cinq (5) échantillons sont récoltés sur la crique.

Des mesures physico-chimiques ont été réalisées in situ, à chaque zone (matin et soir) de prélèvements de sédiments.

Le suivi des paramètres, présentés dans le **Tableau** ci-après, permettra d'affiner l'analyse des résultats obtenus sur les sédiments.

Tableau 25 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les paramètres physico-chimiques des criques Malmanoury, Karouabo, Paracou et la Crique des Pères

LIEU/HEURE DE PRELEVEMENT		PARAMETRES PHYSICO CHIMIQUES						ANNEE 2015
		pH (u.pH)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µs/cm)	Turbidité (NTU)	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/L)	
CRIQUE KAROUABO	21/04/2015 à 15h15	4,70	27,90	33,00	1,14	41,00	3,30	SAISON DES PLUIES
	22/04/2015 à 09h30	4,46	25,90	30,00	1,94	66,00	5,50	
	/	/	/	/	/	/	/	SAISON SECHE
	17/09/2015 à 12h30	5,18	31,10	29,40	1,45	43,80	3,25	
CRIQUE MALMANOURY	20/04/2015 à 17h30	4,65	27,00	31,00	2,46	69,00	5,60	SAISON DES PLUIES
	21/04/2015 à 10h00	4,43	25,10	30,00	2,00	71,00	5,90	
	/	/	/	/	/	/	/	SAISON SECHE
	17/09/2015 à 11h00	5,20	29,50	30,00	1,60	38,70	2,94	
CRIQUE PARACOU	13/11/2015 à 11h00	6,40	25,60	34,00	6,50	40,00	2,80	SAISON SECHE
CRIQUE DES PERES	22/04/2015 à 17h30	5,17	25,80	33,00	18,16	74,80	6,40	SAISON DES PLUIES
	23/04/2015 à 12h00	4,84	26,20	/	11,30	61,90	5,00	
	17/09/2015 à 17h30	5,30	28,00	58,70	2,75	35,20	2,78	SAISON SECHE
	/	/	/	/	/	/	/	

Pour cette année, il n'y a pas de comparaison possible de la saturation en oxygène **entre le matin et le soir**.

Cependant, on observe que la saturation en oxygène est *généralement* plus élevée le soir. Cette observation se confirme au fil des années et peut résulter d'une forte activité photosynthétique, pouvant être dû au développement de la végétation aquatique. Soulignons également que la simple différence d'ensoleillement entre les deux saisons peut également avoir un impact sur la photosynthèse. Les ciels plus couverts de saison des pluies (nuages, orages) entraînent une baisse de photosynthèse et donc une production d'oxygène moindre.
[DR19]

En **saison des pluies**, comme les années précédentes, les eaux sont acides et faiblement conductrices ; les taux d'oxygène dissous sont comparables entre la Malmanoury et la Crique des Pères, aux alentours de 60~70% de saturation au matin.

En **saison sèche**, le taux de saturation en oxygène ne varie pas beaucoup sur la Malmanoury et est comparable à la Karouabo (35~45%). Cependant, la Crique des Pères a une saturation en oxygène dissous plus faible (35%).

Les mesures réalisées in situ sont représentatives de la « normalité » de la qualité des eaux guyanaises. Comme l'année précédente, les résultats des mesures physico chimiques en 2015 sont représentatifs des normales de saison pour une eau de rivière.

Sur la **crique Paracou**, les mesures en 2015 révèlent sont cohérent avec le milieu des petites masses d'eaux guyanaises, à savoir une zone peu profonde à courant faible avec un fond sableux.

On retiendra néanmoins, comparativement aux années précédentes, qu'en ce qui concerne le paramètre « Oxygène dissous », la crique Paracou est décrit comme une **eau qualité moyenne**. Ce constat est à relativiser au regard de l'unique série de résultats pris pour l'année 2015.

A la vue de tous les résultats des mesures réalisées sur l'eau en 2015, nous pouvons confirmer un « **bon état chimique des eaux** » des criques du CSG.

8.3.4. Résultats des analyses pour les sédiments des criques du CSG

A. Qualité des sédiments des criques Karouabo et Malmanoury

L'analyse porte sur l'**acidité** et la **composition métallique** des sédiments

Un total de 17 métaux a été analysé ; toutes les concentrations mesurées pour le Cadmium, le Cobalt, le Cuivre, le Sélénium et le Molybdène sont inférieures à leur limite de quantification.

Paramètres		Crique Karouabo (AM = Amont du pont ; AV = Aval du pont)					Crique Malmanoury (AM = Amont du pont ; AV = Aval du pont)				
		AM 1	AM 2	AM 3	AV 1	AV 2	AM 1	AM 2	AM 3	AV 1	AV 2
pH	Unité pH	4,90	4,80	5,60	5,30	5,00	4,9	5,6	5,3	5,3	5,3
Aluminium	g/Kg MS	6,60	13,10	6,20	4,90	3,90	15,4	14,9	13,4	16,7	17,7
Baryum	mg/Kg MS	23,5	27,3	25	25,3	23,9	25,5	26,3	25,6	24,3	24,9
Chrome	mg/Kg MS	14,9	13,8	8	0,1	6,1	21,5	21,1	16	9,1	19,4
Fer	g/Kg MS	2,77	2,47	3,2	5,6	4,1	9,4	18,8	3,9	4,5	3,5
Magnésium	g/Kg MS	0,39	0,33	0,11	0,14	0,11	1,61	2	0,59	0,67	0,55
Manganèse	mg/Kg MS	8	6	4	4	4	34	42	11	11	9
Nickel	mg/Kg MS	2,9	2,5	1,29	0,69	0,65	8,3	9,7	4,8	5,8	5,4
Plomb	mg/Kg MS	2,5	4,7	3	9,5	6,6	12,6	10,8	5,9	6,7	7,3
Potassium	g/Kg MS	0,4	0,32	0,16	0,26	0,2	0,78	1,15	0,39	0,46	0,33
Zinc	mg/Kg MS	20	6	5	5	5	19	23	8	8	7
Mercure	mg/Kg MS	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cadmium	mg/Kg MS	<0,19	<0,19	<0,2	<0,2	<0,19	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,19
Calcium	g/Kg MS	0,75	0,16	0,11	0,09	0,09	0,18	0,18	0,32	0,24	0,1
Cobalt	mg/Kg MS	0,58	0,48	0,3	0,2	0,19	2,37	2,93	0,98	1,19	1,02
Cuivre	mg/Kg MS	1,92	1,45	1,29	3,14	1,85	6	6	6	5	3,1
Molybdène	mg/Kg MS	0,29	0,29	0,2	0,2	0,19	0,3	0,88	0,29	0,3	0,37
Sélénium	mg/Kg MS	1,15	1,16	0,4	0,39	0,37	1,08	0,98	1,28	1,39	1,39

En ce qui concerne la **crique Karouabo**, on constate que :

- les teneurs du prélèvement AM1 sont globalement plus élevées (par comparaison aux valeurs obtenues en AM1 et en AM2),
- les valeurs sont généralement plus importantes en amont. Les teneurs en plomb, en cuivre en fer sont plus significatives en aval.

Pour la **crique Malmanoury**, on observe que :

- La station intermédiaire AM2 regroupe les hautes concentrations pour 10 des métaux analysés
- Les teneurs varient fortement d'un point de prélèvement à l'autre selon les paramètres

Globalement, les concentrations n'ont pas évolué de façon significative depuis 2014 ; elles restent très inférieures aux limites de qualité. **[DR18]** Certains paramètres sont relativement constants quel que soit le lieu de prélèvement comme par exemple le pH ou les concentrations en calcium, en cuivre ou en mercure. Ils sont représentatifs du fond géochimique naturel des criques du CSG. D'autres paramètres, tels que le Fer, l'Aluminium et le Manganèse démontrent une grande variabilité entre les différents points de prélèvements. Ils sont néanmoins constitutifs du milieu naturel.

Le tableau ci-après donne les valeurs moyennes (associées aux écarts types) obtenues pour chaque paramètre dans les deux criques échantillonnées. Les valeurs importantes d'écart type confirment la dispersion des valeurs pour un paramètre d'intérêt sur les différents points de prélèvement du transect ou au contraire, l'homogénéité quel que soit le point de prélèvement.

Tableau 26 : Moyenne (M) et écart type (δ) des concentrations obtenues pour les analyses des sédiments de la Malmanoury et de la Karouabo

Paramètre	Crique Karouabo		Crique Malmanoury	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
pH	5,12	0,29	5,28	0,22
Aluminium	6,94	3,23	15,10	1,48
Baryum	25,00	1,33	25,43	0,68
Calcium	0,24	0,26	0,23	0,07
Cadmium	0,19	0,20	0,20	0,20
Chrome	8,58	5,40	16,93	4,59
Cobalt	0,35	0,16	1,87	0,80
Cuivre	1,93	0,65	5,75	1,13
Fer	3,63	1,13	9,15	5,79
Magnésium	0,22	0,12	1,22	0,60
Manganèse	5,20	1,60	24,50	13,81
Mercure	0,20	0,00	0,20	0,00
Molybdène	0,23	0,05	0,44	0,23
Nickel	1,61	0,93	7,15	1,88
Plomb	5,26	2,56	9,00	2,59
Potassium	0,27	0,09	0,70	0,31
Sélénium	0,69	0,68	0,64	0,82
Zinc	8,20	5,91	13,00	6,66

B. Qualité des sédiments de la crique Paracou

Des mesures et prélèvements ont été effectués le 13 novembre 2015 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 17 métaux a été analysé, toutes les concentrations mesurées pour le Calcium, le Cadmium, le Chrome, le Cobalt, le Cuivre, le Magnésium, le Manganèse, le Mercure, le Molybdène, le Nickel, le Plomb, le Sélénium et le Zinc sont inférieures à leur limite de quantification.

Le tableau ci-après synthétise l'ensemble des résultats obtenus sur les 5 points de prélèvements, 3 en amont et 2 en aval du pont sur la Paracou. On peut préciser que les 5 substrats échantillonnés sont majoritairement sableux. Ce type de sédiment ne présente que peu de support pour une adsorption de métal qui se fixera préférentiellement sur des particules organiques. Les concentrations en métaux sont particulièrement basses au regard des résultats de 2014.

Pour chaque point échantillonné, les concentrations maximales de chaque métal analysé sont notés en **gras**.

Tableau 27 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les analyses de sédiments de la crique Paracou.

Paramètres		Crique Paracou				
		1	2	3	4	5
		Amont du pont			Aval du pont	
pH	Unité pH	6,1	6,1	6,1	5,8	6
Aluminium	g/Kg MS	960	1160	960	917	1012
Fer	g/Kg MS	167	73	69	77	81
Potassium	g/Kg MS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Baryum	mg/Kg MS	3,2	<2	<2	<2	<2
Chrome	mg/Kg MS	2	2	2	2	2
Manganèse	mg/Kg MS	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zinc	mg/Kg MS	2	2	2	2	2
Cadmium	mg/Kg MS	1	1	1	1	1
Cobalt	mg/Kg MS	<5	<5	<5	<5	<5
Cuivre	mg/Kg MS	<5	<5	<5	<5	<5
Mercure	mg/Kg MS	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	<0,2
Molybdène	mg/Kg MS	<2	<2	<2	2	<2
Nickel	mg/Kg MS	<2	<2	<2	<2	<2
Plomb	mg/Kg MS	<2	<2	<2	<2	<2
Sélénium	mg/Kg MS	<2	<2	<2	<2	<2
Calcium	g/Kg MS	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Magnésium	g/Kg MS	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15

On peut retenir que :

- les teneurs des prélèvements en Aluminium amont sont globalement plus élevées (par comparaison aux valeurs obtenues en aval) ;
- les concentrations maximales analysées en 2015 sont toutes inférieures ou égales à celles trouvées en 2014 ;
- les valeurs globales sont compatibles avec la qualité des eaux de Guyane, riches en Fer et Aluminium et faiblement acides.

Le tableau ci-après donne les valeurs moyennes (associées aux écarts types) obtenues pour chaque paramètre de la crique échantillonné en amont et en aval.

Tableau 28 : Moyenne (M) et écart type (δ) des concentrations obtenues pour les analyses des sédiments de la crique Paracou

Paramètre	Crique Paracou	
	M	δ
pH	6,02	0,12
Aluminium	1001,80	84,64
Fer	93,40	37,02
Potassium	0,10	0,00
Baryum	2,24	0,48
Chrome	2,00	0,00
Manganèse	0,20	0,00
Zinc	2,00	0,00
Cadmium	0,20	0,20
Cobalt	5,00	0,00
Cuivre	5,00	0,00
Mercure	0,20	0,00
Molybdène	2,00	0,00
Nickel	2,00	0,00
Plomb	2,00	0,00
Sélénium	2,00	0,00
Calcium	0,40	0,00
Magnésium	0,15	0,00

Au regard des résultats obtenues pour les analyses réalisées sur les métaux, l'**état environnemental** de la Paracou est jugé **bon**. Pour la qualité des eaux, telle que définie par la **Directive Cadre sur l'Eau**, le paramètre oxygène dissous (O₂ dissous) a été mesuré ; en 2015 la valeur en O₂ dissous est de 2.8 mg O₂/L, ce qui classe la **Petite Masse d'Eau** comme étant de **qualité moyenne**.

La concentration en **hydrocarbure** dans le milieu est inférieure à la limite de quantification.

Aucun impact des lancements SOYUZ n'est mis en évidence par les analyses de l'étude en 2015.

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

Les résultats d'analyse des campagnes de mesures en 2015 démontrent un bon état chimique des eaux des criques du CSG (Karouabo, Malmanoury). On note un état moyen de la qualité physico-chimique de la Paracou en 2015. Quel que soit la crique, les résultats sont globalement représentatifs des cours d'eaux guyanais. Ainsi, 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 et Malmanoury, un certain nombre de ces processus agiront sur les polluants générés par les lancements. La vase sédimentée dans le fond des marais ou en suspension, par les minéraux qu'elle contient, peut avoir, comme le sol, une certaine capacité à neutraliser les H^+ . Hors, le devenir des particules d'alumine et de l'aluminium dissous, déjà très présent dans le milieu, dépend essentiellement du pH.

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

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

8.4. Suivi de la faune aquatique des criques du CSG

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

8.4.1. Objectifs des mesures

Le but de cette étude 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.

Le bureau d'études et de recherche en environnement HYDRECO a réalisé le suivi annuel 2015 de la faune aquatique dans la zone du CSG, avec notamment l'étude de l'ichtyofaune, ainsi que les analyses d'aluminium dans la chair des poissons.

8.4.2. Lieux échantillonnés

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

- **la 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 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.
- **La crique Paracou** 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.

8.4.3. Résultats du suivi de la faune aquatique pour l'année 2015

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 29 : Tableau de synthèse des principaux résultats obtenus pour le suivi de la faune aquatique pour 2015.

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2015
<p>DESCRIPTION DE L'HABITAT</p>	<p>Les observations 2015 in situ ont permis de décrire l'habitat de chaque station. L'habitat des stations de suivi est dominé par une végétation marginale de type Palmier Bâche, <i>Mauritia flexuosa</i>. De nombreux « moucous-moucous » (<i>Aracea, Montrichardia arborecens</i>) sont présents le long des berges. Ces dernières sont soumises à une exondation plus ou moins fréquente selon les stations, en fonction des marées et des saisons. De même, sur chaque station se trouvent des bouquets d'Heliconia 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>En saison des pluies, la profondeur moyenne des 3 criques est comparable aux valeurs relevées les années précédentes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Crique des Pères : 5,3 mètres. ○ Karouabo : 5,0 mètres. ○ Malmanoury : 4,2 mètres <p>En saison sèche, une diminution de la hauteur d'eau est à noter sur la profondeur moyenne des criques.</p> <p>Concernant la station Paracou, on remarque une légère augmentation de la hauteur d'eau, et ce en saison sèche (60 cm contre 40 cm en 2014).</p> <p>Le suivi des paramètres physico-chimiques mesurés sur les trois stations en 2015 a mis en exergue des différences notables entre les deux saisons :</p> <ul style="list-style-type: none"> - En saison des pluies, comme les années précédentes, les taux d'oxygènes dissous sont comparables dans la Malmanoury et la Crique des Pères, aux alentours de 60~70% de saturation au matin. - En saison sèche, le taux de saturation ne varie pas beaucoup sur la Malmanoury et est comparable à la Karouabo (35~45%). Cependant, la Crique des Pères a une saturation en oxygène dissous plus faible (35%). <p>La station Paracou amont, située en limite des retombées de la trace de combustion du lanceur Soyouz a également été échantillonné en saison sèche.</p>

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2015
	<p>Ainsi, on retiendra principalement qu'en 2015, les variations saisonnières ont pu être remarqué au niveau des paramètres suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ La température ; celle-ci augmente naturellement en saison sèche, d'autant plus pour la station Karouabo du fait de son bouchon vaseux et des faibles hauteurs d'eau ; ▪ La conductivité ; celle-ci est également plus importante en saison sèche, notamment pour la station Crique des Pères ; ▪ Les bilans en oxygène qui sont plus faibles en saison sèche pour les stations Malmanoury et Crique des Pères ; <p>Ce phénomène de saturation en oxygène dissous peut être expliqué par un fort développement de la végétation aquatique qui engendre à son tour une forte activité photosynthétique.</p> <p>Dans le cas de la crique Karouabo, ce développement est particulièrement favorisé par la présence du bouchon vaseux qui limite les débits et participe à la création d'un milieu lentique, notamment en saison sèche où la hauteur d'eau étant plus basse. En outre, la simple différence d'ensoleillement entre les deux saisons peut également avoir un impact sur la photosynthèse donc le taux d'oxygène dissous.</p> <p>Une diminution du bilan en oxygène est observée lors des mesures <i>in situ</i> matinales : cette diminution fait passer dans la classe « état moyen » les stations Karouabo et Malmanoury.</p> <p>Les valeurs d'oxygène assimilées à un état écologique moyen peuvent être dues à l'influence du marnage à l'endroit des stations. Ces valeurs démontrent un écart par rapport à un cours d'eau strictement dulçaquicole en bon état écologique. La position aval des stations ne permet pas de faire la part de chose entre un potentiel impact anthropique et les conditions naturelles induites par le marnage.</p> <p>Pour rappel, en Guyane, le seuil limitant est de 2 mg/L (soit environ 27% de taux d'oxygène) ; seuil pour lequel les premiers troubles se font sentir chez les poissons.</p>

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2015
<p>PEUPELEMENTS DE POISSONS (Richesse et Diversité)</p>	<p>Concernant le nombre de captures ; en saison des pluies,</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sur la crique des Pères 69 individus représentant 19 espèces pour une biomasse de 17 kg ont été récoltés. L'abondance diminue légèrement, notamment en saison sèche. ▪ Sur la Karouabo, la valeur des effectifs a de nouveau diminué mais elle reste dans la moyenne communément mesurée, avec 22 poissons prélevés. Cette observation est également valable pour la biomasse, puisqu'elle est de 3 kg. ▪ Sur la Malmanoury, les captures atteignent 41 individus représentant 12 espèces pour plus de 18 kg de biomasse totale. Le nombre de poissons capturé est inférieur à ce qui a été mesuré précédemment. Cette baisse n'est cependant pas alarmante et reste proche de ce qui a été mesuré durant les années précédentes. De plus, la biomasse reste élevée, avec près de 19 kg échantillonné. <p>En saison sèche,</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sur la crique des pères, les captures sont en baisse par rapport à la saison sèche 2014, avec 61 poissons prélevés. Elles reviennent à des valeurs mesurées avant 2013. De plus, un total de 18 espèces a été dénombré avec une biomasse de 13 kg. Ces deux paramètres présentent également une baisse vis-à-vis de 2013 et 2014, mais ils restent supérieurs à ce qui était observé avant 2013. ▪ Sur la Karouabo, 95 individus, représentant 12 espèces et une biomasse de 16 kg, ont été capturés. Les valeurs de chacun des paramètres restent stables par rapport à 2014. L'abondance est dominée par <i>H. malabaricus</i>. ▪ Sur la Malmanoury 97 individus, représentant 13 espèces pour une biomasse totale de 46 kg, ont été capturés. Il est a noté que la richesse spécifique est en baisse par rapport à 2013 et 2014. Ce paramètre revient à des valeurs proches de 2011 et 2012. ▪ Concernant la Paracou, 335 poissons ont été récoltés, avec une biomasse de 406,3 g et une richesse spécifique de 17 espèces. Sur la station Paracou aval, ce sont 34 poissons qui ont été prélevés, pour une biomasse égale à 339,5 g. Ainsi, 13 espèces ont été dénombrées et parmi elles, 4 espèces ont seulement été prélevées sur Paracou aval. <p>En ce qui concerne la richesse,</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ La crique des Pères, 19 espèces en saison des pluies et 18 en saison sèche ont été prélevés. Ces résultats montrent une baisse de la richesse spécifique par rapport à 2013 et 2014, mais ils restent supérieurs à ceux observés avant 2013. ▪ La Karouabo reste faible, avec 7 espèces. En saison sèche, la richesse spécifique (13 espèces) reste dans la norme des années précédentes. De plus, le cortège d'espèces ne présente pas de particularités. ▪ La richesse spécifique de la Malmanoury en saison des pluies est de 12 espèces prélevés et de 13 en saison sèche. Ces résultats montrent une baisse de la richesse spécifique par rapport à 2013 et 2014, mais ils restent dans la moyenne de ceux observés avant 2013.

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2015
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pour la station Paracou en 2015, une forte hausse de la richesse spécifique est observable. Ceci est accompagné d'une augmentation de l'abondance. A l'inverse, la biomasse présente une baisse. <p>Concernant la diversité</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sur la crique des Pères, la diversité de Shannon et l'équitabilité restent relativement stables depuis 2006. Cependant, la saison des pluies 2013 présentait un pic important de l'indice de Shannon (4,0). Ce schéma est également observé en 2014 avec un indice de Shannon en saison des pluies égale à 3,8. Pour 2015, c'est un maintien de cet indice qui est observé en saison des pluies (3,57), puis une légère baisse en saison sèche (3,17). De plus, l'équitabilité ne change pas par rapport à 2014 et reste élevée. Cette observation montre que la répartition des espèces au sein de la population reste néanmoins équilibrée. ▪ Sur la Karouabo, le pattern observé de l'indice de Shannon depuis 2006 montre des variations saisonnières en faveur de la saison sèche. Ce dernier était fortement marqué en 2012. L'année 2015 fait suite à cette observation. En saison des pluies, l'indice de Shannon a une valeur de 2,5. Son équitabilité présente un pic par rapport à 2012, 2013 et 2014 (2015 : 0,90 ; 2014 : 0,78 ; 2013 : 0,88 ; 2012 : 0,81). En saison sèche, l'indice de Shannon (2,8) et l'équitabilité (0,78) suivent les tendances observées depuis 2012. Quelle que soit la saison, alors que l'équitabilité est proche de celle de la Crique des Pères, l'indice de Shannon est plus faible. ▪ Sur la Malmanoury, l'équitabilité est stable quelle que soit la saison et l'année. Pour l'année 2015, ce facteur n'évolue pas et reste élevé (saison des pluies : 0,85 ; saison sèche 0,81). Pour l'indice de Shannon, une légère baisse est observable par rapport à 2014. Cependant, cet indice reste supérieur à ceux calculés les années antérieures à 2014 (saison des pluies : 3,04 ; saison sèche 3,01). ▪ Enfin sur la Paracou, sur la totalité de la station (Paracou et Paracou aval), l'indice de Shannon est de 3,28, avec une équitabilité de 0,75. Il est de nouveau en hausse par rapport à 2014 (Indice de Shannon : 2,81 ; Equitabilité : 0,67) et se rapproche de nouveau aux valeurs mesurées en 2013 (Indice de Shannon : 3,45 ; Equitabilité : 0,81). Ceci témoigne d'une meilleure répartition des individus au sein des espèces.
<p>PEUPELEMENTS DE POISSONS (analyse des contenus stomacaux, structure trophique et anatomo-pathologie)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dans la Crique des Pères, est la seule station permettant l'observation de toutes les guildes alimentaires. Il est à noter que la guildes des omnivores domine très fortement cette population (saison des pluies : 77% ; saison sèche : 58%). Néanmoins, la saison sèche présente une répartition des guildes plus équilibrée que la saison des pluies. ▪ Au sein de la Karouabo, trois guildes sont présentes quelle que soit la saison. Ainsi, en saison des pluies, les herbivores et les piscivores représentent respectivement 45% et 40% de la population. La troisième guildes observée est celle des omnivores (15%). En saison sèche, les tendances sont inversées entre les piscivores et les herbivores, qui représentent respectivement 45% et 31% de la population. Les omnivores sont quant à eux retrouvés dans 24% de la population. ▪ Dans la Malmanoury, deux guildes alimentaires dominant en saison des pluies : les omnivores (44%) et les piscivores (39%). Cependant, la population en saison sèche est principalement composée de piscivores (91%). Chacune de ces espèces est respectivement piscivore et omnivore. Un grand déséquilibre dans la répartition des guildes alimentaires est donc observé sur cette station.

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2015
	<p><i>Il est important de rappeler que tous ses résultats sont à modérer. En effet, une forte proportion des espèces prélevées dans chacune des stations, à chacune des saisons, a un régime alimentaire inconnu</i></p> <p>En cette année 2015, trois espèces de carnivores ont présenté des infestations par des vers nématodes et sur les deux saisons.</p>
<p>ANALYSE DE L'ALUMINIUM DANS LE MUSCLE DES POISSONS</p>	<p>Pour la campagne de prélèvement 2015, trois guildes alimentaires sont représentées :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Les piscivores, avec <i>Acestrorhynchus falcatus</i>, <i>Hoplias malabaricus</i> et <i>Plagioscion squamosissimus</i> et <i>Sciades couma</i>. Seule cette guilda comporte suffisamment d'individus pour être analysées (87 poissons). De plus, elle présente sur chacune des trois stations ; ✓ Les herbivores (<i>Leporinus gosseii</i>), qui ont uniquement été prélevés sur la Karouabo ; ✓ Les omnivores (<i>Triporthus brachipomus</i>), qui ne sont présents que sur la Crique des Pères. <p>En outre, on constate qu'aucun taxon commun à toutes les stations n'a été capturé durant les deux saisons. En conséquence, et malgré des données manquantes seulement deux des trois taxons habituellement suivis seront étudiés pour le suivi de l'évolution des taux d'aluminium dans le temps.</p> <p>Il s'agit des deux piscivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Hoplias malabaricus</i> qui est présent sur la Karouabo et la Malmanoury durant les deux saisons ; ✓ <i>Acestrorhynchus falcatus</i> capturé sur toutes les stations. <p>Une première analyse des concentrations d'aluminium entre les stations quelles que soient les saisons ne montre pas de différence significative de la concentration en aluminium des stations.</p> <p>Les trois stations sont comparables entre elles <i>via</i> les guildes alimentaires. En effet, les piscivores sont présents sur les trois sites. Les deux autres guildes n'étant pas représentées dans chacune des stations, il n'est pas possible de réaliser une comparaison pertinente.</p> <p>Ainsi, les trois sites ne présentent pas de différences significative de la concentration en aluminium au sein de leurs piscivores.</p>

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2015
<p>DIVERSITE ET STRUCTURE DES PEUPEMENTS D'INVERTEBRES AQUATIQUES</p>	<p>Au total, 2710 individus répartis en 20 taxons ont été récoltés en 2015.</p> <p>Pour la saison des pluies,</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ il a été recensé 1288 individus répartis en 17 taxons. <p>Pour la saison sèche,</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ 1422 individus répartis en 12 taxons ont été récoltés. <p>La liste taxonomique ci-dessus est caractéristique des rivières abritant une biodiversité assez médiocre. À titre de comparaison, certains milieux en Guyane affichent des listes faunistiques de l'ordre de 30 taxons.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quelle que soit la station, l'abondance la plus importante est relevée sur la Crique des Pères en saison sèche avec 1168 individus récoltés et 641 en saison des pluies. Ensuite, nous trouvons la Malmanoury en saison des pluies (554 individus) et en saison sèche (181 individus). Sur la Karouabo, l'abondance est plus importante en saison des pluies (93 individus) qu'en saison sèche (73 individus). ▪ Concernant la Paracou, 568 individus répartis en 14 taxons ont été récoltés en saison sèche ; l'abondance est en baisse par rapport à l'année 2014 où 1651 individus avaient été récoltés. La liste taxinomique associée à cette crique témoigne d'une biodiversité médiocre. <p>Les taxons n'ont pas toujours pu être déterminés jusqu'au niveau taxonomique familial ; soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les connaissances ne permettaient pas une identification plus aboutie, • les individus n'avaient pas atteint le stade de maturité nécessaire, • les individus étaient trop dégradés pour observer les critères de classification. <p>En saison des pluies, les structures observées témoignent d'un peuplement régulièrement observé en Guyane. Les insectes dominent la communauté des trois stations échantillonnées. Ils contribuent au minimum à plus de 75% à la formation du peuplement. Ils en représentent même plus de 90 % dans Malmanoury.</p> <p>Cette caractéristique est naturelle dans ce type de milieu et ne traduit pas de perturbation.</p> <p>En revanche, en saison sèche, hormis pour la Malmanoury (pour laquelle les insectes représentent 70% du peuplement), les structures de la Crique des Pères et de la Karouabo témoignent d'un fort déséquilibre. En effet, les principaux indicateurs de pollution organique et/ou de déficit en oxygène dissous comme les annélides (Oligochètes) sont retrouvés dans des proportions importantes (plus de 30% dans la Crique des Pères et presque 50% dans la Karouabo).</p> <p>Pour conclure, les invertébrés aquatiques présentent globalement les mêmes résultats que les années précédentes.</p> <p>La Malmanoury, bien qu'elle subisse une dégradation ces dernières années, affiche une bonne qualité et ses habitats sont nombreux et fortement biogènes. Au contraire de la Crique des Pères, dont la qualité fluctuante est surtout le résultat de sa typographie. En effet, cette crique est partagée entre des milieux forestiers, des milieux soumis à une hydro-morphologie estuarienne et des zones fortement anthropisées (agriculture).</p> <p>La Karouabo, située dans une zone déjà fortement anthropisée, possède quant à elle la faculté de s'améliorer lors de périodes favorables, ou du moins, semble moins prégnante que les deux autres criques aux conditions naturelles défavorables. En effet, les dégradations observées sur la Malmanoury et la Crique des Pères attribuées aux conditions climatiques de ces dernières années impactent beaucoup moins le fonctionnement lentique de la Karouabo.</p>

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2015
QUALITE BIOLOGIQUE	<p>La qualité biologique des criques est définie au moyen du score moyen des éphéméroptères guyanais (SMEG) qui 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>Le calcul du SMEG sur les différentes criques a donné les résultats suivants en 2015 :</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ En saison des pluies, <ul style="list-style-type: none"> ○ La Crique des Pères prend la classe d'intégrité classe III *, ○ La Karouabo prend la classe d'intégrité classe V *, ○ La Malmanoury est, quant à elle a la classe III * depuis 2011. ❖ En saison sèche, <ul style="list-style-type: none"> ○ La Crique des Pères prend la classe d'intégrité classe V. ○ La Karouabo prend la classe d'intégrité classe VI *, ○ La qualité de la Malmanoury la place en classe IV * après avoir été en classe II* en 2013. ❖ Concernant la Paracou sa classe d'intégrité est de IV* pour toutes les saisons <p>Globalement, les notes de SMEG sont plus élevées en saison des pluies. Depuis 2011, l'abondance dans la Crique des Pères a plutôt tendance à augmenter, passant de presque rien en octobre 2011 à plus de 1000 individus en septembre 2015. En revanche, sur la Malmanoury et la Karouabo cette paramètre ne cesse de diminuer, près de 1000 individus en 2011 à moins de 100 actuellement. La richesse des trois stations reste quant à elle relativement stable, comprise entre 7 et 14 taxons.</p> <p>En 2015, une baisse de cette qualité est observée sur la crique Paracou. Ceci témoigne d'une crique « exposée à des impacts anthropiques aigus et soutenu ». Cependant, les outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau sont régulièrement réévalués et actuellement en cours d'amélioration.</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

8.4.4. Conclusions générales du suivi de la faune aquatique pour 2015

Pour l'année 2015, peu de changements sont observés par rapport aux années précédentes.

A. Les poissons des criques du CSG

L'intérêt de réaliser des prélèvements lors des deux principales saisons permet de déceler des différences dans le fonctionnement des criques. Il permet également de cerner au mieux les évolutions des populations de poissons,

En **2015**, la **faune piscicole** de la **Karouabo** présente la plus grande **stabilité**, même si elle est aussi marquée par une richesse spécifique faible. C'est en revanche sur la **Crique des Pères** que le nombre d'espèces est le plus élevé. De plus, la **Malmanoury** ne montre pas de changement notable.

En terme de **gilde trophique**, la **Crique des Pères** présente la structure la plus diversifiée et tous les types d'alimentations y sont représentés. A l'inverse, la **Malmanoury** et la **Karouabo** sont les moins diversifiées. En effet, seulement deux guildes sont représentées en saison sèche sur la Malmanoury. La Karouabo conserve trois guildes alimentaires. Malgré ces faibles représentations des guildes alimentaires, une forte stabilité intersaison est globalement observée.

Concernant l'**ichtyofaune** de la **Paracou** en **2015**, une augmentation de l'indice de Shannon et de l'équitabilité est observable par rapport à 2014. Ces deux paramètres reviennent à des valeurs proches de 2013. De plus, la richesse spécifique et l'abondance augmentent par rapport aux deux années précédentes, à l'inverse de la biomasse. Il est important de rajouter que **5 espèces déterminantes ZNIEFF** ont été identifiées sur cette station. D'après ces paramètres, cette station présente une amélioration de la qualité.

Enfin, l'ensemble des concentrations d'aluminium de cette année semble suivre les tendances de 2013 et 2014, qui présentaient déjà des signes de stabilité. Cependant, aucune étude sur le comportement d'espèces locales face à ce métal n'ayant été faite à ce jour, il sera toujours difficile d'estimer précisément les effets de l'aluminium sur les communautés ichtyologiques.

Néanmoins, l'absence de relation entre le poids des poissons et le taux d'aluminium dans les muscles des poissons, montre que ce composé n'est pas bioaccumulable (contrairement au mercure). Aussi, l'aluminium dans la chair des poissons ne semble pas devoir être un facteur d'inquiétude en termes d'écotoxicité. L'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) préconise une valeur limite de 60 mg d'aluminium absorbé par jour. Il faudrait consommer 15 kg de poissons issus des criques échantillonnées par jour (le taux maximum rencontré étant de 18,4 µg/g de matière sèche) pour atteindre le seuil de l'OMS.

Par ailleurs, le fait qu'il n'existe pas de différence notable de concentrations entre les 3 criques soumises aux retombées des lanceurs Ariane 5 et VEGA, nous indique que la « contamination » d'aluminium n'est pas localisée mais *généralisée*. Elle n'est, par conséquent, pas attribuable aux lancements Ariane 5, VEGA. Elle est propre à l'environnement naturel guyanais.

B. Les invertébrés aquatiques des criques du CSG

En 2015, les invertébrés aquatiques présentent globalement les mêmes résultats que les années précédentes. Les résultats obtenus au SMEG témoignent de la richesse et de la bonne qualité des milieux.

En effet, la crique **Malmanoury**, affiche une **bonne qualité et ses habitats sont nombreux** et fortement **biogènes**. La **Karouabo**, située dans une zone déjà fortement anthropisée, possède quant à elle la faculté de s'améliorer lors de périodes favorables. Ce milieu lentique, maintenu par l'existence d'un bouchon vaseux semble moins sensible que les autres criques aux conditions naturelles/climatiques défavorables.

Concernant la crique **Paracou**, une baisse de la qualité est observée en 2015. Bien que les classes d'intégrité ou de qualité du SMEG soient en cours de réévaluation, le score obtenu traduit cette année une crique « exposée à des impacts anthropiques aigus et soutenus ».

Néanmoins, au regard de l'ensemble de nos résultats, **aucune dégradation attribuable aux activités de lancements** n'a été décelé sur les invertébrés aquatiques du CSG.

8.5. Suivi de l'avifaune du CSG

La surveillance des effets sur l'environnement des activités au sol comprend aussi « le suivi général des conséquences éventuelles **des retombées en alumine sur l'avifaune** et sur **l'accumulation de substances chimiques**, dont a minima l'aluminium, dans les espèces d'oiseaux nicheurs » [DA1].

8.5.1. Objectifs des mesures

Les mesures mises en œuvre pour cette étude ont pour objectif d'évaluer l'impact des retombées des produits issus de la combustion de propulseurs des lanceurs ARIANE 5 et VEGA ainsi que du lanceur Soyouz.

Cette étude s'est ainsi orientée sur :

- le déploiement d'un parc de nichoirs pour le contrôle de la dynamique des populations et des cycles de reproduction des espèces d'oiseaux
- l'observation des colonies d'ibis et autres échassier du littoral du CSG recherche de lésions anatomo-pathologiques sur les poissons,
- la détection d'une éventuelle accumulation de substances chimiques (analyse de l'épaisseur des coquilles d'œufs)..

Le laboratoire Environnement ECOBIOS a réalisé le suivi annuel **2015** de l'avifaune dans la zone du CSG, avec l'observation des ibis et autres échassiers nichant dans les mangroves du littoral de la base.

8.5.2. Le suivi du parc de nichoirs

Après plus de 10 ans de collecte des données sur l'étude du taux d'alumine résiduel retenue par les plumes d'oiseaux (plumes couvrantes et couvertes), un nouveau protocole d'étude a été mis en place en 2007.

Inspiré des recherches menées sur l'impact des pluies acides en Europe, en Amérique du Nord, en Angleterre et au Pays-Bas, ce protocole est basé sur la mesure de l'épaisseur des coquilles d'œufs et nécessite pour ce faire, de recueillir un maximum d'échantillons de ponte.

En effet, l'accroissement de teneur en aluminium assimilable dans l'environnement provoquerait une réduction de la disponibilité du calcium assimilable, et par voie de conséquence entraînerait une réduction de l'épaisseur de la coquille des œufs produits par les oiseaux.

Cette surveillance n'a pas pu être réalisée en 2015 au Centre Spatial Guyanais.

8.5.3. Suivi de la dynamique des peuplements

Le taux d'occupation est variable d'un site à l'autre, mais il tend à se renforcer avec le temps. En effet, on constate une fidélisation des couples. Ce constat est confirmé par l'accession à la reproduction de générations nées dans les nichoirs et le contrôle de l'invasion par les guêpes ou les fourmis.

Le cas échéant, l'ingénieur écologue du laboratoire déplace les nichoirs qui semblent ne pas convenir, jusqu'à trouver l'emplacement le plus adéquat aux oiseaux du secteur. Ainsi, le parc de nichoir est progressivement optimisé pour permettre la nidification d'un plus grand nombre de couples tout au long de l'année.

Cette surveillance n'a pas pu être réalisée en 2015 au Centre Spatial Guyanais.

8.5.4. Suivi de la population nicheuse des Ibis rouges sur le littoral de la base spatiale

Ce volet de l'étude **[DR20]** a pour objectif de surveiller les populations d'ibis et d'ardéidés vivant dans les habitats côtiers de la base spatiale.

Comme les années précédentes, la saison de reproduction de la population d'ibis rouges a été suivie sur la section littorale du CSG ; à savoir entre l'estuaire de la rivière de Cayenne (Macouria) et l'estuaire du Sinnamary.

Au moyen de survol par hélicoptère, l'ornithologue réalise des observations lui permettant de :

- Suivre la dynamique côtière, c'est-à-dire l'évolution des bancs de vase et des palétuviers du littoral du CSG – siège de vie et de reproduction des Ibis rouges et autres échassiers
- Suivre l'évolution de la population nicheuse d'ibis rouges et des effectifs reproducteurs selon cette dynamique
- Suivre l'évolution des autres grands oiseaux de rivage associés sur la frange littorale du CSG,
- Localiser géographiquement l'implantation de la colonie.



Figure 9 : Vol d'Ibis rouges sur le littoral du CSG, Olivier TOSTAIN, 2015

Le survol en hélicoptère, conduit le 24 juin 2015, a permis de confirmer l'**implantation des colonies connues**, mais aussi de mesurer l'**évolution des habitats côtiers** en fonction de la dynamique littorale.

En outre, la façade maritime de la base spatiale se distingue par la présence de nombreux **îlots rocheux**, plus ou moins végétalisés et plus ou moins émergés selon les marées. Ces îlots forment un **écosystème cohérent permettant un support fonctionnel** aux oiseaux locaux ou migrateurs qui exploitent les ressources alimentaires des vasières et des eaux peu profondes côtières.

Les principales conclusions de cette étude sont synthétisées selon trois grands axes dans le **Tableau** ci-après.

Tableau 30 : Tableau de synthèse des résultats du suivi de la colonie d'échassiers et des écosystèmes littoraux du CSG pour l'année 2015

PARAMETRES SUIVIS	RESULTATS DE L'ETUDE ECOBIOS POUR L'ANNEE 2015
SUIVI DE L'EFFECTIF REPRODUCTEUR DE LA COLONIE D'IBIS ROUGE ET D'ARDEIDES	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Colonie la plus importante en terme d'effectif de grands échassiers de rivage en Guyane française (1900 couples)
LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE LA COLONIE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Implantation occasionnelle d'une petite population d'ibis sur la côte de Macouria (100 couples) ; ▪ Implantation de part et d'autre de l'estuaire du Sinnamary sur deux îles mangroves (1800 couples) ; ces deux îlots sont le siège de la grande colonie en 2015. ▪ Présence systématique de Spatules roses (15 couples) associés aux colonies mixtes d'ardéidés et d'ibis sur les deux sites de Macouria et de Sinnamary ▪ La colonie jumelle installée en 2014 en rive droite de l'estuaire du Sinnamary ne semble plus active en 2015.
ÉVOLUTION DES ESPACES NATURELS LITTORAUX	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditions environnementales toujours favorables aux colonies : <ul style="list-style-type: none"> • La consolidation du banc de vase sur la Pointe Charlotte se poursuit et se traduit par l'extension d'une jeune mangrove, juste à l'ouest des battures formant les îlots Koroni ; • Les vases continuent de s'étendre loin au large depuis les îlots Koroni jusqu'à la Roche Agave et la mangrove se développe sur les secteurs exondés jusqu'à un premier exutoire du réseau de drainage des savanes du CSG, la Crique Pradine ; <div style="text-align: center;">  </div> <p align="center">Figure 10 : Roche Agave, Olivier TOSTAIN, 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le banc de vase se poursuit également vers l'ouest en direction des Roches Canutes au large et à l'ouest de l'îlot Karouabo • De la crique Léonard jusqu'à l'embouchure de la crique Karouabo, le littoral est encore constitué d'une belle plage appliquée soit sur l'ancien cordon dunaire, soit sur une étroite frange de mangrove résiduelle dégradée. • A l'ouest de la crique Karouabo, une plage continue de se constituer par la prolongation du sable ;

- A l'ouest de la crique Malmanoury, le cordon sableux poursuit son extension ; la grande plage à ipomées, et le chalutier échoué, sont toujours en place ;



Figure 11 : Plage à ipomée à l'ouest de l'estuaire de la Malmanoury,
Olivier TOSTAIN 2015

- Après l'épuisement de la plage, la mangrove fortement érodée se poursuit jusqu'à la Crique Crevasse, exutoire des marais à *Rhizophora* rabougris au nord de Soyuz ;
- Au droit des Roches Blanches et jusqu'à l'ouest de l'île Verte, la mangrove présente toujours une marge érodée en front de mer ;
- Large extension de la mangrove à l'ouest de l'île verte, et formation de lagunes dans des dépressions inondables où les palétuviers disparaissent peu à peu pour laisser place à des plans d'eau libre ;
- Au-delà de l'île verte et au nord de la Route de l'Anse, la mangrove s'étend dans l'une de ses plus vastes expansions en Guyane ;
- A l'extrémité occidentale de l'aire de surveillance, la pointe poursuit son avancée en rive droite de l'estuaire du Sinnamary et permet d'accueillir des couples d'ibis rouges ;



Figure 12 : Avancée en rive droite de l'estuaire du Sinnamary,
Olivier TOSTAIN, 2015

- Les vasières bordant l'ensemble d'îlots se trouvant en rive gauche de l'estuaire du Sinnamary, ainsi qu'en rive droite, sont particulièrement favorables aux ardéidés et spatules grâce à l'abondance des rigoles d'écoulement et à la présence des petites mares entourées de massifs de Spartine et de cypéracées.
- On y trouve aussi des canards (*Anas bahamensis*) et de nombreux limicoles.



Figure 13 : Des canards et de nombreux limnicoles illustrent la biodiversité de de l'estuaire du Sinnamary, Olivier TOSTAIN, 2015

Le bilan de la saison de reproduction de 2015 sur les Battures de Malmanoury, conduit à la mi-juin, a montré un déficit conséquent d'effectifs par rapport aux années précédentes, sans doute causé par des **déprédations volontaires d'origine humaine**.

La présence de cadavres de **sternes** adultes et de nombreux **œufs** cassés ou abandonnés (îlot cactus n° 3) témoigne d'**actes de braconnage** ayant sérieusement affecté la saison de nidification en 2015, et tout particulièrement pour les grandes sternes.



Figure 14 : *Thalasseus aculeatus eurygnathus* « Sterne de Cayenne » nichant à l'ombre des palétuviers, Olivier TOSTAIN,

Ces dernières, **Sternes de Cayenne** et **Sternes royales**, en ont effet été réduites à former une micro colonie résiduelle (5 et 15 couples respectivement) retranchée sous le couvert du petit bosquet de palétuviers de « l'îlot palétuvier » des Battures de Malmanoury, une situation tout à fait inhabituelle.



En outre, la situation des **Sternes fuligineuses** *Onichoprion fuscatus* n'apparaît pas meilleure, puisque seuls 3 individus ont pu être observés, semblant traduire une quasi désertion de la colonie.

Les **Mouettes atricilles** ont manifestement mieux résister à l'agression du fait de leur dispersion dans les massifs de cactus, pour un total d'environ 110 couples nicheurs.

Figure 15 : Sternes fuligineuse
Onichoprion fuscatus, Olivier TOSTAIN,
2015

A noter également le retour de quelques couples d'ardéidés nicheurs au coeur des massifs de Cactusierge, avec cinq (5) nids d'**Aigrette neigeuse** (*Egretta thula*), et un (1) nid d'**Aigrette bleue** (*Egretta caerulea*).

On notera l'importance primordiale de l'ensemble de ces rochers en tant que site d'alimentation à marée basse pour trois espèces de limicoles migrateurs : le Bécasseau sanderling, le Tournepierre, et surtout le **Bécasseau maubèche** dont la population qui transite en Guyane vers ses principaux quartiers d'hivernage de Patagonie est aujourd'hui menacée de disparition.



Figure 16 : Prises de vues des battures de la Malmanoury, Olivier TOSTAIN, 2015



Figure 17 : Mouettes
atricilles, Olivier

Le recensement effectué à la mi-juin 2015, au cœur de l'estivage, a montré la présence de plus de **58 Bécasseaux maubèches**, **148 Tournepierres**, et **67 Bécasseaux sanderling**, ce qui témoigne de l'importance du secteur pour ces espèces. Lors des pics migratoires de fin août- début septembre, les effectifs peuvent aussi dépasser plusieurs centaines d'individus, donnant au littoral de la base spatiale une importance d'ordre internationale.

Malgré l'échec de la reproduction en 2015, les Sternes de Cayenne, *Thalasseus (acuffavidus) eurygnathus*, et Sternes royales (*Thalasseus maximus*) se regroupent par centaines sur les battures de Malmanoury.

8.6. Suivi du patrimoine végétal du CSG

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

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

- ✓ **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'évolution des espèces représentatives**, grâce à l'observation périodique des écosystèmes leur (quantification de repousse...).

Concernant l'Ensemble de Lancement Soyuz, une spécificité est à retenir sur l'espèce végétale protégée *Stachytarpheta angustifolia* **[DA02]**, pour laquelle une stratégie de protection et de suivi a dû être mise en place suite à la caractérisation initiale des stations.

8.6.1. Mesures d'impact sur la végétation

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

A. Objectif du suivi

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.

Les paramètres recherchés sont représentés dans le tableau ci-contre.

Pour l'année 2015, deux (2) campagnes de mesures ont eu lieu.

Elles ont été menés pour :

- La **saison des pluies**, à l'occasion du vol **A223** (Mai) ;
- La **saison sèche**, à l'occasion du vol **A227** (Novembre).

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

Tableau 31 : Ensemble des paramètres de l'analyse sur la végétation

B. Mesures des retombées

Cinq (5) bacs ont été disposés en champ proche sous le couvert végétal :

- Au niveau du chemin de ronde de la ZL3
- Derrière le stockage de LH₂ (CP04).

En champ lointain, cinq (5) autres bacs ont été disposés sous le couvert végétal :

- Sur le parking de l'ancienne Route Nationale N°1, à une distance d'environ 1,6 kilomètre au nord-ouest du pas de lancement (CL08).

La pose et le retrait des bacs ont été effectués dès les premières précipitations ayant suivi les lancements.

C. Résultats d'analyses

Les résultats obtenus en champ proche CP04 (Chemin de ronde ZL3, Intersection entre zone 49 et 48) sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 32 : Résultats obtenus pour les pluviollessivats pour les lancements A223 et A227 en champ proche (CP04)

ECHANTILLON		RESULTATS INSTITUT PASTEUR DE GUYANE							
		Al (mg/l)	Cl (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	pH (unité pH)
2 2 3	1	5,68	10,77	2,16	0,5	0,91	1,32	52	4,35
	2	5,16	10,57	2,11	0,5	0,62	1,11	57	4,2
	3	5	13,59	2,47	0,5	0,5	1,03	68	4,15
	4	8,43	13,84	2,51	0,5	0,6	1,02	67	4,2
	5	6,24	10,53	1,91	0,5	0,59	1,09	55	4,25
	Moyenne	6,10	11,86	2,23	0,50	0,64	1,11	59,80	4,23
	Ecart type	1,39	1,70	0,25	0,00	0,16	0,12	7,26	0,08
	Nombre de mesures	5	5	5	5	5	5	5	5
2 2 7	1	18,41	149,93	46,11	3,08	7,32	4,44	556,00	4,24
	2	18,63	124,97	39,43	2,50	7,70	3,65	555,00	4,25
	3	17,13	135,79	42,58	2,71	9,01	3,97	557,00	4,26
	4	20,17	137,52	42,12	2,72	8,20	3,84	556,00	4,25
	5	18,88	136,20	41,15	2,92	8,35	3,83	561,00	4,19
	Moyenne	18,64	136,88	42,28	2,79	8,12	3,95	557,00	4,24
	Ecart type	0,97	7,93	2,20	0,20	0,58	0,27	2,10	0,02
	Nombre de mesures	5	5	5	5	5	5	5	5

La lecture des résultats nous indique une forte dispersion entre les échantillons récoltés en champ proche. On rappelle que les 5 capteurs ont été placés au point CP04 soit à une distance de 445 m du pas de tir (axe carneau). Les disparités sont observées en particulier les ions chlorures et en aluminium, bien que les valeurs restent cohérentes avec les mesures de pH et de conductivité. Seul le paramètre pH est quasi constant en champ proche et révèle une légère acidité, justifiée par l'apport en ions chlorures.

L'impact des retombées du lancement sur la végétation est modéré en champ proche.

Les résultats obtenus en champ lointain CL08 (Parking ancienne RN1) sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Tableau 33 : Tableau des résultats obtenus pour les pluviollessivats pour les lancements VA223 et VA227 en champ lointain (CL08)

		RESULTATS INSTITUT PASTEUR DE GUYANE							
ECHANTILLON		Al (mg/l)	Cl (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Conductivité à 25°C (µS/cm)	pH (unité pH)
2 2 3	1	0,13	2,53	0,98	0,65	2,45	1,48	35	5,95
	2	0,25	1,19	0,9	0,5	1,6	0,93	16	5,9
	3	0,02	0,99	0,98	0,5	1,23	0,82	11	5,9
	4	0,25	1,37	0,9	0,5	1,21	0,95	14	5,55
	5	0,38	1,55	1	0,5	1,71	1,06	16	5,85
	Moyenne	0,21	1,53	0,95	0,53	1,64	1,05	18	5,83
	Ecart type	0,12	0,54	0,04	0,06	0,45	0,23	8	0,14
	Nombre de mesures	5	5	5	5	5	5	5	5
2 2 7	1	0,04	5,31	1,13	<0,5	4,78	2,58	40,00	6,33
	2	0,02	3,95	1,61	<0,5	2,56	1,84	29,00	6,14
	3	0,02	3,52	1,35	<0,5	4,10	1,70	30,00	6,31
	4	0,02	4,56	1,43	0,63	3,69	1,64	33,00	6,02
	5	0,03	4,33	1,38	0,51	3,02	1,91	29,00	6,15
	Moyenne	0,03	4,33	1,38	0,57	3,63	1,93	32	6,19
	Ecart type	0,01	0,60	0,15	0,06	0,78	0,34	4	0,12
	Nombre de mesures	5	5	5	5	5	5	5	5

Pour l'ensemble des paramètres, on constate que les teneurs restent constantes et homogènes. Les valeurs de pH sont constantes et faiblement acides. Certaines valeurs mesurées sont proches des seuils de quantification. Les retombées chimiques sur la végétation sont donc négligeables en champ lointain. Il n'y a pas de distinction entre l'apport en ions chlorures et en aluminium issu du lancement et celui du milieu naturel.

D. Conclusions

Pour chaque série d'échantillons, le pH mesuré est constant. De fortes conductivités ont été mesurées en champ proche, dues aux fortes teneurs en ions chlorures.

Nota : Plus les valeurs de pH sont élevées, plus les valeurs de conductivité sont faibles. Les résultats obtenus pour ces deux paramètres sont ainsi cohérents les uns par rapport aux autres

On retiendra globalement que les **teneurs en ions fluctuent** de façon plus ou moins importante en **champ proche**. Tandis qu'en **champ lointain**, les résultats obtenus sont **constants**. On peut en déduire que l'impact des retombées chimiques sur la végétation est **modéré** en **champ proche** et **négligeable** en **champ lointain**.

Les retombées chimiques sur la végétation sont, par conséquent, fortement dépendantes :

- de la pluviométrie ;
- de la direction des vents ;
- de la localisation des bacs à eau.

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

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

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

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

Le programme de sauvegarde du *Cyrtopodium cristatum* des savanes du CSG, tel qu'il a été décrit les années précédentes, n'a pas pu être réalisé en 2015.



Figure 18 : Numérotation d'un pied *Cyrtopodium*

Néanmoins, il est intéressant de rappeler que l'Office National des Forêts assure, depuis 50 ans, la surveillance globale du patrimoine naturel de la base spatiale au travers d'un plan de gestion.

Parmi ces missions, l'ONF réalise une veille environnementale des « *Cyrtopodium* » localisés au niveau du pierrier de Diane sur le sentier Ebène.

L'espèce ayant pu être observé, nous pouvons en déduire que les travaux d'entretien réguliers sur le sentier ont permis de maintenir les floraisons en saison sèche, ce qui s'est traduit par une stabilisation du taux de fécondation.

8.6.3. Programme de surveillance de l'espèce végétale *Stachytarpheta angustifolia*



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

Avant cette découverte, *Stachytarpheta angustifolia* n'avait été récoltée que trois (3) fois en un siècle et sur des secteurs différents.

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

En 2015, la visite de l'IRD a permis de confirmer le maintien de l'espèce dans la zone de l'ELS conformément aux obligations règlementaires.

Figure 19 : *S. angustifolia*

9. CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG EN 2015

Les principales conclusions à retenir du bilan des plans de mesures environnement 2015 sont rappelées ci-après.



VS12 – CNES/CSG



VA226 – CNES/CSG



VV05 – CNES/CSG

9.1. Par rapport aux activités liées aux lanceurs

9.1.1. 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 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 en temps réel (réseau CODEX - mobile) a permis de suivre les concentrations en acide chlorhydrique au niveau du champ proche et du champ lointain. Aucune concentration notable n'est à retenir, hormis une détection ponctuelle en champ proche, 30 minutes environ après le décollage de la mission VA225. Cette mesure est écartée de l'interprétation compte tenu de l'heure à laquelle la mesure a été prise et de l'emplacement de l'analyseur (axe du carneau – 277 m de la ZL3).

En général, lorsque des concentrations notables sont mesurées en champ proche, celles-ci s'atténuent jusqu'à un taux de 0 ppm entre 30 secondes et 30 minutes **après** le décollage (selon les conditions météorologiques).

A noter que les teneurs mesurées décroissent rapidement jusqu'à atteindre 0 ppm quelques minutes après le décollage du lanceur (Annexe 1).

- Au-delà du chemin de ronde, le réseau CODEX n'a pas mis en évidence de teneur notable en acide chlorhydrique. Aucune situation dégradée n'ayant eu lieu, on comprend qu'aucune teneur en produits hydrazinés ou en oxyde d'azote n'a été mesurée.
- Les mesures réalisées par l'intermédiaire des bacs à eau démontrent que les retombées chimiques gazeuses et particulaires sont essentiellement recueillies à proximité de la ZL3 (sur le chemin de ronde). Au-delà des limites du CSG, on remarque que les teneurs mesurées sont très faibles voire non quantifiables. *Pour rappel, les produits de combustion s'élèvent rapidement et ne génèrent qu'un impact localisé dans l'axe des carneaux sur une distance inférieure à 1 kilomètre.*
- En 2015, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo était fonctionnel et a permis de suivre la qualité des eaux de la crique à l'occasion des missions Ariane 5 Vol 222 et Vol 227. Les résultats obtenus n'ont pas montré de modification de la qualité des eaux attribuables aux opérations de décollage. Les résultats sont représentatifs de la qualité des eaux douces de Guyane, à savoir des eaux acides et faiblement conductrices.
- La surveillance de l'impact sur la végétation a été réalisée en 2015, au cours de la saison sèche et de la saison des pluies, plus particulièrement à l'occasion des missions Ariane 5 Vol 223 et Vol 227.

Les résultats des pluviollessivats en champ proche démontrent que 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. Il est important de signaler que les échantillons ont été fortement soumis aux aérosols marins (apport notable de chlorures notamment en saison sèche). 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'est à relever.

9.1.2. VEGA

- Pour chaque mission du lanceur VEGA en 2015, un plan de mesures environnement a été déployé ; aucun bac n'a débordé.
- Le nuage de combustion issu de la combustion du P80 au décollage s'est orienté entre le site DIANE et le site d'observation Agami.
- 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 – fixe et mobile) n'a détecté aucune concentration notable pour les trois (3) lancements VEGA de 2015. Aucune situation dégradée n'étant à retenir, on comprend qu'aucune teneur en produits hydrazinés ou en oxyde d'azote n'a été mesurée sur ce vol.
- 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 2015, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo n'a pas été installé à l'occasion des chronologies VEGA. Le dispositif a permis de suivre la qualité des eaux de la crique Karouabo lors de deux (2) lancements Ariane 5 ;
- En champ proche, les retombées chimiques sur la végétation sont, fortement dépendantes du positionnement géographique des bacs et du nuage de combustion par rapport au pas de lancement. Elles dépendent aussi de la pluviométrie. Il est important de signaler que les échantillons ont été fortement soumis aux aérosols marins (apport notable de chlorures).
- 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).

9.1.3. Soyuz

- Chaque lancement SOYUZ a bénéficié d'un plan de mesures environnement. L'ensemble des analyseurs a été activé ; des défaillances sont à noter pour certains paramètres.
- La direction prise par le nuage de combustion issu 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 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 à retenir, 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 fonctionnel. 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.

9.2. 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 Soyuz, 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 aquatique** : les pêches aux deux saisons ont été effectuées ; les résultats montrent qu'il n'y a pas de relation entre le poids des poissons et le taux d'aluminium présent dans les muscles. La variabilité individuelle vis-à-vis de l'aluminium est telle qu'aucune différence significative n'est mise en évidence aussi bien entre les espèces, qu'entre les régimes, les classes de poids ou les stations. Les teneurs en aluminium sont plus élevées en saison sèche qu'en saison des pluies. Il est à noter que les concentrations en aluminium sur la Karouabo et sur la Malmanoury sont du même ordre de grandeur en saison sèche. Concernant les invertébrés aquatiques, l'abondance et la variété des taxons représentés confirment la qualité du milieu. Les structures observées sont communes à d'autres cours d'eau guyanais. Le Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais (SMEG) démontre une bonne qualité biologique des criques, bien qu'une influence anthropique est à retenir sur la crique des pères, jusque-là définie comme station de référence.

- **Le suivi de l'avifaune** : la surveillance des populations d'oiseaux du CSG n'a pas pu être réalisé en 2015.
- **Concernant le suivi de la colonie d'Ibis Rouge et Ardéidés** : la zone de nidification située sur le Centre Spatial Guyanais demeure le principal site de reproduction de cette espèce en Guyane. Le suivi de 2015 a mis en évidence 1900 couples répartis sur deux colonies implantés au niveau de l'estuaire du Sinnamary. La position géographique des peuplements reste en relation avec l'évolution naturelle de la mangrove. Cette dernière est en bon état et se développe au rythme de l'arrivée et de la disparition des bancs de vase. Par ailleurs, des observations réalisées durant l'année tendent à prouver l'excellente qualité de divers écosystèmes du CSG (découverte d'espèces nouvelles pour la Guyane notamment). Des déprédations volontaires d'origine anthropique ont grandement perturbé les espèces présentes et ont sévèrement affecté les populations nicheuses des Battures de la Malmanoury.
- **Le suivi des populations botaniques d'intérêt majeur du CSG** : Le programme de suivi et de préservation des espèces végétales d'intérêt n'a pas pu être réalisé en 2015 au CSG.

La surveillance du patrimoine naturel réalisé par l'ONF a eu lieu et a permis de confirmer le maintien des *Cyrtopodium* au niveau des pierriers du sentier Ebène.

En ce qui concerne le suivi de l'espèce *S. angustifolia*, la visite de l'IRD n'a pas eu lieu en 2017 au CSG.

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

10. 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 (3.5 MESURE EN CONTINU DES RETOMBÉES CHIMIQUES GAZEUSES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE) des détections supplémentaires peuvent être menées sur la route nationale n°1.

Ce cas de figure n'a concerné aucun lancement en 2015, 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 pas révélé de concentrations ponctuelles ; 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.

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

11.1. 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	-

11.2. Cas de l'acide chlorhydrique

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

L'inhalation étant la principale voie d'exposition, un seuil olfactif a été déterminé à une valeur de 0.77 ppm, malgré sa variabilité interindividuelle. D'un point de vue réglementaire, la Valeur Limite d'Exposition « court terme » a été fixé à 7,6 mg/m³ ou 5 ppm. Cette valeur représente la concentration maximale à laquelle une personne peut être exposée sur son lieu de travail 8 heures par jour, 5 jours par semaine sans risque pour sa santé

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

11.3. 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 20 : Fiche toxicologique INRS

11.4. Cas du dioxyde de carbone

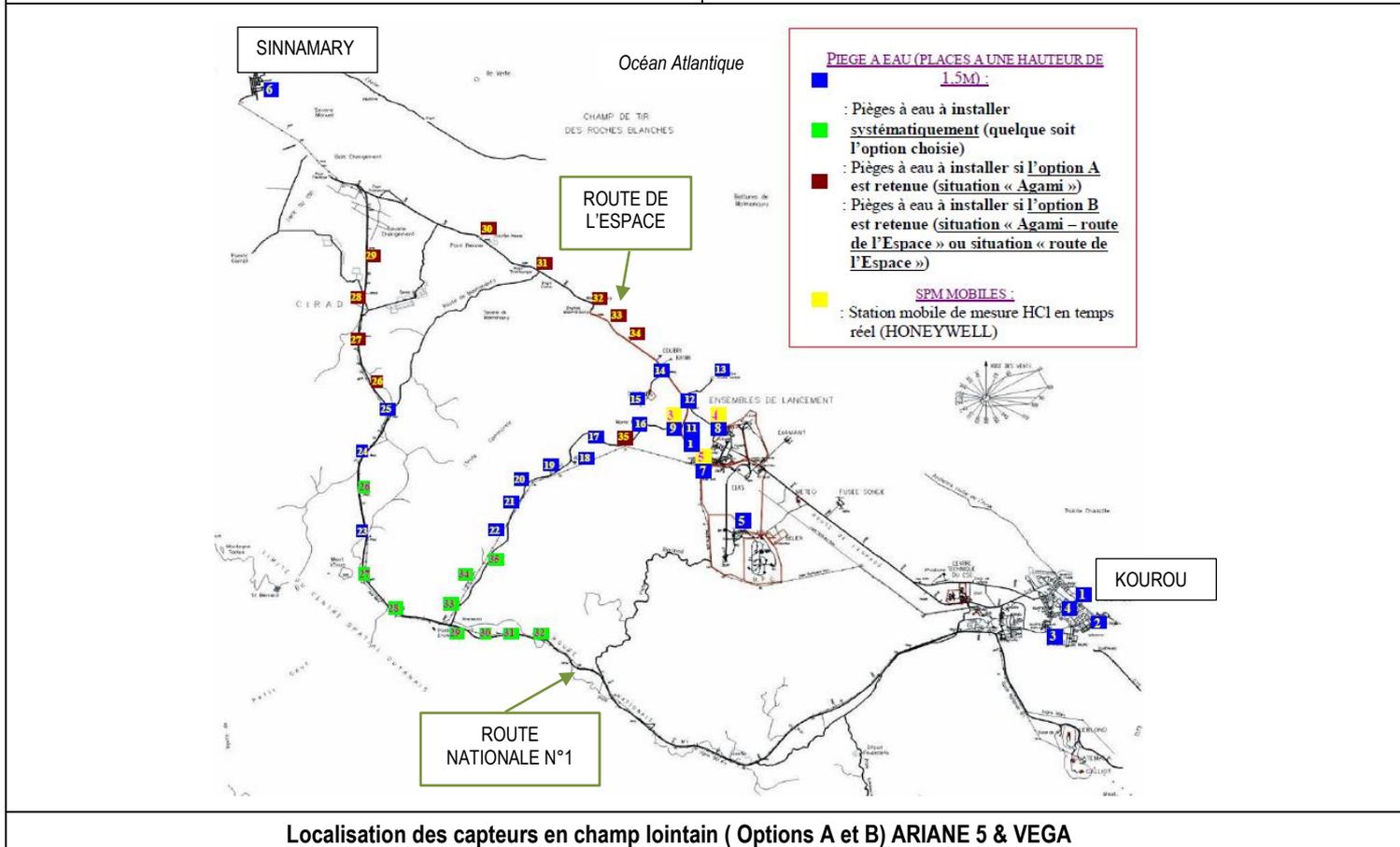
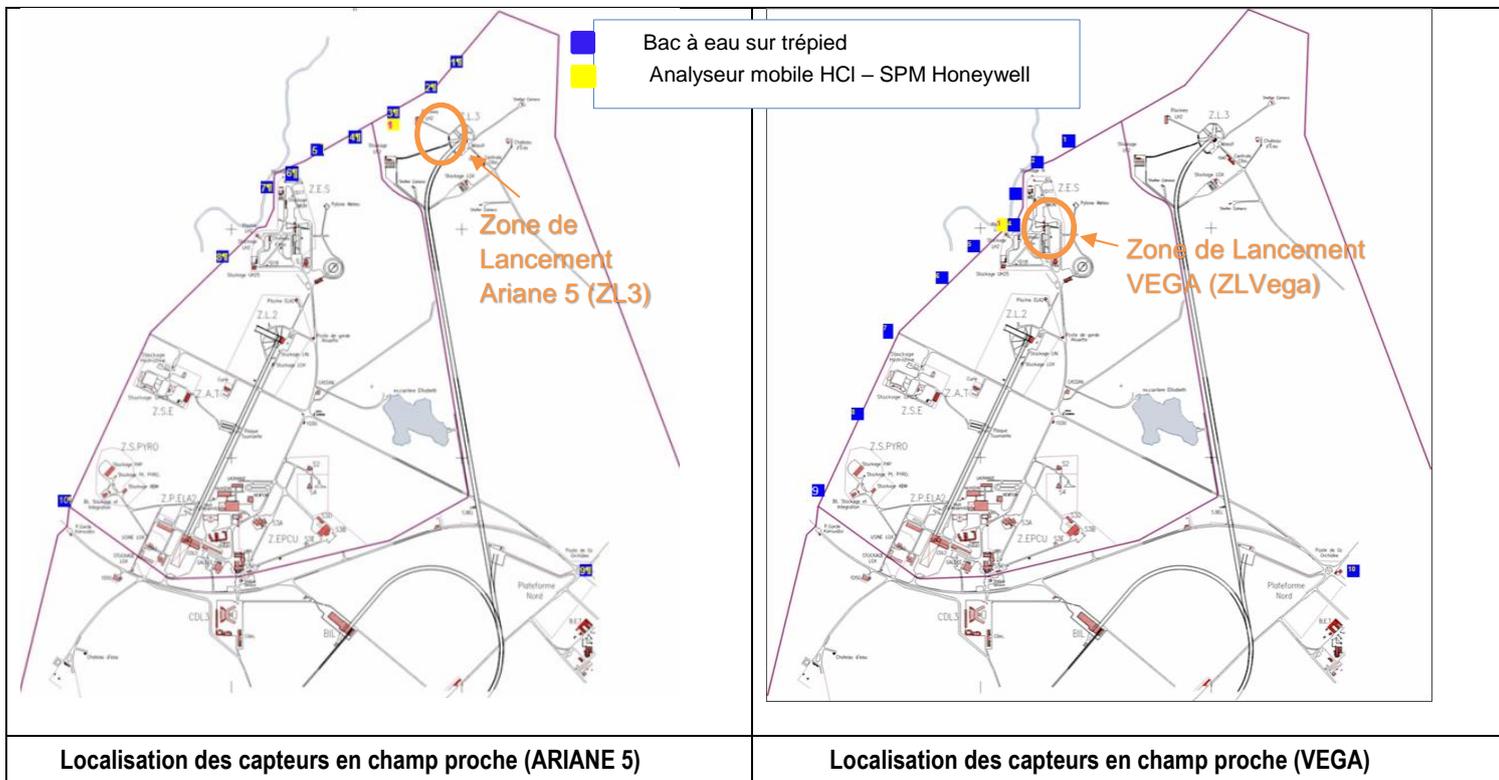
Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

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 21 : Fiche toxicologique INRS

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



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

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

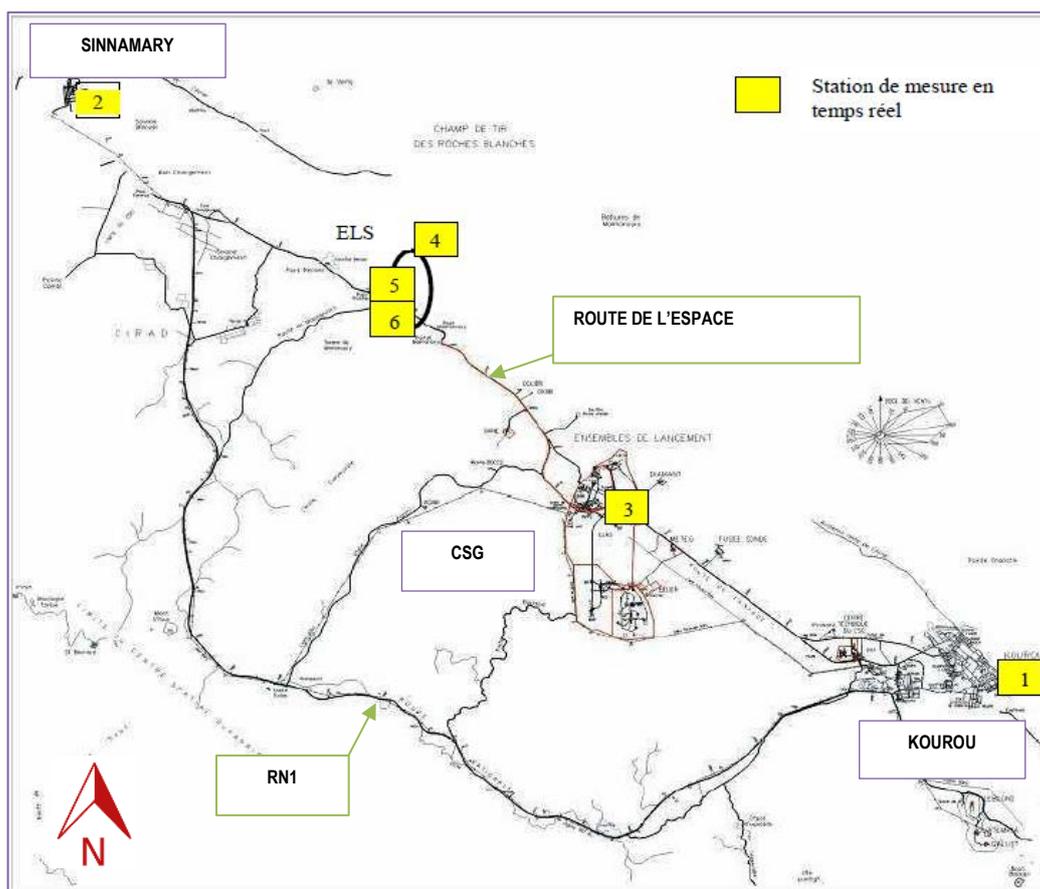


Figure 22 : Localisation des analyseurs d'air (ENVIRONNEMENT SA) en champ proche et lointain SOYOUZ

**14. 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 °)	écart (en %)
V181	71,3	50,1	21,2	-42,32
V182	77	56,1	20,9	-37,25
V183	63,2	71,5	-8,3	11,61
V184	114,2	125,8	-11,6	9,22
V185	129	92,8	36,2	-39,01
V186	44,8	62,5	-17,7	28,32
V187	52	40,6	11,4	-28,08
V188	78,6	85,5	-6,9	8,07
V189	73,4	79,8	-6,4	8,02
V190	99,6	130,6	-31	23,74
V191	87,4	102,4	-15	14,65
V192	98	92	6	-6,52
V193	74	96,4	-22,4	23,24
V194 *	89	181,7	-92,7	51,02
V195	91,6	120	-28,4	23,67
V196	103,8	65,8	38	-57,75
V197	76,4	47	29,4	-62,55
V198	99	111,3	-12,3	11,05
V199	52,2	56	-3,8	6,79
V200	72	61	11	-18,03
V201	68	72	-4	5,56
V202	88	79	9	-11,39
V203	104	107	-3	2,80
V204	114	81	33	-40,74
V205	69	55	14	-25,45
V206	88	82	6	-7,32
V207	91	94	-3	3,19
V208	115	107	8	-7,48
V209	90	65	25	-38,46
V210	83	91	-8	8,79
V211	47	89	-42	47,19
V212	67	99	-32	32,32
V213	97	69	28	-40,58
V214	105	93	12	-12,90
V215	64	54	10	-18,52
V216	54	51,5	2,5	-4,85

	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 °)	écart (en %)
V217	55	79,5	-24,5	30,82
V218	74	80,1	-6,1	7,62
V219	83	87,2	-4,2	4,82
V220	93	127,5	-34,5	27,06
V221	94	94	0	0,00
V222	64	67	-3	4,48
V223	90	88,6	1,4	-1,58
V224	111	130	-19	14,62
V225	105	115	-10	8,70
V226	105	105	0	0,00
V227	87	96	-9	9,38
V222	64	67	-3	4,48
V223	90	88,6	1,4	-1,58

♦♦♦♦ FIN DU DOCUMENT ♦♦♦♦