

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>3/114</b>
--	--	---

## 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	<b>Rapport final du groupe d'experts IRD, CNRS, INRA</b>	Impacts des activités futures d'Ariane 5 sur l'environnement humain et naturel – Contrat de consultance IRD 9086-01/CNES/2129 – Janvier 2003.
DR03	<b>INERIS DRC-02-37656-AIRE n°656b-MRa-CFe</b>	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°16-345	<b>CG/SDP/ES/N°16-345</b> - Résultats du plan de mesures environnement Ariane 5 vol A228 du 26 Avril 2016 à 17h00
DR08	HYDRECO 2016 - Suivi des criques Karouabo et Malmanoury	<b>Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut</b> – Mesures et analyses physico-chimiques des sédiments et des eaux pour le suivi des criques Karouabo et Malmanoury – Année <b>2016</b> .
DR09	HYDRECO 2016 - Suivi de la crique Paracou	<b>Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut</b> – Mesures et analyses physico-chimiques des sédiments et des eaux pour l'état initial de la crique Paracou amont – Année <b>2016</b> .
DR10	HYDRECO 2016 – Rapport final	<b>Bureau d'Etudes en Environnement HYDRECO – Laboratoire Environnement de Petit Saut</b> – 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 <b>2016</b>
DR11	Rapport d'activité 2016	<b>Observatoire Régional de l'Air de Guyane</b> - Rapport d'activité <b>2016</b> – Surveillance de la qualité de l'air en Guyane
DR12	ORA Etude Dioxyde d'azote	<b>Observatoire Régional de l'Air de Guyane</b> – Campagne de mesures des émissions liées au trafic en vue de l'installation d'une station fixe – Etude 2017
DR13	Fiche toxicologique INRS	Fiche toxicologique n°47 – Monoxyde de Carbone (CO) – Edition 2009
DR14	Fiche toxicologique	Fiche toxicologique n°238 – Dioxyde de Carbone (CO <sub>2</sub> ) – Edition 2005

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>4/114</b>
--	--	---

RÉFÉRENCE		TITRE DU DOCUMENT
DR15	Rapport DEAL 2014	Evaluation de l'état des masses d'eau – Révision de l'état des lieux du district hydrographique de Guyane
DR16	Rapport NBC APILAB final 2016	Rapport NBC APILAB final 2016 – Volets Analyse Particulaire & Etude des biomarqueurs
DR17	Programme OYANA 2011	PROGRAMME OYANA - <b>Première approche de la méliponiculture et des mélipones de Guyane</b> – P. GOMBAULT & J-P CHAMPENOIS - 2011
DR18	CSG-RP-SPX-18584-CNES	Résultats du <b>Plan de Mesures Environnement</b> mis en place pour l'essai <b>ARTA 6</b> au BEAP
DR19	CSG-RP-SPX-18598-CNES	Résultats du <b>Plan de Mesures Environnement</b> mis en place pour le brûlage du <b>segment S2 n°125</b> sur l'Aire de Destruction du Propergol (ADP)

## DOCUMENTS APPLICABLES

RÉFÉRENCE		TITRE DU DOCUMENT
DA01	Arrêté N°1632/1D/1B/ENV	<b>Arrêté Numéro 1632/1D/1B/ENV du 24 juillet 2006</b> autorisant la Société Arianespace, sise boulevard de l'Europe - BP177- 91000 Evry à exploiter l'ensemble de lancement Ariane (ELA), sur la commune de Kourou
DA02	Arrêté N°1689/2D/2B/ENV	<b>Arrêté Numéro 1689/2D/2B/ENV du 26 juillet 2007</b> autorisant la Société Arianespace à exploiter l'ensemble de lancement Soyouz (ELS), sise sur la commune de Sinnamary
DA03	Arrêté N°1655/DEAL	<b>Arrêté Numéro 1655/DEAL du 06 octobre 2011</b> portant autorisation au CNES à exploiter les installations constitutives de l'ensemble de lancement VEGA (ELVega) situées sur le territoire de la commune de Kourou, au sein du Centre Spatial Guyanais.
DA04	Arrête N°2216 1D/4B	<b>Arrête Numéro 2216 1D/4B du 28 juillet 1992</b> autorisant le Centre National d'Etudes Spatiales à exploiter le Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre (BEAP) au Centre Spatial Guyanais sur le territoire de la commune de Kourou.
DA05	Arrêté N°2231 1D/1B/ENV	<b>Arrêté préfectoral Numéro 2231 1D/1B/ENV du 18 Novembre 1998</b> autorisant le Centre National d'Etudes Spatiales à exploiter l'Aire de Destruction du Propergol (ADP) [

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>5/114</b>
--	--	---

## TERMES ET DEFINITIONS

TERME	DÉFINITION
<b>Abondance</b>	Paramètre d'ordre quantitatif servant à décrire une population. Le dénombrement exhaustif d'une population animale ou végétale, est généralement impossible, d'où le recours à des indicateurs. Par extension, l'abondance désigne un nombre d'individus, rapporté à une unité de temps ou de surface, dans une catégorie donnée.
<b>ARPEGE</b>	Modèle de prévisions numériques météorologiques, conçu par Météo France
<b>Bacs à eau</b>	Bacs de piégeage de surface exposée connue, contenant un volume d'eau distillée dont on connaît précisément les paramètres physico-chimiques.
<b>Biomasse</b>	Quantité de matière constituant par l'ensemble des individus composant la population.
<b>CEP</b>	Modèle de prévisions numériques météorologiques, non conçu mais utilisé par Météo France.
<b>Conditions météorologiques</b>	Caractéristiques atmosphériques telles que la vitesse, la direction des vents, la température etc pouvant avoir un impact ou générer un impact au moment du lancement sur le nuage de combustion.
<b>Données prévisionnelles</b>	Ensemble des données météorologiques issues de modèles prévisionnels de profils thermodynamiques (CEP/ARPEGE) permettant une visualisation de l'évolution de l'atmosphère avec un maillage (spatial et temporel) donné. Ces données constituent les informations d'entrée pour effectuer la simulations SARRIM dite PREVI.
<b>Détritivore</b>	Les détritivores sont des êtres vivants, qui se nourrissent de débris animaux, végétaux ou fongiques. Ils remplissent des fonctions essentielles dans la chaîne alimentaire car ils recyclent les composés organiques contenus dans les détritiques et les sédiments.
<b>Géophyte</b>	Une plante géophyte est dans la classification de Raunkier un type de plante vivace, possédant des organes lui permettant de passer la mauvaise saison enfouie dans le sol. La plante est donc inapparente au cours de quelques mois de son cycle annuel
<b>Hydromorphie</b>	L'hydromorphie, appelée aussi hydromorphisme, est une qualité de sol. Un sol est dit hydromorphe lorsqu'il montre des marques physiques d'une saturation régulière en eau
<b>Hydroxylation</b>	L'hydroxylation est une réaction chimique consistant à ajouter un groupe hydroxyle (-OH) à une molécule.
<b>Ichtyofaune</b>	Partie de la faune aquatique rassemblant l'ensemble des poissons vivants dans un espace géographique ou un habitat déterminé.
<b>Indice Biologique des Macro invertébrés de Guyane</b>	Cet indice a été créé pour évaluer la qualité écologique des PME (Petites Masses d'Eau) de Guyane (Dedieu., 2015).

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>6/114</b>
--	--	---

TERME	DÉFINITION
<b>Indice de condition</b>	Coefficient révélant l'état physiologique des poisons
<b>Indice Poisson de Guyane</b>	Cet indice a été développé dans le cadre de la Directive européenne Cadre sur l'Eau (DCE 200/60/CE), et permet de donner une note de qualité aux petites masses d'eau.
<b>Indice de Shannon ou Shannon-Wiener</b>	Indice permettant de mesurer la diversité spécifique et la répartition des espèces composant une population. Il est compris en entre 0 et 5, où 0 représente une population dont la répartition des espèces est déséquilibrée et 5 est une population parfaitement équilibrée
<b>Mobilité</b>	La mobilité d'un élément chimique est caractérisée par son aptitude à passer dans les compartiments du sol où il est de moins en moins énergiquement retenu. Les variations des conditions physico-chimiques (Ph, température, force ionique...etc.) peuvent jouer directement sur la mobilité des éléments en faisant passer les métaux présents dans un sol d'une forme à une autre.
<b>Polymérisation</b>	La polymérisation désigne la réaction chimique ou le procédé par lesquels des petites molécules réagissent entre elles pour former des molécules de masses molaires plus élevées.
<b>Pyrophyte</b>	Une pyrophyte est une plante qui supporte le feu, on peut également parler d'espèce pyrophile.
<b>Richesse spécifique</b>	Nombre d'individu d'une même espèce pouvant être rencontrée dans un écosystème donné.
<b>Richesse taxonomique</b>	Nombre d'individu d'un même taxon pouvant être rencontrée dans un écosystème donné.
<b>Seuil des Effets Irréversibles (SEI)</b>	Concentration maximale de polluants dans l'air pour un temps d'exposition donné (10 minutes) en dessous de laquelle chez la plupart des individus, on n'observe pas d'effets irréversibles (persistance dans le temps d'une atteinte lésionnelle ou fonctionnelle, directement consécutive à une exposition en situation accidentelle).
<b>Seuil des Effets Létaux (SEL)</b>	Concentration maximale de polluant dans l'air pour un temps d'exposition donné (10 minutes) en dessous de laquelle chez la plupart des individus, on n'observe pas d'effets létaux (décès).
<b>Spéciation</b>	La spéciation chimique est un paramètre fondamental qui contrôle la migration, la biodisponibilité et la toxicité des éléments chimiques dans les eaux, les sols et les sédiments. Ce paramètre résulte des interactions entre solutés, surfaces minérales, substances organiques et biologiques.
<b>Transect</b>	Série de relevés de terrain selon des lignes plus ou moins droites.
<b>Radiosondage</b>	Ballon d'hélium muni de capteurs permettant de recueillir lors de son ascension des données météorologiques telles que la vitesse et la direction des vents, la température, la pression atmosphérique... aux différentes couches de l'atmosphère traversés. Ces données constituent les informations d'entrée pour effectuer la simulations SARRIM dite RS.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>7/114</b>
--	--	---

TERME	DÉFINITION
<b>Valeur Limite d'Exposition (VLE)</b>	Valeur maximale de concentration de substance toxique respirable pendant au plus 15 minutes dans l'atmosphère d'un lieu de travail sans risquer d'effets irréversibles pour la santé. Elle correspond à 5 ppm pour l'acide chlorhydrique.
<b>Valeur Moyenne d'Exposition (VME)</b>	Concentration maximale à laquelle une personne peut être exposée sur son lieu de travail 8 heures par jour et 5 jours par semaine sans risque pour sa santé ; il s'agit de la valeur limite à laquelle un individu peut être exposé à court terme. Elle correspond à 10 mg/m <sup>3</sup> pour l'alumine.

## SIGLES

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Alumine
<b>Al<sup>3+</sup></b>	Ion Aluminium
<b>Al</b>	Aluminium
<b>ARTA</b>	programme d'Accompagnement, de Recherche et de Technologie Ariane
<b>AFNOR</b>	Association Française de Normalisation
<b>BCS</b>	Bureau de Coordination Sauvegarde
<b>BEAP</b>	Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre
<b>BLA</b>	Base de Lancement Ariane
<b>Ca</b>	Calcium
<b>CI</b>	Contrat Industriel
<b>CL</b>	Champ Lointain
<b>Cl<sup>-</sup></b>	Ion Chlorure
<b>CHK</b>	Centre Hospitalier de Kourou
<b>CNES</b>	Centre National d'Etudes Spatiales
<b>CODEX</b>	Collecte de Données Environnement eXtérieur du CSG (Réseau de)
<b>CP</b>	Champ Proche
<b>CT</b>	Centre Technique
<b>CSG</b>	Centre Spatial Guyanais

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>8/114</b>
--	--	---

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
Db	Décibel
ELA	Ensemble de Lancement ARIANE
ELS	Ensemble de Lancement SOYOUZ
ELVega	Ensemble de Lancement VEGA
EPC	Etage Principal Cryogénique
EPS	Etage à Propergol Stockable
ESQS	Europe Spatiale Qualité Sécurité
FAG	Forces Armées de Guyane
GPS	Système de Positionnement Global
H <sub>2</sub>	Dihydrogène
HC	Hydrocarbures imbrûlés
HCl	Acide Chlorhydrique
IBMG	Indice Biologique Macro invertébrés de Guyane
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
IPG	Indice Poisson de Guyane (Petite Masse d'Eau)
IRD	Institut de Recherche et de Développement
K	Potassium
LD	Limite de Détection
MEST	Matières En Suspension Totales
Mg	Magnésium
MMH	Mono Méthyl Hydrazine
Na	Sodium
NaCl	Chlorure de Sodium
NaOH	Hydroxyde de Sodium / Soude

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>9/114</b>
--	--	---

SIGLE / ABRÉVIATION	DÉFINITION
<b>N<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>	Hydrazine
<b>N<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	Peroxyde d'Azote
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dioxyde d'Azote
<b>NO<sub>x</sub></b>	Oxyde d'Azote
<b>pH</b>	Potentiel Hydrogène
<b>ppb</b>	Partie par milliard en volume (10 <sup>-9</sup> ), soit 1 mm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
<b>ppm</b>	partie par million
<b>PRS</b>	Pupitre Responsable Sauvegarde
<b>RN1</b>	Route Nationale N°1
<b>RS</b>	Radiosondage
<b>RSM</b>	Responsable Sauvegarde Météo
<b>SARRIM</b>	« Stratified Atmosphere Release of Rockets Impact Model »
<b>SDP/ES</b>	Service Environnement et Sauvegarde Sol du Centre Spatial Guyanais
<b>SEI</b>	Seuil des Effets Irréversibles
<b>SEL</b>	Seuil des Effets Létaux
<b>SMEG</b>	Score Moyen des Ephéméroptère de Guyane
<b>SPM</b>	« Single Point Monitor »
<b>UDMH</b>	Unsymmetrical Di MethylHydrazine (Diméthyl hydrazine asymétrique)
<b>UPG</b>	Usine de Propergol Guyane
<b>VLE</b>	Valeur Limite d'Exposition
<b>VME</b>	Valeur Moyenne d'Exposition
<b>VLI</b>	Vitesse Limite d'Impact
<b>VTR</b>	Valeur Toxicologique de Référence
<b>ZL3</b>	Zone de Lancement n°3 dédié au lanceur ARIANE 5
<b>ZLS</b>	Zone de Lancement SOYOUZ

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>  Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement  Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p align="center"><b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b>  Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP  Date :                      <b>09/07/2019</b>  Page :                      <b>10/114</b></p>
---	--	---

<b>SIGLE / ABRÉVIATION</b>	<b>DÉFINITION</b>
<b>ZLVega</b>	Zone de Lancement VEGA
<b>ZNIEFF</b>	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique
<b>ZP</b>	Zone de Préparation



<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : 09/07/2019 Page : 11/114
--	--	---

## SOMMAIRE

1.	BILAN DES MESURES EN 2016.....	16
2.	OBJET - DOMAINE D'APPLICATION .....	22
3.	LES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT ARIANE 5 ET VEGA.....	23
3.1.	OBJECTIFS DES MESURES .....	23
3.2.	SARRIM, L'OUTIL DE MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES RETOMBEES CHIMIQUES ET GAZEUSES .....	24
3.3.	LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	25
3.4.	SUIVI DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN .....	25
3.5.	MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	27
4.	SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LES CAMPAGNES ARIANE 5 .....	29
4.1.	LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	29
4.2.	COMPARAISON DES RESULTATS DES SIMULATIONS REALISEES A PARTIR DU RADIOSONDAGE ET DES DONNEES CEP/ARPEGE.....	32
4.3.	CONCLUSIONS SUR LES MODELISATIONS DE L'OUTIL SARRIM.....	35
4.4.	RESULTATS DES MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	36
4.5.	RESULTATS DES MESURES DE RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN.....	37
4.6.	CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DES LANCEMENTS ARIANE 5 EN 2016.....	40
5.	SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LA CAMPAGNE VEGA .....	41
5.1.	LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	41
5.2.	COMPARAISON DES RESULTATS DES SIMULATIONS REALISEES A PARTIR DU RADIOSONDAGE ET DES DONNEES CEP/ARPEGE.....	43
5.3.	CONCLUSIONS SUR LES MODELISATIONS DE L'OUTIL SARRIM.....	44
5.4.	RESULTATS DES MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	44
5.5.	RESULTATS DES MESURES DE RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN.....	45
5.6.	CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DU LANCEMENT VEGA EN 2016.....	48
6.	LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT SOYOUZ.....	49
7.	SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LES CAMPAGNES SOYOUZ .....	50
7.1.	OBJECTIFS DES MESURES .....	50

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : 09/07/2019 Page : 12/114
--	--	---

7.2. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	51
7.3. LOCALISATION DES POINTS DE MESURES.....	51
7.4. LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION.....	52
7.5. MESURES EN CONTINU DES RETOMBEES CHIMIQUES ET PARTICULAIRES .....	56
7.6. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DU LANCEUR SOYOUZ POUR L'ANNEE 2016 .....	58
8. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT AU BANC D'ESSAI DES ACCELERATEURS A POUDRE (BEAP).....	59
9. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR L'ESSAI ARTA 6 .....	61
9.1. CONTEXTE METEOROLOGIQUE DE L'ESSAI ARTA6 .....	61
9.2. CONCLUSION SUR LA SIMULATION SARRIM ISSUE DU RADIOSONDAGE 4R080916.TXT.....	62
9.3. COMPARAISON DES RESULTATS DES SIMULATIONS REALISEES A PARTIR DES RADIOSONDAGES ET DES DONNEES PREVISIONNELLES (CEP) .....	63
9.4. CONCLUSIONS SUR LES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES.....	64
9.5. MESURE EN CONTINU DES RETOMBEES GAZEUSES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	64
9.6. MESURES DE LA QUALITE DES EAUX DU CARNEAU DU BEAP .....	65
9.7. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DE L'ESSAI ARTA 6.....	67
10. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT A L'AIRE DE DESTRUCTION DU PROPERGOL (ADP).....	68
11. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LE BRULAGE DU SEGMENT S2 N°125.....	69
11.1. CONTEXTE METEOROLOGIQUE DU BRULAGE S2 N°125.....	70
11.2. CONCLUSION SUR LA SIMULATION SARRIM ISSUE DU RADIOSONDAGE.....	70
11.3. COMPARAISON DES RESULTATS DES SIMULATIONS REALISEES A PARTIR DES RADIOSONDAGES ET DES DONNEES PREVISIONNELLES (CEP) .....	70
11.4. SUIVI DES RETOMBEES CHIMIQUES GAZEUSES ET PARTICULAIRES EN CHAMPS PROCHE, MOYEN ET LOINTAIN .....	72
11.5. MESURE EN CONTINU DES RETOMBEES GAZEUSES EN ACIDE CHLORHYDRIQUE.....	72
11.6. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DU BRULAGE DU SEGMENT S2 N°125 .....	73
12. SYNTHESE DES RESULTATS DES MESURES REALISEES POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ECOSYSTEMES DU CSG .....	74
12.1. OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG .....	74

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00      Classe: GP Date : 09/07/2019 Page : 13/114
--	--	---

12.2.	MESURE DE LA QUALITE DE L'EAU DE LA CRIQUE KAROUABO .....	75
12.3.	MESURE DE LA QUALITE DES SEDIMENTS DES CRIQUES DU CSG .....	77
12.4.	SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE DES CRIQUES DU CSG .....	86
12.5.	SUIVI DE L'AVIFAUNE DU CSG .....	96
12.6.	SUIVI DU PATRIMOINE VEGETAL DU CSG .....	96
12.7.	BIO SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR AU MOYEN DES ABEILLES MELIPONES .....	98
13.	CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG EN 2016 .....	103
13.1.	PAR RAPPORT AUX ACTIVITES LIEES AUX LANCEURS .....	103
13.2.	PAR RAPPORT AU SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT DU CSG .....	106
14.	ANNEXE 1 : EVALUATION DE L'IMPACT SUR LES PERSONNES .....	108
15.	ANNEXE 2 : RAPPELS SUR LES LIMITES REGLEMENTAIRES DE TOXICITE DES PRINCIPAUX PRODUITS EMIS PAR LES LANCEURS .....	109
15.1.	CAS DE L'ALUMINE .....	109
15.2.	CAS DE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE .....	109
15.3.	CAS DU MONOXYDE DE CARBONE .....	109
15.4.	CAS DU DIOXYDE DE CARBONE .....	110
16.	ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIE DES CAPTEURS ENVIRONNEMENT (BACS A EAU) ARIANE 5 & VEGA .....	111
17.	ANNEXE 4 : CARTOGRAPHIE DES ANALYSEURS EN CONTINU ENVIRONNEMENT SA SOYOUZ .....	112
18.	ANNEXE 5 : ETUDE COMPARATIVE DES DIRECTIONS DES NUAGES DE COMBUSTION LORS DE LANCEMENTS ARIANE 5 .....	113

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p align="center"><b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev :01/00                      Classe: GP Date :                      <b>09/07/2019</b> Page :                      <b>14/114</b></p>
---	--	---

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des divers suivis environnementaux au CSG .....	16
Tableau 2 : Ensemble des paramètres de mesures dans les bacs à eau .....	26
Tableau 3 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure.....	26
Tableau 4 : Gammes de mesure des paramètres des analyseurs du système CODEX « fixe » .....	28
Tableau 5 : Seuils de détections des analyseurs du système CODEX « mobile ».....	28
Tableau 6: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE .....	30
Tableau 7 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine.....	31
Tableau 8: Tableau récapitulatif des directions et vitesses des vents calculées par SARRIM au moyen des radiosondages. ....	32
Tableau 9 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour Ariane 5 en 2016 .....	33
Tableau 10: Tableau récapitulatif des détections d'acide chlorhydrique par les Honeywell pour l'année 2016.....	36
Tableau 11 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain .....	38
Tableau 12 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain .....	39
Tableau 13: Tableau récapitulatif des directions des vents calculées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE .....	42
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des concentrations maximales simulées par SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE pour l'acide chlorhydrique et l'alumine.....	42
Tableau 15: Tableau récapitulatif des directions et concentrations chimiques calculées par SARRIM au moyen du radiosondage positif .....	43
Tableau 16 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour VEGA en 2016.....	43
Tableau 17: Tableau récapitulatif des détections d'acide chlorhydrique par les Honeywell pour l'année 2016.....	45
Tableau 18 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain .....	46
Tableau 19 : Points de mesure présentant des concentrations maximales en champ proche et en champ lointain .....	47
Tableau 20 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure.....	51
Tableau 21: Tableau récapitulatif des directions calculées par SARRIM au moyen des radiosondages...	52
Tableau 22 : Rappel des seuils réglementaires d'exposition pour le Monoxyde (CO) et le Dioxyde (CO <sub>2</sub> ) de carbone.....	53
Tableau 23 : Ensemble des résultats des mesures en continu des Shelters ENVIRONNEMENT SA.....	57
Tableau 24 : Synthèse des résultats obtenus suite à la modélisation SARRIM à partir des radiosondages « pénalisants » 3R150994.txt (HCl) et 3R020900.txt (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	63
Tableau 25 : Résultats de l'analyse réalisée sur le 1 <sup>er</sup> prélèvement d'eau* du carneau du BEAP (avant traitement à la soude (NaOH)). .....	65
Tableau 26 : Résultats globaux des analyses réalisées sur le 2 <sup>nd</sup> prélèvement d'eau** du carneau du BEAP (avant rejet dans le milieu naturel).....	66
Tableau 27 : Synthèse des résultats obtenus suite à la modélisation SARRIM à partir du radiosondage « pénalisant » 2R211100.txt.....	71
Tableau 28 : Synthèse des données des radiosondages pour le suivi de la direction du nuage de combustion .....	71
Tableau 29 : Modification de la spéciation et de la mobilité de certains ions en fonction du paramètre pH du sol. ....	78
Tableau 30 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les paramètres physico-chimiques des criques Malmanoury, Karouabo, Paracou et la Crique des Pères .....	79
Tableau 31 : Moyenne (M) et écart type (δ) des concentrations obtenues pour les analyses des sédiments de la Malmanoury et de la Karouabo .....	82

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p align="center"><b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP Date :                      <b>09/07/2019</b> Page :                      <b>15/114</b></p>
---	--	--

Tableau 32 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les analyses de sédiments de la crique Paracou.....	83
Tableau 33 : Moyenne (M) et écart type ( $\delta$ ) des concentrations obtenues pour les analyses des sédiments de la crique Paracou.....	84
Tableau 34 : Tableau de synthèse des principaux résultats obtenus pour le suivi de la faune aquatique pour 2016. ....	87
Tableau 35 : Ensemble des paramètres de l'analyse sur la végétation.....	96

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Lancement VA234, CNES Optique Vidéo 2016 .....	17
Figure 2 : Bac à eau sur son trépied métallique et SPM Honeywell sur le chemin de ronde AR5 .....	25
Figure 3 : Dépose d'un bac à eau avec son flacon d'échantillonnage.....	26
Figure 4 : Cartographie du CSG (Carte IGN, Géoportail ©) .....	30
Figure 5 : SPM en cours de mise en place.....	36
Figure 6 : SPM mobile installé en champ proche.....	36
Figure 7 : Station de surveillance BRADY à Kourou, ORA 2016 .....	53
Figure 8 : Bilan des indices de qualité de l'air (IQA) à la station Brady en nombre de jour [DR23] .....	54
Figure 9 : Tir ARTA 6 au CSG - CNES, Optique Vidéo 2016.....	61
Figure 10 : Opération de destruction du segment S2 n°125 sur l'ADP le 25 novembre 2016.....	69
Figure 11: Prise de vue de la station Paracou (Hydreco, 2016) .....	77
Figure 12 : Numérotation d'un pied <i>Cyrtopodium cristatum</i> .....	97
Figure 13 : <i>S. angustifolia</i> .....	97
Figure 14 : <i>Mélipona</i> [DR16].....	98
Figure 15 : Anatomie d'une abeille, NBC/APILAB.....	99
Figure 16 : Vue interne d'un rucher et de son organisation, NBC APILAB .....	100
Figure 17 : Ruchers Tangara .....	100
Figure 18 : Ruchers Sentier Ebène .....	100
Figure 19 : Ruchers de l'ELS .....	100
Figure 20 : Prélèvement d'un individu pour analyse, CNES Optique Vidéo 2017 .....	101
Figure 21 : Situation géographique des ruchers de prélèvements, NBC APILAB 2016 .....	101
Figure 22 : Fiche toxicologique INRS .....	109
Figure 23 : Fiche toxicologique INRS .....	110
Figure 24 : Localisation des analyseurs d'air (ENVIRONNEMENT SA) en champ proche et lointain SOYOUZ .....	112

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00                      Classe: GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>16/114</b>
--	--	--

## 1. BILAN DES MESURES EN 2016

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

<b>Faune Aquatique</b>	Poissons / Invertébrés aquatiques
<b>Avifaune</b>	Peuplement d'oiseaux nicheurs / Ibis Rouges et échassiers des écosystèmes littoraux du CSG
<b>Végétation</b>	Couverts végétaux en champ proche et en champ lointain
	Suivi des peuplements botaniques d'intérêts majeurs du CSG
<b>Qualité des eaux</b>	Suivi des paramètres physico-chimique des criques du CSG
<b>Qualité des sédiments</b>	Suivi des paramètres physico-chimique des sédiments des criques du CSG

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 sera abordé dans la présente synthèse, puisque deux (2) évènements de cette nature ont eu lieu au CSG au cours de l'année 2016.**

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 2016 est présentée dans le tableau ci-dessous.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement <b>Service Environnement et Sauvegarde Sol</b>	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00      Classe : GP
		Date : <b>09/07/2019</b>
		Page : <b>17/114</b>


DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS																																																		
<b>RAPPEL DES ACTIVITES DE LANCEMENTS AU CSG</b>		<p>En 2016, le Centre Spatial Guyanais a opéré 11 chronologies de lancement, un tir au BEAP et un brûlage à l'ADP, réparties ainsi :</p>																																																	
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Lanceurs</th> <th style="text-align: center;">Missions</th> <th style="text-align: center;">J0</th> <th style="text-align: center;">H0 (Heure Locale)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7" style="text-align: center;"> <b>Ariane 5</b> (7 lancements)               </td> <td style="text-align: center;">Vol A228</td> <td style="text-align: center;">27/01/2016</td> <td style="text-align: center;">à 20h20 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vol A229</td> <td style="text-align: center;">09/03/2016</td> <td style="text-align: center;">à 02h20 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vol A230</td> <td style="text-align: center;">18/06/2016</td> <td style="text-align: center;">à 18h38 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vol A231</td> <td style="text-align: center;">05/10/2016</td> <td style="text-align: center;">à 17h30 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vol A232</td> <td style="text-align: center;">24/08/2016</td> <td style="text-align: center;">à 19h16 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vol A233</td> <td style="text-align: center;">17/11/2016</td> <td style="text-align: center;">à 10h06 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vol A234</td> <td style="text-align: center;">21/12/2016</td> <td style="text-align: center;">à 17h30 min</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;"> <b>Soyouz</b> (2 lancements)               </td> <td style="text-align: center;">Vol S14</td> <td style="text-align: center;">25/04/2016</td> <td style="text-align: center;">à 18h02 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vol S15</td> <td style="text-align: center;">24/05/2016</td> <td style="text-align: center;">à 05h48 min</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;"> <b>VEGA</b> (2 lancements)               </td> <td style="text-align: center;">Vol V07</td> <td style="text-align: center;">15/09/2016</td> <td style="text-align: center;">à 22h43 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vol V08</td> <td style="text-align: center;">05/12/2016</td> <td style="text-align: center;">à 10h51 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>BEAP</b></td> <td style="text-align: center;">ARTA 6</td> <td style="text-align: center;">08/09/2016</td> <td style="text-align: center;">à 10h00 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>ADP</b></td> <td style="text-align: center;">S2 N°125</td> <td style="text-align: center;">25/11/2016</td> <td style="text-align: center;">à 11h00 min</td> </tr> </tbody> </table>	Lanceurs	Missions	J0	H0 (Heure Locale)	<b>Ariane 5</b> (7 lancements)	Vol A228	27/01/2016	à 20h20 min	Vol A229	09/03/2016	à 02h20 min	Vol A230	18/06/2016	à 18h38 min	Vol A231	05/10/2016	à 17h30 min	Vol A232	24/08/2016	à 19h16 min	Vol A233	17/11/2016	à 10h06 min	Vol A234	21/12/2016	à 17h30 min	<b>Soyouz</b> (2 lancements)	Vol S14	25/04/2016	à 18h02 min	Vol S15	24/05/2016	à 05h48 min	<b>VEGA</b> (2 lancements)	Vol V07	15/09/2016	à 22h43 min	Vol V08	05/12/2016	à 10h51 min	<b>BEAP</b>	ARTA 6	08/09/2016	à 10h00 min	<b>ADP</b>	S2 N°125	25/11/2016	à 11h00 min	
Lanceurs	Missions	J0	H0 (Heure Locale)																																																
<b>Ariane 5</b> (7 lancements)	Vol A228	27/01/2016	à 20h20 min																																																
	Vol A229	09/03/2016	à 02h20 min																																																
	Vol A230	18/06/2016	à 18h38 min																																																
	Vol A231	05/10/2016	à 17h30 min																																																
	Vol A232	24/08/2016	à 19h16 min																																																
	Vol A233	17/11/2016	à 10h06 min																																																
	Vol A234	21/12/2016	à 17h30 min																																																
<b>Soyouz</b> (2 lancements)	Vol S14	25/04/2016	à 18h02 min																																																
	Vol S15	24/05/2016	à 05h48 min																																																
<b>VEGA</b> (2 lancements)	Vol V07	15/09/2016	à 22h43 min																																																
	Vol V08	05/12/2016	à 10h51 min																																																
<b>BEAP</b>	ARTA 6	08/09/2016	à 10h00 min																																																
<b>ADP</b>	S2 N°125	25/11/2016	à 11h00 min																																																
<b>SYNTHESE DES INDICATEURS DE QUALITE DES MILIEUX</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMPARTIMENTS</th> <th style="text-align: center;">AIR</th> <th style="text-align: center;">EAU</th> <th style="text-align: center;">SEDIMENT</th> <th style="text-align: center;">FAUNE AQUATIQUE</th> <th style="text-align: center;">BIO SURVEILLANCE <i>(Abeilles)</i></th> <th style="text-align: center;">VEGETATION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center;">MESURES</td> <td style="text-align: center;">Réseau CODEX <i>HCl / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> / NO<sub>x</sub></i></td> <td style="text-align: center;">Suivi de la qualité physico-chimique</td> <td style="text-align: center;">Suivi de la qualité physico-chimique</td> <td style="text-align: center;">Diversité, Richesse, Abondance</td> <td style="text-align: center;">Dynamique des colonies</td> <td style="text-align: center;">Pluiolessivats</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Analyseurs mobiles <i>HCl</i></td> <td style="text-align: center;">KAROUABO</td> <td style="text-align: center;">KAROUABO</td> <td style="text-align: center;">Lésions anatomo pathologique <i>(poisson)</i></td> <td style="text-align: center;">Analyse particulière</td> <td style="text-align: center;">Surveillance espaces naturels littoraux</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Bacs à eau <i>HCl / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i></td> <td style="text-align: center;">MALMANOURY</td> <td style="text-align: center;">MALMANOURY</td> <td style="text-align: center;">Dosage Aluminium <i>(poisson)</i></td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">Bio marqueurs génétiques</td> <td style="text-align: center;">Peuplements botaniques d'intérêt majeurs</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Shelters SOYOUZ <i>CO / CO<sub>2</sub> / NO<sub>x</sub> / SO<sub>x</sub> / PM / HCT</i></td> <td style="text-align: center;">PARACOU</td> <td style="text-align: center;">PARACOU</td> <td style="text-align: center;">SMEG <i>(invertébrés)</i></td> <td style="text-align: center;">Espèce végétale patrimoniale</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ETAT GENERAL</td> <td style="text-align: center;"><b>AUCUN IMPACT DECELE</b></td> <td style="text-align: center;"><b>BON ETAT ECOLOGIQUE DES EAUX</b></td> <td style="text-align: center;"><b>BON ETAT CHIMIQUE</b></td> <td style="text-align: center;"><b>AUCUN IMPACT DECELE</b></td> <td style="text-align: center;"><b>AUCUN IMPACT DECELE</b></td> <td style="text-align: center;"><b>BON ETAT ECOLOGIQUE</b></td> </tr> </tbody> </table>	COMPARTIMENTS	AIR	EAU	SEDIMENT	FAUNE AQUATIQUE	BIO SURVEILLANCE <i>(Abeilles)</i>	VEGETATION	MESURES	Réseau CODEX <i>HCl / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> / NO<sub>x</sub></i>	Suivi de la qualité physico-chimique	Suivi de la qualité physico-chimique	Diversité, Richesse, Abondance	Dynamique des colonies	Pluiolessivats	Analyseurs mobiles <i>HCl</i>	KAROUABO	KAROUABO	Lésions anatomo pathologique <i>(poisson)</i>	Analyse particulière	Surveillance espaces naturels littoraux	Bacs à eau <i>HCl / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	MALMANOURY	MALMANOURY	Dosage Aluminium <i>(poisson)</i>	Bio marqueurs génétiques	Peuplements botaniques d'intérêt majeurs	Shelters SOYOUZ <i>CO / CO<sub>2</sub> / NO<sub>x</sub> / SO<sub>x</sub> / PM / HCT</i>	PARACOU	PARACOU	SMEG <i>(invertébrés)</i>	Espèce végétale patrimoniale	ETAT GENERAL	<b>AUCUN IMPACT DECELE</b>	<b>BON ETAT ECOLOGIQUE DES EAUX</b>	<b>BON ETAT CHIMIQUE</b>	<b>AUCUN IMPACT DECELE</b>	<b>AUCUN IMPACT DECELE</b>	<b>BON ETAT ECOLOGIQUE</b>												
COMPARTIMENTS	AIR	EAU	SEDIMENT	FAUNE AQUATIQUE	BIO SURVEILLANCE <i>(Abeilles)</i>	VEGETATION																																													
MESURES	Réseau CODEX <i>HCl / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> / NO<sub>x</sub></i>	Suivi de la qualité physico-chimique	Suivi de la qualité physico-chimique	Diversité, Richesse, Abondance	Dynamique des colonies	Pluiolessivats																																													
	Analyseurs mobiles <i>HCl</i>	KAROUABO	KAROUABO	Lésions anatomo pathologique <i>(poisson)</i>	Analyse particulière	Surveillance espaces naturels littoraux																																													
	Bacs à eau <i>HCl / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	MALMANOURY	MALMANOURY	Dosage Aluminium <i>(poisson)</i>	Bio marqueurs génétiques	Peuplements botaniques d'intérêt majeurs																																													
	Shelters SOYOUZ <i>CO / CO<sub>2</sub> / NO<sub>x</sub> / SO<sub>x</sub> / PM / HCT</i>	PARACOU	PARACOU	SMEG <i>(invertébrés)</i>		Espèce végétale patrimoniale																																													
ETAT GENERAL	<b>AUCUN IMPACT DECELE</b>	<b>BON ETAT ECOLOGIQUE DES EAUX</b>	<b>BON ETAT CHIMIQUE</b>	<b>AUCUN IMPACT DECELE</b>	<b>AUCUN IMPACT DECELE</b>	<b>BON ETAT ECOLOGIQUE</b>																																													

Figure 1 : Lancement VA234, CNES Optique Vidéo 2016

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p> <p>Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p align="center"><b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b></p> <p>Ed/Rev : 01/00      Classe : GP</p> <p>Date : <b>09/07/2019</b></p> <p>Page : <b>18/114</b></p>
--	--	--

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
<p><b>LOCALISATION DES ZONES DE PASSAGE DU NUAGE DE COMBUSTION</b></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><b>MODELISATION DES RETOMBES AU SOL DU NUAGE DE COMBUSTION</b></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><b>SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR : CAPTEURS ENVIRONNEMENT EN CHAMP PROCHE ET EN CHAMP LOINTAIN</b></p> <p>Mesures des retombées chimiques et particulaires pour Ariane 5 et VEGA</p>	<p align="center">Les mesures réalisées s'intéressent aux produits de combustion majoritairement émis par chaque lanceur lors de son décollage.</p> <p>Pour les lanceurs <b>Ariane 5 et VEGA</b> nous nous intéressons à l'<b>acide chlorhydrique</b> et à l'<b>alumine</b> ; Pour le lanceur <b>SOYOUZ</b>, on s'intéresse aux émissions en <b>monoxyde</b> et <b>dioxyde de carbone</b>, les <b>oxydes d'azote</b> et de <b>soufre</b> ainsi que les <b>particules fines</b> (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les résultats des mesures effectuées pour les vols Ariane 5 n°228 à 234 n'ont pas montré de particularité par rapport aux lancements des précédentes années.</li> <li>▪ Les plus fortes concentrations sont toujours observées en champ proche (dans un périmètre maximal de 500 mètres autour du pas de tir).</li> <li>▪ Les mesures réalisées pour les vols VEGA de l'année 2016 n'ont pas montrés de particularité. En effet, les concentrations mesurées sont bien plus faibles que celles retrouvées suite aux tirs d'Ariane.</li> <li>▪ Il a été observé que l'essentiel des capteurs positionnés près de la côte restent influencés par l'air marin ; c'est pourquoi ces capteurs enregistrent régulièrement des pics de concentrations en ions chlorures. Ce phénomène est régulièrement observé à Kourou et à Sinnamary.</li> </ul> <p>Nota : Durant le temps d'exposition des bacs à eau, des évènements pluvieux ont parfois été enregistrés sur le territoire du CSG. On note notamment de fortes précipitations suite au vol VA230 (juin 2016), entraînant le débord de certains bacs et donc une potentielle sous-estimation des concentrations pour ce vol. Néanmoins, hormis pour VA230, aucun bac n'a débordé et les analyses ont pu être réalisées dans les meilleures conditions possibles.</p>



<p align="center"><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p> <p align="center">Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement <b>Service Environnement et Sauvegarde Sol</b></p>	<p align="center"><b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b></p> <p>Ed/Rev : 01/00                      Classe : GP</p> <p>Date : <b>09/07/2019</b></p> <p>Page : <b>19/114</b></p>
---	--	--

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
<p align="center"><b>SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR :</b></p> <p align="center"><b>RESEAU CODEX, ANALYSEURS FIXES ET MOBILES, SHELTERS ENVIRONNEMENT</b></p> <p align="center">Suivi en continu</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 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) ou situés dans l'axe des carneaux 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 2016, des concentrations ont été détectés en acide chlorhydrique par les appareils situés en champ proche. Ces détections positives ont eu lieu lors des vols VA231, VA233 et VA234. On note que les teneurs mesurées correspondent à un pic de concentration représentatif du décollage du lanceur.</li> <li>▪ 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°14 et n°15. 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.</li> <li>▪ 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 2016. Pour les autres vols, il n'y a pas d'écart significatif remettant en cause le choix de l'option de pose.</li> <li>▪ Ce constat est confirmé au regard du suivi des indices de la qualité de l'air sur la commune de Kourou réalisé par l'Observatoire Régional de l'Air de Guyane.</li> </ul>
<p align="center"><b>SUIVI CONTINU DE LA QUALITE DES EAUX DE SURFACE CRIQUE KAROUABO</b></p> <p align="center">(Uniquement pour Ariane 5 et Vega)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En 2016, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo a été installé en saison des pluies (VA229).</li> <li>▪ 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.</li> </ul>
<p align="center"><b>ANALYSE DE LA QUALITE PHYSICO- CHIMIQUE DES SEDIMENTS</b></p>	<p>En 2016, 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 2016.</p>
DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p> <p>Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p><b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b></p> <p>Ed/Rev : 01/00      Classe : GP</p> <p>Date : <b>09/07/2019</b></p> <p>Page : <b>20/114</b></p>
--	---	--

<p><b>PEUPELEMENTS DE POISSONS</b></p> <p><b>« ICHTYOFAUNE »</b></p>	<p>L'absence de relation entre le poids des poissons et le taux d'aluminium dans les muscles, montre que ce composé n'est pas bioaccumulable (contrairement au mercure). Aussi, l'aluminium dans la chair des poissons ne semble pas devoir être un facteur d'inquiétude en termes d'écotoxicité.</p> <p>Aucune différence n'est à retenir entre les 3 criques, aussi la « contamination » d'aluminium n'est pas localisé mais généralisée. Elle n'est, par conséquent, pas attribuable aux activités de lancements Ariane 5, VEGA ni Soyuz. Elle est tout simplement naturelle.</p>
<p><b>INVERTEBRES AQUATIQUES</b></p>	<p>La qualité biologique des criques est définie au moyen du Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais (SMEG) ; cet indicateur est calculé en fonction de la présence (ou de l'absence) de taxons bio indicateurs de la qualité ou au contraire, de pollution. Les résultats du suivi des invertébrés aquatiques en <b>2016</b> 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><b>AVIFAUNE</b></p>	<p>En 2016, aucun prélèvement de coquille d'œuf n'a été effectué sur les nichoirs du Centre Spatial Guyanais.</p>
<p><b>LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET SUIVI DE L'EFFECTIF DE LA COLONIE D'IBIS ROUGES ET D'ARDEIDES</b></p>	<p>Aucun survol n'a été effectué en 2016 sur le littoral du CSG.</p>
<p><b>EVOLUTION DES ESPACES NATURELS LITTORAUX</b></p>	<p>Aucun survol n'a été effectué en 2016 sur le littoral du CSG.</p>

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p> <p>Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement  <b>Service Environnement et Sauvegarde Sol</b></p>	<p><b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b></p> <p>Ed/Rev : 01/00      Classe : GP</p> <p>Date : <b>09/07/2019</b></p> <p>Page : <b>21/114</b></p>
--	---	--

DOMAINE DE MESURES	SYNTHESE DES RESULTATS
<p><b>SUIVI DE LA VEGETATION</b>  Analyse des pluviollessivats  (Uniquement pour Ariane 5 et Vega)</p>	<p>En 2016, le suivi de l'impact des lancements sur la végétation n'a pas été réalisé.</p> <p>Néanmoins, le retour d'expérience permet d'affirmer que les teneurs en ions fluctuent de façon importante en champ proche. Les retombées chimiques sur la végétation sont, par conséquent, fortement dépendantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Du positionnement géographique des bacs,</li> <li>✓ De la direction prise par le nuage de combustion,</li> <li>✓ De la pluviométrie et des conditions météorologiques du moment.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pour le champ lointain, les résultats obtenus sont quasi-constants et homogènes.</li> </ul> <p>Globalement, l'impact des retombées chimiques sur la végétation est modéré en champ proche et négligeable en champ lointain.</p>
<p><b>SUIVI DES PEUPELEMENTS BOTANIQUES D'INTERET MAJEUR</b></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 2016, 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>

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>22/114</b>
--	--	--

## 2. OBJET - DOMAINE D'APPLICATION

Ce document présente les résultats des mesures réalisées en **2016** 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 onze (11) lancements opérés au CSG soient :

- des sept (7) campagnes Ariane 5 (vols A228 à 234)
- des deux campagnes Vega (vols V07 et V08)
- des deux (2) campagnes Soyuz (vols S14 et S15)

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 n°3 soit ELA3
  - VEGA soit ELVega
  - Soyouz soit ELS

En outre, il rappelle les mesures et les résultats obtenus pour les plans de mesures environnement initiés à l'occasion :

- de l'essai ARTA 6 au Banc d'Essai des Accélérateurs à Poudre (BEAP) du CSG **[DR18]**
- du brûlage du segment S2 n°125 sur l'Aire de Destruction du Propergol (ADP) du CSG **[DR19]**

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 23/114
--	--	---

### 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 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)** et l'**acide chlorhydrique (HCl)** issues :

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

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

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>  Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement  Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p align="center"><b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES  Ed/Rev : 01/00 Classe : GP  Date : 09/07/2019  Page : 24/114</p>
---	--	--

- **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.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 25/114
--	--	---

### 3.3. Les conditions météorologiques

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

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

- Les résultats de simulation obtenus à partir des données météorologiques prévisionnelles (CEP ou ARPEGE) ont permis de choisir l'option de pose des capteurs,
- Les résultats de simulation obtenus à partir du radiosondage effectué en chronologie positive (hauteur de stabilisation, déplacement du nuage, etc.) pourront être corrélés aux valeurs de terrain (présentées aux **paragraphes 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 2 : Bac à eau sur son trépied métallique et SPM Honeywell sur le chemin de ronde AR5  
Service OPTIQUE VIDEO CNES



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

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

**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 <sup>2</sup>
Concentration en aluminium (particulaire, dissous et totale)	mg/m <sup>2</sup>

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
<b>A I R</b>	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.



<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>27/114</b>
--	--	--

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 N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / NO<sub>2</sub>
- } Soit **24 analyseurs fixes**

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

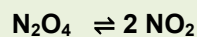
### ***3.5. Mesures en continu des retombées chimiques gazeuses en acide chlorhydrique***

#### **3.5.1. Objectif des mesures**

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

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

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



<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 28/114
--	--	---

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

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).

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 29/114
--	--	---

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

En **2016**, le CSG a opéré six (7) lancements Ariane 5 en heure locale :

❖	Vol A228	27/01/2016	à 20h20 min
❖	Vol A229	09/03/2016	à 02h20 min
❖	Vol A230	18/06/2016	à 18h38 min
❖	Vol A231	05/10/2016	à 17h30 min
❖	Vol A232	24/08/2016	à 19h16 min
❖	Vol A233	17/11/2016	à 10h06 min
❖	Vol A234	21/12/2016	à 17h30 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 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 2016. Un tableau récapitulatif est présenté en **Annexe 4** du présent document).

Pour l'ensemble des lancements réalisés en 2016, l'analyse des simulations a montré :

- des écarts moyens comparables aux années précédentes, avec une valeur de 15 % en 2016 pour et une valeur de 11% en 2015 et 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).

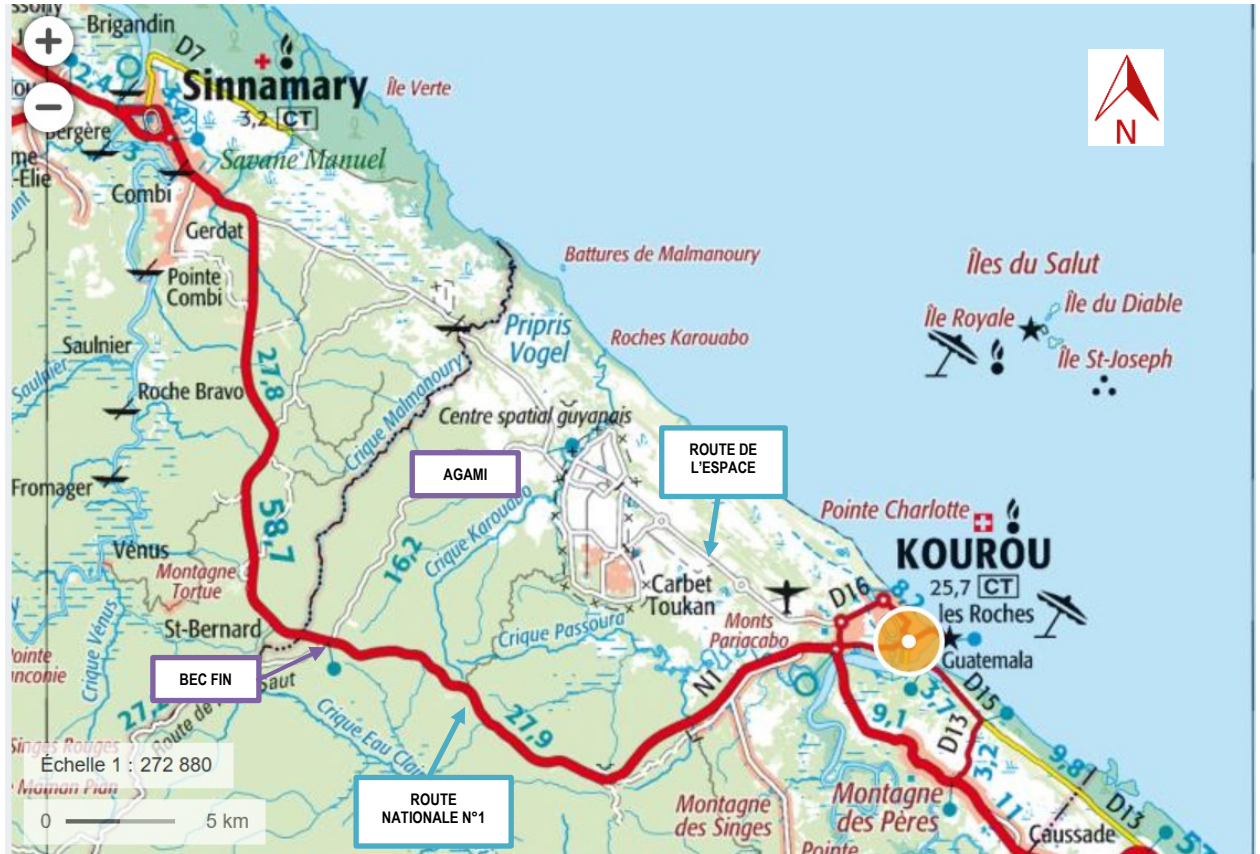


Figure 4 : Cartographie du CSG (Carte IGN, Géoportail ©)

**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...	
VA228	69	AGAMI	AGAMI
VA229	32	BEAP	AGAMI
VA230	80	AGAMI	AGAMI
VA231	68	AGAMI	ROUTE DE L'ESPACE
VA232	100	DIANE	AGAMI
VA233	103	DIANE	ROUTE DE L'ESPACE
VA234	88	AGAMI	ROUTE DE L'ESPACE

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 31/114
--	--	---

**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 <sup>3</sup> )
VA228	2,2	10,3
VA229	1,8	10,4
VA230	2,7	13,8
VA231	1,7	9,6
VA232	15,4	63,7
VA233	1,6	8,5
VA234	1,5	7,0

Les **concentrations en acide chlorhydrique** restent en dessous de la VLE (Valeur Limite d'Exposition égale à 5 ppm) sur l'ensemble des vols hormis VA232 pour lequel la valeur estimée est d'environ 3 fois le VLE (15,4 ppm). Concernant l'**alumine**, les concentrations estimées pour les vols VA228, VA229, VA230 dépassent sensiblement la VME (10 mg/m<sup>3</sup>) et la concentration estimée pour VA232 est plus de 6 fois supérieure.

Dans notre cas, 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. Les valeurs estimées pour VA232 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.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : <b>09/07/2019</b>
		Page : <b>32/114</b>

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

VOL	2016		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	HCl (ppm)	Alumine (mg/m <sup>3</sup> )
<b>A228</b>	27	Janvier	70	Site d'observation Agami	1,1	6,1
<b>A229</b>	09	Mars	45	Site Bec Fin	2,6	13,2
<b>A230</b>	18	Juin	104	Station de poursuite Diane	1,5	7,2
<b>A231</b>	05	Octobre	102	Station de poursuite Diane	2,00	23,2
<b>A232</b>	24	Août	101	Station de poursuite Diane	1,7	9,6
<b>A233</b>	17	Novembre	107	Station de poursuite Diane	1,4	6,6
<b>A234</b>	21	Décembre	81	Site d'observation Agami	1,8	8,7

Pour l'année 2016, la direction prise par le nuage de combustion est directement liée aux conditions météorologiques du moment, et non pas aux grandes saisons.

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 inférieures au SEI (Seuil des Effets Irréversibles) de 30 ppm pour 30 min.

Pour l'alumine, la VME (Valeur Moyenne d'Exposition) est de 10 mg/m<sup>3</sup>. La valeur maximale mesurée en 2016 est de 23,2 mg/m<sup>3</sup> et correspond au vol V231. Cette valeur est non négligeable et peut être expliquée par le fait qu'elle soit calculée 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.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 09/07/2019
		Page : 33/114

Tableau 9 : Tableau comparatif des résultats des modélisations pour Ariane 5 en 2016

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
<b>A228</b>		<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 2C280116.TXT DU 28/01/2016 À 00H00X TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP 4R270116.TXT DU 27/01/2016 À 22H31 TU</b>
<b>A228</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	<b>1078</b>	<b>1210</b>
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	69	70
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	<b>2,2</b>	<b>1,1</b>
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	<b>10,3</b>	<b>6,1</b>
<b>A229</b>		<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 2C090316.TXT DU 09/03/2016 À 06H00 TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP 2R090316.TXT DU 09/03/2016 À 05H40 TU</b>
<b>A229</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	<b>1077</b>	<b>1177</b>
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	32	45
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	<b>1,8</b>	<b>2,6</b>
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	<b>10,4</b>	<b>13,2</b>
<b>A230</b>		<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 2C170616.TXT DU 17/06/2016 À 18H00 TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP 6R180616.TXT DU 18/06/2016 À 22H03 TU</b>
<b>A230</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	<b>1120</b>	<b>1146</b>
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	80	104
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	<b>2,7</b>	<b>1,5</b>
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	<b>13,8</b>	<b>7,2</b>
<b>A231</b>		<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 1C061016.TXT DU 06/10/2016 À 00H00 TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP 3R051016.TXT DU 05/10/2016 À 17H16 TU</b>
<b>A231</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	<b>1107</b>	<b>1297</b>
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	66	102

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 34/114
--	--	---

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	1,7	2,0
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	9,6	23,2
<b>A232</b>		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C250816.TXT DU 24/08/2016 À 00H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R240816.TXT DU 24/08/2016 À 22H46 TU
<b>A232</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1002	1015
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	100	101
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	15,4	1,7
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	63,7	9,6
<b>A233</b>		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C171116.TXT DU 17/11/2016 À 12H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R171116.TXT DU 17/11/2016 À 13H32 TU
<b>A233</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1092	1488
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	103	107
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	1,6	1,4
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	8,5	6,6
<b>A234</b>		PREVISION METEOROLOGIQUE 1C211216.TXT DU 21/12/2016 À 18H00 TU	RADIOSONDAGE CP 4R211216.TXT DU 21/12/2016 À 20H51 TU
<b>A234</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1089	1167
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	88	81
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	1,5	1,8
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	7,0	8,7

Les observations menées pour suivre la corrélation entre les simulations SARRIM au moyen des données CEP/ARPEGE et les mesures Radiosondage ont montré des écarts non négligeables sur la localisation des retombées au sol (au maximum 54% de différence sur la direction du nuage de combustion du lancement VA231).



<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 35/114
---	--	---

L'outil de modélisation SARRIM surestime généralement les valeurs de concentrations qui sont émises par le nuage de combustion.

Malgré l'écart observé sur la direction du nuage des deux modélisations, les capteurs ont correctement été implantés. Ces derniers ont donc tous 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 2016.

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, hormis pour VA228, dans le même ordre de grandeur ou supérieures aux concentrations estimées 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 au cours de l'année 2016. Ces derniers ont été soumis aux retombées provenant du nuage de combustion du lanceur Ariane 5.**

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

Sur l'ensemble des systèmes détecteurs du réseau de **Collecte de Données Environnement extérieur** du CSG (**CODEX**), 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 5 : SPM en cours de mise en place



Figure 6 : 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 2016**

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
A228	ND	ND	ND	ND
A229	HS	HS	HS	HS
A230	ND	ND	ND	ND
A231	<b>6 ppm</b>	ND	ND	ND
A232	ND	ND	ND	ND
A233	<b>15 ppm</b>	ND	ND	ND

HS : Hors service

ND : Non détecté

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 37/114
--	--	---

Pour le vol A234, seuls trois détecteurs mobiles étaient en état de fonctionnement :

VOL	Honeywell 3 CP03	Honeywell 4 CL07	Honeywell 5 CL08
Localisation des Single Point Monitor Honeywell	Chemin de ronde de la ZL3 - Intersection entre la zone 49 et 48	Pont Karouabo	Parking de l'ancienne RN1
A234	<b>1,21 ppm</b>	ND	ND

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 2016 a permis d'éviter toute détection en dioxyde d'azote ou en produits hydrazinés.

En conclusion, seuls les appareils mobiles situés en champ proche (à moins de 1 kilomètre de la ZL3) ou dans l'axe des carneaux ont détecté une concentration en acide chlorhydrique. Ces détections positives ont eu lieu lors des vols VA231, VA233 et VA234. On note que les teneurs mesurées correspondent à un pic de concentration représentatif du 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 2016.**

#### **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.

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. On note notamment de fortes précipitations suite au vol VA230 (juin 2016), entraînant le débord de certains bacs et donc une potentielle sous-estimation des concentrations pour ce vol. Néanmoins, hormis pour VA230, aucun bac n'a débordé et les analyses ont pu être réalisées dans les meilleures conditions possibles.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 38/114
--	--	---

#### 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 2016.

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

	Vol	A228	A229	A230	A231	A232	A233	A234
<b>CHAMP PROCHE</b>	<b>C<sub>max</sub></b> (mg/m <sup>2</sup> )	86,83	84,07	390,54	54,36	461,74	398,01	458,51
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	362	236	445	277	362	277	445
	<b>Localisation</b>	<b>CP 01</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 50	<b>CP 02</b> Chemin de Ronde ZL3 - milieu zone 49	<b>CP 04</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 47 et 48	<b>CP 03</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 48 et 49	<b>CP 01</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 50	<b>CP 03</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 48 et 49	<b>CP 04</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 47 et 48
<b>CHAMP LOINTAIN</b>	<b>C<sub>max</sub></b> (mg/m <sup>2</sup> )	4,31	1,81	3,24	76,08	234,305	5,73	1,77
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	2 935	4 446	16 058	4 006	4 446	2 640	1874
	<b>Localisation</b>	<b>CL09</b> Portail Piste Agami	<b>CL16</b> Piste Agami - PK1,5 après portail (Morne Bocco)	<b>CL04</b> Kourou - CMCK	<b>CL17</b> Piste Agami - PK4 après portail	<b>CL16</b> Piste Agami - PK1,5 après portail (Morne Bocco)	<b>CL12</b> PK17,7 depuis Changement sur route de l'espace direction ELA (embranchement ancienne RN1)	<b>CL08</b> Parking ancienne RN1

#### 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 450 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.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : <b>09/07/2019</b>
		Page : 39/114

#### 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 2016.

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

	Vol	A228	A229	A230	A231	A232	A233	A234
<b>CHAMP PROCHE</b>	<b>C<sub>max</sub></b> (mg/m <sup>2</sup> )	2722,74	1223,38	10 603,07	4 832,2	10 908,69	9528	6662,7
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	362	236	277	277	277	277	277
	<b>Localisation</b>	<b>CP 01</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 50	<b>CP 02</b> Chemin de Ronde ZL3 - milieu zone 49	<b>CP03</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 48	<b>CP03</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 48	<b>CP03</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 48	<b>CP03</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 48	<b>CP03</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 48
<b>CHAMP LOINTAIN</b>	<b>C<sub>max</sub></b> (mg/m <sup>2</sup> )	431,06	262,37	162,13	159,00	31,95	74,14	150,6
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	17 152	17 054	5164	2 429	2 429	16 000	17 851
	<b>Localisation</b>	<b>CL03</b> Kourou - Débarcadère des Iles	<b>CL02</b> Kourou - Hôtel Les Roches	<b>CL05</b> Site Toucan	<b>CL07</b> Pont Karouabo	<b>CL07</b> Pont Karouabo	<b>CL17</b> Piste Agami - PK4 après portail	<b>CL02</b> Kourou - Hôtel Les Roches

#### 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 400 mètres environ (confer le *Tableau 11*).
- 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 2016, on observe une influence importante de l'apport maritime en ions chlorures pour les capteurs situés en bord de mer (maximums mesurés sur les sites de Kourou pour les vols 228, 229 et 234). 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.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 40/114
--	--	---

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 **localisés à Kourou (CL01 à CL04)**

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 500 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 augmente. Les résultats attestent du passage du nuage de combustion au-dessus des bacs, selon les conditions météorologiques au moment du lancement.

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

Lors du lancement A230, un apport météorique de 51,5 mm a été mesuré durant le temps d'exposition des capteurs. Ce phénomène de fortes précipitations a engendré le débord de certains bacs.

Les apports météoriques lors des autres vols n'ont pas engendré d'altération notable des échantillons.

#### **4.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement des lancements Ariane 5 en 2016**

Les mesures réalisées pour les vols Ariane 228 à 234 n'ont pas montré de particularités par rapport aux années précédentes. En effet, les plus fortes concentrations sont toujours observées en champ proche (dans un périmètre maximal de 500 mètres autour de la ZL3).

Ces dernières restent **inférieures aux seuils réglementaires d'exposition** (5 ppm pour l'acide chlorhydrique et 10 ppm pour l'alumine). **Au-delà**, les concentrations sont **négligeables voire inférieures aux seuils de quantification**.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 41/114
--	--	---

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

En 2016, le CSG a opéré deux (2) missions Vega :

- ❖ Vol VV07                    15/09/2016 à 22h43min (en heure locale)
- ❖ Vol VV08                    05/12/2016 à 10h51min (en heure locale)

Des plans de mesures environnement ont été réalisés pour ces deux lancements de l'année 2016, conformément aux prescriptions de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter l'Ensemble de Lancement Vega (ELVega) **[DA03]**.

Seuls les principaux résultats et conclusions 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 des lancements VV07 et VV08.

#### 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.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 09/07/2019
		Page : 42/114

**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...	
V07	105	DIANE	ROUTE DE L'ESPACE
V08	88	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 <sup>3</sup> )
V07	1,9	9,6
V08	1,9	10,1

A 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). De plus, ces teneurs maximales restent très éloignés du Seuil des Effets Irréversibles (SEI) fixé à 30 ppm pour 30 minutes.

Pour l'alumine, la concentration maximale donnée par la simulation dépasse très légèrement le seuil réglementaire fixé par la VME pour le vol V08 (Valeur Moyenne d'Exposition égale à 10 mg/m<sup>3</sup>).

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

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



<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : 09/07/2019
		Page : 43/114

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

VOL	2016		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	HCl (ppm)	Alumine (mg/m <sup>3</sup> )
VV07	15	Septembre	110	DIANE	0,9	4,0
VV08	05	Décembre	72	AGAMI	0,4	1,2

On note que les valeurs maximales estimées à l'aide du radiosondage sont inférieures à la VLE pour le HCl et à la VME pour l'alumine.

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

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

Par comparaison avec la simulation réalisée à H0 +/- 25 minutes, nous n'observons pas d'écart significatif (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 2016

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
	<b>VV07</b>	<b>PREVISION METEOROLOGIQUE 2C160916.TXT DU 16/09/16 À 00H00 TU</b>	<b>RADIOSONDAGE CP 1R160916.TXT DU 16/09/16 À 02H12 TU</b>
<b>VV07</b>	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	<b>615</b>	<b>672</b>
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
	- Direction moyenne des vents (°)	105	110
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	<b>1,9</b>	<b>0,9</b>
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	<b>9,6</b>	<b>4,0</b>

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 44/114
--	--	---

VOLS	DONNES METEOROLOGIQUES	PREVISION METEOROLOGIQUE	RADIOSONDAGE CP
	VV08	PREVISION METEOROLOGIQUE 2C051216.TXT DU 05/12/16 À 12H00 TU	RADIOSONDAGE CP 3R051216.TXT DU 05/12/16 À 14H12 TU
	HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	727	1140
	BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)		
VV08	- Direction moyenne des vents (°)	88	72
	- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	1,9	0,4
	- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	10,1	1,2

Pour rappel, les capteurs ont été implanté suivant la situation « route de l'espace » pour VV07 et « AGAMI » pour VV08.

### 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 négligeables puisque les directions restent inchangées (DIANE pour VV07 et AGAMI pour VV08)

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 supérieurs à celles estimées 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**.

**Pour les deux lancements Vega de l'année 2016, les capteurs environnement ont correctement été implantés.**  
**Ces derniers ont ainsi tous 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).

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 45/114
--	--	---

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

**Tableau 17: Tableau récapitulatif des détections d'acide chlorhydrique par les Honeywell pour l'année 2016**

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)
VV07	ND	ND	ND	ND
VV08	<b>Détecteur endommagé durant le lancement</b>	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. A noter que le détecteur mobile placé en CP4 a été retrouvé totalement détruit à la suite d'un feu de broussailles engendré par le lancement de V08.

Par ailleurs, l'absence de situation dégradée pour ces vols, 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.

Les apports météoriques ont été relativement faibles pour le vol VV07 (8mm) et nulles pour VV08 ; aucun bac à eau n'a donc débordé lors des plans de mesures.

#### **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	VV07	VV08
<b>CHAMP PROCHE</b>	<b>C<sub>max</sub></b> (mg/m <sup>2</sup> )	21,531	14,64
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	168	168
	<b>Localisation</b>	<b>CP04</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 49 et 48	<b>CP04</b> Chemin de ronde ZL3 – milieu Zone 45
<b>CHAMP LOINTAIN</b>	<b>C<sub>max</sub></b> (mg/m <sup>2</sup> )	1,31	1,16
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	2 238	2 238
	<b>Localisation</b>	<b>CL09</b> Portail Piste Agami	<b>CL09</b> Portail Piste Agami

**Remarques :**

- Les concentrations maximales sont mesurées en **champ proche**, à moins de 200 mètres du pas de tir.
- En **champ lointain**, les concentrations sont faibles à négligeables.

### 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	VV07	VV08
<b>CHAMP PROCHE</b>	<b>C<sub>max</sub></b> (mg/m <sup>2</sup> )	228,99	135,9
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	803	541
	<b>Localisation</b>	<b>CP07</b> Chemin de Ronde de la ZL3 - intersection zone 42 et 43	<b>CP06</b> Chemin de ronde ZL3 – Intersection entre zone 44 et 43
<b>CHAMP LOINTAIN</b>	<b>C<sub>max</sub></b> (mg/m <sup>2</sup> )	178,89	78,9
	<b>Distance de la ZL3 (m)</b>	9 853	15 599
	<b>Localisation</b>	<b>CL20</b> Piste Agami – PK10 après portail	<b>CL24</b> Sur RN1 direction Sinnamary 10 km après carrefour piste Agami soit PK 95,1 de la RN1

**Remarques :**

- Que ce soit en champ proche ou lointain, les concentrations mesurées en ions chlorures restent faibles, et sont très inférieures à celle mesurées lors de tirs Ariane.

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

Les mesures réalisées pour les vols VEGA 07 et 08 n'ont pas montré de particularités, avec des concentrations mesurées plus faibles que lors des lancements Ariane. Ce phénomène s'explique aisément car 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.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service <b>Environnement et Sauvegarde Sol</b>	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 48/114
---	--	---

### ***5.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement du lancement VEGA en 2016***

L'impact des retombées en **acide chlorhydrique** et en **aluminium particulaire sédimentable** des vols VV07 et VV08 est **très limité** (quantitativement) voire négligeable que ce soit en **champ proche** ou en **champ lointain**. Les plus fortes concentrations sont toujours observées en champ proche (dans un périmètre maximal de 500 - 800 mètres autour de la ZLV).

Par ailleurs, les simulations réalisées à l'aide des moyens CEP et des radiosondages se corrélant, cela confirme l'utilisation des données prévisionnelles dans l'optimisation de l'implantation des capteurs.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 49/114
--	--	---

## 6. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT SOYOUZ

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

Le lanceur prend son envol depuis la Zone de Lancement Soyouz (ZLS) située au sein de l'Ensemble de Lancement 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 SoyOuz est réalisée par la combustion de kérosène et d'oxygène liquide.

Les principaux produits issus de cette réaction sont les suivants :



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

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

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 50/114
--	--	---

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

En 2016, le CSG a opéré un nombre de deux (2) lancements Soyouz répartis de la façon suivante au cours de l'année (en heure locale) :

❖ Vol S14	25/04/2016	à	18h02 min
❖ Vol S15	24/05/2016	à	05h48 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 Soyouz (ELS) **[DA 02]**.

Les principaux résultats et conclusions des mesures seront présentés dans ce document.

### **7.1. Objectifs des mesures**

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

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

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

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

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



<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 51/114
--	--	---

## 7.2. Les conditions météorologiques

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

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

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

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

## 7.3. Localisation des points de mesures

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

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

EMPLACEMENT		DISTANCE ZLS (m)	ANALYSEUR ENV. SA
<b>A I R</b>	Hôtel des Roches Kourou – ( <b>Shelter n°1</b> )	27 950	Oui
	Gendarmerie de Sinnamary – ( <b>Shelter n°2</b> )	15 900	Oui
	BLA – EPCU S3G (Laboratoire de chimie CSG) - ( <b>Shelter n°3</b> )	10 520	Oui
	Shelter optique à l'ouest de la ZLS (bâtiment 3529) – ( <b>Shelter n°4</b> )	190	Oui
	Zone de dépotage PHHC (bâtiment 3551) – ( <b>Shelter n°5</b> )	550	Oui
	Zone de stockage PHHC (bâtiment 3556) – ( <b>Shelter n°6</b> )	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 SOYOUZ représente quarante-huit (48) capteurs.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>52/114</b>
--	--	--

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

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

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

VOL	2014		DIRECTION DES VENTS (°)		CONCENTRATIONS MAXIMALES	
	Jour	Mois	Basses couches	Vers	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)
VS14	25	Avril	84,2	Sud-Ouest	3,21	4,67
VS15	24	Mai	138,8	Nord Nord-Ouest	0,47	0,68

Pour l'année 2016, 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 21** nous renseigne sur les teneurs maximales estimées par le code de calcul et nous permet d'en déduire l'impact de la trace de combustion en champ lointain.

Il est important de rappeler que les produits de combustion majoritaires (Monoxyde de carbone (CO) et Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)) suivis par le Plan de Mesures Environnement du lanceur SOYOUZ ont la particularité d'être des substances naturellement présentes dans l'atmosphère et d'une manière générale dans le milieu naturel.

L'origine des émissions n'est donc pas exclusive à l'activité de lancement du SOYOUZ, 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 (CO<sub>2</sub>)

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

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

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

Ces seuils sont conformes aux recommandations de l'INRS et de l'INERIS [DR13 et DR14].

A titre d'exemple, il est intéressant de noter qu'en 2017, l'Observatoire Régional de l'Air de Guyane (ORA Guyane) a mené une étude du suivi de la concentration en *monoxyde de carbone* générée par le trafic routier, notamment en situation d'embouteillage, au niveau de l'avenue de la Madeleine sur la commune de Cayenne. Les résultats obtenus oscillent entre un maximum de 5,3 mg/m<sup>3</sup> et un minimum de 3,9 mg/m<sup>3</sup> de monoxyde de carbone (Valeur de référence 10mg/m<sup>3</sup> sur 8h de moyenne) [DR12].

Par ailleurs, en 2016 l'ORA a pu suivre les indices de qualité de l'air sur la commune de Kourou grâce à leur station de surveillance BRADY, implanté au sein du lycée G. Monnerville (Rapport d'activité 2016 – [DR11]). La station analyse quotidiennement les teneurs en **particules fines (PM<sub>10</sub>)**, en **dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)**, et en **ozone (O<sub>3</sub>)** de l'atmosphère urbaine.

La station analyse quotidiennement les teneurs en **particules fines (PM<sub>10</sub>)**, en **dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)**, et en **ozone (O<sub>3</sub>)** de l'atmosphère urbaine.

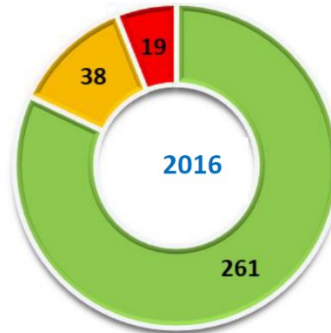


Figure 7 : Station de surveillance BRADY à Kourou, ORA 2016

La surveillance du paramètre **dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)** est assuré ponctuellement dans certaines zones, en raison des faibles concentrations recueillies au cours des cinq (5) dernières années.

En 2016, 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 (PM<sub>10</sub>).

Bilan des IQA de Kourou en nombre de jours



■ Très bon à bon ■ Moyen à médiocre ■ Mauvais à très mauvais

Figure 8 : Bilan des indices de qualité de l'air (IQA) à la station Brady en nombre de jour [DR23]

Les émissions en **dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)** n'ont pas engendré de dépassement des seuils réglementaires sur la Guyane ; les concentrations moyennes annuelles sont de l'ordre de **3 µg/m<sup>3</sup>**, elles sont jugées **faibles**.

Sur la ville de Kourou, la valeur moyenne horaire maximale est de 29 µg/m<sup>3</sup> et le maximum horaire a été atteint le 08/09/2016 à 13h. Cette mesure n'est pas imputable à une activité de lancement au Centre Spatial Guyanais. Cette valeur ne peut être imputable à l'essai ARTA 6 non plus, puisqu'aucun produit de cette nature n'est émis lors de l'essai de mise à feu d'un spécimen d'EAP.

Pour mémoire, les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), 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 (O<sub>3</sub>)** ont été mesurés en 2016. 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 2016, les concentrations ne dépassent pas les seuils réglementaires à Kourou. Les concentrations moyennes annuelles sont de l'ordre de **32 µg/m<sup>3</sup>**, tandis que la valeur moyenne horaire maximale s'élève à 83 µg/m<sup>3</sup> et la valeur maximale horaire a été atteinte le 08/12/16 à 06h. Cette mesure n'est pas imputable à une activité de lancement au Centre Spatial Guyanais

Enfin, comme chaque année, les **particules fines (PM<sub>10</sub>)** 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/m<sup>3</sup>) et la valeur limite (40 µg/m<sup>3</sup>) fixée par la réglementation n'ont pas été dépassés en 2016. Les concentrations moyennes annuelles en particules sont de l'ordre de **23 µg/m<sup>3</sup>** ; la valeur moyenne horaire maximale sur la ville de Kourou s'élève à 174 µg/m<sup>3</sup> et la valeur maximale horaire a été atteinte le 29/12/16. 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 2016 est inférieure aux normales 1981-2010 (2800 mm). Ce déficit est en grande partie dû à l'influence d'un épisode El Nino en début d'année. Les excédents d'avril et de décembre n'auront pas suffi à combler ce manque.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 55/114
--	--	---

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

Les modélisations SARRIM de la « trace » de combustion des deux vols SOYOUZ effectués en 2016, 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 2016, les villes de Kourou et de Sinnamary non pas été exposées aux retombées de la trace de combustion des lancements SOYOUZ.**

**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 l'impact routier, 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 particulières réalisées par les analyseurs fixes dits « shelter ENVIRONNEMENT SA » (*7.5 Mesures en continu des retombées chimiques et particulières*).

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

### 7.5.1. Objectifs des mesures

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

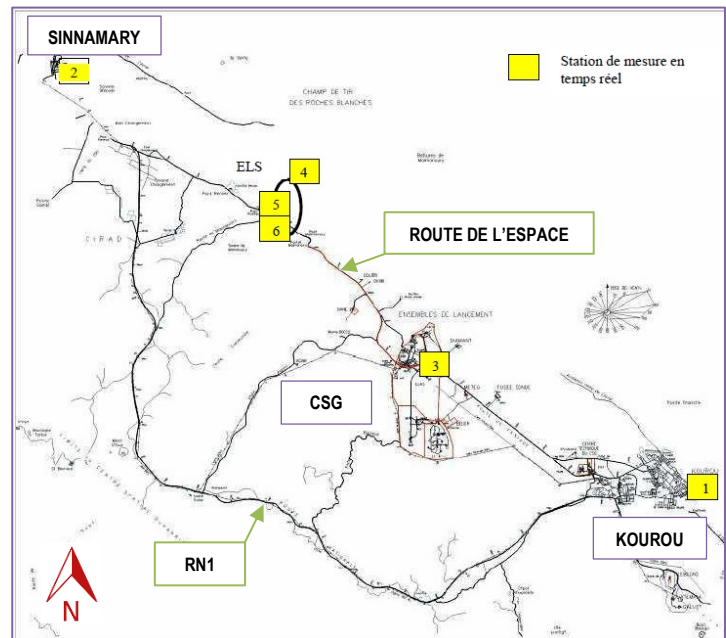
### 7.5.2. Les shelters « Environnement SA »

Les 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 RENNENR, 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 moyens des mesures en continu des détections et les concentrations pour les deux vols SOYUZ de l'année 2016. Il s'agit de moyennes calculées sur les 24 heures du J0 (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<sub>2</sub>),
- ✓ en **dioxyde de soufre** (SO<sub>2</sub>)
- ✓ en **monoxyde de carbone** (CO) et en **dioxyde de carbone** (CO<sub>2</sub>)
- ✓ en **hydrocarbures** (HCT),
- ✓ en **particules** (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>),
- ✓ et en **ozone** (O<sub>3</sub>)

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

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00    Classe : GP
		Date : <b>09/07/2019</b>
		Page : <b>57/114</b>

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

Paramètre	Unité	Vol	SHELTER 1	SHELTER 2	SHELTER 3	SHELTER 4	SHELTER 5	SHELTER 6
			KRU	SIN	S3G	3529 - ZLS	3551 - ELS	3556 - ELS
<b>SO2</b>	µg/m3	VS14	1,89	6,45	HS	0,28	3,50	4,46
		VS15	0,00	1,53	HS	0,00	0,29	2,58
<b>NO2</b>	µg/m3	VS14	0,02	3,56	HS	HS	1,89	20,39
		VS15	0,00	1,21	HS	HS	4,47	20,43
<b>CO</b>	mg/m3	VS14	7,47	0,54	HS	0,15	0,53	0,00
		VS15	8,53	0,48	HS	0,46	0,20	0,00
<b>CO2</b>	mg/m3	VS14	245,15	753,99	HS	777,61	760,04	7,85
		VS15	608,15	754,67	HS	758,47	577,24	0,00
<b>O3</b>	µg/m3	VS14	10,25	15,42	HS	28,75	17,34	29,16
		VS15	8,72	15,19	HS	32,58	14,26	26,13
<b>HCT</b>	mg/m3	VS14	0,30	HS	HS	HS	0,40	0,31
		VS15	0,29	0,21	HS	0,00	0,13	0,30
<b>PM10</b>	µg/m3	VS14	14,35	10,83	HS	10,26	7,27	6,72
		VS15	11,83	14,63	HS	81,72	5,94	12,73
<b>PM2,5</b>	µg/m3	VS14	6,62	5,33	HS	HS	0,04	0,00
		VS15	5,28	0,00	HS	29,93	0,00	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 Acquis**e – 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.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 58/114
--	--	---

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

Les analyseurs des shelters ENVIRONNEMENT SA n'ont pas été toujours fonctionnels en 2016. 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 SOYOUZ.

On relève quelques valeurs non négligeables, notamment sur le Dioxyde de Carbone (CO<sub>2</sub>), cependant ces résultats restent inférieurs aux valeurs limites d'exposition professionnelle.

En 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 Soyouz. Les concentrations « notables » sont expliqués par des phénomènes naturels.**

### 7.5.4. Les mesures du réseau CODEX

Pour chaque lancement SOYOUZ, 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 2016, aucune situation dégradée n'est survenue lors de décollage du lanceur SOYOUZ, ainsi aucune teneur en dioxyde d'azote, ou en produits hydrazinés n'a été détectée par les vingt-quatre (24) analyseurs du réseau CODEX. La technologie du lanceur SOYOUZ 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 Soyouz pour l'année 2016**

En 2016, 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 SOYOUZ au CSG.

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

Nous pouvons conclure que les **impacts générés** pendant les campagnes **Soyouz de l'année 2016** sont **non quantifiables voire négligeables, et bien moins significatifs qu'un impact dû 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.



<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 59/114
--	--	---

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

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

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

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

- ❖ ARTA 1 en mai 2000,
- ❖ ARTA 2 en novembre 2001
- ❖ ARTA 3 en novembre 2004
- ❖ ARTA 4 en juin 2008
- ❖ ARTA 5 en mai 2012

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



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

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

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

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

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

En ce qui concerne les prescriptions particulières, et plus spécifiquement l'alerte préalable aux essais (Article 12.4), les procédures de sauvegarde du CNES s'assurent de la vacuité de la zone notamment dans les secteurs pouvant être assujetties à des teneurs en acide chlorhydrique et en alumine supérieures aux seuils réglementaires d'expositions respectifs soit 7,6 mg/m<sup>3</sup> (ou 5 ppm) et 10 mg/m<sup>3</sup>.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>60/114</b>
--	--	--

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

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

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

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

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

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

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

## 9. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR L'ESSAI ARTA 6

Ce chapitre a pour objet de présenter les résultats des mesures d'impact sur l'environnement réalisées lors du l'essai à feu **ARTA 6**.

Cette opération a eu lieu le **08 septembre 2016 à 10 heures 00 minutes** en heure locale, au **Banc d'Essais des Accélérateurs à Poudre (BEAP)** après un report de 24 heures (J0 Bis) **[DR18]**.



Figure 9 : Tir ARTA 6 au CSG - CNES, Optique Vidéo 2016

### 9.1. Contexte météorologique de l'essai ARTA6

Le présent paragraphe a également pour objet d'interpréter les effets de la perturbation atmosphérique observée au J0 Bis sur les résultats du plan de mesures environnement.

Rappelons que les activités industrielles à risque menées au sein du CSG, telle que la mise à feu d'un spécimen d'EAP, sont autorisées sur la base de Critères Météorologiques dits de « Sauvegarde » (CMS).

Pour l'essai ARTA 6, différents points météo ont été réalisés sur la base des images radars (ROMUALD), des profils de vents (Mât météo localisé à Fusée Sonde), des résultats issus du dernier radiosondage (lâché à H0 - 1h30) dont la modélisation SARRIM (9.2).

Les observations du profil climatologique dans la zone d'intérêt ont révélé la formation lente et non pérenne (atténuation progressive et désagrégation) de cellules précipitantes au nord – est du BEAP, aux alentours de 30 km.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>62/114</b>
--	--	--

Compte tenu du scénario météorologique observé à H0 – 15 minutes, le responsable météo de l'opération annonce donc un risque de précipitation nul dans la zone d'intérêt pour une heure à partir du H0-15min. Le risque de précipitation est néanmoins avéré ensuite, à l'est de la zone d'intérêt.

Dans ces conditions et conformément aux procédures applicables, la mise à feu du spécimen est autorisée, les autres critères étant « VERT » par ailleurs.

Toutefois, une évolution climatique ponctuelle et inattendue s'est produite au moment de l'essai ARTA 6. Le suivi des imageries radars démontre qu'un phénomène de génération spontanée d'une ligne d'averse sur la bande littorale s'est produit au H0 dans un secteur nord-ouest (Nord-est de Sinnamary).

Ce phénomène n'avait pas été appréhendé par le responsable météo de l'opération puisque le risque de précipitation était encore nul dans la zone d'essai sur une heure à H0 -15 minutes.

En outre, on observe au H0 que le front nuageux observé à H0 -15minutes poursuit son ascension sur le littoral guyanais et que des cellules précipitantes se créent de façon spontanée au sud-est de la zone définie par les CMS. Ce phénomène est totalement imprévisible.

Le phénomène de convergence a engendré des précipitations au niveau du Centre Technique et de la ville de Kourou lors de la mise à feu du spécimen, situé à 15 km environ du BEAP.

La création spontanée de la ligne d'averse et l'accélération du vent à l'avant de la ligne d'averse, ayant entraîné une rotation imprévisible du vent, a ainsi conduit le nuage de combustion à prendre une toute autre direction (Sud) que celle indiquée par les données prévisionnelles (Ouest-Sud-Ouest). Le nuage de combustion s'est donc éloigné progressivement du BEAP dès le H0 alors qu'il ne pleuvait pas encore sur la zone.

La zone du BEAP n'était concernée par les précipitations qu'à H0 + 30 minutes. On peut supposer que si la zone de pluie a effectivement affecté le nuage de combustion, ce dernier était déjà en partie ou totalement dispersé lorsqu'il a été lessivé.

Ce phénomène est une représentation du caractère imprévisible de l'atmosphère guyanaise qu'il est difficile d'appréhender.

**Le caractère soudain de ces phénomènes n'ayant pas permis un réajustement du positionnement des bacs à eau du plan de mesures environnement, le présent rapport des résultats du PME mis en œuvre pour l'essai ARTA 6, précisent les mesures qui ont été prises pour évaluer l'impact au-delà des zones couvertes par le PME.**

## **9.2. Conclusion sur la simulation SARRIM issue du radiosondage 4R080916.txt**

A partir des données météorologiques du radiosondage spécifique (RS CP), l'outil de modélisation SARRIM génère des simulations permettant d'apprécier l'impact réel des retombées du nuage de combustion.

Les résultats obtenus ont permis de confirmer que la perturbation atmosphérique a largement modifié l'orientation du nuage telle qu'elle avait été envisagée via la prévision numérique. L'ensemble des capteurs constituant le plan de mesures environnement n'a donc pas été exposé aux retombées.

On observe que le phénomène pluvieux n'a pas lessivé le nuage de combustion puisqu'absent de la zone du BEAP au H0+2 min (fin de combustion de l'EAP). On note, de façon classique, que les valeurs maximales de concentration des produits de combustion générés sont mesurées en champ proche.

En champ lointain et au niveau de la RN1, les concentrations maximales en acide chlorhydrique et alumine sont respectivement de 4,8 ppm et 2,5 mg/m<sup>3</sup>.

Ces valeurs sont estimées au niveau de la route nationale, elles demeurent inférieures néanmoins aux seuils réglementaires d'exposition (VLE et VME).

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 63/114
--	--	---

### 9.3. Comparaison des résultats des simulations réalisées à partir des radiosondages et des données prévisionnelles (CEP)

Une 1<sup>ère</sup> optimisation de l'emplacement des capteurs en champ lointain avait été réalisée au moyen de radiosondages dits « pénalisants ».

Pour rappel, un calcul statistique a permis de déterminer les radiosondages les plus pénalisants (l'un pour l'acide chlorhydrique et l'autre pour l'alumine). Les résultats des simulations SARRIM au moyen de ces radiosondages ont permis d'établir une carte théorique d'implantation des capteurs.

Ainsi, ces derniers prévoient :

**Tableau 24 : Synthèse des résultats obtenus suite à la modélisation SARRIM à partir des radiosondages « pénalisants » 3R150994.txt (HCl) et 3R020900.txt (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

	RADIOSONDAGE 3R150994 DU 15 SEPTEMBRE 1994 À 19H55 TU	RADIOSONDAGE 3R020900 DU 02 SEPTEMBRE 2000 À 18H47 TU
HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	1130	1 426
<b>BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)</b>		
- Direction moyenne des vents (°)	119	129
- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	10,9	/
- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	/	4,4

La comparaison de ces résultats avec ceux de la simulation réalisée à partir du radiosondage H0 + 18 min (**4R080916**), met en évidence :

- que les résultats pour l'acide chlorhydrique diffèrent significativement de ceux du radiosondage réalisé à H0 + 18 min (écart de 100 %),
- un écart flagrant pour l'alumine (écart supérieur à 100%).

En plus des simulations réalisées dans le cadre du Plan de Mesures ARTA 6 *théorique*, une 2<sup>nd</sup>e optimisation de l'emplacement des capteurs en champ lointain a été réalisée par le biais des données prévisionnelles de CEP pour le J0 à H0.

La comparaison des résultats de la simulation issue des données prévisionnelles CEP (**PREVI**) et celle de la simulation réalisée à partir du radiosondage H0 + 18 min (**4R080916**), met en évidence :

- que la direction prise par le nuage diffère de 77,3 % de celle simulée avec la prévision numérique
- que les résultats pour l'acide chlorhydrique diverge de plus de 100 % de ceux du radiosondage réalisé à H0 + 18 min,
- pour l'alumine, un écart supérieur à 100%.

Ces deux (2) optimisations ont permis d'orienter l'implantation des capteurs dans les meilleures conditions afin que les bacs à eau soient exposés aux retombées chimiques du nuage de combustion issu de l'essai ARTA 6, malgré les aléas climatiques locales.

Toutefois, les importants écarts mis en exergue grâce à la comparaison des résultats confirment le caractère « non prévisible » et soudain de cette évolution climatique.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 64/114
--	--	---

**On retiendra néanmoins, que les mesures réalisées restent conformes aux prescriptions de l'arrêté préfectoral puisqu'elles demeurent inférieures aux seuils règlementaires d'exposition (VLE et VME).**

**En outre le dispositif ponctuel de mesures, enclenché au moment de l'évènement, a permis de démontrer l'absence de concentration au niveau de la route national n°1.**

#### **9.4. Conclusions sur les retombées chimiques gazeuses et particulaires**

Les mesures mettent en évidence qu'une forte proportion d'acide chlorhydrique et d'alumine retombe sur la plateforme du BEAP (jusqu'à une distance de 300 mètres du BEAP).

En champ lointain, des concentrations notables ont été détectées sur 2 points situés sur la piste Agami. L'analyse des résultats permet d'exclure ces deux points puisque des facteurs environnementaux (météorologie instable, soulèvement de poussière...) sont très probablement à l'origine de ces valeurs.

En dehors de ces sites, les concentrations mesurées restent très faibles ou inférieures au seuil de détection.

Les résultats obtenus par la simulation SARRIM au moyen des données prévisionnelles CEP et celles réalisées au moyen des radiosondages traduisent l'effet soudain et imprévisible de la perturbation atmosphérique.

En effet, la méthodologie suivie pour le plan de mesure environnement suit une chronologie bien précise telle que :

DIRECTION PRISE PAR LE NUAGE DE COMBUSTION		
Avant l'essai ARTA 6	J0 ARTA 6 / H0 – 6h	J0 ARTA 6 / H0 + 18 min
Modélisation à partir des radiosondages « pénalisants »	Modélisation à partir des données CEP (PREVI)	Modélisation à partir du radiosondage en chronologie positive (RS CP : H0 + 18)
HCl	119°	15° soit bien au sud-est du point kilométrique 79 de la RN1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	129°	
		114° soit vers le point kilométrique 96 de la RN1

D'après la modélisation via le RS CP, les plus fortes concentrations en acide chlorhydrique et en alumine ont été relevées dans une direction de 15°, au sud-est du point kilométrique 79 de la RN1.

Néanmoins, les mesures in situ réalisées par les pompiers au niveau de la RN1 ont écarté le risque d'impact.

#### **9.5. Mesure en continu des retombées gazeuses en acide chlorhydrique**

##### 9.5.1. Résultats des mesures

Sur l'ensemble des systèmes détecteurs du réseau de Collecte de Données Environnement eXtérieur du CSG (CODEX), composé de vingt-quatre systèmes CODEX détecteurs fixes et quatre systèmes CODEX mobiles, aucune concentration en acide chlorhydrique n'a été détectée.

Les SPM mobiles qui ont été placés en champ proche n'ont mesuré aucune concentration en acide chlorhydrique.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 65/114
--	--	---

L'ascension rapide et instantanée du nuage de combustion, du fait de la puissance thermique de ce dernier, justifie l'absence de concentration.

### 9.6. Mesures de la qualité des eaux du carneau du BEAP

Ces mesures ont pour but de s'assurer que la qualité des eaux résiduelles du carneau est conforme à la réglementation avant de procéder à leur rejet dans le milieu naturel.

Ces mesures sont demandées par l'Arrêté d'Autorisation d'Exploiter le BEAP [DA04].

L'article 5 impose en effet le contrôle systématique des Matières En Suspension Totales (MEST), du pH, de la Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (DBO<sub>5</sub>), de la Demande Chimique en Oxygène (DCO), de l'Azote total, des hydrocarbures totaux et des huiles et graisses.

A la demande des Inspecteurs des Installations Classées pour le Protection de l'Environnement, lors de l'inspection DEAL du 03 Juillet 2013, l'analyse du paramètre Aluminium est réalisée selon la norme ISO 11885.

#### 9.6.1. Résultats et analyse

Suite à la réalisation de l'essai ARTA 6, des mesures de pH et de la teneur en aluminium ont été réalisées afin d'estimer la quantité de réactif à déverser dans le carneau (mesure du 08/09/16).

Les résultats des analyses sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 25 : Résultats de l'analyse réalisée sur le 1<sup>er</sup> prélèvement d'eau\* du carneau du BEAP (avant traitement à la soude (NaOH)).**

PARAMETRE A MESURER	UNITE	RESULTAT DES ANALYSES EN LABORATOIRE	SPECIFICATION	INCERTITUDE ELARGIE (K = 2)
<b>pH</b>	Unité pH	2,3	$5,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$	0,2
<b>Aluminium</b>	mg/l	63,2	$\leq 5$	10 %

\*Prélèvement réalisé le 08 septembre 2016 – Bulletin référencé C160617

L'objectif du traitement à la soude (NaOH) est d'augmenter le pH des eaux et ainsi permettre la précipitation/décantation de l'aluminium présent.

Une fois le traitement effectué, une seconde analyse a été réalisée (27/09/16). Cette dernière a mis en évidence des valeurs de pH et d'Aluminium conformes à l'arrêté d'autorisation d'exploiter le BEAP.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 66/114
--	--	---

L'ensemble des paramètres d'analyse a donc été balayé, permettant de confirmer leur bonne qualité et d'autoriser ensuite le rejet des eaux du carneau vers le milieu naturel.

**Tableau 26 : Résultats globaux des analyses réalisées sur le 2<sup>nd</sup> prélèvement d'eau\*\* du carneau du BEAP (avant rejet dans le milieu naturel).**

PARAMETRE A MESURER	UNITE	RESULTAT DES ANALYSES EN LABORATOIRE	SPECIFICATION	INCERTITUDE ELARGIE (K = 2)
<b>pH</b>	Unité pH	6,6	5,5 ≤ pH ≤ 8,5	0,2
<b>MEST</b>	mg/l	5,0	≤ 30	18 %
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg O <sub>2</sub> /l	3	≤ 30	30 %
<b>DCO</b>	mg O <sub>2</sub> /l	< 30	≤ 90	18 %
<b>AZOTE TOTAL</b>	mg/l	0,4	≤ 10	
<b>HYDROCARBURES TOTAUX</b>	mg/l	< 1	< 5	
<b>HUILES ET GRAISSES</b>	mg/l	< 10	< 20	
<b>ALUMINIUM</b>	mg/l	0,5	≤ 5	10 %

\*\*Prélèvement réalisé le 27 septembre 2016 – Bulletin référencé C160734(1)



<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 67/114
--	--	---

### **9.7. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement de l'essai ARTA 6**

L'essai ARTA 6, réalisé le 08 septembre 2016, fait suite à une série de douze essais menés entre 1993 et 2012. Rappelons que le dernier essai de spécimen au BEAP, ARTA 5, a eu lieu le 24 mai 2012.

Les résultats des mesures d'impact sur l'environnement montrent que cet essai s'inscrit globalement dans la lignée des onze autres : des effets sur l'environnement immédiats dans l'axe du carneau et des effets faibles à nuls au-delà, selon le passage du nuage.

Toutefois on retiendra qu'un phénomène atmosphérique s'est exceptionnellement produit lors de cet essai, entraînant une rotation du vent suffisante pour réorienter le nuage de combustion.

Ce phénomène traduit le caractère imprévisible de la climatologie guyanaise et explique qu'il n'a pas été possible de repositionner les capteurs du plan de mesures environnement au moment du H0.

Pour répondre à cet aléa, les services SDP/ES et SDP/PI ont détaché un cortège de pompiers en charge de réaliser des mesures de toxicité en acide chlorhydrique, notamment sur la RN1 au lieu de passage du nuage. Ces mesures ont permis d'écarter le risque d'impact sur le milieu naturel.

Au regard de l'ensemble de ces constats, notons néanmoins que cet essai s'est déroulé conformément aux prescriptions de l'Arrêté d'Autorisation d'Exploiter le BEAP.

En effet, les retombées chimiques ont été localisées en champ proche dans une zone limitée à environ 400 mètres autour du carneau du BEAP.

En champ lointain, ces retombées sont plus faibles sauf sur la zone survolée par le nuage de combustion au niveau de la RN1. **Deux mesures sont exclues de l'interprétation s'agissant de valeurs non cohérentes ; il apparaît que les mesures reflètent certainement une altération de l'eau par des facteurs extérieurs (poussières de la piste Agami, précipitations inattendues, déchets organiques type feuille ou déjections d'oiseaux...).** Néanmoins les mesures de détection toxique réalisés in situ par un cortège de pompiers ont permis de s'affranchir du risque d'impact aux alentours et sur la route nationale n°1.

Ainsi, l'essentiel des produits issus de la combustion de l'EAP a été dispersé dans l'atmosphère et les impacts observés ont été localisés uniquement à proximité du BEAP, respectant ainsi l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter.

Le dispositif de suivi en temps réel de la qualité de l'air n'a détecté aucune concentration en acide chlorhydrique que ce soit dans les villes de Kourou, de Sinnamary ou sur les points de mesure (fixes et mobiles) implantés au CSG.

Enfin, les eaux du carneau du BEAP, après traitement, ont une qualité conforme aux spécifications de l'arrêté d'exploiter le BEAP. Ces dernières ont pu être rejetées dans le milieu naturel **[DR18]**.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 68/114
--	--	---

## 10. LE PLAN DE MESURE ENVIRONNEMENT A L'AIRE DE DESTRUCTION DU PROPERGOL (ADP)

Lorsque qu'un segment de spécimen de propulseur à poudre est rebuté pour cause d'inaptitude au vol, il doit être détruit.

Ne pouvant être transporté en l'état (compte tenu de la quantité de matières dangereuses le constituant), la seule alternative reste le brûlage à l'air libre.

Ce type d'opération est réalisé sur l'**Aire de Destruction du Propergol (ADP)** implantée à proximité du Banc d'Essais des Accélérateurs à Poudre (BEAP) sur le territoire du Centre Spatial Guyanais.

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



Pour chaque brûlage sur l'ADP, un plan de mesures environnement est élaboré pour répondre aux objectifs suivants :

- évaluer l'impact du brûlage à l'aire libre du segment sur l'Environnement.
- se conformer aux prescriptions de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter l'Aire de Destruction du Propergol (ADP) **[DA1]**.

L'**arrêté préfectoral n°2231 1D/1B/ENV** du 18 Novembre 1998 autorisant le Centre National d'Etudes Spatiales à exploiter l'Aire de Destruction du Propergol (ADP) **[DA05]** précise que l'exploitant a pour obligation de mettre en place un plan de mesures (en champ proche et champ lointain) pour la surveillance de la qualité de l'air et les retombées gazeuses et sédimentaires. Ce plan, approuvé par l'inspection des installations classées, est mis en place à chaque brûlage. Les mesures prescrites portent sur les paramètres de concentration en acide chlorhydrique (HCl) et en alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Le plan de mesures présente donc un ensemble d'informations relatives au protocole de mise en place des différents capteurs ainsi qu'aux résultats recueillis. Les procédures de sauvegarde du CNES s'assurent de la vacuité de la zone notamment dans les secteurs pouvant être assujetties à des teneurs en acide chlorhydrique et en alumine supérieures aux seuils réglementaires d'expositions.

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

L'installation n'étant pas approvisionné en eau, aucune prescription n'est à retenir pour ce compartiment environnemental à l'occasion des opérations de brûlage.

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

- **Mesurer, en temps réel** et en différents lieux, sur les villes de Kourou et de Sinnamary, ainsi que sur le CSG, les **concentrations** atmosphériques en **acide chlorhydrique** par l'intermédiaire d'analyseurs de type SPM (Honeywell) ; ces derniers constituant le réseau CODEX.
- **Mesurer les concentrations** en champs proche, moyen et lointain, des retombées chimiques en **alumine particulaire** ainsi que les retombées chimiques gazeuses et particulières en **acide chlorhydrique**.

## **11. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES MESURES ENVIRONNEMENT REALISEES POUR LE BRULAGE DU SEGMENT S2 N°125**

Ce chapitre a pour objet de présenter les résultats des mesures d'impact sur l'environnement réalisées lors du brûlage à l'air libre du **segment S2 n°125**, segment fabriqué par Regulus.

Cette opération a eu lieu le **25 novembre 2016** à **11 heures 00 minutes** en heure locale, sur l'**Aire de Destruction du Propegol (ADP)** implantée à proximité du Banc d'Essais des Accélérateurs à Poudre (BEAP) sur le territoire du Centre Spatial Guyanais [DR19].

Le plan de mesures environnement permet de quantifier et de surveiller les retombées en alumine et en acide chlorhydrique issues du brûlage à l'air libre du segment S2 n°125. Ce segment est constitué d'environ 110 tonnes de propegol solide du type Butalane.



Figure 10 : Opération de destruction du segment S2 n°125 sur l'ADP le 25 novembre 2016

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 70/114
--	--	---

### **11.1. Contexte météorologique du brûlage S2 N°125**

Le présent paragraphe a également pour objet d'interpréter les effets de la météorologie locale observée au J0, sur les résultats du plan de mesures environnement.

Rappelons que les activités industrielles à risque menées au sein du CSG, telle que la mise à feu d'un spécimen d'EAP, sont autorisées sur la base de Critères Météorologiques dits de « Sauvegarde » (CMS).

Lors du brûlage du segment S2 N°125 sur l'Aire de Brûlage du Propergol, les conditions climatiques étaient clémentes et ont permis l'autorisation de la mise à feu.

Aucune précipitation ne fût enregistrée sur le territoire du CSG. Le pic en rafale ou la vitesse maximale enregistrée pour le vent était de 38,9 km/h soit 10,8 m/s, dans une direction moyenne de 70 degré, à 11h49 en heure locale.

**Ce contexte atmosphérique étant favorable à la réalisation de l'opération de brûlage, les résultats du PME n'ont pas été perturbés par la météorologie locale.**

### **11.2. Conclusion sur la simulation SARRIM issue du radiosondage**

A partir des données météorologiques du radiosondage spécifique (RS CP), l'outil de modélisation SARRIM génère des simulations permettant d'apprécier l'impact réel des retombées du nuage de combustion. Les résultats obtenus ont permis de confirmer qu'aucune perturbation atmosphérique n'est venu modifier l'orientation du nuage telle qu'elle avait été envisagé via la prévision numérique. L'ensemble des capteurs constituant le plan de mesures environnement a donc été exposé aux retombées.

En champ lointain et au niveau de la RN1, les concentrations maximales en acide chlorhydrique et alumine sont respectivement de 0,86 ppm et 1,11 mg/m<sup>3</sup>.

Ces valeurs sont estimées au niveau de la route nationale, elles demeurent inférieures aux seuils règlementaires d'exposition (VLE et VME).

### **11.3. Comparaison des résultats des simulations réalisées à partir des radiosondages et des données prévisionnelles (CEP)**

La méthodologie suivie pour la mise en place du plan de mesure environnement de l'opération de brûlage suit une chronologie bien précise telle que :

- ❖ Une **1<sup>ère</sup> optimisation de l'emplacement des capteurs** en champ lointain avait été réalisée au moyen de radiosondages dits « pénalisants » [DR1] ;
- ❖ Une **2<sup>nd</sup>e optimisation de l'emplacement des capteurs** en champ lointain a été réalisée par le biais des données prévisionnelles de CEP pour le J0 à H0, en plus des simulations réalisées dans le cadre du Plan de Mesures Aire de Destruction du Propergol – Segment S2 N°125.

Pour rappel, un calcul statistique a permis de déterminer les radiosondages les plus pénalisants (l'un pour l'acide chlorhydrique et l'autre pour l'alumine). Les résultats des simulations SARRIM au moyen du radiosondage a permis d'établir une carte théorique d'implantation des capteurs.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00    Classe : GP
		Date : <b>09/07/2019</b>
		Page : 71/114

Ainsi, ces derniers prévoyaient :

**Tableau 27 : Synthèse des résultats obtenus suite à la modélisation SARRIM à partir du radiosondage « pénalisant » 2R211100.txt.**

RADIOSONDAGE 2R211100 DU 21 NOVEMBRE 2000 À 16H51 TU	
HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	<b>292,9</b>
<b>BASSES COUCHES (0 → HAUTEUR DE STABILISATION)</b>	
- Direction moyenne des vents (°)	91
- Concentration maximale en <b>acide chlorhydrique</b> en champ lointain (ppm)	<b>0,26</b>
- Concentration maximale en <b>alumine particulaire</b> en champ lointain (mg/m <sup>3</sup> )	<b>0,88</b>

La comparaison de ces résultats (RS « pénalisants ») avec ceux de la simulation réalisée à partir du radiosondage H0 + 20min (**4R251116.txt**), met en évidence :

- que les résultats pour l'acide chlorhydrique diffèrent significativement de ceux du radiosondage réalisé à H0 + 20 min (écart supérieur à 100 %),
- un écart important pour l'alumine (écart supérieur à 100 %).

La comparaison des résultats de la simulation issue des données prévisionnelles CEP (**PREVI**) et celle de la simulation réalisée à partir du radiosondage H0 + 20 min (**4R251116.txt**), met en évidence :

- que la direction prise par le nuage diffère de 6,2 % de celle simulée avec la prévision numérique
- que les résultats pour l'acide chlorhydrique étaient surestimés de plus 100 % par rapport à ceux du radiosondage réalisé à H0 + 20 min,
- pour l'alumine, les résultats étaient également surestimés de plus de 100% par rapport à ceux du radiosondage réalisé à H0 + 20 min.

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des données comparées précédemment. Nous considérons que les résultats du RS CP constituent notre référence puisqu'ils correspondent à la réalité météorologique au moment de l'évènement.

**Tableau 28 : Synthèse des données des radiosondages pour le suivi de la direction du nuage de combustion**

DIRECTION PRISE PAR LE NUAGE DE COMBUSTION		
Avant le Brûlage S2 N°125	J0 Brûlage S2 N°125 H0 – 6h	J0 Brûlage S2 N°125 / H0 + 20 min
Modélisation à partir du radiosondage « pénalisant »	Modélisation à partir des données CEP ( <b>PREVI</b> )	Modélisation à partir du radiosondage en chronologie positive ( <b>RS CP : H0 + 20</b> )
HCl	107,5° soit vers le point kilométrique 99 de la RN1	114,6° soit bien au sud-est du point kilométrique 97 de la RN1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	81,1°	

Ces optimisations ont permis de valider l'implantation des capteurs dans les meilleures conditions afin que les bacs à eau soient exposés aux retombées chimiques du nuage de combustion issu du brûlage du segment S2 N°125.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 72/114
--	--	---

#### ***11.4. Suivi des retombées chimiques gazeuses et particulaires en champs proche, moyen et lointain***

Les mesures des retombées chimiques gazeuses et particulaires ont pour objectif d'évaluer les retombées issues de la combustion à l'air libre du segment S2 n°125 sur l'ADP.

##### **11.4.1. Conclusions sur les retombées chimiques gazeuses et particulaires**

Les mesures mettent en évidence que la plus forte proportion d'acide chlorhydrique et d'alumine particulaire retombe en champ proche, à proximité du segment brûlé soit jusqu'à une distance d'environ 200mètres de l'ADP.

En dehors de cette zone, les mesures sont faibles à non quantifiables, elles respectent ainsi les prescriptions de l'arrêté préfectoral et il n'y a donc pas eu d'impact significatif sur l'environnement.

La comparaison de la simulation SARRIM (réalisée au moyen des données du radiosondage 4R251116.txt) aux données de terrain met en exergue que :

- le radiosondage montrait une direction moyenne des vents de 114,6° soit vers l'Ouest au point kilométrique 97 de la RN1. Ainsi, la simulation issue dudit radiosondage montrait que les plus importantes concentrations en acide chlorhydrique et en alumine étaient identifiées au PK 97.
- L'analyse des résultats des bacs à eau corrobore cette observation puisque les valeurs les plus importantes en champ lointain ont été mesurées dans cette direction, au niveau du point PK 97 de la RN1.

**Ainsi, on observe une parfaite cohérence entre la simulation sur la direction du nuage et les mesures de terrain.**

**Par conséquent, les capteurs ont été correctement implantés et exposés au nuage de combustion du segment S2 N°125.**

#### ***11.5. Mesure en continu des retombées gazeuses en acide chlorhydrique***

Ces mesures ont pour objectif de suivre en temps réel les concentrations en acide chlorhydrique.

##### **11.5.1. Résultats des mesures**

Sur l'ensemble des systèmes détecteurs du réseau de Collecte de Données Environnement eXtérieur du CSG (CODEX), composé de vingt-quatre systèmes CODEX détecteurs fixes et quatre systèmes CODEX mobiles.

Parmi les différents détecteurs implantés, seul le SPM Honeywell n°1 (implanté à proximité du point CP01 – à 178 mètres de l'ADP ; derrière le merlon ouest) a détecté une concentration en acide chlorhydrique à hauteur de 15 ppm pendant 1h30. Cette information corrobore les mesures de terrain.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 73/114
--	--	---

### ***11.6. Conclusions Générales sur le Suivi de l'Impact sur l'Environnement du brûlage du segment S2 n°125***

Au cours du brûlage du segment S2 N°125, la surveillance de la qualité de l'air a été réalisée grâce à différents moyens de contrôle.

Les résultats de terrain obtenus par l'analyse des bacs à eau, n'ont pas mis en évidence d'impact des retombées en alumine particulaire que ce soit en champ proche, moyen ou en champ lointain. De même, pour l'acide chlorhydrique, un impact a été mesuré à proximité directe du segment (jusqu'à 178 mètres). Au-delà, les valeurs mesurées sont négligeables voir non quantifiables. Aussi, aucun impact significatif n'est à signaler.

L'interprétation des résultats des bacs à eau démontre que ceux –ci ont été correctement implantés et ont été exposés aux retombées du nuage de combustion.

Enfin, le dispositif de suivi en temps réel de la qualité de l'air a détecté une concentration ponctuelle en acide chlorhydrique à 178 mètres du segment.

Au-delà, aucune autre concentration n'a été mesurée que ce soit dans les villes de Kourou, de Sinnamary ou sur le reste du territoire du CSG.

**Au regard de l'ensemble de ces constats, notons que le brûlage du segment S2 N°125 effectué le 25 novembre 2016 s'est déroulé conformément aux prescriptions de l'Arrêté d'Autorisation d'Exploiter l'ADP, et que les mesures ont permis d'écarter le risque d'impact sur l'environnement guyanais.**

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : CSG-RP-SPX-19626-CNES Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : 09/07/2019 Page : 74/114
--	--	---

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

### 12.1. 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 :**

<b>Faune Aquatique</b>	Poissons / Invertébrés aquatiques
<b>Avifaune</b>	Peuplement d'oiseaux nicheurs / Ibis Rouges et échassiers des écosystèmes littoraux du CSG
<b>Végétation</b>	Couverts végétaux en champ proche et en champ lointain
	Suivi des peuplements botaniques d'intérêts majeurs du CSG
<b>Qualité des eaux</b>	Suivi des paramètres physico-chimique des criques du CSG
<b>Qualité des sédiments</b>	Suivi des paramètres physico-chimique des sédiments des criques du CSG

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.



<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 75/114
--	--	---

## **12.2. Mesure de la qualité de l'eau de la crique Karouabo**

### 12.2.1. 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 2016, le dispositif de prélèvement automatique sur la Karouabo était opérationnel et a permis de suivre la qualité des eaux de la crique à l'occasion du lancement Ariane 5 VA229.**

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.

### 12.2.2. Résultats des mesures

Une campagne d'analyse a été réalisée au CSG en 2016, à l'occasion d'un lancement Ariane 5 en saison des pluies.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00    Classe : GP
		Date : <b>09/07/2019</b>
		Page : <b>76/114</b>

Le dispositif de prélèvement automatique a été installé le 08 mars 2016 et retiré le 14 mars 2016. Les échantillons recueillis ont été conditionnés et adressés à l'IRD de Guyane pour analyse le 14 mars 2016.

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

2016 - VA229	ECHANTILLON	DATE et HEURE de prélèvement	pH	CONDUCTIVITE	CHLORURES	SODIUM	ALUMINIUM
			<i>En unité pH</i>	<i>en <math>\mu S/cm</math> à 25°C</i>	<i>en mg/l</i>	<i>en mg/l</i>	<i>en mg/l</i>
AVANT H0	K 1	08/03/16 à 16h20 min	5,97	38	9,45	5,06	0,25
	K 2	08/03/16 à 22h20 min	5,84	37	9,27	5,06	0,3
<b>DECOLLAGE VA229 le 09 mars 2016 à 02h20 (h. locale)</b>							
APRES H0	K 3	09/03/16 à 04h20 min	5,54	36	9,14	4,83	0,22
	K 4	09/03/16 à 10h20 min	5,51	36	9,03	5,06	0,27
	K 5	09/03/16 à 16h20 min	5,57	37	9,38	5,06	0,17
	K 6	09/03/16 à 22h20 min	5,61	37	9,29	5,06	0,24
	K 7	10/03/16 à 04h20 min	5,57	37	9,21	4,83	0,23
	K 8	10/03/16 à 10h20 min	5,74	42	10,11	5,06	0,5
	K 9	10/03/16 à 16h20 min	5,64	39	9,46	5,06	0,27
	K 10	10/03/16 à 22h20 min	5,56	37	9,17	5,06	0,34
	K 11	11/03/16 à 04h20 min	5,6	36	9,01	4,6	0,3
	K 12	11/03/16 à 10h20 min	5,65	38	9,32	4,83	0,39
	K 13	11/03/16 à 16h20 min	5,53	37	9,16	4,83	0,37
	K 14	11/03/16 à 22h20 min	5,54	37	9,22	4,83	0,31
	K 15	12/03/16 à 04h20 min	5,48	36	8,94	4,83	0,32
	K 16	12/03/16 à 10h20 min	5,46	35	8,78	4,6	0,5
	K 17	12/03/16 à 16h20 min	5,42	35	8,93	4,83	0,57
	K 18	12/03/16 à 22h20 min	5,39	35	8,61	4,6	0,65
	K 19	13/03/16 à 04h20 min	5,34	35	8,73	4,6	0,39
	K 20	13/03/16 à 10h20 min	5,28	38	9,05	4,83	0,29
	K 21	13/03/16 à 16h20 min	5,19	35	8,35	4,37	0,27
	K 22	13/03/16 à 22h20 min	5,12	34	7,99	4,14	0,34
	K 23	14/03/16 à 04h20 min	5,08	35	8,12	4,37	0,41
	K 24	13/03/16 à 10h20 min	5,52	37	7,94	4,37	0,49
<b>Moyenne</b>			5,51	36,63	8,99	4,78	0,35
<b>Ecart type</b>			0,21	1,69	0,50	0,27	0,12
<b>Nombre de mesures</b>			9	9	9	9	9

<p><b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>  Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement  Service Environnement et Sauvegarde Sol</p>	<p align="center"><b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b></p>	<p>Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b>  Ed/Rev : 01/00 Classe : GP  Date : <b>09/07/2019</b>  Page : <b>77/114</b></p>
---	--	---

### 12.2.3. 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 particulaires des décollages du lanceur Ariane 5.

En conclusion, les prélèvements semi continus réalisées **en 2016** ont permis de suivre **la qualité physico-chimique des eaux de surface de la crique Karouabo** à l'occasion du **lancement Ariane 5** pour sa mission **VA229**.

**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 à l'activité de lancement 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.

## **12.3. Mesure de la qualité des sédiments des criques du CSG**

### 12.3.1. 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

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 11: Prise de vue de la station Paracou (Hydreco, 2016)

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : <b>78/114</b>
--	--	--

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

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

### 12.3.2. 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.

### 12.3.3. Localisation des points de prélèvements

Les prélèvements permettant le suivi des retombées des lanceurs Ariane 5 et VEGA ont été réalisés en mai 2016, pour la saison des pluies, et en septembre 2016, pour la saison sèche, au niveau de la crique de la Malmanoury et de la crique Karouabo **[DR 10]**.

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, mai 2016, pour la saison des pluies, et en septembre 2016, pour la saison sèche.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b>
		Ed/Rev : 01/00 Classe : GP
		Date : <b>09/07/2019</b>
		Page : <b>79/114</b>

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 2016, une campagne d'échantillonnage a été réalisée lors de la saison sèche (Septembre 2016).

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 30 : 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 2016
		pH (u.pH)	Température (°C)	Conductivité à 25°C (µs/cm)	Turbidité (NTU)	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/L)	
CRIQUE KAROUBO	10/05/2016 à 14h30	5,44	26,90	28,00	2,52	33,00	2,40	SAISON DES PLUIES
	11/05/2016 à 07h30	-	-	-	-	-	-	
	14/09/2016 à 17h30	5,52	30,2	32	3,28	57	4,4	SAISON SECHE
	15/09/2015 à 08h00	5,37	28,5	32	3,72	37	3	
CRIQUE MALMANOURY	09/05/2015 à 17h00	-	-	-	-	-	-	SAISON DES PLUIES
	10/05/2016 à 10h00	5,30	25,80	26,00	8,41	62,00	5,00	
	13/09/2016 à 16h00	4,52	26,1	33	4,9	60	4,9	SAISON SECHE
	14/09/2016 à 07h30	4,40	26,30	34,00	3,22	24,00	4,30	
CRIQUE PARACOU	11/09/2016 à 13h30	4,81	25,6	32	5,4	67	5,3	SAISON SECHE
CRIQUE DES PERES	12/05/2016 à 16h00	5,97	27,1	25	31	62	5	SAISON DES PLUIES
	13/05/2016 à 08h00	-	-	-	-	-	-	
	15/09/2016 à 17h00	5,7	27,8	69	3,7	36	2,9	SAISON SECHE
	16/09/2016 à 08h00	5,73	27,3	38	7,5	44	3,5	

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

Cependant, grâce aux relevés de saison sèche, 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. Ce développement est essentiellement visible lors de la saison sèche de l'année 2012, où les taux d'oxygénation étaient également multipliés par un facteur 2 durant la journée. L'hypothèse de développement du phytoplancton favorisant la production d'oxygène pourrait être lié au faible débit de la crique Karouabo : moins il y a de courant et plus la fixation des organismes aquatiques est favorisée. Il en résulte donc une augmentation de l'oxygène dissous de l'eau lors de la saison sèche, période où le débit est le plus faible.

<b>CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b> Sous-Direction de la Protection, de la Sauvegarde et de l'Environnement Service Environnement et Sauvegarde Sol	<b>BILAN 2016 DES RESULTATS DES PLANS DE MESURES ENVIRONNEMENT REALISES AU CENTRE SPATIAL GUYANAIS</b>	Réf : <b>CSG-RP-SPX-19626-CNES</b> Ed/Rev : 01/00 Classe : GP Date : <b>09/07/2019</b> Page : 80/114
--	--	---

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. **[DR10]**

Comme l'année précédente, les résultats des mesures physico chimiques in situ en 2016 sont représentatifs des normales de saison pour une eau de rivière. **[DR08]**

Sur la **crique Paracou**, les mesures en 2016 sont cohérent avec le milieu des petites masses d'eaux guyanaises, à savoir une zone peu profonde à courant faible avec un fond sableux.

En ce qui concerne le paramètre « Oxygène dissous », la crique Paracou est décrit comme une **eau de bonne qualité moyenne**. Ce constat est à relativiser au regard de l'unique série de résultats pris pour l'année 2016.

A la vue de tous les résultats des mesures réalisées sur l'eau en 2016, nous pouvons confirmer un « **bon état chimique des eaux** » des criques du CSG.

#### 12.3.4. 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	5,2	5	5,4	5,2	5,3	5,3	5,5	5,6	5,2	5,3
Aluminium	g/Kg MS	23,1	12,9	15,3	<b>24,2</b>	5,9	<b>31,1</b>	26,3	23,9	23,8	29,2
Baryum	mg/Kg MS	<b>57</b>	24	90	62	8,4	<b>51</b>	43	45	42	50
Chrome	mg/Kg MS	23,8	10,9	46	<b>27,8</b>	6,6	56	26,8	<b>68</b>	23,9	34
Fer	g/Kg MS	22,4	5,9	<b>24,5</b>	38	6,5	18,7	20,2	<b>44</b>	17,6	28,9
Magnésium	g/Kg MS	0,48	0,44	<b>1,04</b>	0,17	0,86	0,73	<b>2,1</b>	1,9	1,7	0,48
Manganèse	mg/Kg MS	18	19	<b>87</b>	12	23	17	<b>91</b>	44	43	18
Nickel	mg/Kg MS	7,4	2,4	<b>9,3</b>	8,2	< 2	12,4	6,7	<b>27,6</b>	9,8	9,7
Plomb	mg/Kg MS	10,2	4	<b>16,4</b>	13,3	11	10,3	<b>15</b>	14,9	13,5	14,3
Potassium	g/Kg MS	<b>1,86</b>	0,81	0,5	1,45	0,34	0,87	0,92	<b>2</b>	1,28	1,8
Zinc	mg/Kg MS	21	8	<b>52</b>	28	6	17	15	<b>49</b>	25	29
Mercure	mg/Kg MS	0,03	0,03	<b>0,11</b>	0,01	0,05	<b>0,07</b>	0,02	0,04	0,06	0,03
Cadmium	mg/Kg MS	0,05	0,07	0,14	<b>0,15</b>	0,07	0,07	0,07	<b>0,13</b>	0,1	0,1
Calcium	g/Kg MS	<b>1,14</b>	0,25	0,3	0,78	0,07	0,07	0,08	<b>0,46</b>	0,13	0,19
Cobalt	mg/Kg MS	1,8	0,9	1,86	<b>3,2</b>	0,7	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3
Cuivre	mg/Kg MS	<b>22</b>	< 5	6	8	< 5	5	< 5	<b>33</b>	< 5	6
Molybdène	mg/Kg MS	0,7	0,5	1,1	0,3	0,1	0	0,6	<b>0,8</b>	1	0,7
Sélénium	mg/Kg MS	0	0	0	<b>0,8</b>	0	0	0	0	0	<b>0,01</b>

Pour la Karouabo et la Malmanoury, ce sont les stations autour du pont routier, AM3 et AV1 qui regroupent les plus hautes concentrations pour les 12 métaux analysés. Cela laisse supposer d'un éventuel impact de la route par le biais des eaux de ruissellement. D'autres paramètres, tels que le Fer, l'Aluminium et le Manganèse présentent les plus fortes concentrations entre les différents points de prélèvements. Ils sont néanmoins constitutifs du milieu naturel, tout comme les minéraux complexés en oxyde, le calcium, le potassium et le magnésium. Les concentrations mesurées sont donc comparables à d'autres stations de Guyane.

Globalement en 2016, sur les 5 échantillons relevés pour chaque crique, on retiendra que les concentrations moyennes par métal sont généralement plus élevées par rapport aux années précédentes. On observe notamment que cette augmentation de la concentration pour tous les métaux est plus marquée sur la Malmanoury par rapport à la Karouabo. Toutefois, on rappelle que ce constat était identique en 2015 ; les concentrations mesurées restent très inférieures aux limites de qualité. **[DR08]**

Certains paramètres demeurent constants quel que soit le lieu de prélèvement comme par exemple le pH ou les concentrations en calcium, en cuivre ou encore le sélénium pour la Karouabo et le cobalt pour la Malmanoury et enfin le mercure pour les deux stations ou en mercure. Ces éléments sont représentatifs du fond géochimique naturel des criques du CSG.

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 31** : Moyenne (M) et écart type ( $\delta$ ) 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	5,22	0,13	5,40	0,15
Aluminium	16,28	6,77	26,28	2,89
Baryum	48,28	28,93	45,25	3,66
Calcium	0,51	0,39	0,19	0,14
Cadmium	0,10	N.A.	N.A.	N.A.
Chrome	23,02	13,91	43,68	17,29
Cobalt	1,69	0,89	0,28	0,04
Cuivre	9,20	6,49	12,00	11,11
Fer	19,46	12,08	25,13	9,90
Magnésium	0,58	0,30	1,40	0,56
Manganèse	41,40	31,21	43,75	26,00
Mercure	0,05	0,03	0,05	0,02
Molybdène	0,68	0,27	0,38	0,39
Nickel	5,86	3,05	14,13	7,40
Plomb	10,98	4,10	13,43	1,73
Potassium	0,99	0,58	1,27	0,46
Sélénium	0,16	N.A.	N.A.	N.A.
Zinc	23,00	16,64	27,00	12,13



## **B. Qualité des sédiments de la crique Paracou**

Des mesures et prélèvements ont été effectués le 11 septembre 2016 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 Baryum, 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.

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

**Tableau 32** : 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	
<b>pH</b>	Unité pH	5,90	6,00	6,00	6,10	6,10
<b>Aluminium</b>	g/Kg MS	<b>1,73</b>	1,08	1,63	0,75	0,81
<b>Fer</b>	g/Kg MS	0,07	0,10	0,11	0,07	<b>0,14</b>
<b>Potassium</b>	g/Kg MS	< 0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
<b>Baryum</b>	mg/Kg MS	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
<b>Chrome</b>	mg/Kg MS	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
<b>Manganèse</b>	mg/Kg MS	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
<b>Zinc</b>	mg/Kg MS	<2	<2	<2	<2	<2
<b>Cadmium</b>	mg/Kg MS	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
<b>Cobalt</b>	mg/Kg MS	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
<b>Cuivre</b>	mg/Kg MS	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
<b>Mercure</b>	mg/Kg MS	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Molybdène</b>	mg/Kg MS	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
<b>Nickel</b>	mg/Kg MS	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
<b>Plomb</b>	mg/Kg MS	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
<b>Sélénium</b>	mg/Kg MS	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
<b>Calcium</b>	g/Kg MS	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
<b>Magnésium</b>	g/Kg MS	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50

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 2016 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 33** : Moyenne (M) et écart type ( $\delta$ ) des concentrations obtenues pour les analyses des sédiments de la crique Paracou

Paramètre	Crique Paracou	
	M	$\delta$
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

Après une forte baisse des concentrations en métaux entre 2014 et 2015, il n'y a pas eu d'évolution depuis 2015.

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 (O<sub>2</sub> dissous) a été mesuré ; en 2016 la valeur en O<sub>2</sub> dissous est de 5,3 mg O<sub>2</sub>/L, ce qui classe la **Petite Masse d'Eau** comme étant de **bonne qualité**.

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

Aucun impact des lancements SOYOUZ n'est mis en évidence par les analyses de l'étude en 2016. **[DR09]**

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

Les résultats d'analyse des campagnes de mesures en 2016 démontrent un bon état chimique des eaux des criques du CSG (Karouabo, Malmanoury). On note également un bon état de la qualité physico-chimique de la Paracou en 2016. 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.

#### **12.4. 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** » [DA01].

##### 12.4.1. Objectifs des mesures

Le but de cette étude est d'évaluer l'impact des retombées des produits issus des 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 2016 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.

##### 12.4.2. 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.

### 12.4.3. Résultats du suivi de la faune aquatique pour l'année 2016

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 [DR10].

**Tableau 34** : Tableau de synthèse des principaux résultats obtenus pour le suivi de la faune aquatique pour 2016.

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2016
<p><b>DESCRIPTION DE L'HABITAT</b></p>	<p>Les <b>observations 2016 in situ</b> ont permis de décrire l'habitat de chaque station. L'habitat des stations de suivi est dominé par une végétation marginale de type <b>Palmier Bâche</b>, <i>Mauritia flexuosa</i>. De nombreux « <b>moucous-moucous</b> » (<i>Aracea, Montrichardia arborecens</i>) sont présents le long des berges. Ces dernières sont soumises à une exondation plus ou moins fréquente selon les stations, en fonction des marées et des saisons. De même, sur chaque station se trouvent des <b>bouquets d'Heliconia sp.</b>, plante présente dans de nombreuses zones humides ou près des zones de rétention des eaux pluviales.</p> <p>Sur la Karouabo, le maintien d'un bouchon vaseux proche de l'estuaire interdit toujours toute intrusion d'eau salée et limite les inversions de courant que l'on peut constater notamment sur la Crique des Pères.</p> <p>Le suivi des paramètres physico-chimiques mesurés sur les trois stations en 2016 a mis en exergue des différences notables entre les deux saisons :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En <b>saison des pluies</b>, comme les années précédentes, les <b>taux d'oxygènes dissous</b> sont comparables dans la Malmanoury et la Crique des Pères, aux alentours de 60~70% de saturation au matin.</li> <li>- En <b>saison sèche</b>, le taux de saturation ne varie pas beaucoup sur la Malmanoury et est comparable à la Karouabo (60~25% soir et matin). Cependant, la Crique des Pères a une saturation en oxygène dissous plus faible (36%).</li> </ul> <p>La station <b>Paracou</b> amont, située en limite des retombées de la trace de combustion du lanceur Soyouz a également été échantillonné en <b>saison sèche</b>.</p> <p>Ainsi, on retiendra principalement qu'en 2016, les variations saisonnières ont pu être remarqué au niveau des paramètres suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La <b>température</b> ; 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 ;</li> <li>▪ La <b>conductivité</b> ; celle-ci est également plus importante en saison sèche, notamment pour la station Crique des Pères ;</li> <li>▪ Les <b>bilans en oxygène</b> qui sont plus faibles en saison sèche pour les stations Malmanoury et Crique des Pères ;</li> </ul>

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2016
	<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 sur le taux d'oxygène dissous.</p> <p>Une diminution du bilan en oxygène est observée lors des <b>mesures <i>in situ</i> matinales</b> : cette diminution fait passer dans la classe « <b>état moyen</b> » 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><b>Pour rappel</b>, 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 2016
<p><b>PEUPLEMENTS DE POISSONS</b> (Richesse et Diversité)</p>	<p>Concernant le <b>nombre de captures</b> ; en <b>saison des pluies</b>,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sur la <b>crique des Pères</b> 49 individus représentant 17 espèces pour une biomasse de 12,5 kg ont été récoltés. L'abondance de 2016 est similaire à celle de 2015.</li> <li>▪ Sur la <b>Karouabo</b>, la valeur des effectifs évolue peu depuis 2010, avec 17 poissons prélevés. Cette observation est également valable pour la biomasse, puisqu'elle est de 2,5 kg.</li> <li>▪ Sur la <b>Malmanoury</b>, les captures atteignent 26 individus représentant 9 espèces pour plus de 8 kg de biomasse totale. Le nombre de poissons capturé est stable depuis 2010.</li> </ul> <p><b>En saison sèche</b>,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sur la <b>crique des pères</b>, les captures sont stables par rapport à 2015, avec 79 poissons prélevés. De plus, un total de 17 espèces a été dénombré avec une biomasse de 10 kg. Ces deux paramètres présentent une stabilité par rapport à 2013 et 2014.</li> <li>▪ Sur la <b>Karouabo</b>, 119 individus, représentant 9 espèces et une biomasse de 21 kg, ont été capturés. Les valeurs de chacun des paramètres restent stables par rapport à 2010. L'abondance est dominée par <i>L. gossei</i>.</li> <li>▪ Sur la <b>Malmanoury</b> 75 individus, représentant 15 espèces pour une biomasse totale de 26,5 kg, ont été capturés. Il est à noter que les paramètres d'abondance et de richesse spécifique sont stables depuis 2010, avec un pic en 2012. La biomasse, quant à elle, évolue peu depuis 2013.</li> <li>▪ Concernant la <b>Paracou</b>, 199 poissons ont été récoltés, avec une biomasse de 353,1 g et une richesse spécifique de 19 espèces.</li> </ul> <p>En ce qui concerne l'abondance et la <b>richesse</b>,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'abondance sur la <b>crique des Pères</b>, suit la tendance de la station Malmanoury jusqu'en 2012, puis voit ses effectifs augmenter. En 2016 toutefois, son abondance diminue lors des deux campagnes. On dénombre 17 espèces en saison des pluies et 17 en saison sèche qui ont été prélevés. Ces résultats montrent une <b>stabilisation de la richesse spécifique</b> par rapport à 2013, 2014 et 2015.</li> <li>▪ Sur la station <b>Karouabo</b> les différences entre les deux saisons sont moins marquées et les abondances semblent plus osciller entre des valeurs plus proches. La richesse spécifique reste faible, avec 6 espèces. En saison sèche, la richesse spécifique (9 espèces) <b>reste dans la norme</b> des années précédentes. De plus, le cortège d'espèces ne présente pas de particularités.</li> <li>▪ La <b>Malmanoury</b> arbore jusqu'en 2011, les abondances les plus importantes, puis elles diminuent jusqu'en 2015. En <b>2016</b>, cette station redevient <b>la plus abondante</b> quelle que soit la saison. La <b>richesse spécifique</b> de la Malmanoury en saison des pluies est de 9 espèces prélevés et de 15 en saison sèche. Ces résultats montrent une stabilisation de la richesse spécifique par rapport à 2010.</li> </ul>

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2016
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pour la station <b>Paracou</b> en 2016, la richesse spécifique est identique à celle de 2013 et donc en baisse par rapport à 2015.</li> </ul> <p>Les variations de la richesse des trois stations sont moins notables, outre le pic de taxa déterminés en juin 2007. Depuis les valeurs oscillent entre 10 et 15 taxa environ.</p> <p>Néanmoins en 2016, la richesse taxonomique tend à se rapprocher des valeurs de juin 2007.</p> <p>Concernant la <b>diversité</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sur la <b>crique des Pères</b>, 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. <b>Pour 2016</b>, cet indice augmente tout au long de l'année, pour arriver à une valeur en saison sèche 2016 (3,42) proche de la saison des pluies 2015. De plus, on précise que l'équitabilité ne change pas par rapport à 2014 et 2015. Elle reste élevée. Cette observation montre que la répartition des espèces au sein de la population reste équilibrée.</li> <li>▪ <b>Sur la Karouabo</b>, 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'<b>année 2016</b> montre une baisse de cet indice sur tout l'année. En saison des pluies, l'indice de Shannon a une valeur de 2,38. Son équitabilité présente un pic par rapport à 2012, 2013, 2014 et 2015 (2016 : 0,92 ; 2015 : 0,90 ; 2014 : 0,78 ; 2013 : 0,88 ; 2012 : 0,81). En saison sèche, l'indice de Shannon (2,05) et l'équitabilité (0,65) diminuent par rapport à 2015. Ces valeurs sont les plus basses depuis 2013. Cette baisse des indices en saison sèche montre que la population est en déséquilibre. En effet, cette dernière est dominée par trois espèces sur neuf ; elles représentent à elles seules 85 % de la population en saison sèche.</li> <li>▪ <b>Sur la Malmanoury</b>, l'équitabilité est stable quelle que soit la saison et l'année. Pour l'<b>année 2016</b>, ce facteur évolue peu et reste élevé (saison des pluies : 0,80 ; saison sèche 0,84). Pour l'indice de Shannon, la différence entre saison des pluies et saison sèche est plus marquée. Ainsi, en saison des pluies, cet indice est de 2,53, alors qu'il est de 3,27 en saison sèche. Cette dernière valeur est proche de celle observée en saison sèche 2014, qui est la valeur indicelle la plus élevée.</li> <li>▪ Enfin <b>sur la Paracou</b>, sur la totalité de la station (Paracou et Paracou aval), l'indice de Shannon est de 2,98, avec une équitabilité de 0,70. Ces paramètres sont légèrement en baisse par rapport à 2015, mais restent élevés et témoignent d'une population équilibrée.</li> </ul>
<p><b>PEUPELEMENTS DE POISSONS</b> (analyse des contenus stomacaux, structure trophique et anatomo-pathologie)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comme en 2015, la <b>Crique des Pères</b>, 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 : 67% ; saison sèche : 54%). Néanmoins, en saison sèche, aucun herbivore n'a été prélevé. Une deuxième espèce est fortement représentée : les détritivores (25%).</li> <li>▪ <b>Au sein de la Karouabo</b>, trois guildes sont présentes quelle que soit la saison, comme en 2015. Ainsi, en saison des pluies, les herbivores et les omnivores représentent respectivement 18% et 68% de la population. La troisième guildes observée est celle des piscivores (14%). En saison sèche, les tendances observées sont principalement représentées par les herbivores et les piscivores, qui représentent respectivement</li> </ul>



PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2016
	<p>54% et 36% de la population. Les omnivores sont quant à eux retrouvés dans 9% de la population.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Dans la Malmanoury</b>, trois guildes alimentaires sont dénombrées en saison des pluies : les omnivores (68%), les herbivores (18%) et les piscivores (14%). De la même façon, la population en saison sèche est principalement composée de trois guildes/ Cependant, la guildes dominante la population est différente. Ainsi, on retrouve les piscivores (56%), les omnivores (30%) et les herbivores (14%).</li> </ul> <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><b>En cette année 2016, trois espèces de carnivores ont présenté des infestations par des vers nématodes et sur les deux saisons.</b></p>
<p><b>ANALYSE DE L'ALUMINIUM DANS LE MUSCLE DES POISSONS</b></p>	<p>Pour la campagne de prélèvement 2016, <b>trois guildes alimentaires</b> sont représentées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les <b>piscivores</b>, avec <i>Acestrorhynchus falcatus</i>, <i>Hoplias malabaricus</i>, <i>Plagioscion squamosissimus</i> et <i>Sciades couma</i>. Seule cette guildes comporte suffisamment d'individus pour être analysées (52 poissons). De plus, elle présente sur chacune des trois stations ;</li> <li>✓ Les <b>herbivores</b> (<i>Leporinus gosseii</i> et <i>Metynnis lippincottianus</i>), qui sont présents sur deux stations (Karouabo et Malmanoury) ;</li> <li>✓ Les <b>omnivores</b> (<i>Tripottheus brachipomus</i>, <i>Trachelyopterus galeatus</i>, et <i>Pseudauchenipterus nodosus</i>), qui sont présents eux aussi sur deux stations uniquement (Malmanoury et Crique des Pères).</li> </ul> <p>Comme en 2015, aucun taxon commun à toutes les stations n'a été capturé durant les deux saisons. Ainsi, seulement deux des trois taxons habituellement suivis sont étudiés pour le suivi de l'évolution des taux d'aluminium dans le temps.</p> <p>Il s'agit des deux <b>piscivores</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Hoplias malabaricus</i>, qui est présent sur la Karouabo durant les deux saisons ; sur la Malmanoury, il est présent uniquement en saison sèche. Enfin, un seul individu est présent en saison des pluies et en saison sèche sur la Crique des Pères ;</li> <li>✓ <i>Acestrorhynchus falcatus</i> a été capturé sur la Karouabo sur les deux saisons. Il a également été prélevé en saison sèche sur les stations Malmanoury et Crique des Pères.</li> </ul> <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, parmi les trois sites d'études, seules les stations de la Karouabo et de la Malmanoury présentent une différence significative des concentrations en aluminium. Ainsi, la Karouabo est composée d'individus dont les concentrations en aluminium sont plus basses par rapport à la Malmanoury, bien qu'elle se situe directement sous le vent des installations de lancement Ariane 5 et VEGA.</p> <p>On précise en outre que, les poissons piscivores des stations qui subissent les retombées du lanceur Ariane 5 ne présentent pas de différences significatives de leur concentration en aluminium avec la station de référence (Crique des Pères).</p>

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2016
	<p><b>Ainsi, les trois sites ne présentent pas de différences significative de la concentration en aluminium au sein de leurs piscivores.</b></p>
<p><b>DIVERSITE ET STRUCTURE DES PEUPELEMENTS D'INVERTEBRES AQUATIQUES</b></p>	<p>Au total, <b>4880 individus</b> répartis en 45 taxons ont été récoltés en 2016.</p> <p>Pour la <b>saison des pluies</b>,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ il a été recensé 3390 individus répartis en 35 taxons.</li> </ul> <p>Pour la <b>saison sèche</b>,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 1490 individus répartis en 40 taxons ont été récoltés.</li> </ul> <p>La forte abondance en saison des pluies vient probablement de la dérive des individus induites par l'augmentation du débit et de la vitesse du courant. De plus, une plus grande quantité d'habitat est disponible, accompagnée d'une meilleure oxygénation du milieu.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Quelle que soit la saison, l'<b>abondance la plus importante</b> est relevée sur la station <b>Malmanoury</b> avec 1318 individus récoltés en saison des pluies et 661 en saison sèche ;</li> <li>▪ Quelle que soit la station, la saison des pluies enregistre des abondances plus importantes que la saison sèche : le nombre d'individus est de 2 à 3 fois supérieur en saison des pluies ;</li> <li>▪ Concernant la <b>Paracou</b>, 617 individus répartis en 34 taxons ont été récoltés en saison sèche ; par comparaison, en saison des pluies 2011, alors que le milieu est plus favorable, 32 taxa différents avaient été recensés sur la crique Macouria ; En outre, dans sa thèse <i>Dedieu (2015)</i> identifie en moyenne 21 taxa dans les Petites Masses d'Eau (PME) guyanaises. Ces résultats démontrent une importante amélioration depuis 2015, passant d'un état médiocre à un bon état écologique de la crique en 2016. Ce bon état s'appuie sur l'importance de la richesse taxonomique bien que l'abondance soit moyennement élevée.</li> </ul> <p>Il est intéressant de rappeler que les taxons n'ont pas toujours pu être déterminés jusqu'au niveau taxonomique familial ; soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• les connaissances ne permettaient pas une identification plus aboutie,</li> <li>• les individus n'avaient pas atteint le stade de maturité nécessaire,</li> <li>• les individus étaient trop dégradés pour observer les critères de classification.</li> </ul>
<p><b>QUALITE BIOLOGIQUE</b></p>	<p>La qualité biologique des criques est définie au moyen du <b>score moyen des éphéméroptères guyanais (SMEG)</b> 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 2016 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>En saison des pluies</b>, <ul style="list-style-type: none"> <li>○ La <b>Crique des Pères</b> prend la classe d'intégrité <b>classe III *</b>,</li> <li>○ La <b>Karouabo</b> prend la classe d'intégrité <b>classe III *</b>,</li> <li>○ La <b>Malmanoury</b> est, quant à elle a la <b>classe II *</b>.</li> </ul> </li> <li>❖ <b>En saison sèche</b>, <ul style="list-style-type: none"> <li>○ La <b>Crique des Pères</b> prend la classe d'intégrité <b>classe III*</b> ;</li> <li>○ La qualité de la <b>Malmanoury</b> la place en <b>classe II *</b>, soit un retour à l'état écologique mesuré en 2013.</li> </ul> </li> </ul>

PARAMÈTRE SUIVI	RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DU SUIVI DE LA FAUNE AQUATIQUE POUR 2016
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Concernant la <b>Paracou</b> sa <b>classe</b> d'intégrité est de <b>II*</b> en saison sèche.</li> <li>❖ La détermination du SMEG sur la <b>Karouabo</b> n'a pas pu être réalisée en saison sèche 2016.</li> </ul> <p>En terme d'évolution temporelle globale, l'abondance est bien plus importante en saison des pluies 2016, que les prélèvements précédents, pour les stations Karouabo et Malmanoury, pour rechuter en saison sèche. La richesse taxonomique a, quant à elle, augmenté de façon notable pour toutes les stations. Pour le pourcentage en ETP, une augmentation est également observée par rapport à 2015 (de façon plus importante pour la station Malmanoury), alors que l'indice SMEG reste relativement constant.</p> <p>Sur la Paracou, en saison sèche 2016, les peuplements d'invertébrés aquatiques échantillonnées ne semblent pas impactés. En effet, en termes d'abondance, de diversité taxonomique et d'indice de Shannon-Wiener, les résultats obtenus correspondent, voir dépassent, ceux communément trouvés dans ces petites masses d'eau. De plus, les indices SMEG et l'IBMG attribuent respectivement à cette station un bon et un très bon état écologique. L'état de cette station s'est donc nettement amélioré depuis 2015 car il était qualifié de médiocre dans le précédent rapport.</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	<b>TRES BONNE</b>	Criques de faible largeur ou petites rivières sans impact anthropique notable
Au moins 4	3,08 - 4,09	Peu altérée	II	<b>BONNE</b>	Rivière faiblement impactées ou stations suffisamment éloignées des impacts pour une récupération importante
Au moins 4	2,05 - 3,07	Assez altérée	III	<b>MOYENNE</b>	Influences anthropiques durables mais d'intensité moyenne
Au moins 3	1,03 - 2,04	Fortement altérée	IV	<b>MEDIOCRE</b>	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	<b>MAUVAISE</b>	Pollutions importantes ; fort déficit en O <sub>2</sub> et/ou substratum très modifié

#### 12.4.4. Conclusions générales du suivi de la faune aquatique pour 2016

Pour l'année **2016**, peu de changements sont observés par rapport aux années précédentes, sauf concernant l'abondance et la richesse taxonomique relevées pour les invertébrés aquatiques.

##### **A. Les poissons des criques du CSG**

La **Karouabo** est la station la plus proche du site de lancement Ariane 5. En outre, elle se situe sous les vents dominant et est susceptible de recevoir la part la plus importante des retombés des activités spatiales.

En **2016**, les populations de poissons ne présentent pas de variation dans les modèles traduisant l'évolution de sa richesse spécifique et de son abondance entre les saisons. De plus, la structure trophique varie peu par rapport aux années précédentes, avec une dominance des piscivores en saison des pluies et des herbivores en saison sèche. Quelle que soit la saison, cette station est composée de piscivores, d'herbivores et d'omnivores. L'absence des autres guildes alimentaires peut être due à un biais dans l'échantillonnage, à cause des filets maillants, mais ces dernières sont intégralement présentes sur la Crique des Pères. Ainsi, ce déséquilibre est probablement dû à des impacts anthropiques. Il n'est cependant pas possible de définir s'ils sont la conséquence du lanceur et/ou de la proximité d'autres infrastructures. Enfin, la note de l'IPG diminue par rapport à 2015, mais cette station reste de **qualité moyenne**.

La **Malmanoury** est également sous des vents dominants et peu subir les impacts des lanceurs. Cependant, elle est plus éloignée de ces structures et leurs effets peuvent donc être réduits.

Pour l'ichtyofaune, les observations réalisées en **2016** sont similaires à la Karouabo. Ainsi, l'évolution des paramètres d'abondance et de richesses spécifique ne varie pas par rapport aux années précédentes. Il en va de même pour les guildes trophiques observées : piscivores, omnivores et herbivores. La différence observable se porte sur la guildes dominante la population : les omnivores. Enfin, cette station est aussi de **qualité moyenne**, mais sa note a diminué par rapport à 2015.

La **Crique des Pères** est située sur le Kourou et ne subit pas les effets du lanceur. Cette station sert de site témoin, sans impact du lanceur. Néanmoins, la présence anthropique est avérée via la présence d'abattis, de carbet et d'un espace de baignade, engendrant de potentiels impacts indirects par le biais des rejets et / ou ruissellement des eaux de pluies.

Pour les populations de poissons, il n'est pas possible de définir un modèle d'évolution entre les saisons. Cependant, l'abondance et la richesse spécifique restent communes à celles observées les années précédentes. Pour ce qui est de la richesse spécifique, celle-ci est plus élevée que sur les deux autres stations. De plus, la structure trophique montre que toutes les guildes alimentaires sont présentes sur ce site, où les omnivores dominent. Enfin, la note de l'IPG est en forte hausse et cette station est classée en **bon état**.

Selon les analyses portant sur l'ichtyofaune en **2016**, la station **Paracou** semble retourner à un état proche de 2013 (*Guillemet et al., 2014*), avec 19 espèces échantillonnées et une abondance proche de 200 poissons. Cependant, sa biomasse est faible, mais elle reste influencée par la composition spécifique. Ainsi, peu de grands individus ont été prélevés cette année. En outre, seuls les herbivores n'ont pas été prélevés sur cette station, mais toutes les autres guildes alimentaires sont représentées. Il est à noter que 24% des espèces prélevées n'ont pas un régime alimentaire connu.

Enfin, l'ensemble des concentrations d'aluminium de cette année semble suivre les tendances de 2013, 2014 et 2015, qui présentaient déjà des signes de stabilité. Cependant, aucune étude sur le comportement d'espèces locales face à ce métal n'ayant été faite, il sera toujours difficile d'estimer précisément les effets de l'aluminium sur les communautés ichthyologiques.

**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**

Concernant les invertébrés aquatiques, la station **Karouabo** présente une abondance et une richesse taxonomique intermédiaires aux deux autres stations. Une baisse de la qualité du milieu est notable entre la saison des pluies et la saison sèche par grâce à l'étude des communautés : augmentation de la contribution relative des Oligochètes, baisse du pourcentages d'ETP et la baisse de qualité écologique déterminée par le calcul du SMEG. Il semble qu'en saison sèche, la station Karouabo soit définie par une qualité moindre qui impacte les communautés macro benthiques.

En **2016**, la richesse et la diversité taxonomique échantillonnées ont augmenté par rapport aux années précédentes. De plus, l'année 2016 se démarque des autres années pour lesquelles une **meilleure qualité des communautés benthiques** est relevée en saison sèche.

La station **Malmanoury** présente les abondances et les richesses taxonomiques les plus hautes en **2016**, et ceci pour les deux saisons. Bien que l'ordre des Oligochètes soit plus représenté en saison sèche (ordre associé à une qualité écologique moyenne de l'eau ; Tachet et al., 2010), le pourcentage relatif d'ETP (taxa polluosensibles) y est plus important. De plus, l'indice SMEG qualifie cette station en bon état écologique pour les deux saisons étudiées de l'année 2016. L'étude temporelle des métriques étudiées met en évidence une **amélioration des conditions d'accueil de la faune benthique** : toutes les métriques sont en hausse par rapport aux années antérieures.

En **2016**, l'étude des métriques issus de l'échantillonnage des invertébrés aquatiques amène à observer que la station **Crique des Pères** est caractérisée par les abondances les plus faibles de la zone d'étude (mais reste proche de la station Karouabo). La diversité taxonomique relevée, est quant à elle, équivalente à la station Karouabo. Enfin, l'état écologique attribué à cette station par l'indice SMEG évolue positivement entre les deux saisons, passant de moyen en saison des pluies à bon en saison sèche, tandis que le pourcentage d'ETP montre une évolution inverse. D'un point de vue temporel, seule la richesse taxonomique a progressé par rapport aux années précédentes alors que les autres métriques ne montrent pas de tendance analysable.

En saison sèche **2016**, les peuplements d'invertébrés aquatiques échantillonnées sur la station **Paracou** ne semblent pas impactés. En effet, en termes d'abondance, de diversité taxonomique et d'indice de Shannon-Wiener, les résultats obtenus correspondent, voir dépassent, ceux communément trouvés dans ces petites masses d'eau. De plus, les indices SMEG et l'IBMG attribuent respectivement à cette station un bon et un très bon état écologique. L'état de cette station s'est donc nettement amélioré depuis 2015 car il était qualifié de médiocre dans le précédent rapport. Il a précédemment été recommandé de redéfinir une station sous impact du lanceur et d'utiliser la station Paracou comme étant une station de référence.

Une réévaluation des classes de qualité de l'indice SMEG a été réalisée courant 2016 afin de mieux évaluer la qualité des milieux de l'ensemble de la Guyane. L'utilisation de ces nouvelles grilles d'évaluations sera à prendre en compte mais demandera de recalculer les notes des années précédentes afin de les rendre comparable. Cela permettra également de comparer certain milieu à d'autre sites échantillonnés et présentant des similitudes.

Enfin, il pourrait être judicieux d'ajouter une nouvelle station directement sous l'influence du lanceur Soyouz. En effet, la station Paracou est en limite de zone impactée par le lanceur Soyouz. Il pourrait être envisagé pour la suite de définir cette station comme étant un site témoin et de référence. Face à un tel changement de statut, il est nécessaire de définir une station réellement sous l'impact du lanceur. Dans cette optique, trois sites potentiels ont été proposé. Parmi eux, il est nécessaire d'en sélectionner un en fonction de sa réelle représentativité de l'impact à étudier et des facilités d'accès au site. Ces sites avaient été proposée en 2015 pour l'étude de 2016 (*Guillemet & Monchaux, 2016*). Cette proposition reste donc d'actualité.

### **12.5. 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].

Cette surveillance n'a pas pu être réalisée en **2016** au Centre Spatial Guyanais.

Une autre étude, permettant de suivre l'impact des retombées d'alumine sur le milieu naturel a été menée ; il s'agit de « **12.7 La bio surveillance de la qualité de l'air au moyen des abeilles mélipones** ».

### **12.6. 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 pluviolèssivats implantés en champ proche et en champ lointain)
- ✓ **L'évolution des espèces représentatives**, grâce à l'observation périodique des écosystèmes leur (quantification de repousse...).

Concernant l'Ensemble de Lancement Soyouz, 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.

#### **12.6.1. 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 des retombées due aux rejets atmosphériques des EAP. L'objectif du suivi des retombées chimiques des pluies et des pluviolèssivats sur la végétation est d'évaluer le niveau d'impact 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 2016, aucune campagne de mesures n'a eu lieu.

Tableau 35 : Ensemble des paramètres de l'analyse sur la végétation

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

### 12.6.2. 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 ariglo-sableaux, 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 2016.



Figure 12 : Numérotation d'un pied *Cyrtopodium cristatum*

**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.

### 12.6.3. 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 2016, la visite de l'IRD n'a pas eu lieu.

Figure 13 : *S. angustifolia*

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

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

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

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

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

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

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

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



Figure 14 : Mélipona [DR16]

Dans ce cadre et pour initier un tel suivi de la qualité de l'air par l'abeille au sein de la base spatiale européenne, le cabinet d'études NBC, en partenariat avec le CNES/CSG pour le déploiement du programme et le bureau d'études APILAB pour le volet analytique, a réalisé un programme de validation du procédé au contexte industriel spécifique du CSG sur l'année **2016**, intégrant la saison sèche et la saison des pluies [DR16].

#### 12.7.2. Le protocole de surveillance 2016

Le protocole de surveillance 2016 vise à démontrer la pertinence de cette méthode de bio surveillance appliqué au contexte industriel des « **activités de lancement** » du Centre Spatial Guyanais mais aussi de disposer d'un retour objectif de cette bio surveillance de la qualité de l'air avec des abeilles guyanaises, les « *mélipones* », sur deux saisons.

A partir du déploiement de plusieurs ruchers sur les sites de lancement, le protocole de surveillance 2016 permet d'analyser et de caractériser les particules présentes dans l'air ambiant qui se sont bio-accumulées sur le corps des abeilles.



### 12.7.3. Matériels et méthodes

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

Les abeilles utilisées dans le cadre de cette étude sont du genre *Mélipona*, endémique de Guyane. « **Les *Mélipones* sont des abeilles qui ont la particularité de ne pas avoir de dard d'où leur nom vernaculaire « abeille sans dard ».** En réalité, « le dard existe mais il est atrophié », cette particularité est avantageuse pour la mise en place de ruchers sur des espaces accueillant des travailleurs. « **En revanche, si les mélipones ne piquent pas elles peuvent néanmoins mordre et certaines espèces peuvent avoir un comportement agressif. Les *Mélipones* sont regroupées dans la tribu des Meliponini.** » [DR17].

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

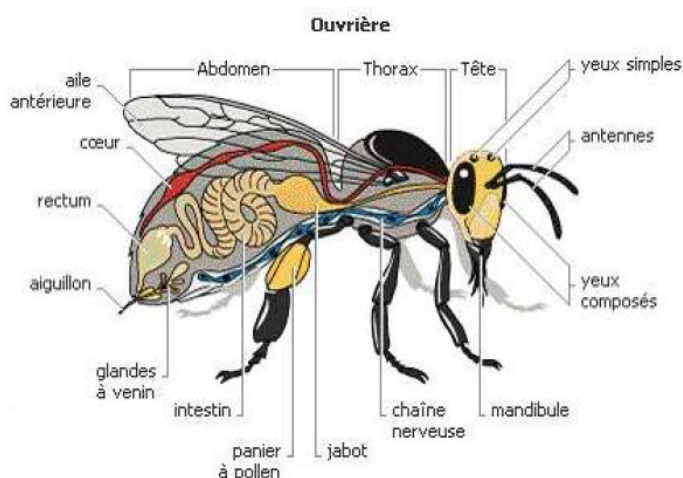


Figure 15 : Anatomie d'une abeille, NBC/APILAB

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

#### **Les ruchers**

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

Les ruches, installées dans le cadre de notre étude, sont différentes des ruches classiques d'*Apis mellifera*. Ce sont des sortes de boîtes avec une seule ouverture, surveillée en permanence par une gardienne. Les mélipones réalisent dans cette boîte une série de pots de stockage de miel et de pollen. On y trouve également le couvain, positionne souvent en position central – voir photo ci-dessous. [DR16]



Figure 16 : Vue interne d'un rucher et de son organisation, NBC APILAB

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

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

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

## **B. Le déploiement des ruchers**

En 2016, l'entomologiste – apiculteur a assuré la mise en place de l'étude au CSG.

Les premières colonies ont été transhumées le 22 mars 2016 sur les trois sites suivants :

- Tangara : pas de tir Ariane 5 et Vega
- ELS : Pas de tir Soyouz
- Ebène



Figure 17 : Ruchers Tangara



Figure 18 : Ruchers Sentier Ebène



Figure 19 : Ruchers de l'ELS

Plus précisément, les sites suivants ont été équipé :

Site de Tangara (à proximité des Zones de Lancement Ariane 5 et VEGA)	: 2 supports, 4 ruches
Site de l'Ensemble de Lancement Soyouz	: 1 support, 2 ruches
Site du sentier Ebène	: 1 support, 2 ruches
Site témoin localisé à la Césarée (en dehors du CSG)	: 1 support, 2 ruches

### C. Prélèvements et Analyses

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

Il consiste à réaliser un prélèvement de cinq (5) individus par ruches ; ces abeilles sont ensuite lyophilisées et conditionnées individuellement dans des tubes *Eppendorf* jusqu'à leur traitement au Microscope Electronique à balayage (MEB).

La microscopie électronique à balayage permet de mettre en évidence les éléments minéraux et de définir leur composition atomique grâce à un spot via un faisceau d'électron.



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

Sur chacun de ces ruchers, le protocole 2016 s'est attaché à :

- Réaliser un prélèvement en saison des pluies pour analyse particulière,
- Réaliser un prélèvement en saison sèche pour analyse particulière,
- Réaliser une étude des biomarqueurs en saison sèche.

Les prélèvements ont été réalisés en mai et en septembre 2016 sur les sites d'exposition. En outre, on précise qu'un site d'exposition témoin a également été installé au niveau de la Césarée (Macouria).



Figure 21 : Situation géographique des ruchers de prélèvements, NBC APILAB 2016

**NOTA** : Les cercles verts représentent les aires de butinage théoriques des colonies présentes sur chacun des ruchers et donc les aires d'exposition des abeilles.

#### 12.7.4. Synthèse des résultats 2016

Toutes les abeilles mobilisées lors de cette campagne 2016 sont en bonne santé à l'issue de ce programme. Aucun impact sur leur activité n'a été décelé, puisqu'elles produisent en permanence du miel. Il n'a pas été observé de changement comportemental particulier depuis leur implantation au CSG.

**De manière générale, les deux études convergent vers des conclusions similaires.**

Au travers des résultats analytiques, l'étude a mis en évidence des **éléments présents de manière abondante** sur les sites quelle que soit la saison. Des **éléments d'origine environnementale** tout d'abord, tels que des aluminosilicates, du sable (Désert du Sinaï), du calcaire, du chlorure de sodium et des oxydes de fer. Ces éléments environnementaux sont mesurés aussi bien sur les sites industriels que sur les sites témoins, situés à l'extérieur de la base spatiale. D'autres éléments environnementaux sont identifiés sur tous les sites (Calcium, Phosphore, Magnésium, Potassium.) et témoignent du fond géochimique de l'environnement guyanais.

De la même manière, des **traces de métaux** tels que les aciers, le fer et l'aluminium sont retrouvés régulièrement et de manière homogène sur le CSG. Ces éléments ont une origine environnementale (la terre de Guyane, la « latérite » est constituée d'oxydes de fer et d'alumine).

De **façon plus ponctuelle et au CSG uniquement**, nous avons pu identifier des éléments propres aux activités du CSG. On peut citer plus particulièrement :

- le titane, retrouvé dans trois échantillons dont les sites témoins ; ce composé est employé dans l'industrie aérospatiale et dans l'industrie pour ses propriétés anti corrosive et sa densité ;
- le ruthénium, retrouvé lors de la première analyse sur le site Tangara, un minerai du titane, principal composant des filons de quartz c'est-à-dire un composé d'origine naturelle, spécifique à la géologie du site ;
- le soufre qui est un traceur des activités de construction et qui fut retrouvé à proximité du chantier Ariane 6 ;
- le cérium, une terre rare employé dans les traitements de surface ou encore dans la composition de catalyseurs automobiles,
- le nickel, retrouvé au sein de l'échantillon du pas de tir du lanceur Soyouz.

Ces éléments originaux sont présents « à l'état de trace » et n'impactent aucunement la santé des abeilles. Les ruches étant actives durant toute la durée de l'étude.

Enfin, concernant l'**analyse des biomarqueurs**, le niveau de carbonylation des protéines mesuré ne montre pas de différence significative dans les valeurs des **quatre lots d'abeilles**. Cette étude sur les biomarqueurs a donc mis en évidence l'absence d'impact de l'environnement sur la santé des abeilles.

**Au vue de ces résultats, il semble que les rejets de particules minérales issus des activités du CSG soient très majoritairement des métaux dans des proportions très limitées qui n'ont pas d'impact sur la santé des abeilles vivant sur les sites [DR16].**

## 13. CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DU CSG EN 2016

Les principales conclusions à retenir du bilan des plans de mesures environnement 2016 sont rappelées ci-après.



VS14 – CNES/CSG



VA234 – CNES/CSG



VV07 – CNES/CSG

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

#### 13.1.1. Ariane 5

- Chaque lancement ARIANE 5 a bénéficié d'un plan de mesures environnement. L'ensemble des capteurs a été déployé.
- 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. Seuls les appareils mobiles situés en champ proche (à moins de 1 kilomètre de la ZL3) ou dans l'axe des carneaux ont détecté une concentration en acide chlorhydrique. Ces détections positives ont eu lieu lors des vols VA231, VA233 et VA234. On note que les teneurs mesurées correspondent à un pic de concentration représentatif du décollage du lanceur ; celles-ci s'atténuent jusqu'à un taux de 0 ppm entre 30 secondes et 30 minutes **après** le décollage (selon les conditions météorologiques). (**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.*
- Durant le temps d'exposition des bacs à eau, des événements pluvieux ont parfois été enregistrés sur le territoire du CSG. On note notamment de fortes précipitations suite au vol VA230 (juin 2016), entraînant le débord de certains bacs et donc une potentielle sous-estimation des concentrations pour ce vol. Néanmoins, hormis pour VA230, aucun bac n'a débordé et les analyses ont pu être réalisées dans les meilleures conditions possibles.
- En 2016, 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 de la mission Ariane 5 Vol 229. 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 n'a pas été réalisée en 2016. Le retour d'expérience nous permet d'affirmer que les résultats des pluviollessivats en champ proche démontrent généralement 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 sont fortement soumis aux aérosols marins (apport notable de chlorures notamment en saison sèche). En champ lointain, le retour d'expérience nous informe que l'impact des retombées sur la végétation reste très négligeable compte tenu des très faibles valeurs mesurées (proches des seuils de quantification). Aucun impact attribuable aux lancements d'ARIANE 5 n'a été relevé jusqu'ici.

### 13.1.2. VEGA

- Pour chaque mission du lanceur VEGA en 2016, 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 2016. 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 2016, 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 d'une mission Ariane 5 (VA229) ;
- En 2016, le suivi des retombées chimiques sur la végétation n'a pas pu être réalisé lors d'une mission VEGA. Néanmoins, le retour d'expérience nous permet d'affirmer qu'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).

### 13.1.3. Soyouz

- Chaque lancement SOYOUZ 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 2<sup>nd</sup> (bloc A) étages dépend des conditions météorologiques et non de la saisonnalité.
- Le réseau de suivi de la qualité de l'air CODEX 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.

Par ailleurs, il convient de préciser que ce constat est confirmé au regard du suivi des indices de la qualité de l'air sur la commune de Kourou réalisé par l'Observatoire Régional de l'Air de Guyane

### 13.1.4. Essai de mise à feu ARTA 6 au BEAP

- Le nuage de combustion issu de l'essai à feu ARTA 6 est orienté vers le sud, au niveau des PK 70 à 72 de la RN1, contrairement aux prévisions météorologiques. En effet, on rappelle qu'un phénomène atmosphérique s'est exceptionnellement produit lors de cet essai, entraînant une rotation du vent suffisante pour réorienter le nuage de combustion. Ce phénomène traduit le caractère imprévisible de la climatologie guyanaise et explique qu'il n'a pas été possible de repositionner les capteurs du plan de mesures environnement au moment du H0.
- Pour répondre à cet aléa, le CNES a détaché un cortège de pompiers en charge de réaliser des mesures de toxicité en acide chlorhydrique, notamment sur la RN1 au lieu de passage du nuage. Ces mesures ont permis d'écarter le risque d'impact sur le milieu naturel.
- Le réseau de détection CODEX n'a détecté aucune concentration en acide chlorhydrique que ce soit dans les villes de Kourou, de Sinnamary ou sur les points de mesure (fixes et mobiles) implantés au CSG.
- Les retombées chimiques gazeuses et particulaires, récoltées par l'intermédiaire des bacs à eau, se font essentiellement en champ proche (Plateforme du BEAP), des concentrations élevées, ne dépassent pas le périmètre du CSG, ont été enregistré en champ lointain. Les mesures in situ de la BSPP ont permis d'écarter le risque d'impact.
- 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. Les aléas de la climatologie locale sont parfois, difficilement prévisibles.
- Au regard de l'ensemble de ces constats, notons néanmoins que cet essai s'est déroulé conformément aux prescriptions de l'Arrêté d'Autorisation d'Exploiter le BEAP.

### 13.1.5. Brûlage d'un segment rebuté S2 N°125 sur l'ADP

- Le nuage de combustion issu du brûlage du segment S2 n°125 est orienté vers le PK 97 de la RN1 l'espace en suivant les conditions météorologiques.
- Le réseau de détection en acide chlorhydrique en temps réel (réseau CODEX) une concentration en acide chlorhydrique à 178 mètres du segment. Au-delà, aucune autre concentration n'a été mesurée que ce soit dans les villes de Kourou, de Sinnamary ou sur le reste du territoire du CSG.
- Pour mémoire, les produits de combustion s'élèvent rapidement et ne génèrent qu'un impact localisé à la zone de l'ADP sur une distance inférieure à 1 kilomètre.
- Les résultats de terrain sur les retombées chimiques gazeuses et particulaires, obtenus par l'analyse des bacs à eau, n'ont pas mis en évidence d'impact des retombées en alumine particulaire que ce soit en champ proche, moyen ou en champ lointain. De même, pour l'acide chlorhydrique, un impact a été mesuré à proximité directe du segment (jusqu'à 178 mètres). Au-delà, les valeurs mesurées sont négligeables voir non quantifiables. Aussi, aucun impact significatif n'est à signaler.
- 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.
- Au regard de l'ensemble de ces constats, notons que le brûlage du segment S2 N°125 effectué le 25 novembre 2016 s'est déroulé conformément aux prescriptions de l'Arrêté d'Autorisation d'Exploiter l'ADP, et que les mesures ont permis d'écartier le risque d'impact sur l'environnement guyanais.

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

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



- **Le suivi de l'avifaune** : la surveillance des populations d'oiseaux du CSG n'a pas pu être réalisé en 2016.
- **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 2016 n'a pas pu être réalisé.
- **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 2016 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 2016 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.**

## **14. 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 2016, 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.

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

### 15.1. Cas de l'alumine

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

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

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

### 15.2. Cas de l'acide chlorhydrique

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

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

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

### 15.3. Cas du monoxyde de carbone

#### Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

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

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

#### **15.4. Cas du dioxyde de carbone**

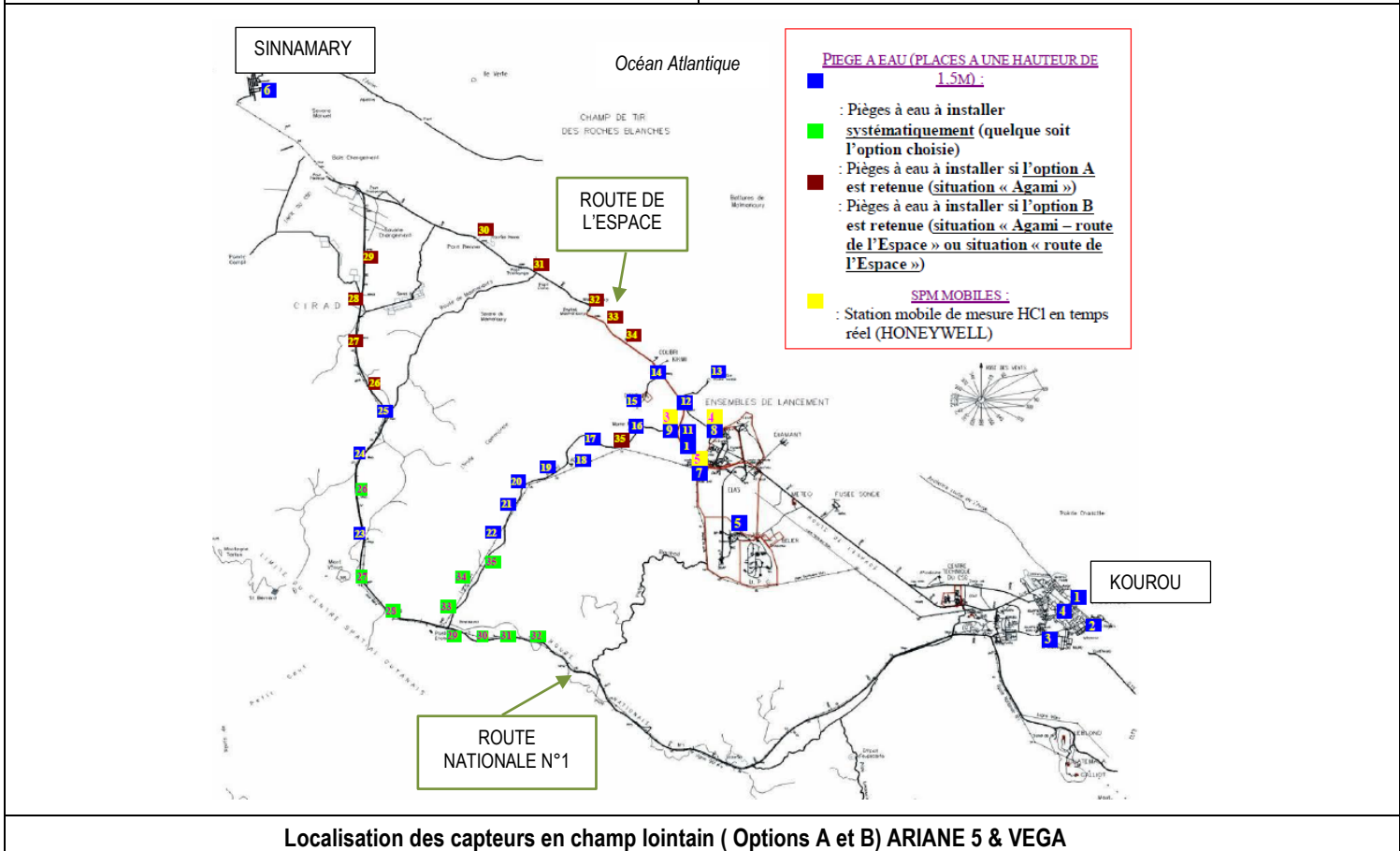
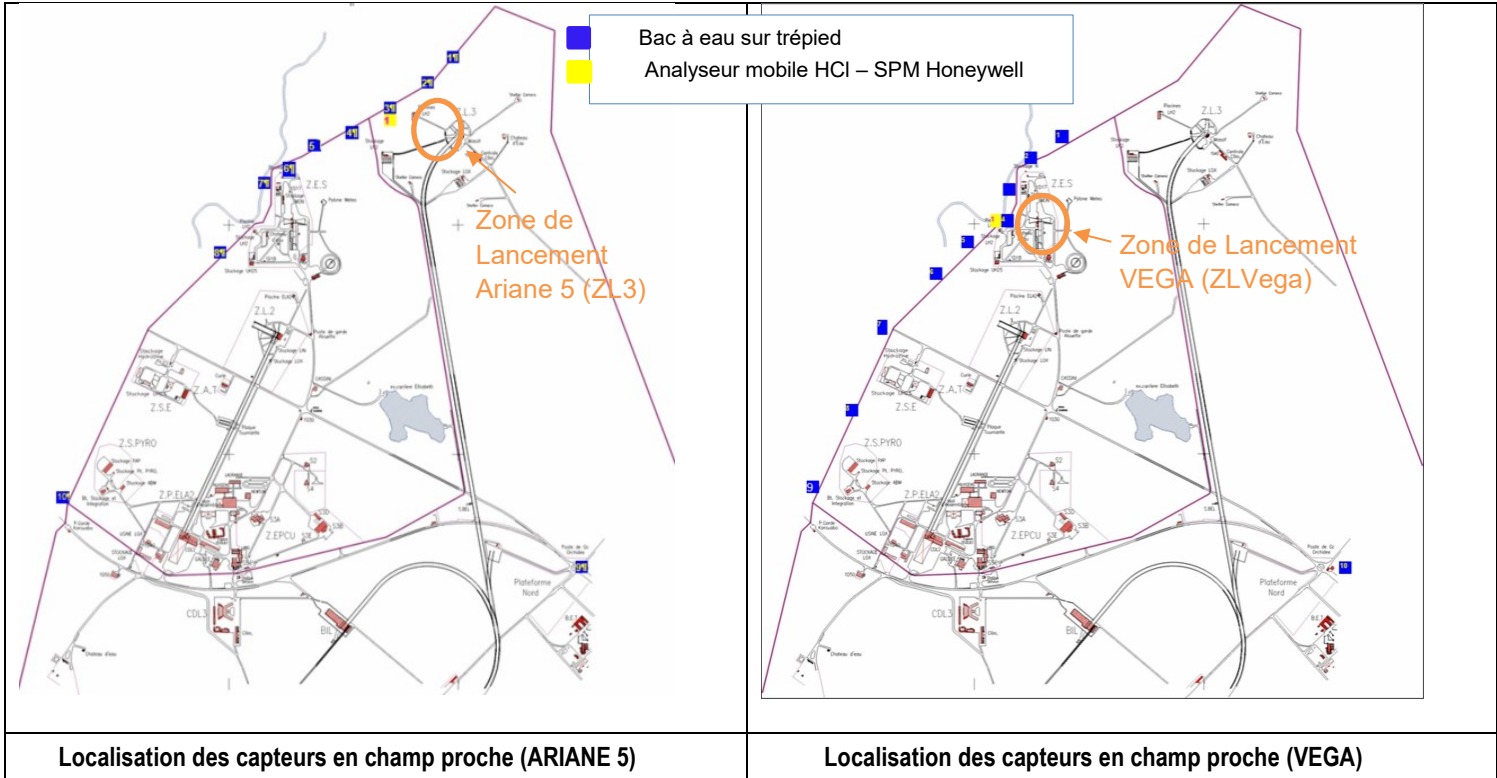
### **Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle**

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

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

Figure 23 : Fiche toxicologique INRS

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



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

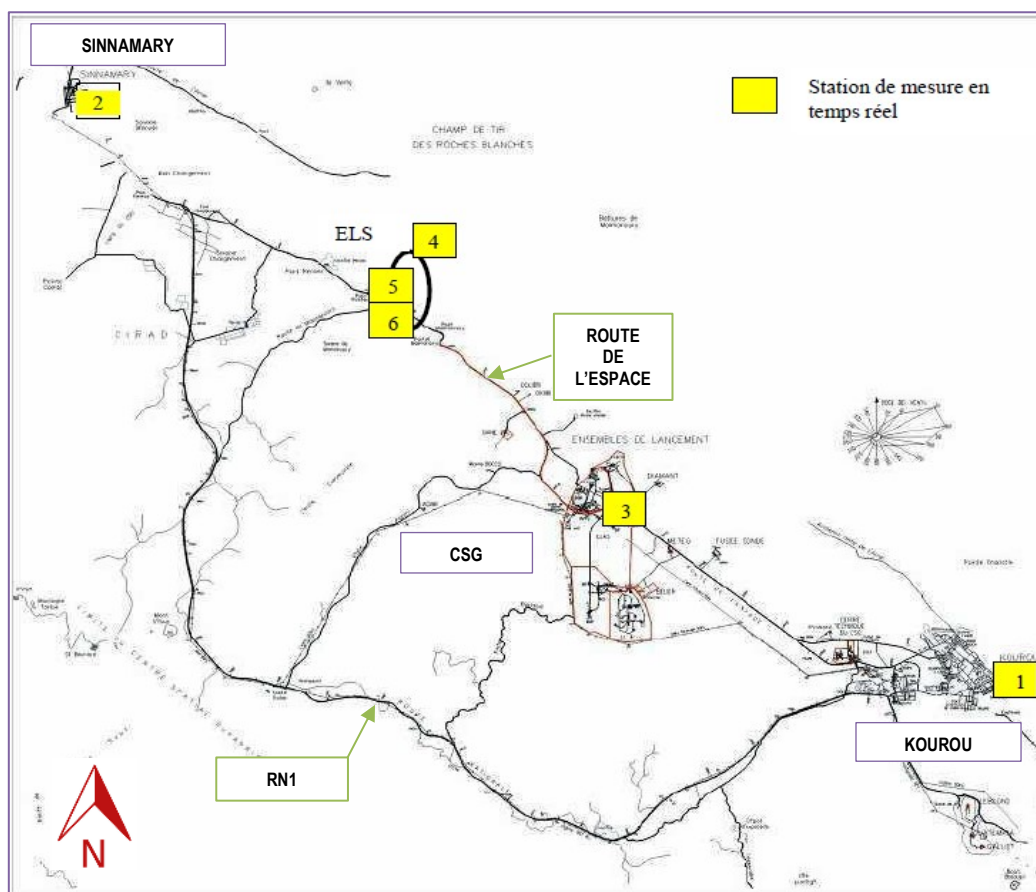


Figure 24 : Localisation des analyseurs d'air (ENVIRONNEMENT SA) en champ proche et lointain SOYOUZ

**18. 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
V224	111	130	-19	14,62
V225	105	115	-10	8,70
V226	105	105	0	0,00
V227	87	96	-9	9,38
V228	69	70	-1	1,43
V229	32	45	-13	28,89
V230	80	104	-24	23,08
V231	68	102	-34	33,33
V232	100	101	-1	0,99
V233	103	107	-4	3,74
V234	88	81	7	-8,64

♦♦♦♦ FIN DU DOCUMENT ♦♦♦♦