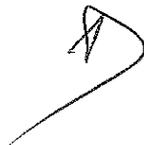


**RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT
SOYUZ ST-B VOL S11 DU 21 MARS 2015 A 18H46 MN**

	Nom et Sigle	Date et Signature
Préparé par	DEL BUFALO G. SDP/ES	20/11/2015 
Vérifié par		
Approuvé par	RICHARD S. SDP/ES	23/11/15 

Application autorisée par	TRINCHERO J.P. SDP/ES	26/11/2015 
----------------------------------	------------------------------	---

DIFFUSION

destinataire	Nb
ADEME	1
AE/DP/K	1
CG/COM	1
DEAL	1
ESA/K	1
IRD	1
MAIRIE DE KOUROU	1
MAIRIE DE SINNAMARY	1
ONF	1
ORA GUYANE	1
SDP/ES	1
SDP/ES/ENV	1
S.P.P.I.	1

Nombre total d'exemplaires : 13

REPERTOIRE DES MODIFICATIONS

Ed/Rév	Date	Pages Modifiées	Objet de la modification
01/00	21/10/2015	TOUTES	CREATION / DEL BUFALO G.

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3
1. OBJET – DOMAINE D’APPLICATION.....	4
2. DOCUMENTS DE REFERENCE.....	4
2.1. DOCUMENTS APPLICABLES	4
2.2. DOCUMENTS DE REFERENCE	5
2.3. GESTIONNAIRE TECHNIQUE DU DOCUMENT	6
3. DEFINITIONS ET SIGLES.....	6
3.1. DEFINITIONS	6
3.2. SIGLES	6
4. RAPPELS CONCERNANT LE PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT DU VOL S 11.....	8
5. LOCALISATION DES POINTS DE MESURES	9
6. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	10
6.1. DONNEES BRUTES DU RADIOSONDAGE 5R270315	11
6.2. SIMULATION SARRIM A PARTIR DU RADIOSONDAGE 5R181214	12
7. MESURE EN CONTINU DE LA QUALITE DE L’AIR (RETOMBEES CHIMIQUES ET PARTICULAIRES).....	17
7.1. OBJECTIF DES MESURES	17
7.2. RESULTATS DES MESURES.....	17
7.2.1. <i>Résultats des analyseurs en continu ENVIRONNEMENT SA.....</i>	<i>17</i>
7.2.2. <i>Comparaison des résultats de VS 11 aux résultats de VS 10 à VS 01</i>	<i>24</i>
7.2.3. <i>Résultats des détecteurs du réseau CODEX.....</i>	<i>34</i>
8. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L’IMPACT SUR L’ENVIRONNEMENT DU LANCEUR SOYUZ VOL S11.....	34

1. OBJET – DOMAINE D'APPLICATION

Ce document a pour objet de présenter les résultats des mesures d'impact sur l'environnement réalisées lors du lancement de **Soyuz ST-B** qui transportait les satellites **GALILEO FOC-M2**. Le **vol S11** a eu lieu le **21 Mars 2015 à 18 heures 46 minutes** en heure locale, soit 21 heures 46 minutes, en temps universel.

Ce document est élaboré pour répondre aux objectifs suivants :

- évaluer l'impact des activités spatiales et des lancements Soyuz sur l'Environnement.
- se conformer aux prescriptions de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter l'Ensemble de Lancement Soyuz (ELS) **[DA1]**,
- confirmer les conclusions inscrites dans l'étude d'impact réalisée dans le cadre de la constitution du Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter l'Ensemble de Lancement Soyuz **[DR2]**,
- confirmer les conclusions des précédents plans de mesures environnement Soyuz **[DR5 à 14]**.

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

2.1. Documents applicables

- [DA1]** Arrêté Numéro 1689/2D/2B/ENV du 26 juillet 2007 autorisant la Société Arianespace à exploiter l'ensemble de lancement Soyuz, sise sur la commune de Sinnamary.
- [DA2]** **XSX-PCO-SSX-13361-CNES** – Préparation du plan de mesures environnement Soyuz.
- [DA3]** Arrêté Numéro 2120/DSDS du 06 novembre 2009 d'autorisation du CNES au prélèvement d'eau superficielle, au traitement et à la distribution de l'eau du lac de la Roche Léna.

2.2. Documents de référence

- [DR1] **CSG-RP-S3X-13360-CNES** – Plan de mesures Environnement Soyuz – Centre Spatial Guyanais.
- [DR2] **CSG-ES-SSS-8023-CNES** – DDAE de l'ensemble de lancement SOYUZ (ELS) – Volume 2 : Étude d'impact.
- [DR3] **Décret n°2010-1250 du 21/10/10** relatif à la qualité de l'air.
- [DR4] **Arrêté du 11 janvier 2007** relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.
- [DR 5] **CG/SDP/ES/N°15-634** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B vol S10 du 18 Décembre 2014 à 15h37
- [DR 6] **CG/SDP/ES/N°15-514** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B vol S09 du 22 Août 2014 à 09h27
- [DR 7] **CG/SDP/ES/N°15-511** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B vol S08 du 10 du 10 Juillet 2014 à 15h55
- [DR 8] **CG/SDP/ES/N°15-409** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-A vol S07 du 3 Avril 2014 à 18h02
- [DR 9] **CG/SDP/ES/N°15-197** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B vol S06 du 19 décembre 2013 à 09h12
- [DR 10] **CG/SDP/ES/N°15-172** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B du S05 du 25 juin 2013 à 19h27
- [DR 11] **CG/SDP/ES/N°14-866** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B du S04 du 19 décembre 2012 à 09h12
- [DR 12] **CSG-RP-SSX-14762-CNES** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B du S03 du 12 Octobre 2012 à 15h15
- [DR 13] **CSG-RP-SSX-14379-CNES** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-A du S02 du 16 Décembre 2011 à 23h03
- [DR 14] **CSG-RP-SSX-14347-CNES** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B du S01 du 21 Octobre 2011 à 07h30

2.3. Gestionnaire technique du document

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

3. DEFINITIONS ET SIGLES

3.1. Définitions

Sans objet

3.2. Sigles

BLA	:	Base de Lancement Ariane
BTX	:	Benzène – Toluène – (ethylbenzène) Xylène
CI	:	Contrat Industriel
CL	:	Champ Lointain
CNES	:	Centre National d'Etudes Spatiales
CO	:	Monoxyde de carbone
CO ₂	:	Dioxyde de carbone
CODEX	:	Collecte de Données Environnement eXtérieur du CSG (Réseau de)
COV	:	Composés Organiques Volatils
CL	:	Champ Lointain
CP	:	Champ Proche
CT	:	Centre Technique
CSG	:	Centre Spatial Guyanais
dB	:	Décibel
DBO ₅	:	Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours
DCO	:	Demande Chimique en Oxygène
DDAE	:	Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter
ELA	:	Ensemble de Lancement ARIANE
ELS	:	Ensemble de Lancement SOYUZ
ESQS	:	Europe Spatiale Qualité Sécurité
GPS	:	Système de Positionnement Global
H ₂	:	Dihydrogène
HAP	:	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HC	:	Hydrocarbures imbrûlés
HS	:	Hors Service
ICPE	:	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IRD	:	Institut de Recherche et de Développement
LD	:	Limite de Détection
LIN	:	Azote Liquide
LOX	:	Oxygène Liquide

MEST	:	Matières En Suspension Totales
MIK	:	Bâtiment d'assemblage du lanceur SOYUZ et d'essais de l'étage Frégat
MMH	:	Mono Méthyl Hydrazine
N ₂ H ₄	:	Hydrazine
N ₂ O ₄	:	Peroxyde d'Azote
NO ₂	:	Dioxyde d'Azote
NO _x	:	Oxyde d'Azote
O ₃	:	Ozone
ORA	:	Observatoire Régional de l'Air en Guyane
pH	:	Potentiel Hydrogène
PHHC	:	Peroxyde Hydrogène Haute Concentration
PM	:	Matière Particulaire
ppb	:	Partie par milliard en volume (10 ⁻⁹), soit 1 mm ³ /m ³
ppm	:	partie par million
RN1	:	Route Nationale 1
SARRIM	:	« Stratified Atmosphere Release of Rockets Impact Model »
SO ₂	:	Dioxyde de soufre
SO _x	:	Oxydes de soufre
SPM	:	« Single Point Monitor »
UDMH	:	Unsymmetrical Di MethylHydrazine (Diméthyl hydrazine asymétrique)
VLI	:	Vitesse Limite d'Impact
VTR	:	Valeur Toxicologique de Référence
ZLS	:	Zone de Lancement SOYUZ
ZP	:	Zone de Préparation

4. RAPPELS CONCERNANT LE PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT DU VOL S 11

Les domaines couverts par le plan de mesures Vol S11 **[DR1]** sont les suivants :

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

Nota :

L'activation du réseau CODEX (Zellwegers) a été réalisée par le CI/ESQS/ES. Pour rappel, les « Zellwegers » sont entretenus et étalonnés par le laboratoire de chimie du CSG (CI/SNECMA).

La mise en route, l'étalonnage et la récupération des données des analyseurs d'air en continu ont été opérés par le CI/SNECMA.

5. LOCALISATION DES POINTS DE MESURES

La localisation et la distance des points de mesures par rapport à la ZLS sont synthétisées dans le *Tableau 1* ci-dessous

Tableau 1 : Récapitulatif de l'implantation des capteurs de mesure.

EMPLACEMENT		DISTANCE ZLS (m)	ANALYSEUR ENV. SA	
A I R	1	shelter optique à l'ouest de la ZLS (bâtiment 3529) - (shelter n°4)	Oui	
	2	Zone de dépotage PHHC (bâtiment 3551) - (shelter n°5)	Oui	
	3	Zone de stockage PHHC (bâtiment 3556) - (shelter n°6)	Oui	
	4	Gendarmerie de Sinnamary - (shelter n°2)	15 900	Oui
	5	Hotel des Roches - (shelter n°1)	27 950	Oui
	6	BLA – EPCU S3G (laboratoire de chimie) - (shelter n°3)	10 520	Oui

Le détail des instruments mis en place est présenté dans le document référencé **[DR1]**.

Au total, le plan de mesures environnement du Vol S11 représente quarante-deux capteurs.

6. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES

La localisation de la « trace » de combustion de Soyuz peut varier à chaque lancement. Cette localisation ne peut être connue à l'avance du fait de la climatologie locale. Au moyen de SARRIM et du radiosondage réalisé au plus proche du H0, une modélisation des conditions météorologiques réelles du jour du lancement peut être effectuée. Les résultats obtenus (hauteur de stabilisation, déplacement du nuage, etc.) donneront des informations, par comparaison aux valeurs de terrain (présentées aux paragraphes 6 et 7 du présent document), sur le comportement réel de la « trace » de combustion ainsi que sur les concentrations au sol des retombées chimiques et particulaires.

Nota :

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 de polluants). Initialement, ce logiciel permet de modéliser les retombées gazeuses et particulaires au sol liées à la combustion de propergol solide ou encore d'une explosion d'un lanceur (Ariane 5 et Vega). Une adaptation a été réalisée afin de prendre en compte le nouveau lanceur Soyuz (combustion d'un mélange kérosène/oxygène – lanceur équipé d'étages à propulsion liquide). Avec plus de 10 ans de retour d'expérience sur l'utilisation de ce modèle, il a été mis en évidence que SARRIM :

- *surestime très largement les concentrations en produit de combustion (par comparaison avec les données mesurées sur le terrain par les capteurs environnementaux),*
- *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 la trace de combustion issue des 2 premiers étages de Soyuz.

6.1. Données brutes du radiosondage 5R270315

Le jour du lancement, à H0 +22 minutes, un radiosondage spécifique a été effectué (**référence 5R270315** du 27 Mars 2015). Il donne des informations sur trois cent vingt-cinq couches distinctes tous les cent mètres.

Tableau 2 : Données météorologiques issues du radiosondage 5R181214 pour les couches atmosphériques représentatives.

ALTITUDE (mètres)	PRESSION (mb)	VITESSE DU VENT (m/s)	VENT EN PROVENANCE (°)	TEMPERATURE (°C)	HUMIDITE (%)
12	1 012,2	5	40	26,5	82
100	1 002,2	6,8	42	26	81,3
500	957,7	8,4	45	22,5	93
1000	904,1	7,1	51	19	93
1500	852,9	3,8	44	17,3	85,2
2000	804,4	3,1	143	15,8	86,8
2500	758,4	3,8	81	13,4	87,4
3000	714,6	3,9	131	11	84,5
3500	672,9	5,7	149	7,4	96,5
4000	633,2	9,3	141	5,6	80,3

6.2. Simulation SARRIM à partir du radiosondage 5R181214

Les données d'entrée nécessaires à la simulation sont les suivantes :

- Les caractéristiques du lanceur,
- La position géographique de la zone de lancement (latitude, longitude),
- Les données météorologiques recueillies à l'aide d'un radiosondage,
- etc.

Au moyen des données issues de la modélisation SARRIM, la hauteur à laquelle le nuage de combustion se stabilise ainsi que la direction et la vitesse qu'il prend dans les basses et les hautes couches de l'atmosphère sont déterminées. Les résultats sont synthétisés dans le *tableau 3*

Tableau 3 : Synthèse des résultats obtenus suite à la modélisation SARRIM.

HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)	566
BASSES COUCHES DE L'ATMOSPHERE (pour une altitude allant du sol jusqu'à la hauteur de stabilisation)	
- Vitesse moyenne des vents (m/s)	8
- Direction moyenne des vents (°)	45
⇒ Les vents sont orientés vers	PK 97 de la RN1
HAUTES COUCHES DE L'ATMOSPHERE (pour une altitude allant de la hauteur de stabilisation jusqu'à 4000 m)	
- Vitesse moyenne des vents (m/s)	4,4
- Direction moyenne des vents (°)	102
⇒ Les vents sont orientés vers	PK 104 de la RN1

Figure 1 : Retombées en dioxyde de carbone en champ proche

RS du 03/27/2015 a 22:08:0.00 (TU)

C pic CO2 (ppm)

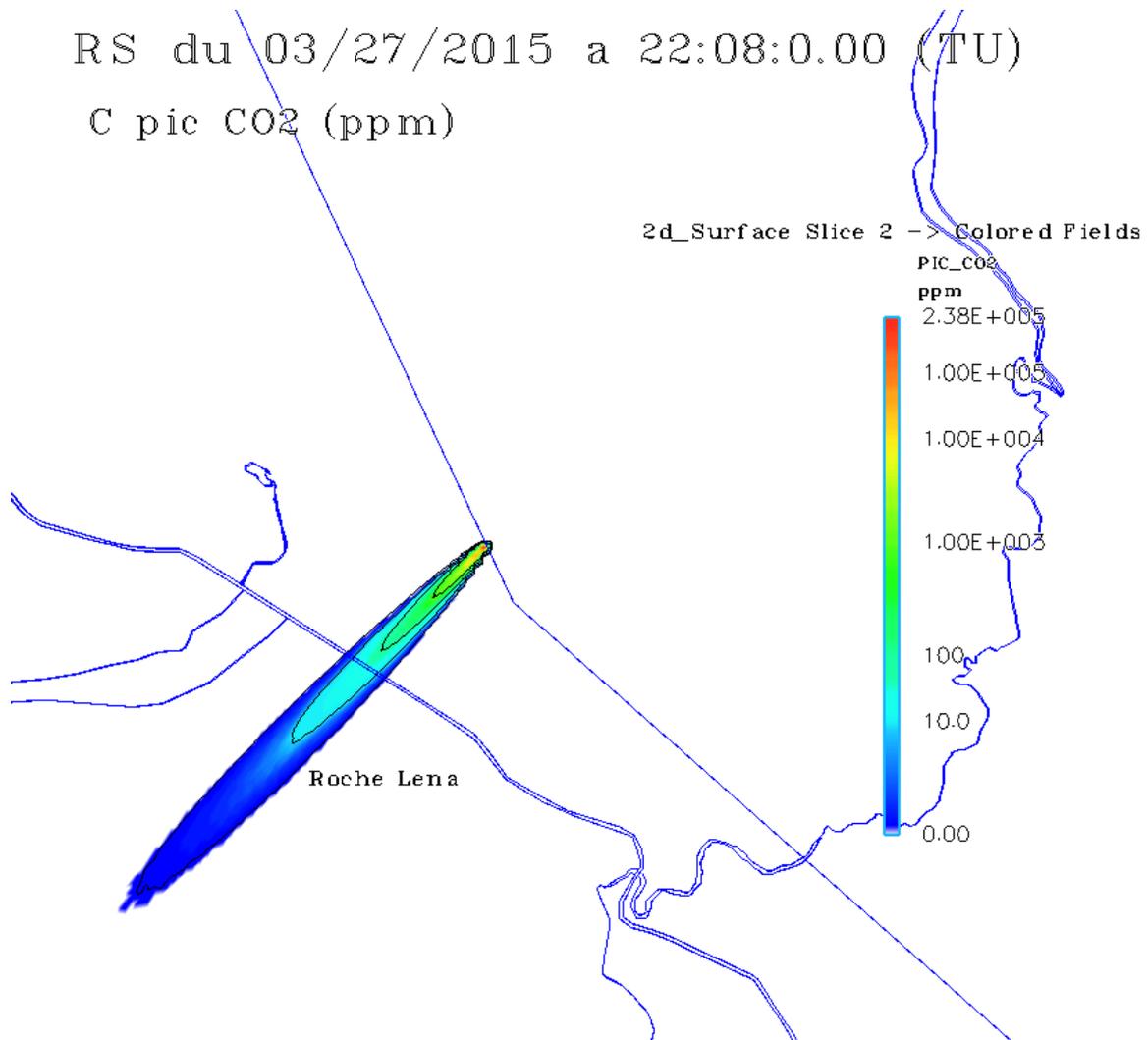


Figure 2 : Retombées en dioxyde de carbone en champ lointain

RS du 03/27/2015 a 22:08:0.00 (TU)

C pic CO2 (ppm)

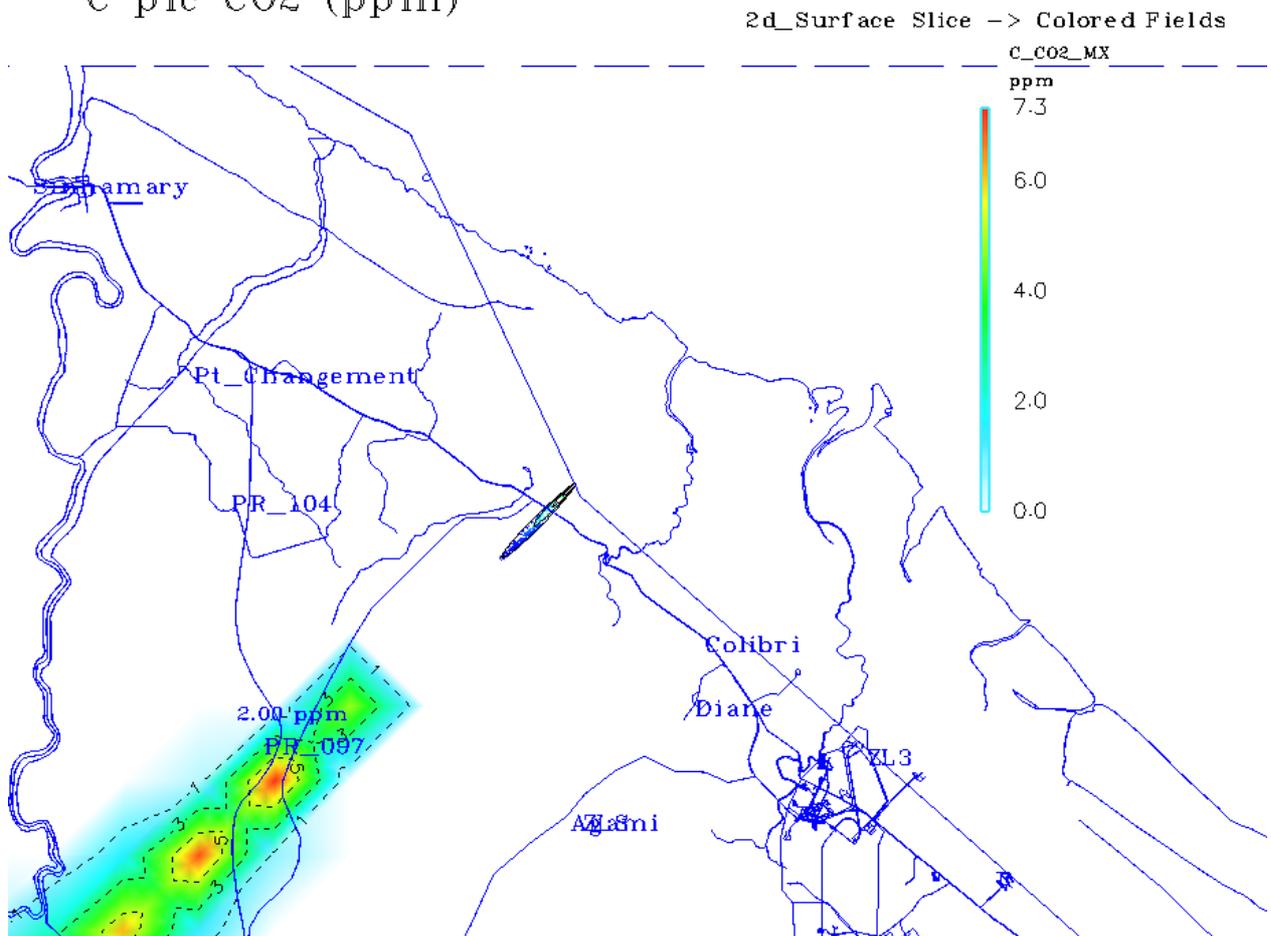


Figure 3 : Retombées en monoxyde de carbone en champ proche

RS du 03/27/2015 a 22:08:0.00 (TU)
SARRIM 4.4

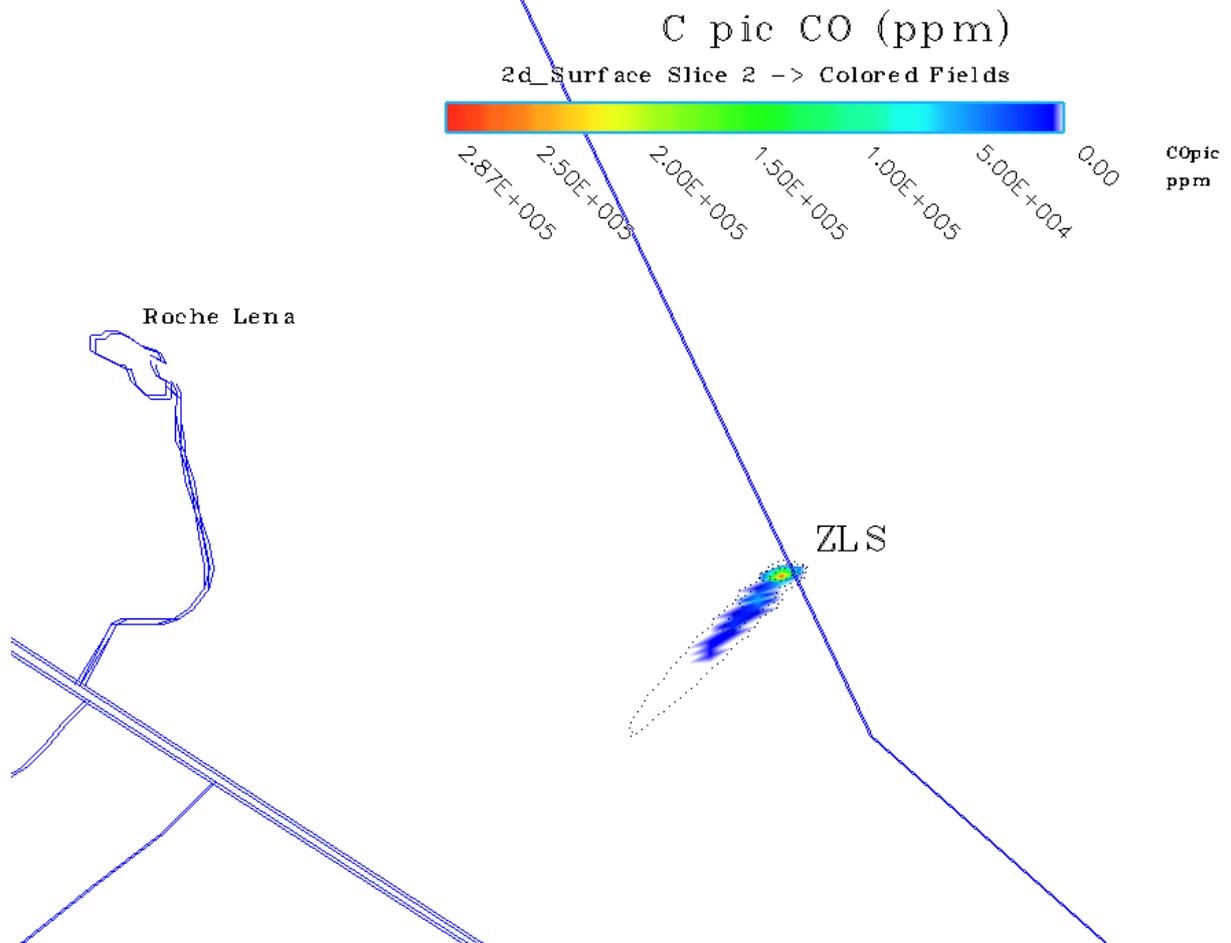
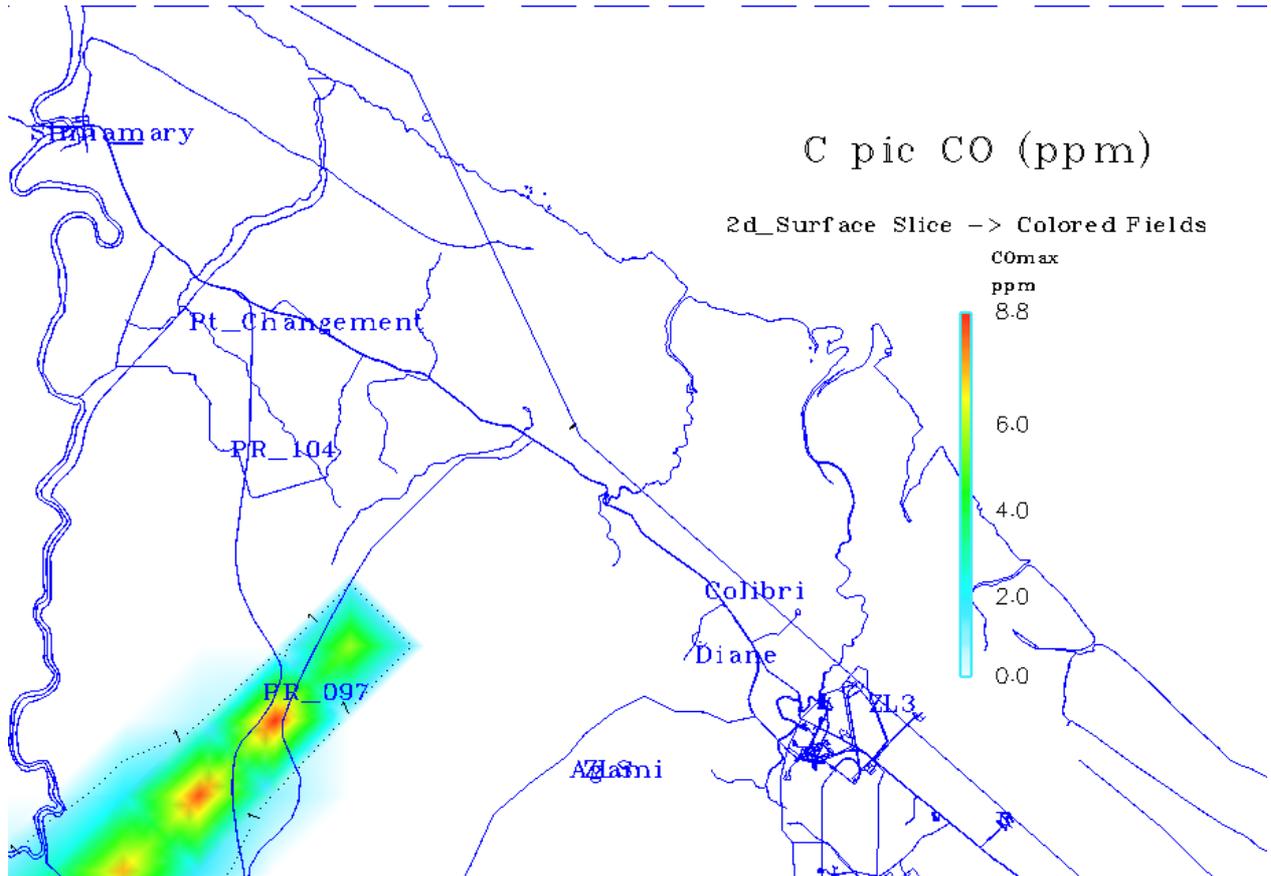


Figure 4 : Retombées en monoxyde de carbone en champ lointain

RS du 03/27/2015 a 22:08:0.00 (TU)
SARRIM 4.4



7. MESURE EN CONTINU DE LA QUALITE DE L'AIR (RETOMBEES CHIMIQUES ET PARTICULAIRES)

7.1. Objectif 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 (1er étage) et le corps central (2ème étage) du lanceur Soyuz.

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

- les concentrations en oxydes d'azote (NO_x) et de soufre (SO_x), en monoxyde de carbone (CO), en hydrocarbures (HCT) et composés organiques volatiles (COV), en particules (PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$) et en ozone (O_3) en situation nominale de lancement,
- les concentrations en dioxyde d'azote (NO_2) et des produits hydrazinés en situation dégradée (cas accidentel).

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

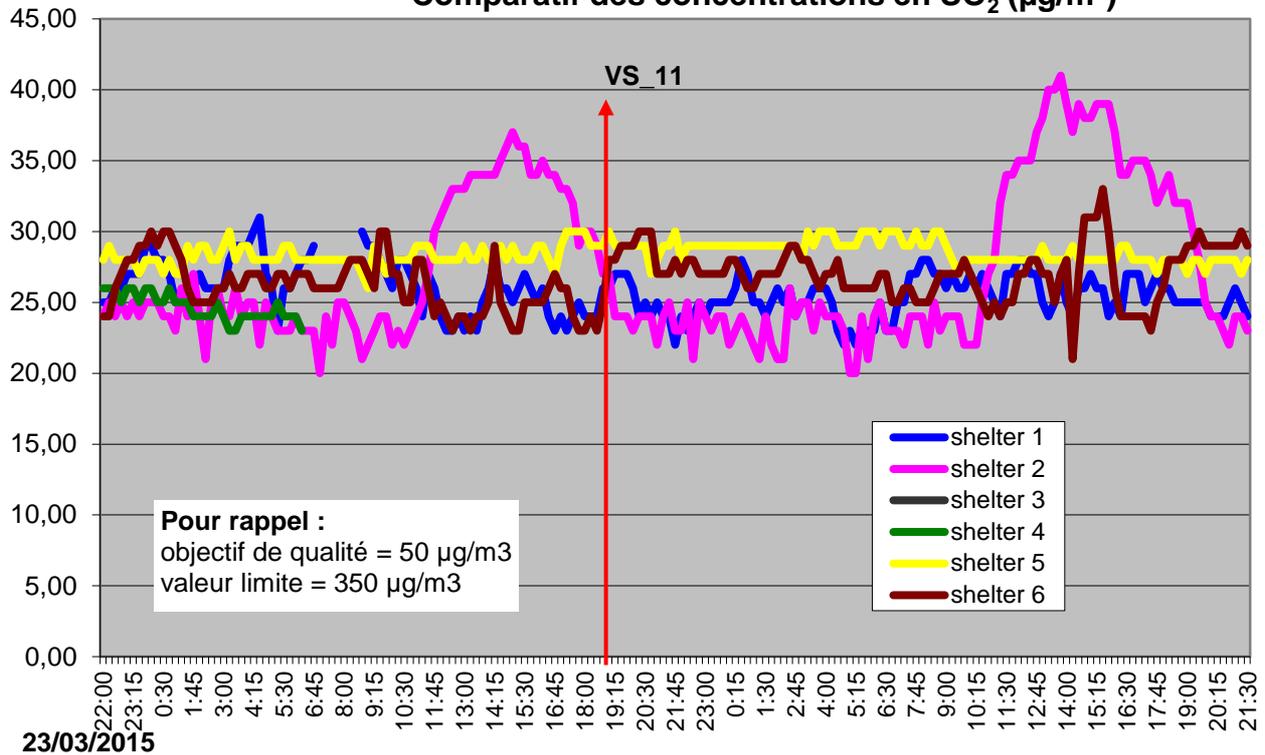
- Les analyseurs en continu de la marque ENVIRONNEMENT SA dont les points de mesures sont répartis sur les villes de Kourou et de Sinnamary, sur l'ensemble de lancement Soyuz ainsi qu'aux ELA,
- Les détecteurs de type SPM de la marque ZELLWEGER constituant le réseau CODEX.

7.2. Résultats des mesures

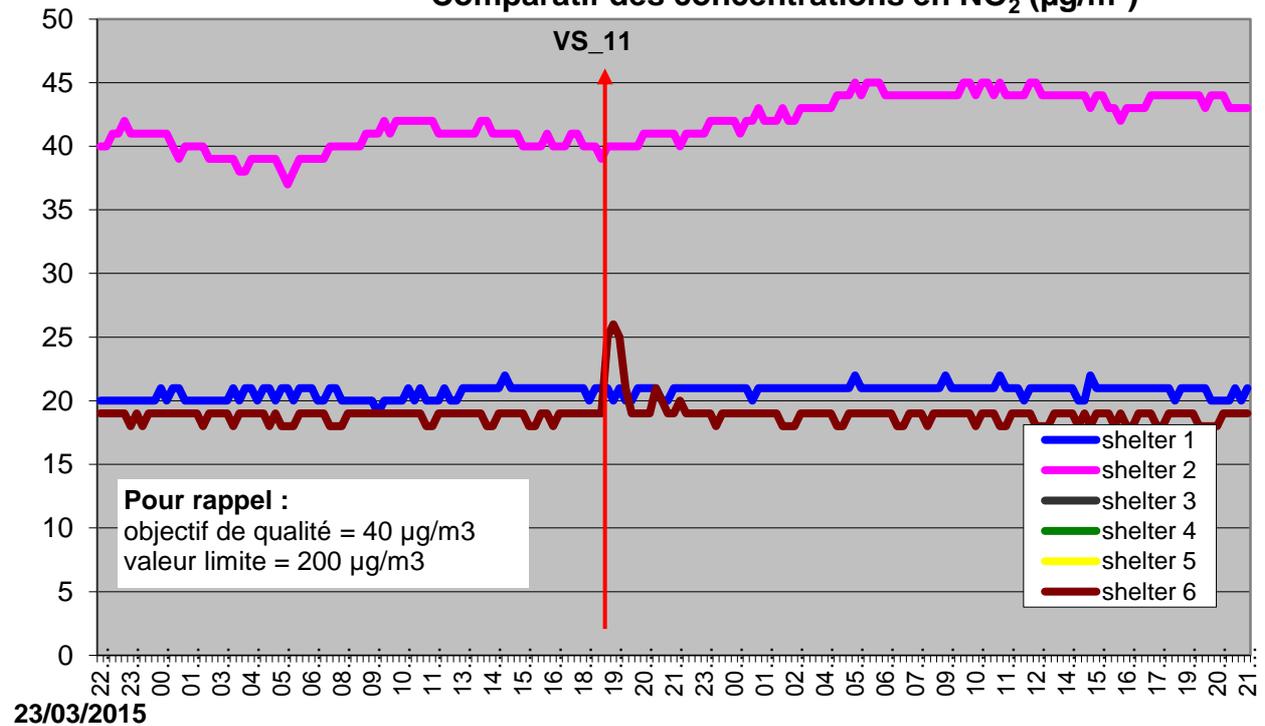
7.2.1. Résultats des analyseurs en continu ENVIRONNEMENT SA

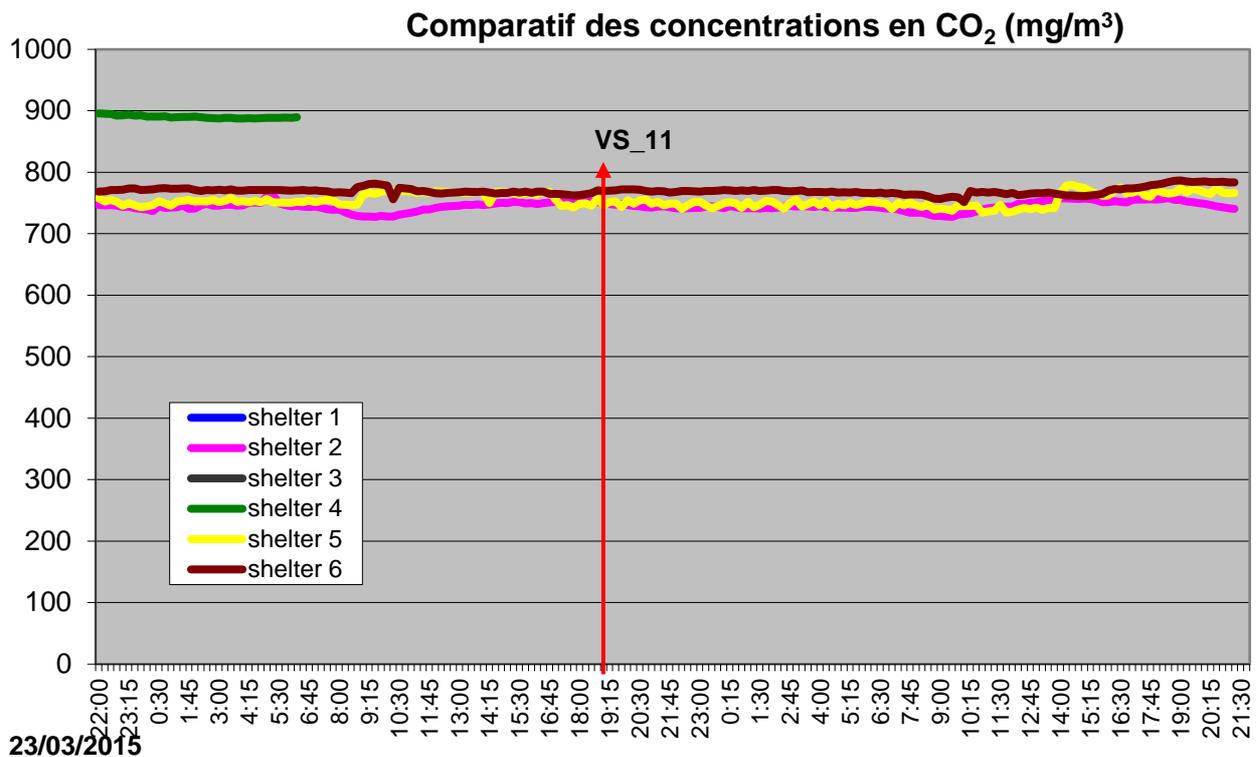
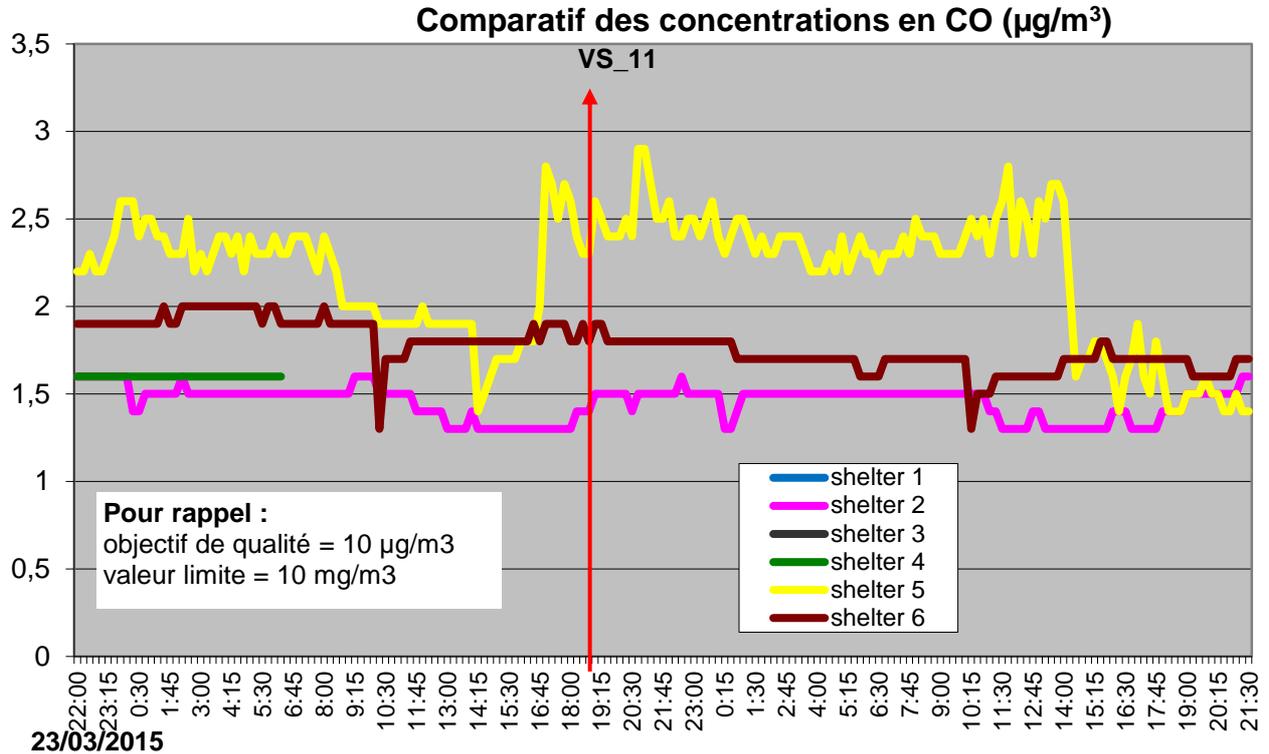
Les graphiques ci-dessous présentent, quant à eux, un comparatif des concentrations en produits de combustion à partir des résultats obtenus quelques heures avant et après le H0.

Comparatif des concentrations en SO₂ (µg/m³)

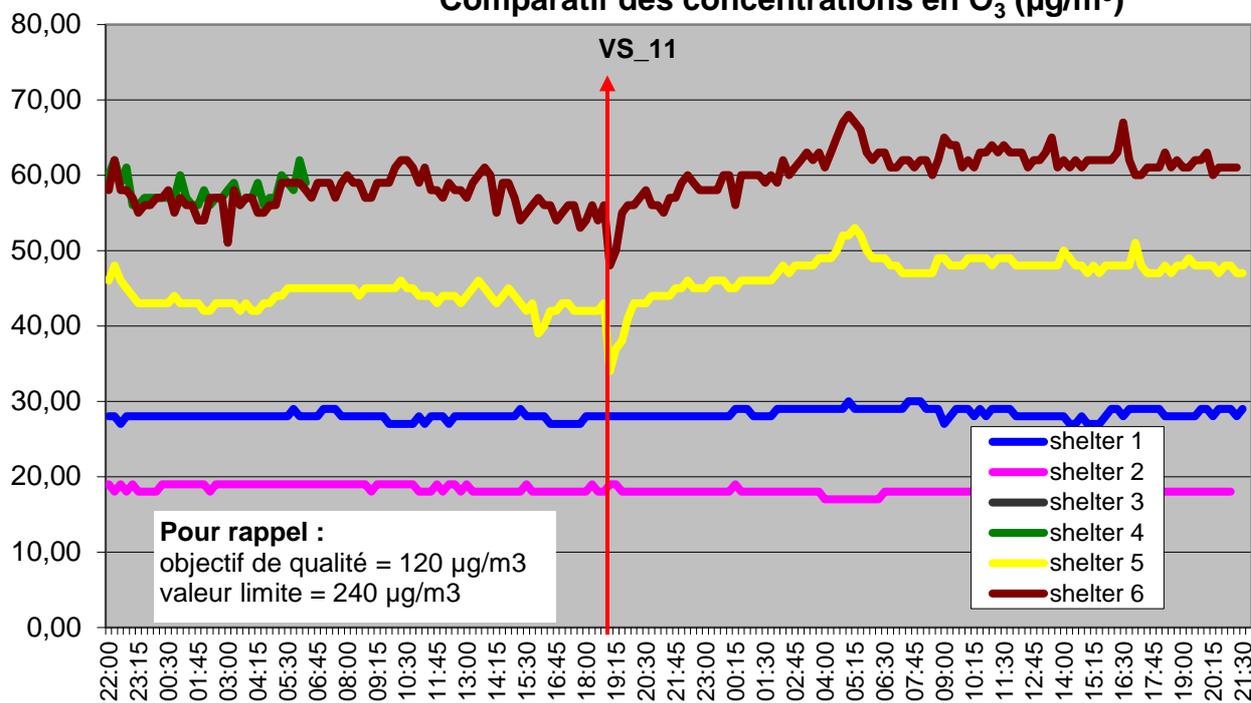


Comparatif des concentrations en NO₂ (µg/m³)



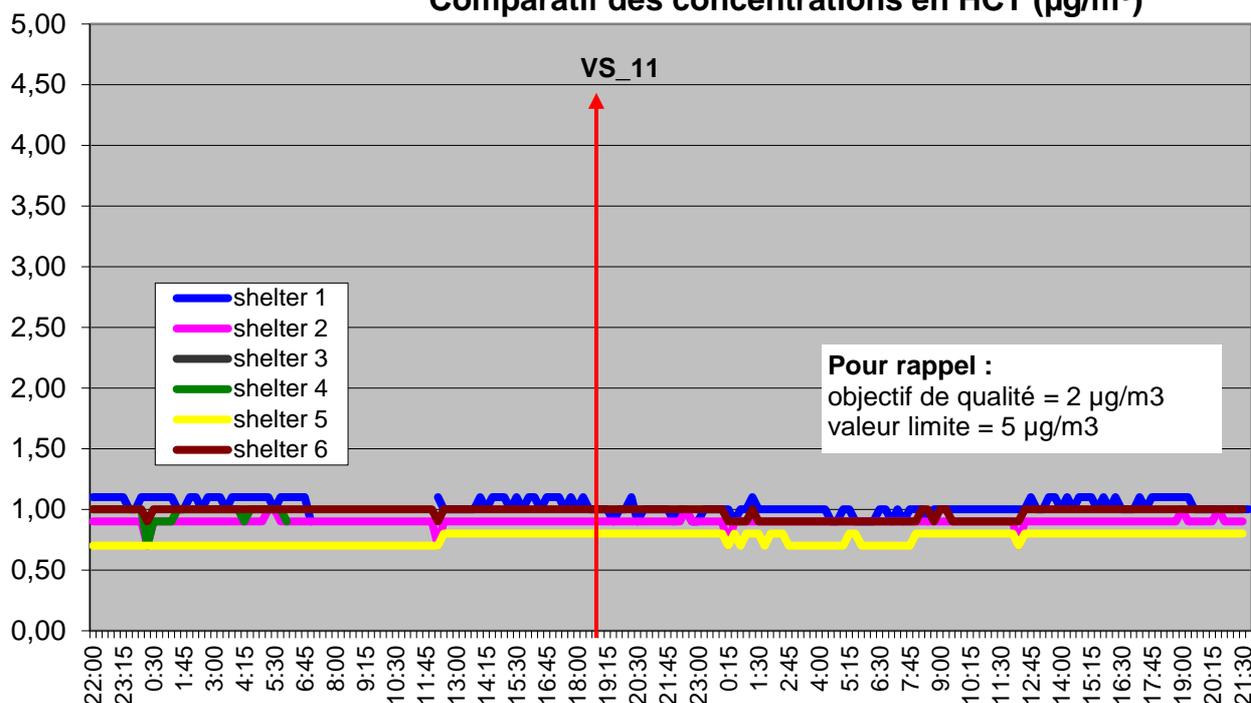


Comparatif des concentrations en O₃ (µg/m³)



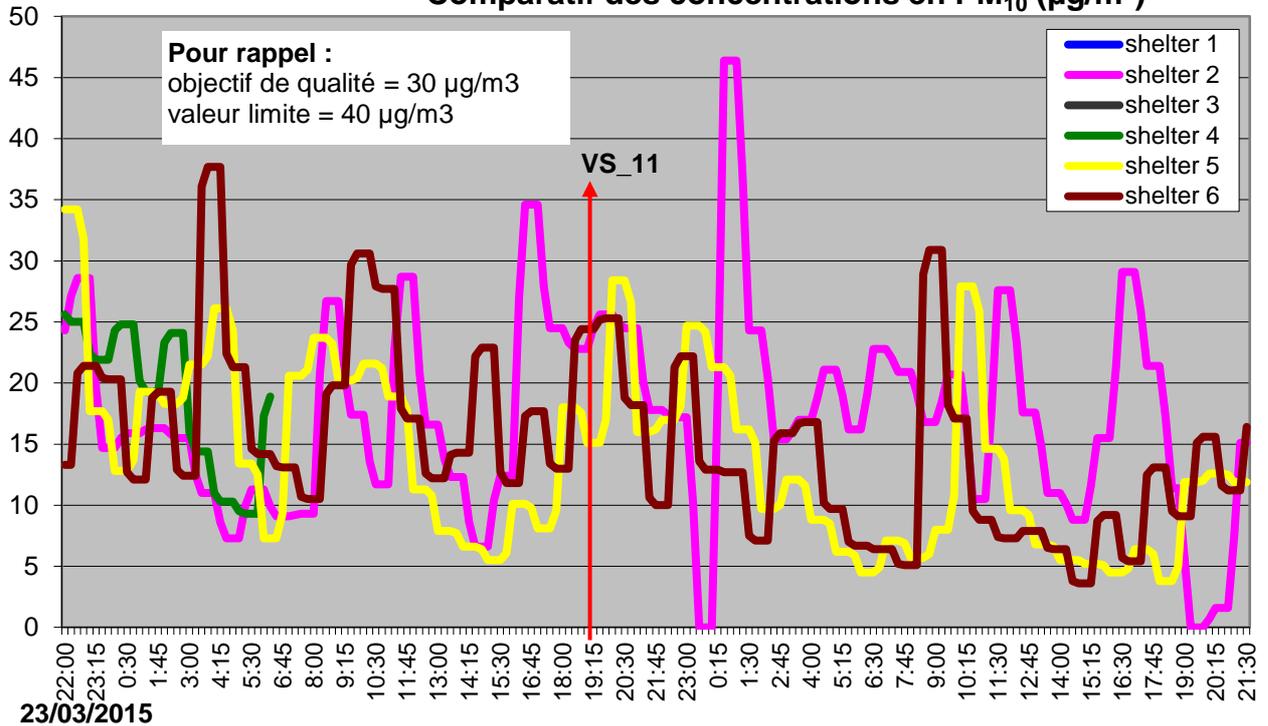
23/03/2015

Comparatif des concentrations en HCT (µg/m³)

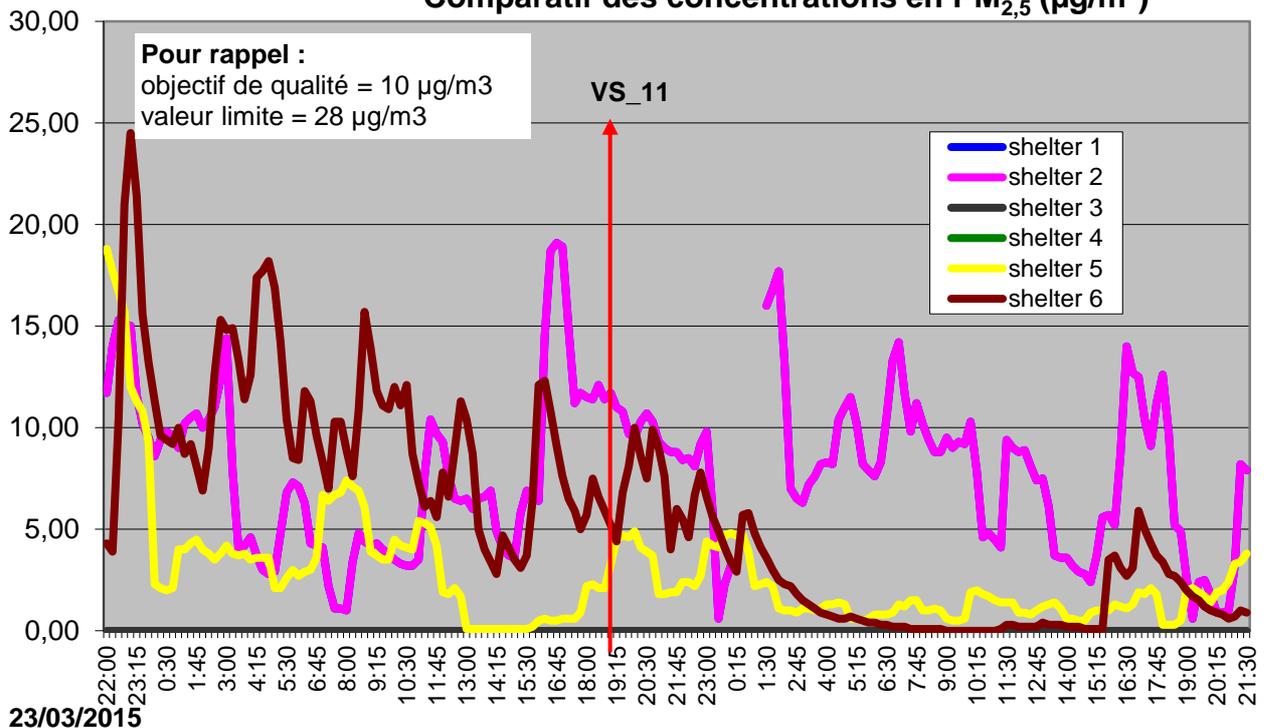


23/03/2015

Comparatif des concentrations en PM₁₀ (µg/m³)



Comparatif des concentrations en PM_{2,5} (µg/m³)



	SHELTER 1 : KOUROU	SHELTER 2 : SINNAMARY	SHELTER 3 : LABO CHIMIE	SHELTER 4 : BAT. 3529	SHELTER 5 : BAT. 3551	SHELTER 6 : BAT 3556
SO ₂			HS	Min*	max	
NO ₂		max	HS	HS	HS	min
CO	HS	min	HS	*	max	
CO ₂	HS	min	HS	Max*		
O ₃		Min**	HS	*		max
HCT	Max**		HS	*	Min	
PM ₁₀	HS		HS	Max*	min	
PM _{2,5}	HS		HS	Max*	min	

*= Série de données sur 7 h

**= Série de données entre 43 et 47h

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des anomalies et des extrema pour chacun des paramètres suivis.

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.).

- graphique SO₂ : on constate que le niveau moyen de SO₂ oscille entre 28,5 et 24,6 µg/m³ (concentration moyenne = 26,5 µg/m³). Les concentrations les plus fortes sont mesurées au niveau du shelter n°5 implanté sur l'ELS – dépotage PHHC (à 750 mètres de la zone de lancement – point 2). Les concentrations les plus basses ont, quant à elles, été quantifiées sur le point n°1 (shelter optique- implanté à 190 mètres de la ZLS, Shelter 4).
Par ailleurs, en champ proche, les niveaux enregistrés sont équivalents à ceux du champ lointain avec un écart moyen de 0,2 µg/m³. Enfin, aucune augmentation significative de la teneur en dioxyde de soufre n'a été mise en évidence.
Ainsi, on peut conclure que :
 - les analyseurs n'ont pas détecté d'apports particuliers en SO₂ imputables au lancement VS 11 ; les quantités détectées constituant le bruit de fond « naturel »,
 - les teneurs mesurées restent inférieures à la valeur limite prescrite par le décret n°2010-1250 du 21/10/2010 [DR4] et à l'objectif de qualité de l'air.

- graphique NO₂ : Les teneurs en NO₂ mesurées sont toutes similaires entre elles. Il est à noter que les teneurs quantifiées en champ proche (shelter 6) sont comparables aux concentrations du champ moyen et lointain, shelter 1, avec un écart moyen de 1,7 µg/m³. Les teneurs en NO₂ mesurées à la Gendarmerie de Sinnamary (point 4, shelter 2 à 15,9 km de la ZLS) ont été systématiquement les doubles par rapport aux autres shelters.
Par ailleurs, l'ensemble des valeurs reste inférieur à la valeur limite imposée par le décret relatif à la qualité de l'air [DR4] et à l'objectif de qualité de l'air.
Néanmoins, on peut conclure que les analyseurs n'ont pas détecté d'apports particuliers en NO₂ dû à l'activité de lancement. Les quantités détectées constituent le bruit de fond ambiant.

- graphique CO : Les mesures ont mis en évidence des concentrations en champ proche similaires à celles du champ lointain (écart de $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ; les valeurs maximales moyennes ont été atteinte sur le point 2 (ELS – Dépotage PHHC, implanté 550 mètres de la ZLS, Shelter 2) avec une valeur de $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
Par ailleurs, les niveaux mesurés restent très inférieurs à l'objectif de qualité et à la valeur limite et à l'objectif de qualité de l'air définis au **[DR4]**
- graphique CO₂ : Le graphique ne montre pas d'apport en CO₂ attribuable au lancement Soyuz. Des variations des concentrations en fonction du temps sont mises en évidence. On peut conclure que les valeurs enregistrées sont représentatives de la qualité de l'air ambiant.
- graphique O₃ : Le processus de production d'ozone est mis en évidence par le graphique. Pour rappel, l'ozone (polluant « photochimique ») est produit par un ensoleillement intense, en présence de certains composés chimiques. Les fortes concentrations d'ozone sont observées entre 10h00 et 15h00 (période de fort ensoleillement). Ces concentrations diminuent progressivement durant l'après-midi et la nuit (de 15h00 à 02h00) jusqu'à atteindre un palier (de 2h00 à 6h00). Par la suite, ces derniers ré-augmentent progressivement lors des périodes de faible ensoleillement (entre 06h00 et 10h00).
Sur l'ensemble des capteurs, nous constatons que les teneurs d'ozone détectées n'augmentent pas significativement après le H0. Les teneurs moyennes journalières sont équivalentes sur l'ensemble de la période de mesure.
Par conséquent, la présence d'ozone n'est pas attribuable au nuage de combustion de Soyuz. Les variations observées suivent une dynamique « naturelle » de variation des concentrations avec le temps (variation nycthémerale). Par ailleurs, la valeur limite du **[DR4]** n'a pas été dépassée et l'objectif de qualité de l'air est, quant à lui, respecté.
- graphique HCT (COV) : Des COV ont été détectés pendant la période de mesures. Les niveaux relevés sont stables sur toute la durée d'acquisition des données (avant et après lancement).
Par ailleurs, il est important de signaler que la valeur limite prescrite par le décret n°2010-1250 n'a pas été dépassée. Par conséquent, la présence de COV n'est pas attribuable au lancement VS 11.
- graphique PM₁₀ : Des PM₁₀ ont été détectées en fortes concentrations dépassant l'objectif de qualité et la valeur limite sur l'ensemble des points de mesure. On constate une homogénéité des valeurs mesurées pour tous les shelters et la saison. On peut conclure que les particules ne sont pas attribuables au lancement VS 11. Les conclusions des précédents vols Soyuz restent confirmées.
- graphique PM_{2,5} : Des PM_{2,5} ont été détectées en fortes concentrations dépassant l'objectif de qualité et la valeur limite sur l'ensemble des points de mesure avant et après le lancement. Ainsi nous pouvons conclure que les PM_{2,5} issues des premières étages du VS11 sont inférieures au bruit de fond ambiant.

- Pour rappel, les résultats des simulations SARRIM (présentés au *paragraphe 6*) montrent que la « trace » de combustion s'est dirigée vers le Point Kilométrique 97 de la RN1. Cette direction ne peut pas être corrélée avec les mesures des analyseurs en continu car aucun appareil n'a quantifié d'apports significatifs en polluants suite au vol VS 11. Par ailleurs, les concentrations maximales ont été mesurées :
 - sur des sites différents selon les composés contrôlés,
 - dans des lieux qui ne sont pas forcément sous le vent de l'ELS (Kourou par exemple).

7.2.2. Comparaison des résultats de VS 11 aux résultats de VS 10 à VS 01

Les histogrammes et le *Tableau 5* et *8* présentent un comparatif global des concentrations moyennes en produits de combustion à partir des résultats enregistrées quelques heures avant le H0.

Tableau 5 : Synthèse des résultats moyens de VS 11 à VS 01 ainsi que leurs écarts type associés en champ proche

			Concentrations moyenne sur 48h								Ecart type (σ) sur 48h							
			SO ₂	NO ₂	CO	CO ₂	O ₃	HCT	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	NO ₂	CO	CO ₂	O ₃	HCT	PM ₁₀	PM _{2,5}
			($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(mg/m^3)	(mg/m^3)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(mg/m^3)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
Champ proche	shelter n°4 : ZLS - shelter optique	V S01	26,5	20,0	1,4	791,1	40,5	HS	7,3	HS	1,8	5,3	0,1	61,5	11,1	0,6	6,7	N.A.
		V S02	26,1	20,8	1,5	794,3	HS	HS	18,2	7,9	3,1	2,6	0,1	48,2	16,7	0,5	9,9	7,5
		V S03	20 *	20 *	1,4 *	722,2 *	53,9 *	1 *	10,5 *	2 *	2,1	0,9	0,1	52,1	1,1	0,1	9,9	N.A.
		V S04	29,5	20,7	1,1	779,5	46,5	0,4	11,3	4,3	14,8	10,4	0,6	73,0	24,2	0,2	8,4	4,5
		V S05	29,2	20,1 ##	1,2 ##	HS	50,6 ##	1,0 ##	11,9 #	4,3 #	1,3	0,3	0,3	N.A.	14,7	0,1	6,6	4,0
		V S06	31,3 ?	18,2 ?	1,9 ?	723,6 ?	74,9 ?	0,8 ?	20,3 ?	3,5 ?	2,3	0,4	0,2	49,7	6,3	0,0	12,0	9,8
		V S07	22,4 ¥	18,1 ¥	1,6 ¥	795,3	57,0 ¥	0,7 ¥	22,5 ¥	13,8 ¥	0,7	0,4	0,1	4,4	0,9	0,0	8,3	5,4
		V S08	18,1 ≈	19,8 ≈	1,6 ≈	775,6 ≈	47,8 ≈	0,8 ≈	6,0 ≈	1,8 ≈	2,8	0,5	0,1	18,0	9,1	0,1	3,8	0,9
		V S09	34,1 ¢	19,5 ¢	1,6 ¢	770 ¢	49,7 ¢	0,9 ¢	11,6 ¢	4,6 ¢	3,0	1,0	0,1	81,0	11,5	0,1	5,6	3,3
		V S10	29,5 §	27,5 §	2,8 §	744,3 §	69,1 §	0,9 §	55,9 §	33,6 §	2,0	0,7	0,4	76,8	2,3	0,1	8,8	8,8
		V S11	24,64 □	HS	1,6 □	889,90 □	57,85 □	0,97 □	18,7 □	HS	0,9	N.A.	0,0	2,3	1,7	0,1	5,9	N.A.
	shelter n°5 : zone de dépotage PHHC	V S01	27,2	20,4	1,8	789,1	36,1	0,5	HS	HS	3,2	1,0	0,2	82,5	9,7	N.A.	N.A.	N.A.
		V S02	22,8	17,3	1,7	763,6	22,3	0,9	22,1	HS	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
		V S03	26,8	20,5	2,1	756,6	35,6	1,2	HS	HS	2,2	1,1	0,1	57,6	11,1	0,7	13,7	3,8
		V S04	27,8	20,3	2,1	746,2	39,9	1,0	7,3	HS	0,9	0,9	0,2	82,5	10,3	0,1	5,8	N.A.
		V S05	26,4 ####	20,0 ####	2,0 ####	HS	39,9 ####	1,1 ####	17,9 ####	4,6 ####	1,0	1,4	0,1	0,1	8,8	0,1	16,9	7,6
		V S06	25,6	19,8	1,8	750,8	57,3	1,0	23,4	3,4	1,2	0,6	0,1	63,9	1,3	0,0	12,3	0,0
		V S07	26,3	20,2	HS	718,7	47,1	0,8	18,6	4,0	1,0	1,1	N.A.	63,9	3,5	0,0	7,7	N.A.
		V S08	27,4	20,2	HS	767,0	35,3	0,8	7,9	1,0	0,6	1,3	N.A.	38,3	8,4	0,0	5,6	0,6
		V S09	26,8	20,5	1,5	836,6	32,4	0,8	11,1	1,3	0,7	0,7	0,2	101,1	10,3	0,1	9,3	1,4
		V S10	27,8	20,0	2,2	779,6	50,7	0,8	46,1	15,0	2,1	0,9	0,6	59,4	2,5	0,0	16,6	8,3
		V S11	28,5	HS	2,2	747,6	45,7	0,8	13,8	2,8	0,8	N.A.	0,4	67,7	2,8	0,0	7,3	3,0
	shelter n°6 : zone de stockage PHHC	V S01	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
		V S02	27,1	14,8	1,5	762,1	46,6	HS	23,6	5,4	3,2	1,4	0,1	31,8	1,4	N.A.	N.A.	N.A.
		V S03	HS	16,1 ****	1,4 ****	644,1 ****	43,1 ****	1,4 ****	67,1 ****	HS	0,9	1,4	0,1	75,9	8,1	0,6	7,2	N.A.
		V S04	27,3	20,4	1,8	735,0	45,1	1,0	24,9	HS	1,6	1,8	0,1	80,8	12,2	0,3	15,8	N.A.
		V S05	HS	HS	1,0 ####	HS	HS	HS	18,9 #	HS	N.A.	N.A.	0,1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
		V S06	25,1	18,8	1,6	710,8	HS	0,9	23,4	HS	1,4	0,6	0,1	63,9	1,3	0,0	12,3	N.A.
		V S07	21,0	19,1	1,8	712,2	60,8	1,1	13,6 ¥¥	HS	2,4	1,1	0,1	63,9	3,5	0,0	7,7	N.A.
		V S08	29,8	19,8	1,8	789,1	44,7	1,1	9,8	HS	2,8	1,2	0,1	37,3	11,6	0,1	8,7	N.A.
		V S09	27,1	19,5	1,6	828,5	42,4	1,1	10,4	5,3	4,5	0,7	0,1	109,4	14,1	0,1	7,9	4,6
		V S10	24,4	18,0	1,6	763,1	64,9	0,6	45,2	29,3	2,6	0,8	0,2	68,3	3,5	0,0	15,8	14,4
		V S11	26,7	19,0	1,8	762,5	59,4	1,0	15,1	5,6	2,0	1,0	0,1	68,8	3,2	0,0	7,3	5,1

* Valeur moyenne sur 5h ¢ Valeur moyenne sur 21h ?? Valeur moyenne sur 44h *** Valeur moyenne sur 35h
Valeur moyenne sur 14h max § Valeur moyenne sur 17h ¥¥ Valeur moyenne sur 33h #### Valeur moyenne sur 34h max
? Valeur moyenne sur 41h □ Valeur moyenne sur 7h ≈ Valeur moyenne sur 36h **** Valeur moyenne sur 40h
¥ Valeur moyenne inférieure à 14h ** Valeur moyenne sur 20h ¢¢ Valeur moyenne sur 46h
≈ Valeur moyenne sur 15h ## Valeur moyenne sur 19h □□ Valeur moyenne entre 43h et 47h

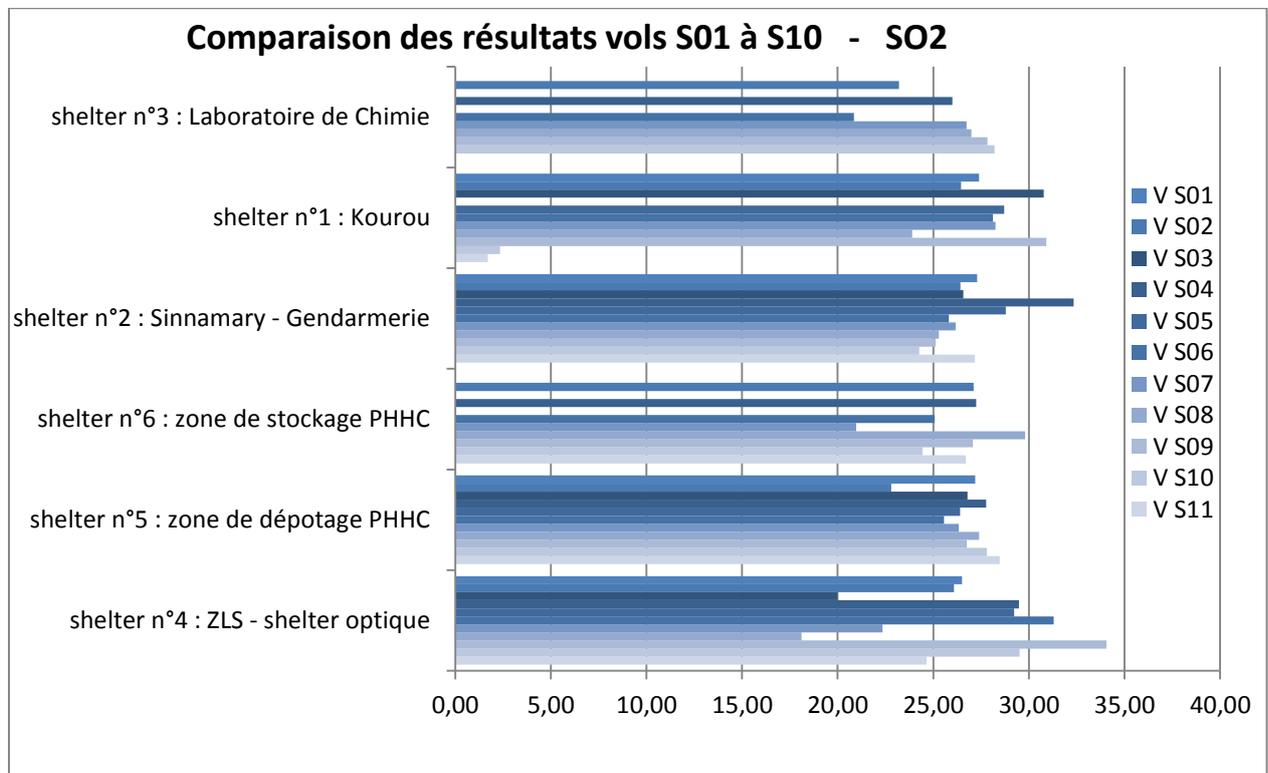
Tableau 8 : Synthèse des résultats moyens de VS 11 à VS 01 ainsi que leurs écarts type associés en champ lointain

Champs moyen & lointain	shelter n°2 : Sinnamary - Gendarmerie	V S01	27,3	21,5	1,5	850,7	35,5	HS	11,1	4,7	1,2	1,1	0,2	87,5	9,5	0,2	7,2	17,9
		V S02	26,4	23,5	HS	HS	40,8	HS	HS	HS	HS	3,1	0,1	100,4	10,1	N.A.	12,1	5,7
		V S03	26,6	21,1	1,5	747,0	37,2	HS	HS	HS	4,1	2,3	N.A.	N.A.	10,2	N.A.	0,0	N.A.
		V S04	32,3	20,6	1,4	804,4	28,0	1,3	20,3	5,7	12,9	8,2	0,6	321,7	11,3	0,5	8,4	2,9
		V S05	28,8 ###	19,9 ###	1,4 ###	HS	42,6 ###	0,4 ###	22,8 ###	10,7 #	1,7	1,4	0,1	N.A.	N.A.	0,2	20,9	13,2
		V S06	25,8	19,6	1,6	765,4	45,9	1,3	20,8	6,6	1,3	0,9	0,1	70,8	6,6	0,0	10,3	8,4
		V S07	26,2	19,7	1,4	806,4	43,4	0,6	21,6	9,8	1,2	4,7	0,1	93,9	7,7	0,1	11,0	4,9
		V S08	25,3	19,7	1,5	806,3	41,6	0,7	9,8	4,2	2,1	2,0	0,1	37,4	8,7	0,1	6,4	3,5
		V S09	25,1	19,5	1,5	802,0	37,9	0,9	11,2	3,9	1,0	1,2	0,1	94,2	10,2	0,1	6,3	3,2
		V S10	24,3	20,0	1,6	HS	49,1	1,0	49,2	28,6	4,0	1,5	0,3	NA	10,2	0,1	16,3	13,1
		V S11	27,2	41,5	1,5	737,8	18,20 ☐☐	0,9	17,4	8,82 ☐☐	5,4	1,9	0,1	75,4	0,6	0,0	8,3	7,7
	shelter n°1 : Kourou	V S01	27,4	33,0	1,5	816,7	34,5	3,5	9,2	HS	0,9	6,2	0,1	76,0	8,0	0,6	7,0	N.A.
		V S02	26,4	28,4	1,4	741,7	38,1	1,6	19,4	HS	0,8	2,2	0,0	27,8	11,8	0,2	7,6	N.A.
		V S03	30,8	22,6	HS	HS	27,1***	HS	41,5**	HS	15,4	9,8	N.A.	N.A.	6,1	N.A.	26,2	N.A.
		V S04	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
		V S05	28,7	36,3	1,5	746,1	26,8	2,1	21,9	HS	2,0	1,5	0,4	68,4	0,8	0,1	5,1	N.A.
		V S06	28,1	22,3	1,3	768,9	HS	HS	35,3	HS	1,5	0,7	0,1	1114,8	0,3	0,3	10,8	N.A.
		V S07	28,3	20,3	1,5	726,1	25,9	HS	22,0	HS	2,1	4,3	0,1	112,2	0,7	2,3	9,7	N.A.
		V S08	23,9 ≈	HS	HS	633,2	HS	HS	HS	HS	3,2	N.A.	N.A.	18,3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
		V S09	30,9	15,5	HS	870,5	24,7	HS	12,2	4,8	2,3	3,9	N.A.	85,9	1,7	N.A.	6,8	3,1
		V S10	2,3	2,0	NA	NA	1,0	N.A.	0,0	N.A.	2,3	2,1	NA	NA	1,0	N.A.	N.A.	N.A.
		V S11	1,7 ☐☐	0,5	N.A.	N.A.	0,7	0,03 ☐☐	HS	HS	1,7	0,5	N.A.	N.A.	0,7	N.A.	N.A.	N.A.
	shelter n°3 : Laboratoire de Chimie	V S01	HS	22,1	1,3	814,7	34,6	HS	12,9	3,9	0,0	1,6	0,1	100,7	10,0	0,0	11,5	2,1
		V S02	23,2	22,1	HS	HS	41,4	HS	HS	HS	4,1	2,3	N.A.	N.A.	10,2	N.A.	0,0	N.A.
		V S03	HS	20,1	1,8	HS	40,6	HS	HS	HS	N.A.	1,1	0,2	N.A.	8,9	N.A.	N.A.	N.A.
		V S04	26,0	19,0	1,5	808,5	37,9	HS	17,1	HS	12,2	8,9	0,7	384,0	19,2	0,0	9,9	N.A.
		V S05	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
		V S06	20,8	22,3	HS	751,1??	63,2	0,9	16,1	4,6??	4,9	0,7	N.A.	69,9	6,7	0,0	8,4	12,5
		V S07	26,7	HS	1,4	755,0	48,5	0,8	HS	0,2	6,3	20,8	0,2	86,3	7,5	0,0	N.A.	1,1
		V S08	27,0	22,8	1,5	747,9	42,1	0,7	8,0	HS	2,5	1,9	0,1	26,8	6,8	0,0	4,3	N.A.
		V S09	27,8	21,0	1,4	680,9 ¢¢	38,7	0,71 ¢¢	8,4	6,7 ¢¢	3,8	1,6	0,1	174,4	8,5	0,1	4,4	22,0
		V S10	28,2	HS	1,4	HS	49,1	0,7	39,5	27,7	1,9	NA	0,1	N.A.	5,8	0,0	19,9	14,1
		V S11	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	N.A.	NA	N.A	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

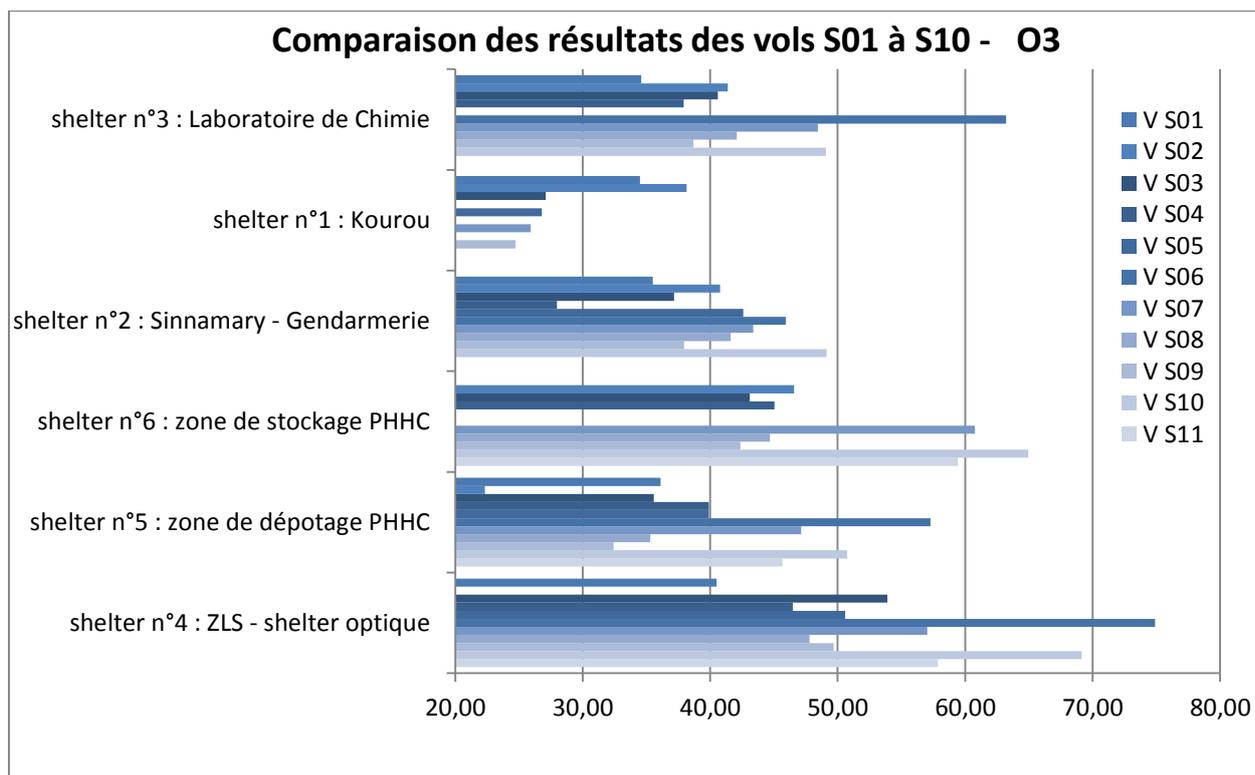
* Valeur moyenne sur 5h ¢ Valeur moyenne sur 21h ?? Valeur moyenne sur 44h *** Valeur moyenne sur 35h
Valeur moyenne sur 14h max § Valeur moyenne sur 17h ¥ Valeur moyenne sur 33h ### Valeur moyenne sur 34h max
? Valeur moyenne sur 41h ☐ Valeur moyenne sur 7h ≈ Valeur moyenne sur 36h **** Valeur moyenne sur 40h
¥ Valeur moyenne inférieure à 14h ** Valeur moyenne sur 20h ¢¢ Valeur moyenne sur 46h
≈ Valeur moyenne sur 15h ## Valeur moyenne sur 19h ☐☐ Valeur moyenne entre 43h et 47h

Remarques :

- SO₂ : Les teneurs en SO₂ quantifiées lors de la campagne de mesures pour VS 11 ont montrée des teneurs moyennes, en camp proche, comparables avec les autres campagnes de lancement. Les points de mesure en champ lointain sont comparables aux niveaux de SO₂ atteintes par le vol S10. Par conséquent, les analyseurs en continu n'ont pas quantifié d'apports imputables au lancement VS 11. Ils ont mesuré la qualité de l'air ambiant.



- O₃ : Il est à noter que les teneurs en O₃ enregistrées pour cette campagne sont plus faibles en champ lointain, et comparables avec les résultats obtenus en champ proche avec les vols précédents. Ces disparités semblent être dues à la spécificité du processus de formation de l'ozone (polluant « photochimique »).



7.2.3. Résultats des détecteurs du réseau CODEX

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 2 systèmes CODEX mobiles, aucune pollution en dioxyde d'azote et en produits hydrazinés n'a été détectée car il n'y a pas eu de fonctionnement dégradé du lanceur.

8. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DU LANCEUR SOYUZ VOL S11

La surveillance de la qualité de l'air par les analyseurs en continu de l'air n'a pas mis en évidence d'impact direct des produits de combustion émis par Soyuz sur le territoire du CSG et les villes de Kourou et de Sinnamary. Dans le cas que les impacts liés au lancement ont été détectés, ils sont restés très localisés et contenus géographiquement à la ZLS. De toute façon, les produits d'écart relatif au lancement sont au niveau du bruit de fond.

Les valeurs mesurées correspondent

- au bruit de fond ambiant qui suit des variations nyctémérales (dynamique « naturelle » de variations),
- au cumul de la pollution émise par les véhicules motorisés et la végétation.

Les résultats obtenus par la simulation SARRIM, réalisée au moyen du radiosondage le plus représentatif de l'état de l'atmosphère (le plus proche du H0), n'ont pas été corrélés par les résultats des analyseurs en continu. Les concentrations maximales ont été quantifiées sur des sites différents selon les composés contrôlés et dans des lieux qui ne sont pas forcément sous le vent de l'ELS.

Enfin, la comparaison des résultats obtenus suite au lancement V S11 à ceux des vols Soyuz précédents ne met pas en évidence d'écarts significatifs attribuables au lanceur. Les teneurs mesurées sur l'ensemble des sites sont équivalentes d'un lancement à l'autre. Cela confirme donc :

- la conclusion de l'impact négligeable des produits de combustion de Soyuz sur l'Environnement des champs proche, moyen et lointain,
- les conclusions faites lors du rapport de présentation des résultats des précédents plans de mesures environnement Soyuz [DR5 à 14].