



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf. : CG/SDP/ES/N°15-197

Ed/Rév : 01/00

Classe : GP

Date : 12/01/2015

Page : 1/34

RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT SOYUZ  
ST-B VOL S06 DU 19 DECEMBRE 2013 A 06H12 MN

**RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT  
SOYUZ ST-B VOL S06 DU 19 DECEMBRE 2013 A 06H12 MN**

	Nom et Sigle	Date et Signature
Préparé par	DEL BUFALO G.  SDP/ES	23/03/2015 
Vérifié par		
Approuvé par	RICHARD S.  SDP/ES	23/03/15. 
Application autorisée par	TRINCHERO J.P.  SDP/ES	17/03/2015 

**DIFFUSION**

destinataires	Nb
ADEME	1
AE/DP/K	1
AE/DP/K/SE	1
CG/COM	1
CNES/PARIS - DP/CME	1
DEAL	1
ESAK	1
IRD	1
MAIRIE DE KOUROU	1
MAIRIE DE SINNAMARY	1
ONF	1
ORA GUYANE	1
S.P.P.I.	1
SDO/SC	1
SDP/ES	1
SDP/ES/ENV	2
DLA/D	1

Nombre total d'exemplaires : 18

## REPertoire DES MODIFICATIONS

Ed/Rév	Date	Pages Modifiées	Objet de la modification
01/00	12/01/2015	TOUTES	CREATION / DEL BUFALO G.

## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>3</b>
<b>1. OBJET – DOMAINE D’APPLICATION.....</b>	<b>4</b>
<b>2. DOCUMENTS DE REFERENCE.....</b>	<b>4</b>
2.1. DOCUMENTS APPLICABLES .....	4
2.2. DOCUMENTS DE REFERENCE .....	5
2.3. GESTIONNAIRE TECHNIQUE DU DOCUMENT .....	5
<b>3. DEFINITIONS ET SIGLES.....</b>	<b>5</b>
3.1. DEFINITIONS .....	5
3.2. SIGLES .....	6
<b>4. RAPPELS CONCERNANT LE PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT DU VOL S06.....</b>	<b>8</b>
<b>5. LOCALISATION DES POINTS DE MESURES .....</b>	<b>9</b>
<b>6. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....</b>	<b>10</b>
6.1. DONNEES BRUTES DU RADIOSONDAGE 4R191213 .....	11
6.2. SIMULATION SARRIM A PARTIR DU RADIOSONDAGE 4R191213 .....	12
<b>7. MESURE EN CONTINU DE LA QUALITE DE L’AIR (RETOMBEES CHIMIQUES ET PARTICULAIRES).....</b>	<b>17</b>
7.1. OBJECTIF DES MESURES .....	17
7.2. RESULTATS DES MESURES.....	17
7.2.1. Résultats des analyseurs en continu ENVIRONNEMENT SA .....	17
7.2.2. Comparaison des résultats du vol S06 aux résultats des vols S01, S02, S03, S04 et S05.....	24
7.2.3. Résultats des détecteurs du réseau CODEX.....	33
<b>8. CONCLUSIONS GENERALES SUR LE SUIVI DE L’IMPACT SUR L’ENVIRONNEMENT DU LANCEUR SOYUZ VOL S06.....</b>	<b>34</b>

## 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 **GAIA**. Le **vol S06** a eu lieu le **19 décembre 2013 à 06 heures 12 minutes** en heure locale, soit 09 heures 12 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]**,
- comparer les résultats de ce vol avec les résultats des Vol Soyuz précédentes **[DR5 à 9]**.

## 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] **CG/SDP/ES/N°15-160** – Plan de mesures Environnement Ariane Vega et 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.
- [DR5] **CSG-RP-SSX-14347-CNES** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-A du S01 du 21 Octobre 2011 à 07h30.
- [DR6] **CSG-RP-SSX-14379-CNES** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-A du S02 du 16 décembre 2011 à 23h0.3
- [DR7] **CSG-RP-SSX-14762-CNES** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-A du S03 du 16 décembre 2011 à 23H03.
- [DR8] **CG/SDP/ES/N°14-866** – Résultat du plan de mesures Environnement Soyuz ST-A vol S04 du 02 décembre 2012 à 23H02.
- [DR9] **CG/SDP/ES/N°15-172** – Résultat du plan de mesures Environnement Soyuz ST-B vol S05 du 25 juin 2013 à 16H27.

## **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 <sub>2</sub>	:	Dioxyde de carbone
CODEX	:	Collecte de Données Environnement eXtérieur du CSG (Réseau de)
COV	:	Composés Organiques Volatils
CP	:	Champ Proche
CT	:	Centre Technique
CSG	:	Centre Spatial Guyanais
dB	:	Décibel
DBO <sub>5</sub>	:	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 <sub>2</sub>	:	Dihydrogène
HAP	:	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HC	:	Hydrocarbures imbrûlés
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 <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	:	Hydrazine
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	:	Peroxyde d'Azote
NO <sub>2</sub>	:	Dioxyde d'Azote
NO <sub>x</sub>	:	Oxyde d'Azote
O <sub>3</sub>	:	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 <sup>-9</sup> ), soit 1 mm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
ppm	:	partie par million
RN1	:	Route Nationale 1
SARRIM	:	« Stratified Atmosphere Release of Rockets Impact Model »
SO <sub>2</sub>	:	Dioxyde de soufre
SO <sub>x</sub>	:	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 S06

Les domaines couverts par le plan de mesures Vol S06 **[DR1]** sont les suivants :

- Mesurer en continu les retombées chimiques gazeuses et particulaires issues des moteurs du 1<sup>er</sup> (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 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 (NO<sub>2</sub>) 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 réalisé 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	
<b>A I R</b>	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 S06 représente quarante-huit 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 4R191213

Le jour du lancement, à H0 +19 minutes, un radiosondage spécifique a été effectué (**référence 4R191213** du 19 décembre 2013). Il donne des informations sur trois cent vingt-cinq couches distinctes tous les cent mètres.

**Tableau 2** : Données météorologiques issues du radiosondage 4R191213 pour les couches atmosphériques représentatives.

ALTITUDE (mètres)	PRESSION (mb)	VITESSE DU VENT (m/s)	VENT EN PROVENANCE (°)	TEMPERATURE (°C)	HUMIDITE (%)
12	1007,6	3	70	25	89
100	997,6	6	70	25,4	76,8
500	953,1	8,6	69	21,9	89,2
1000	899,7	8,8	67	19,2	68,5
1500	848,6	8,5	59	15,4	70,1
2000	800	5,5	25	15,2	29
2500	754	5,2	59	14,5	2,6
3000	710,3	4,1	109	10,7	4
3500	668,6	4	74	8,5	1,3
4000	629,2	3,1	344	5,3	46,9

## 6.2. Simulation SARRIM à partir du radiosondage 4R191213

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

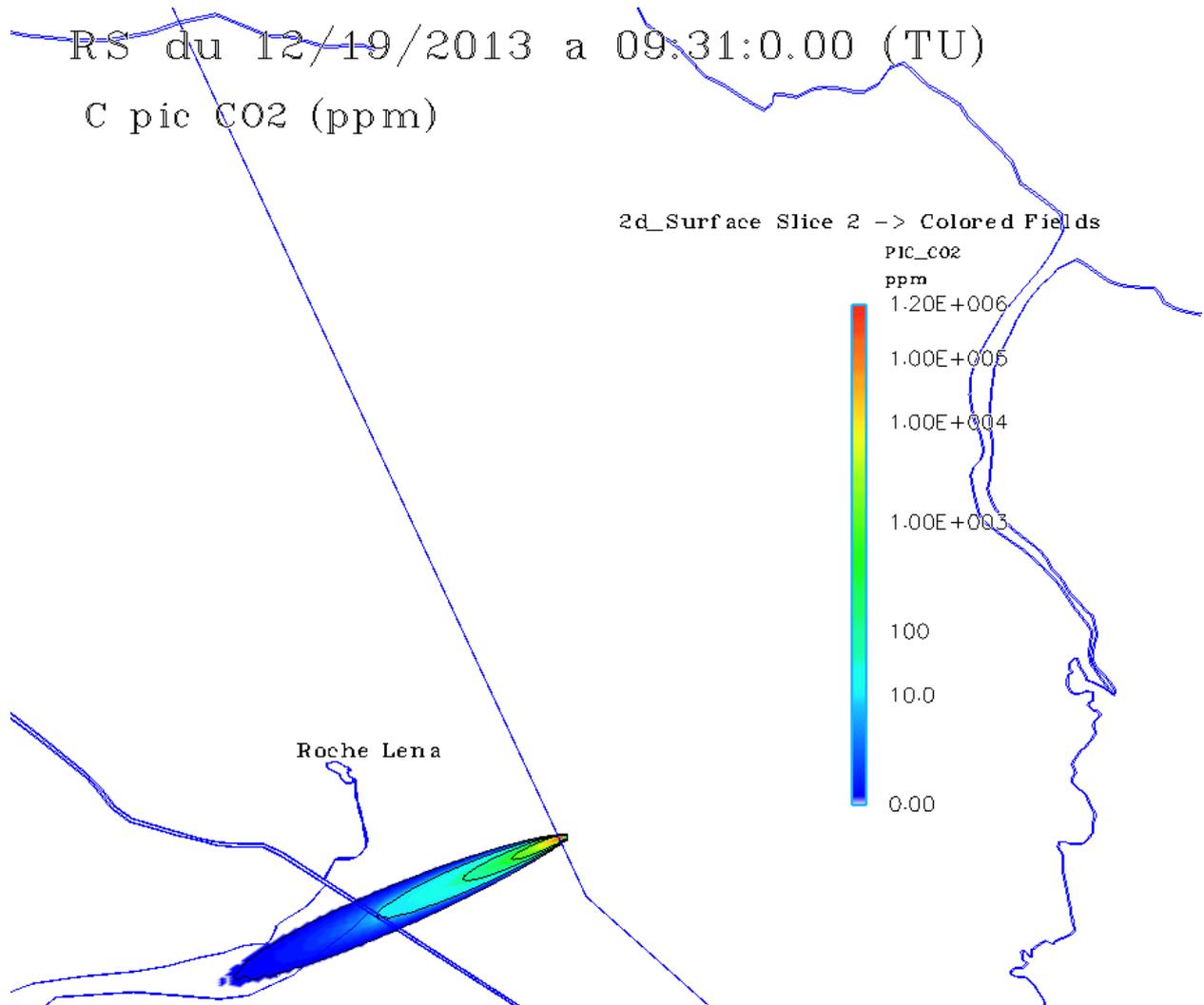
- Les caractéristiques du lanceur,
- La position géographique de la zone de lancement (latitude, longitude),
- Les données météorologiques recueillies à l'aide d'un radiosondage,
- etc.

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* de la page suivante.

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

<b>HAUTEUR DE STABILISATION DU NUAGE (m)</b>	432
<b>BASSES COUCHES DE L'ATMOSPHERE</b> (pour une altitude allant du sol jusqu'à la hauteur de stabilisation)	
- Vitesse moyenne des vents (m/s)	8,38
- Direction moyenne des vents (°)	66
⇒ Les vents sont orientés vers	Point Kilométrique PR100
<b>HAUTES COUCHES DE L'ATMOSPHERE</b> (pour une altitude allant de la hauteur de stabilisation jusqu'à 4000 m)	
- Vitesse moyenne des vents (m/s)	5,33
- Direction moyenne des vents (°)	58
⇒ Les vents sont orientés vers	Point Kilométrique PR100

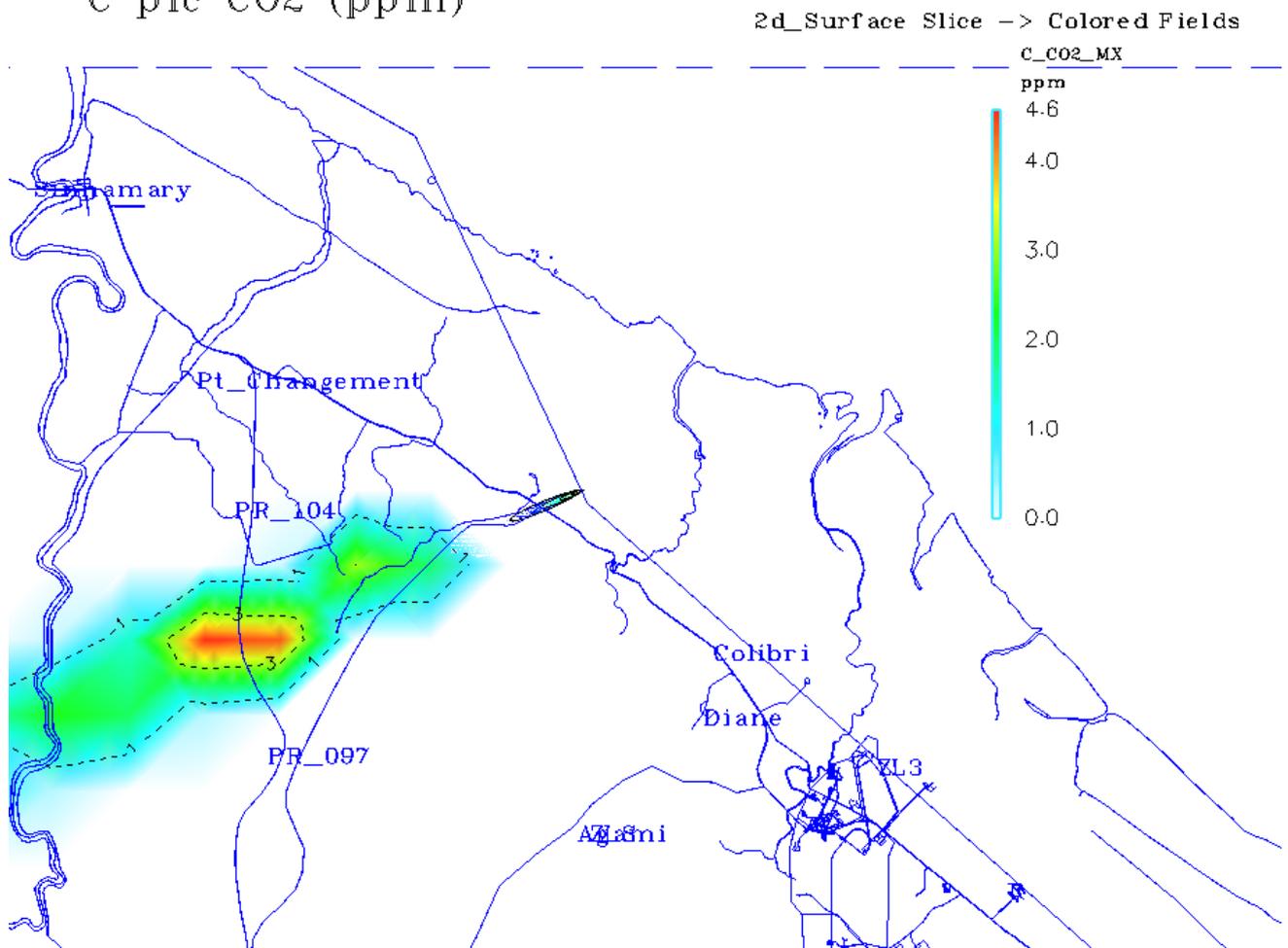
**Figure 1 : Retombées en dioxyde de carbone en champ proche**



**Figure 2 : Retombées en dioxyde de carbone en champ lointain**

RS du 12/19/2013 a 09:31:0.00 (TU)

C pic CO2 (ppm)



**Figure 3 : Retombées en monoxyde de carbone en champ proche**

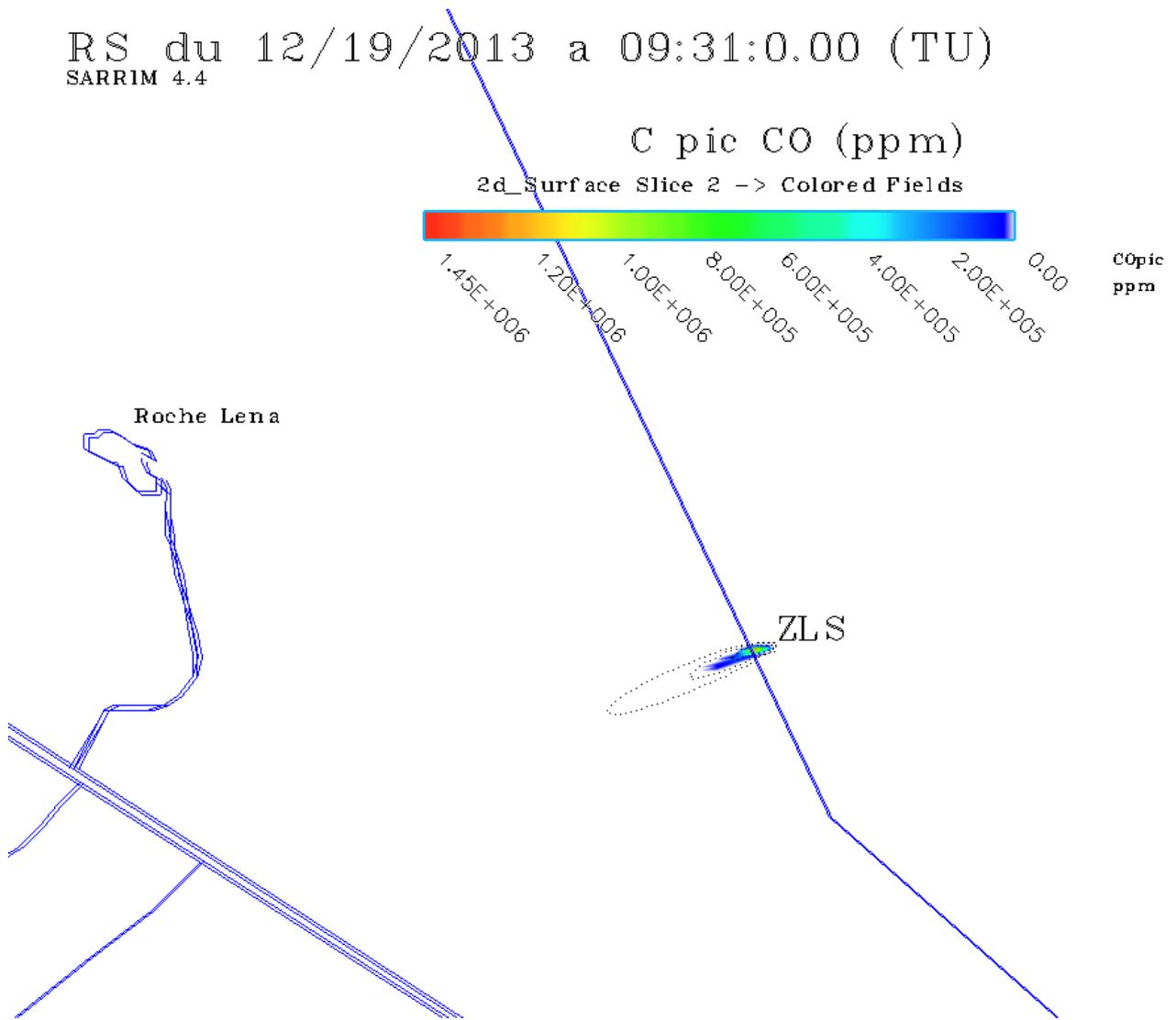
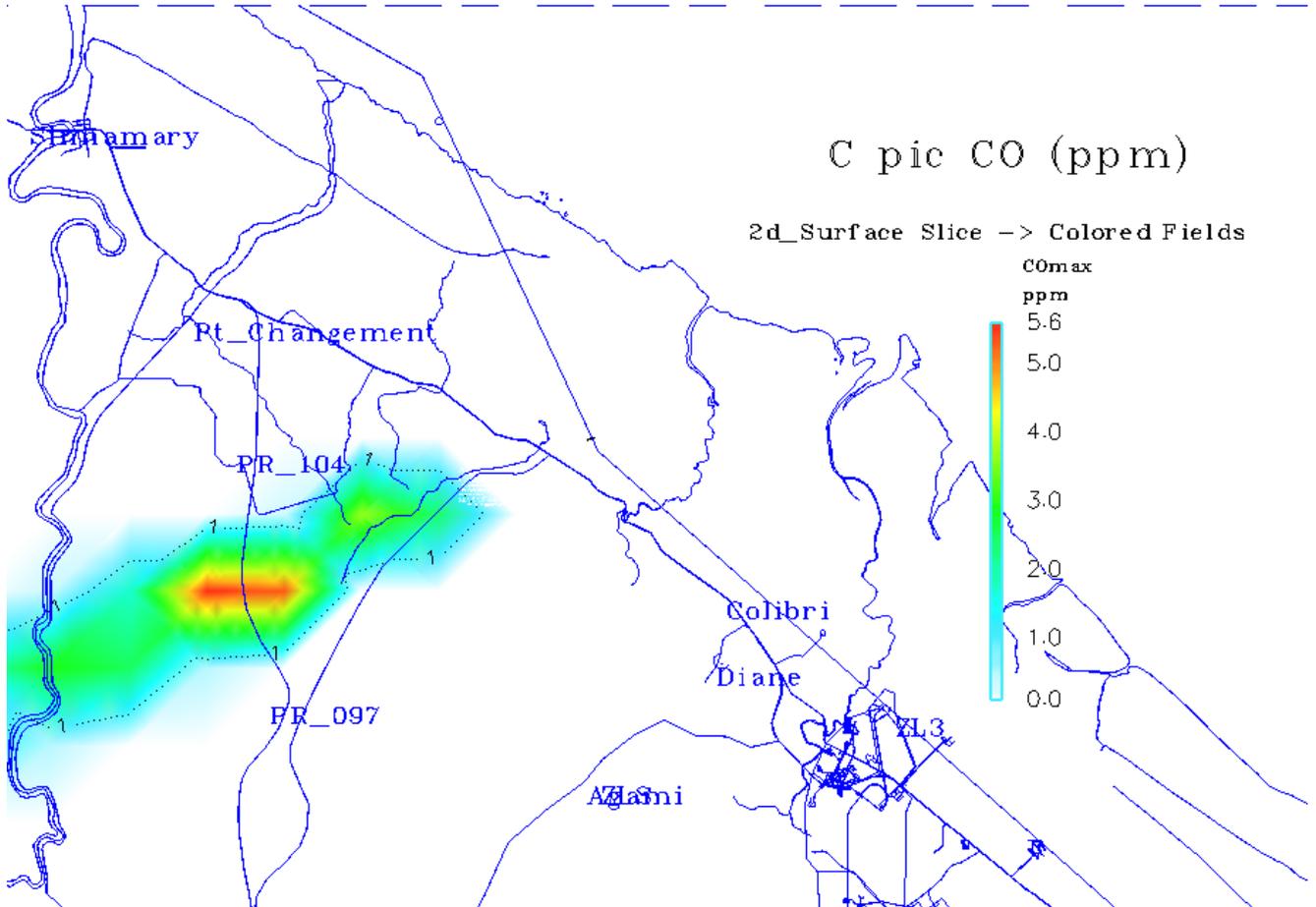


Figure 4 : Détections en mesure de carbone en champ lointain

RS du 12/19/2013 a 09:31:0.00 (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 ( $\text{NO}_x$ ) et de soufre ( $\text{SO}_x$ ), en monoxyde de carbone (CO), en hydrocarbures (HCT) et composés organiques volatiles (COV), en particules ( $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2,5}$ ) et en ozone ( $\text{O}_3$ ) en situation nominale de lancement,
- les concentrations en dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) 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 :

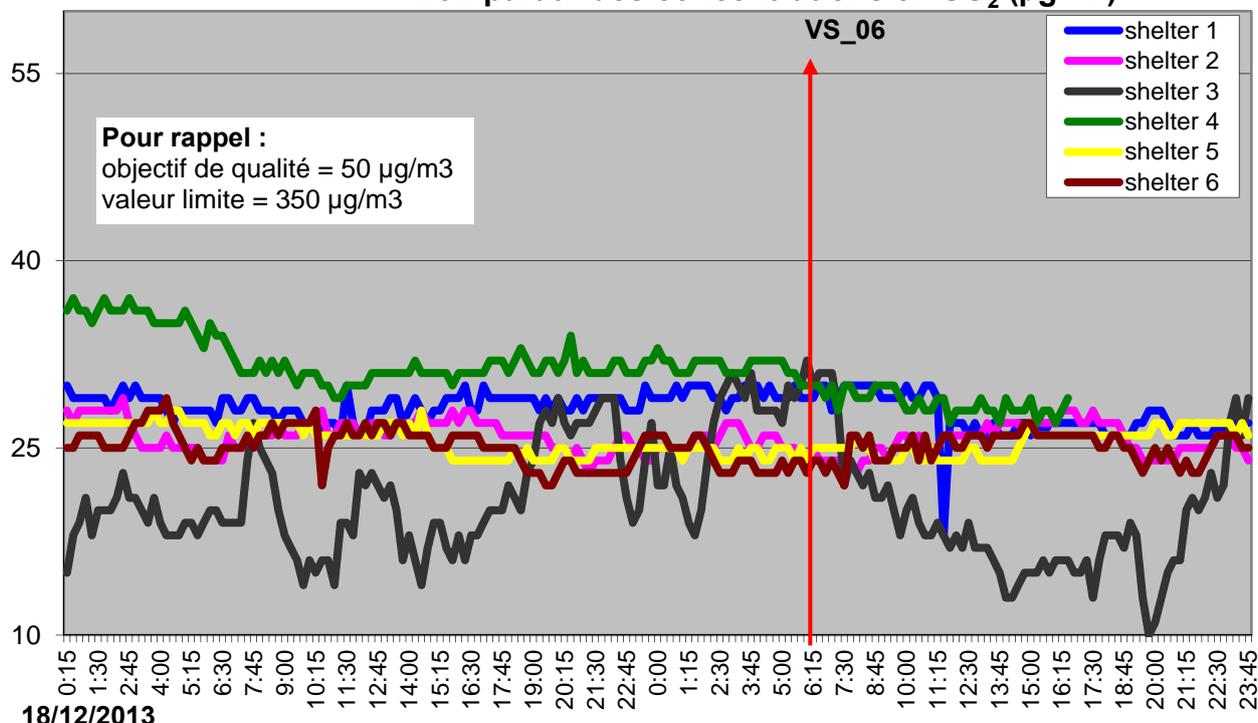
- Les analyseurs en continu de la marque ENVIRONNEMENT SA dont les points de mesures sont répartis sur les villes de Kourou et de Sinnamary, sur l'ensemble de lancement Soyuz ainsi qu'aux ELA,
- Les détecteurs de type SPM de la marque ZELLWEGER constituant le réseau CODEX.

### **7.2. Résultats des mesures**

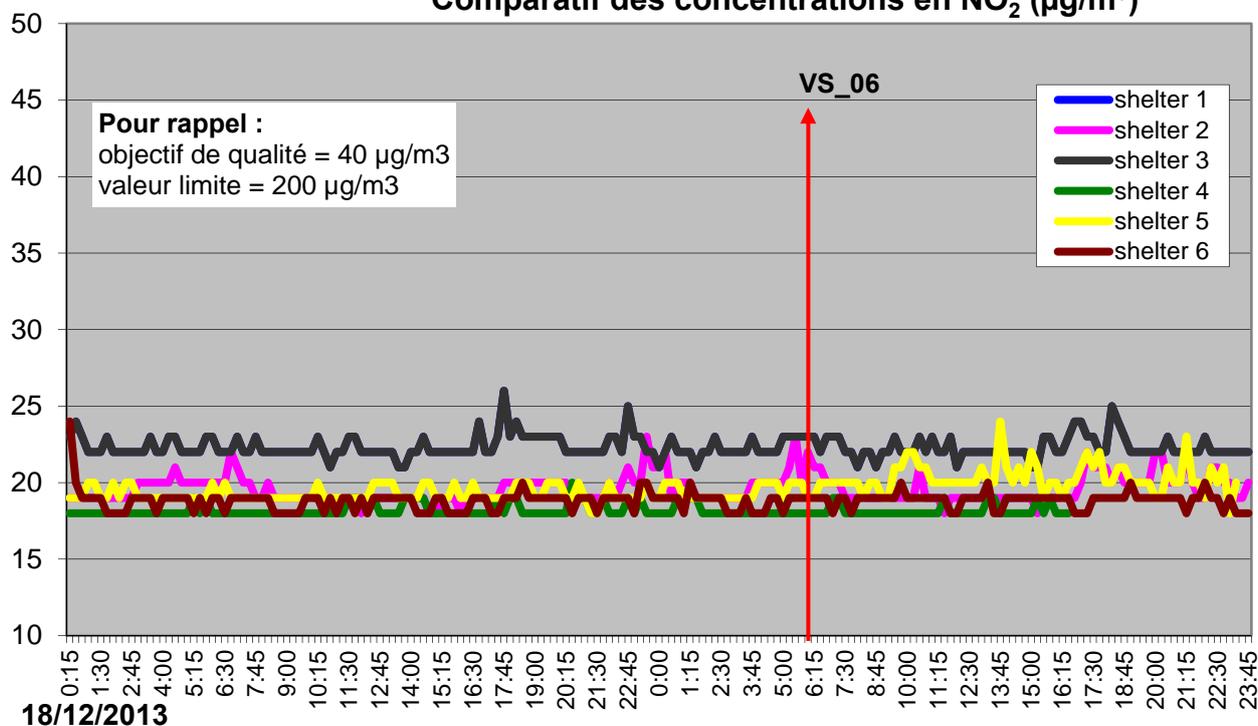
#### **7.2.1. Résultats des analyseurs en continu ENVIRONNEMENT SA**

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.

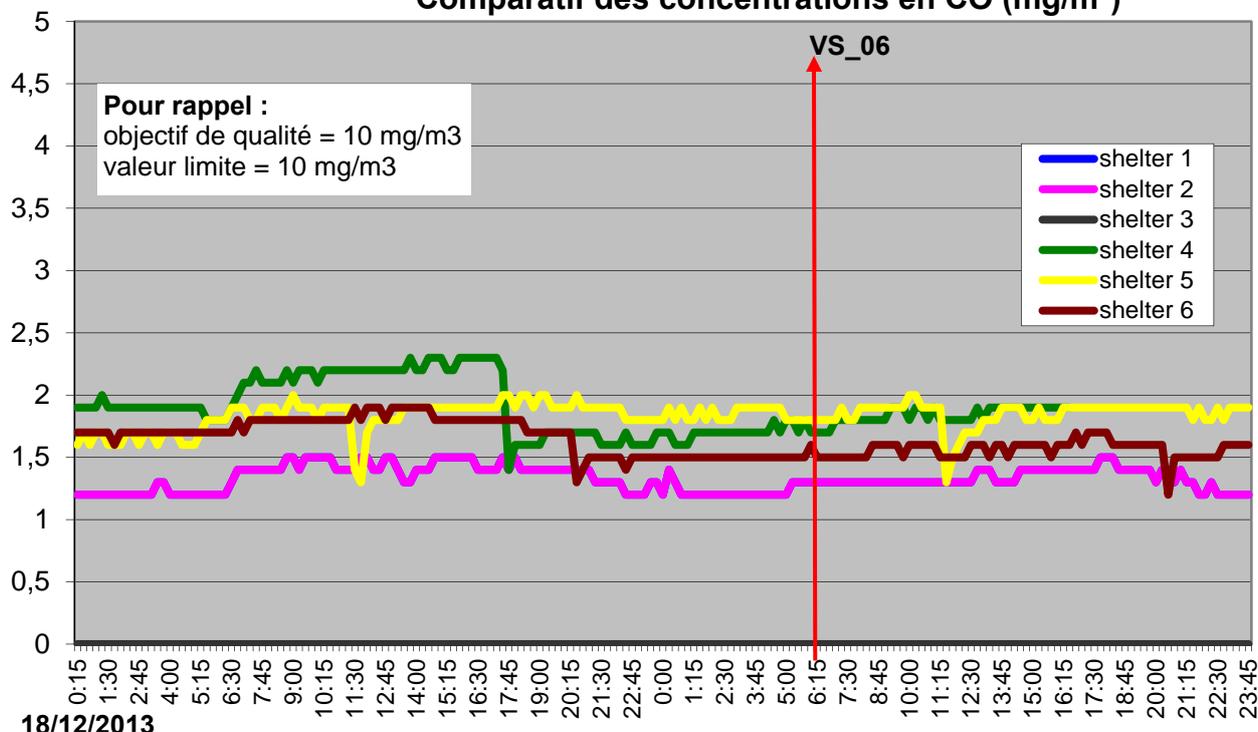
### Comparatif des concentrations en SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)



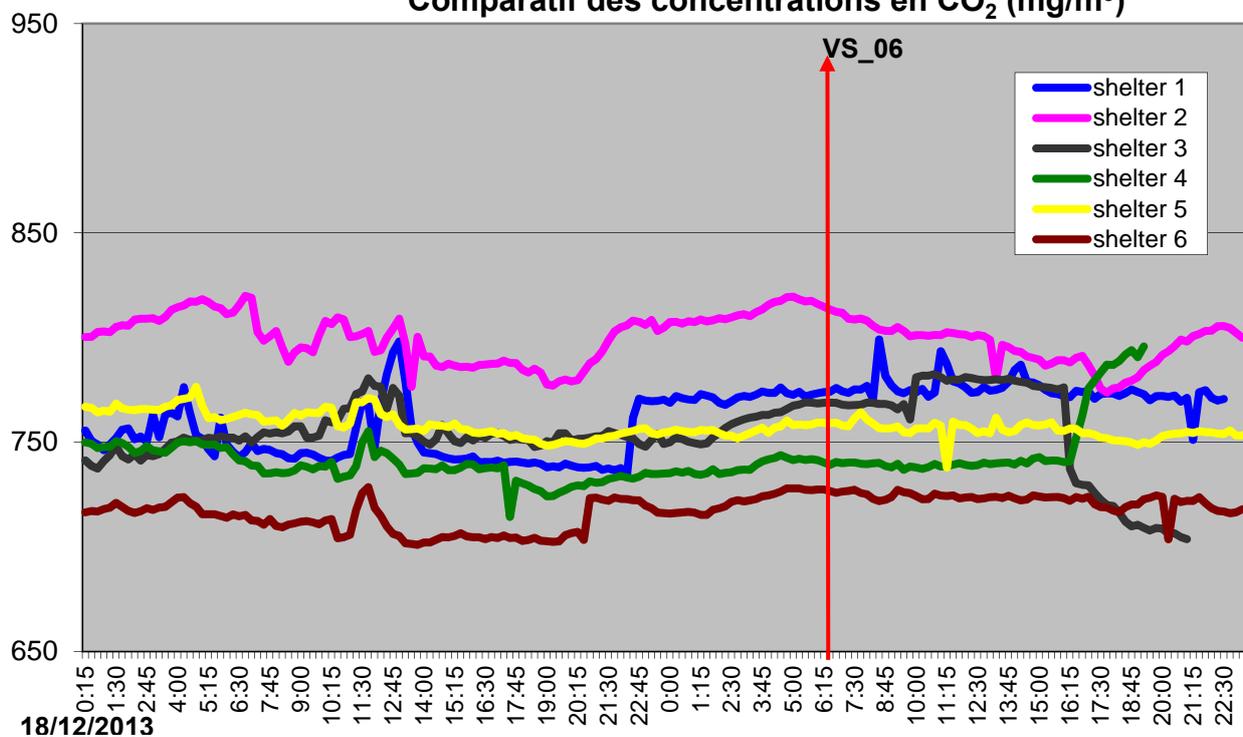
### Comparatif des concentrations en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)



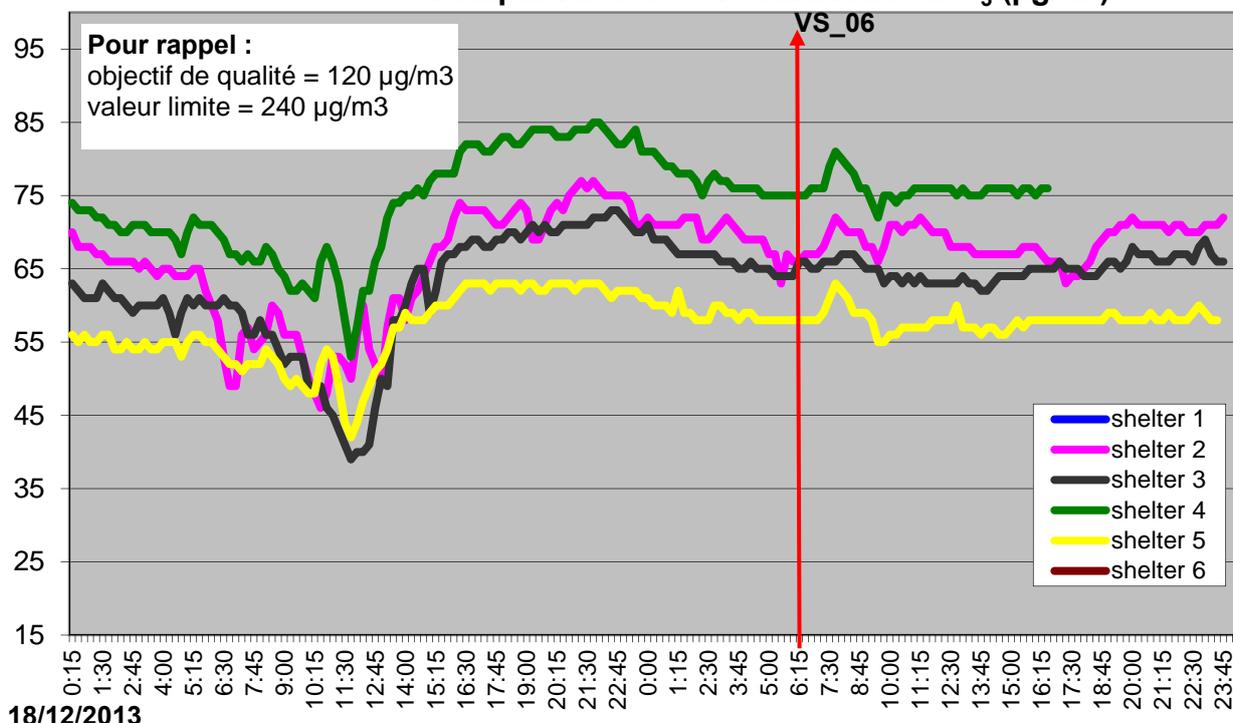
### Comparatif des concentrations en CO (mg/m<sup>3</sup>)



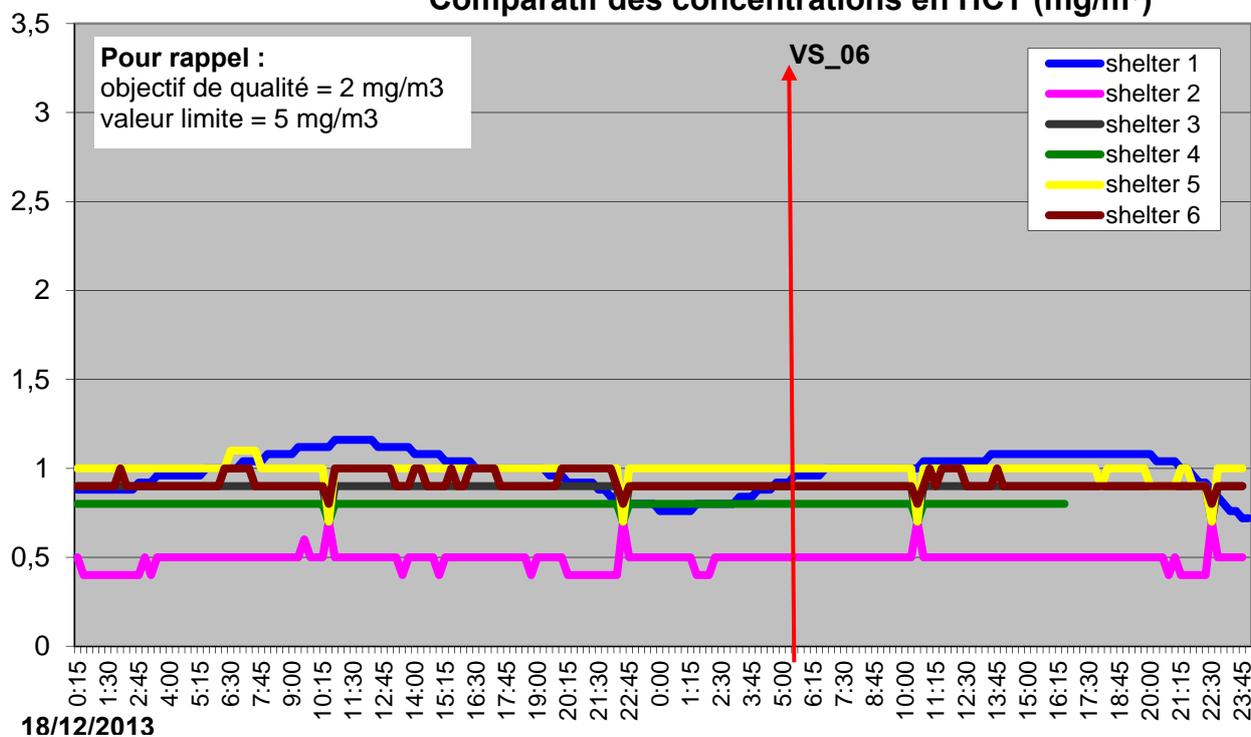
### Comparatif des concentrations en CO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>)



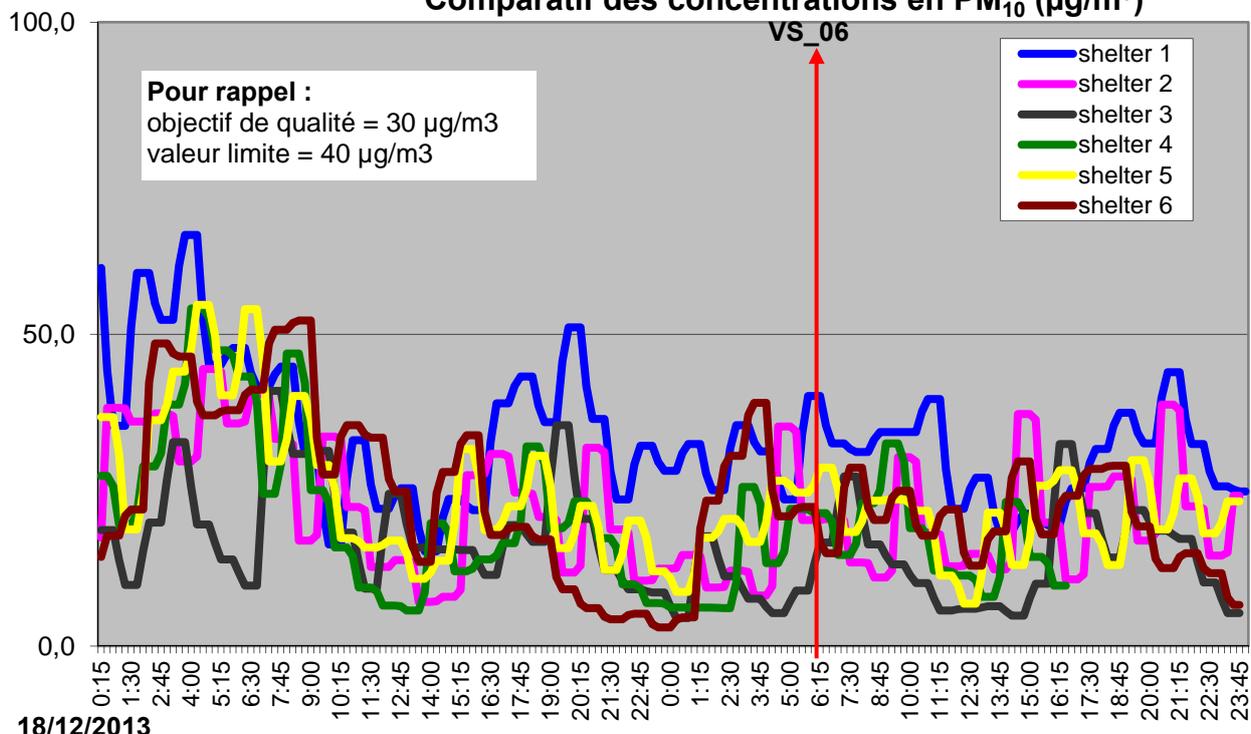
### Comparatif des concentrations en O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>)



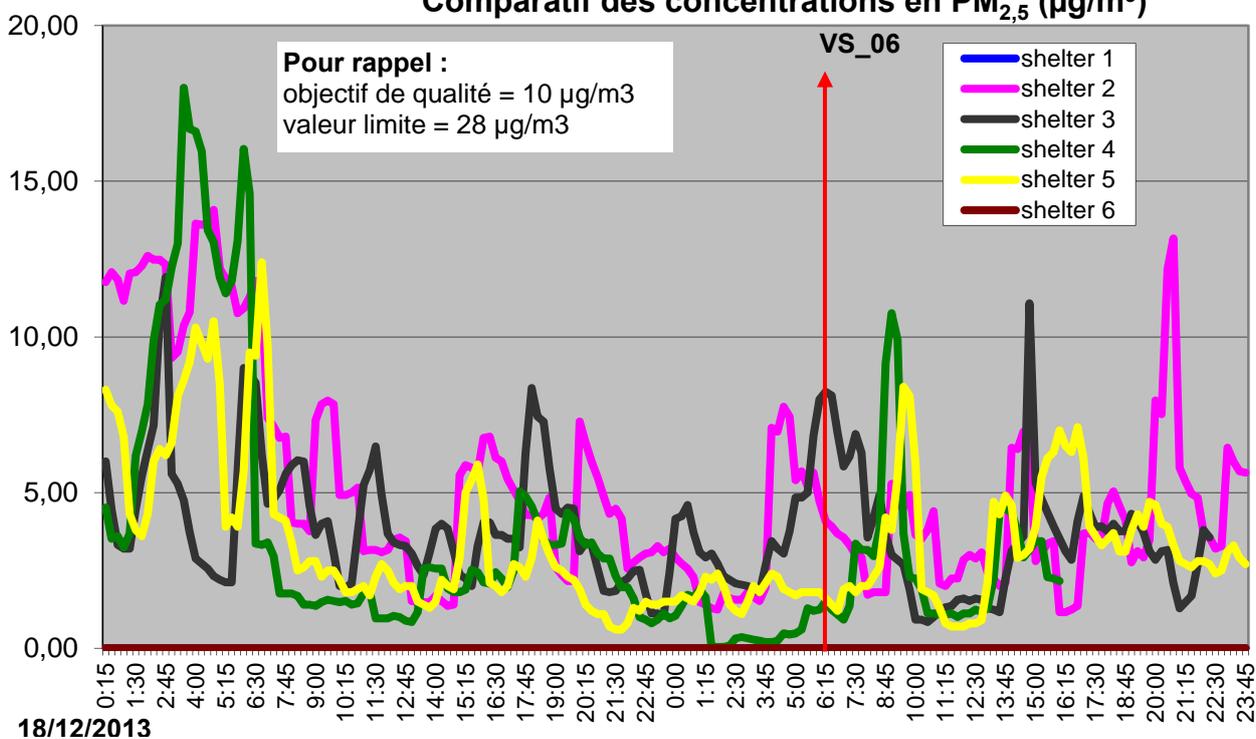
### Comparatif des concentrations en HCT (mg/m<sup>3</sup>)



### Comparatif des concentrations en PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>)



### Comparatif des concentrations en PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)



	SHELTER 1 : KOUROU	SHELTER 2 : SINNAMARY	SHELTER 3 : LABO CHIMIE	SHELTER 4 : BAT. 3529	SHELTER 5 : BAT. 3551	SHELTER 6 : BAT 3556
SO <sub>2</sub>			min	max		
NO <sub>2</sub>	HS		max	min		
CO	HS	min	HS	max		
CO <sub>2</sub>	??	max	??	?		min
O <sub>3</sub>	HS		min	max ?		HS
HCT	max	min		?		
PM <sub>10</sub>	max			?		min
PM <sub>2,5</sub>	HS			max ?	min	HS

HS = Hors service      ? = Valeur moyenne sur 35 h

?? = Valeur moyenne sur 40h

**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 SO<sub>2</sub> : On constate que le niveau moyen de SO<sub>2</sub> oscille entre le 20,8 et le 31,3 µg/m<sup>3</sup> (concentration moyenne = 25,1 µg/m<sup>3</sup>). Les concentrations les plus fortes sont mesurées au niveau du point 1 implanté sur le Bâtiment 3529 (à 190 mètres de la zone de lancement – shelter n°4). Les concentrations les plus basses ont, quant à elles, été quantifiées sur le point 6 situe sur le Labo Chimie (implanté à 10520 mètres de la ZLS - shelter 3).  
Par ailleurs, en champ proche (points 1 à 3), les niveaux enregistrés sont comparables à ceux du champ lointain (points 4 à 6) car il a été enregistré un écart moyen de 0,4 µg/m<sup>3</sup>. Enfin, aucune augmentation significative de la teneur en dioxyde de soufre n'a été mise en évidence sur une période de 12h après le lancement.  
Ainsi, on peut conclure que :
  - les analyseurs n'ont pas détecté d'apports particuliers en SO<sub>2</sub> imputables au lancement VS 06 ; les quantités détectées constituant le bruit de fond « naturel »,
  - les teneurs mesurées restent très 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 NO<sub>2</sub> : La teneur en NO<sub>2</sub> mesurée en dehors du territoire du CSG (Kourou – point 5/ Sinnamary –point 4) sont analogues à celles détectées sur les autres points de mesures. En effet, les concentrations moyennes de NO<sub>2</sub> détectées au niveau des points 4 et 5 sont de 21,0 µg/m<sup>3</sup>. Sur les autres analyseurs, la moyenne est de 20,3 µg/m<sup>3</sup>. Il est à noter que les teneurs quantifiées en champ proche (point 1 à 3) sont inférieures aux concentrations du champ lointain (écart de 1,7 µg/m<sup>3</sup>).  
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.  
On peut conclure que les analyseurs n'ont pas détecté d'apports particuliers en NO<sub>2</sub> lié ou lancement. Les valeurs mesurées correspondant au bruit de fond ambiant.
- graphique CO : Les teneurs en CO sont toutes inférieures aux valeurs limite et à l'objectif de qualité de l'air définis au **[DR4]**.  
Tout comme les lancements précédents, les mesures ont mis en évidence des concentrations en champ proche sensiblement supérieures à celles du champ lointain (0,5 µg/m<sup>3</sup> d'écart). Les valeurs maximales étant atteintes au niveau du point 1 (shelter 4 - implanté à 190 mètres de la ZLS). Les 2 autres points du champ proche (points 2 et 3, shelters 5 et 6) ont des niveaux moyens de CO similaires (1,8 et 1.6 µg/m<sup>3</sup>).
- graphique CO<sub>2</sub> : Le graphique ne montre pas d'apport en CO<sub>2</sub> attribuable au lancement Soyuz. La courbe montre des variations de concentration en fonction du temps. Cela coïncide avec les processus de photosynthèse et de respiration de la végétation : consommation de CO<sub>2</sub> la journée et production de CO<sub>2</sub> la nuit. Pour rappel, 50% du territoire du CSG est recouvert par de la forêt primaire et secondaire (soit environ 350 km<sup>2</sup>).
- graphique O<sub>3</sub> : Le processus de production d'ozone est mise en évidence par le graphique. Pour rappel, l'ozone (polluant « photochimique ») est produit par un ensoleillement intense, en présence de certains composés chimiques présents naturellement sur le CSG. 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 à la trace 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 enregistrés au niveau des shelters 5 (à 550 mètres de la ZLS), 6 (à 750 mètres de la ZLS), 2 (à 15900 mètres de la ZLS) et 4 (à 190 mètres de la ZLS) en un intervalle entre les 0,4 et 1,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Par ailleurs, les niveaux relevés en ce point sont stables sur toute la durée d'acquisition des données.  
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 et les concentrations de COV enregistrées n'est pas attribuable au lancement VS 06.
- graphique  $\text{PM}_{10}$  : Des  $\text{PM}_{10}$  ont été détectées en très fortes concentrations (dépassant l'objectif de qualité et ponctuellement la valeur limite) pour le shelter 5 et 6 (Zone de dépotage du PHHC et Zone de stockage du PHHC) et le shelter 1 (Kourou Hôtel des Roches). ces concentrations sont liées à le commence de la saison de poussières. Compte tenu de ce bruit de fond, nous ne pouvons pas distinguer la contribution potentielle apportée par VS 06 et en conclure quant à l'impact de la trace de combustion.
- graphique  $\text{PM}_{2,5}$  : Pendant la période de mesures, seul les analyseurs des points 1, 2 et 6 ont fonctionné correctement. Tous ont relevée des teneurs en  $\text{PM}_{2,5}$  cohérentes entre elles et en accord avec les résultats des  $\text{PM}_{10}$  supérieures à l'objectif de qualité. Ces dépassements sont imputables à le commence de la saison de poussières venant du Sahara..
- Pour rappel, les résultats des simulations SARRIM (présentés au *paragraphe 6*) montrent que la « trace » de combustion s'est dirigée vers le point kilométrique PR 100 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 06. 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 du vol S06 aux résultats des vols S01, S02, S03, S04 et S05

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

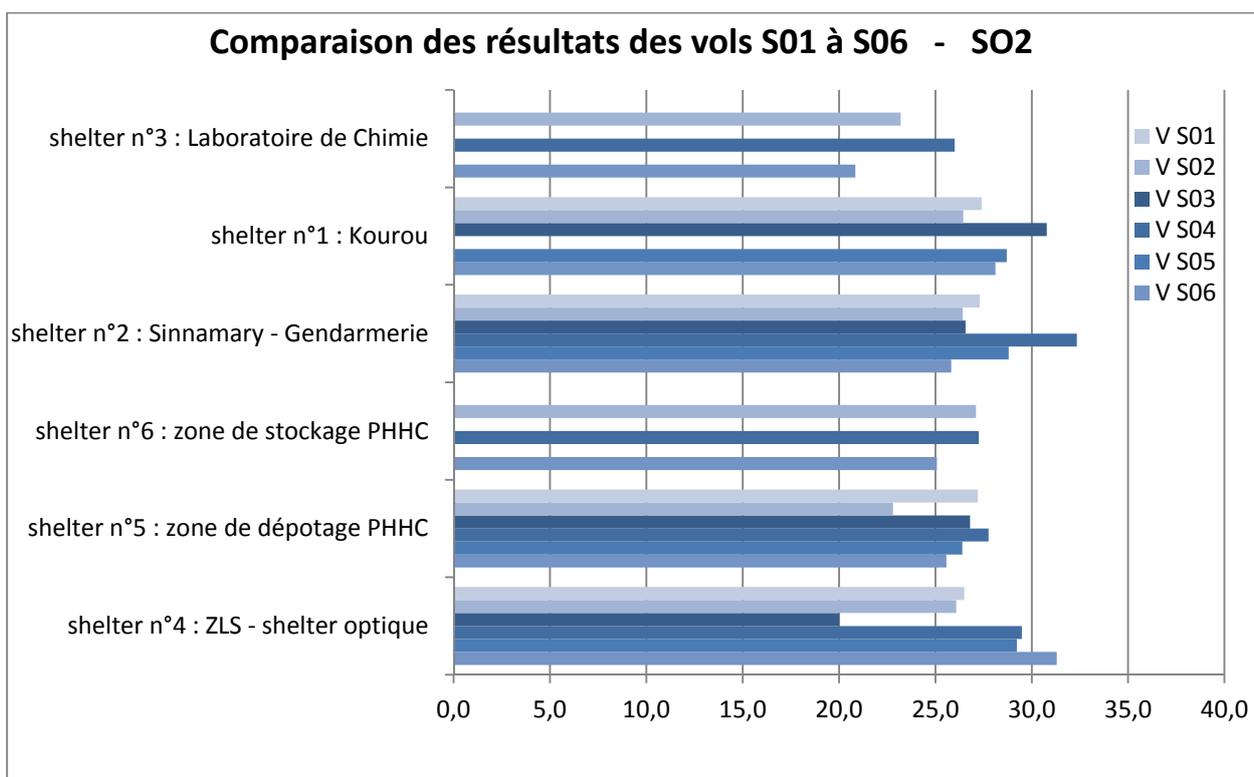
**Tableau 5 : Synthèse des résultats moyens de V S06 avec V S01, V S02, V S03, V S04 et V S05 ainsi que des écarts type associés**

			Concentrations moyennes sur 48h								Ecart type ( $\sigma$ ) sur 48h							
			SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CO ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	CO <sub>2</sub> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	HCT ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	HCT	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Champ proche	shelter n°4 : ZLS - shelter optique	V S01	26,5	20,0	1,4	791,1	40,5	0,0	7,3	HS	1,77	5,31	0,09	61,54	11,12	0,60	6,68	N.A.
		V S02	26,1	20,8	1,5	794,3	HS	HS	18,2	7,9	3,14	2,62	0,07	48,21	16,69	0,54	9,89	7,47
		V S03	20 *	20 *	1,4 *	722,2 *	53,9 *	1 *	10,5 *	2 *	2,13	0,93	0,10	52,09	1,06	0,08	9,87	N.A.
		V S04	29,5	20,7	1,1	779,5	46,5	0,4	11,3	4,3	14,81	10,41	0,58	393,67	24,19	0,20	8,44	4,52
		V S05	29,22	20,1 ##	1,2 ##	HS	50,6 ##	1,0 ##	11,9 #	4,3 #	1,30	0,33	0,25	N.A.	14,74	0,07	6,63	3,99
		V S06	31,3 ?	18,2 ?	1,9 ?	723,6 ?	74,9 ?	0,8 ?	20,3 ?	3,5 ?	2,33	0,41	0,22	49,71	6,29	0,01	12,04	9,79
	shelter n°5 : zone de dépotage PHHC	V S01	27,2	20,40	1,80	789,10	36,10	0,50	HS	HS	3,20	1,02	0,18	82,54	9,73	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	2,16	1,13	0,07	57,64	11,15	0,65	13,66	3,75
		V S04	27,8	20,3	2,1	746,2	39,9	1,0	7,3	HS	0,94	0,91	0,18	82,52	10,29	0,07	5,77	N.A.
		V S05	26,4 ###	20,0 ###	2,0 ###	HS	39,9 ###	1,1 ###	17,9 ###	4,6 ###	0,98	1,43	0,13	0,13	8,79	0,07	16,94	7,59
		V S06	25,6	19,8	1,8	750,8	57,3	1,0	23,4	3,4	1,17	0,64	0,13	63,91	1,27	0,04	12,25	0,00
	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	3,24	1,43	0,07	31,84	1,43	N.A.	N.A.	N.A.
		V S03	HS	16,1 ****	1,4 ****	644,1 ****	43,1 ****	1,4 ****	67,1 ****	HS	0,93	1,39	0,09	75,92	8,09	0,58	7,17	N.A.
		V S04	27,3	20,4	1,8	735,049	45,1	1,0	24,9	HS	1,59	1,84	0,11	80,80	12,17	0,26	15,84	N.A.
		V S05	HS	HS	1,0 ###	HS	HS	HS	18,9 #	HS	N.A.	N.A.	0,06	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	1,37	0,64	0,13	63,91	1,27	0,04	12,25	N.A.
champs moyen & lointain	shelter n°2 : Sinnamary - Gendarmerie	V S01	27,3	21,5	1,5	850,7	35,5	0,0	11,1	4,7	1,20	1,10	0,16	87,46	9,45	0,17	7,18	17,92
		V S02	26,4	23,5	HS	HS	40,8	HS	HS	HS	HS	3,06	0,12	100,41	10,08	N.A.	12,08	5,66
		V S03	26,6	21,1	1,5	747,0	37,2	HS	HS	HS	4,12	2,31	N.A.	N.A.	10,18	N.A.	0,00	N.A.
		V S04	32,3	20,6	1,4	804,4	28,0	1,3	20,3	5,7	12,92	8,24	0,56	321,67	11,29	0,53	8,39	2,92
		V S05	28,8 ###	19,9 ###	1,4 ###	HS	42,6 ###	0,4 ###	22,8 ###	10,7 #	1,74	1,42	0,06	N.A.	N.A.	0,18	20,92	13,16
		V S06	25,8	19,6	1,6	765,4	45,9	1,3	20,8	6,6	1,25	0,91	0,10	70,81	6,58	0,05	10,31	8,42
	shelter n°1 : Kourou	V S01	27,4	33,0	1,5	816,7	34,5	3,5	9,2	HS	0,94	6,21	0,09	75,99	8,04	0,58	6,97	N.A.
		V S02	26,4	28,4	1,4	741,7	38,1	1,6	19,4	HS	0,85	2,23	0,05	27,77	11,77	0,15	7,63	N.A.
		V S03	30,8	22,6	HS	HS	27,1***	HS	41,5 **	HS	15,38	9,79	N.A.	N.A.	6,11	N.A.	26,23	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	1,97	1,55	0,36	68,35	0,82	0,08	5,13	N.A.
		V S06	28,1	22,3	1,3	768,9	HS	HS	35,3	HS	1,46	0,72	0,10	1114,83	0,28	0,27	10,78	N.A.
	shelter n°3 : Laboratoire de Chimie	V S01	HS	22,1	1,3	814,7	34,6	HS	12,9	3,9	0,00	1,63	0,12	100,69	10,02	0,00	11,49	2,13
		V S02	23,2	22,1	HS	HS	41,4	HS	HS	HS	4,12	2,31	N.A.	N.A.	10,18	N.A.	0,00	N.A.
		V S03	HS	20,1	1,8	HS	40,6	HS	HS	HS	N.A.	1,08	0,19	N.A.	8,90	N.A.	N.A.	N.A.
		V S04	26	19	1,5	808,5	37,9	HS	17,1	HS	12,18	8,92	0,72	383,97	19,19	0,00	9,89	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??	4,88	0,72	N.A.	69,91	6,67	0,03	8,39	12,55

\* Valeur moyenne sur 5h      \*\* Valeur moyenne sur 20h      \*\*\* Valeur moyenne sur 35h      \*\*\*\* Valeur moyenne sur 40h  
# Valeur moyenne sur 14h max      ## Valeur moyenne sur 19h      ### Valeur moyenne sur 34h max  
? Valeur moyenne sur 41h      ?? Valeur moyenne sur 44h

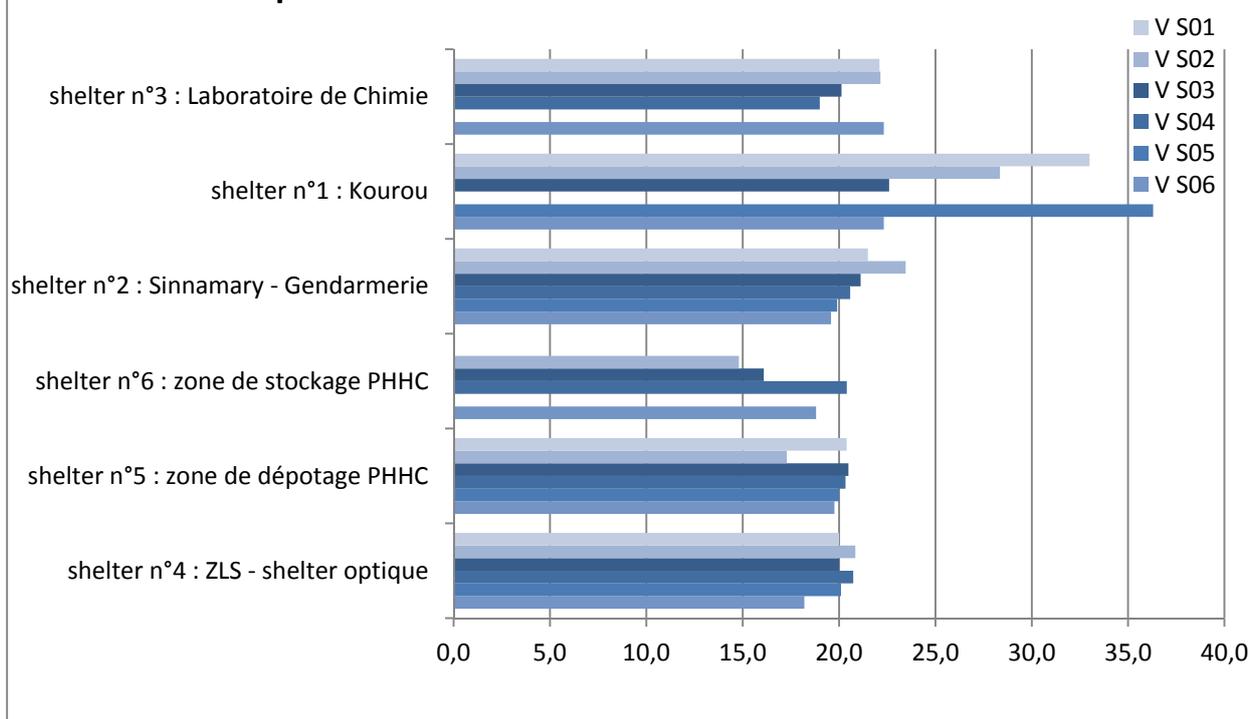
**Remarque:**

- SO<sub>2</sub> : Les teneurs en SO<sub>2</sub> quantifiées lors de la campagne de mesures pour V S06 sont comparables avec les valeurs obtenues pendant les autres campagnes. Les taux du SO<sub>2</sub> mesurés hors du périmètre du CSG sont comparables avec ceux mesurés autour de la ZLS. Par conséquent, les analyseurs en continu n'ont pas quantifié d'apports imputables au lancement V S06. Ils ont mesuré la qualité de l'air ambiant.

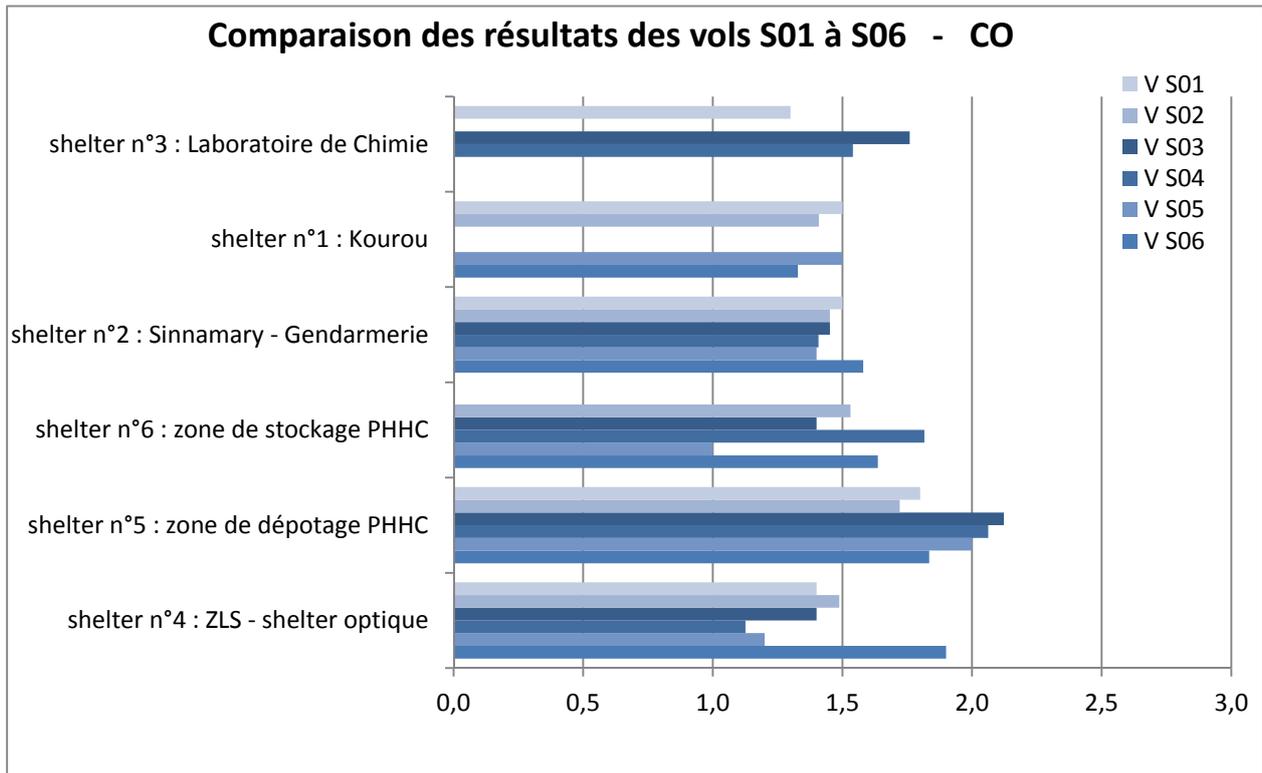


- NO<sub>2</sub> : Pour un même lancement, on constate que les concentrations moyennes sont systématiquement plus fortes en champ lointain ; les teneurs les plus fortes étant relevées à Kourou. Cependant, la comparaison des résultats obtenus lors des 5 lancements met en évidence un écart type non significatif. Ainsi les capteurs n'ont pas détecté d'apports particuliers en NO<sub>2</sub> pas attribuables au lancement V S06 ; les valeurs mesurées correspondent au bruit de fond.

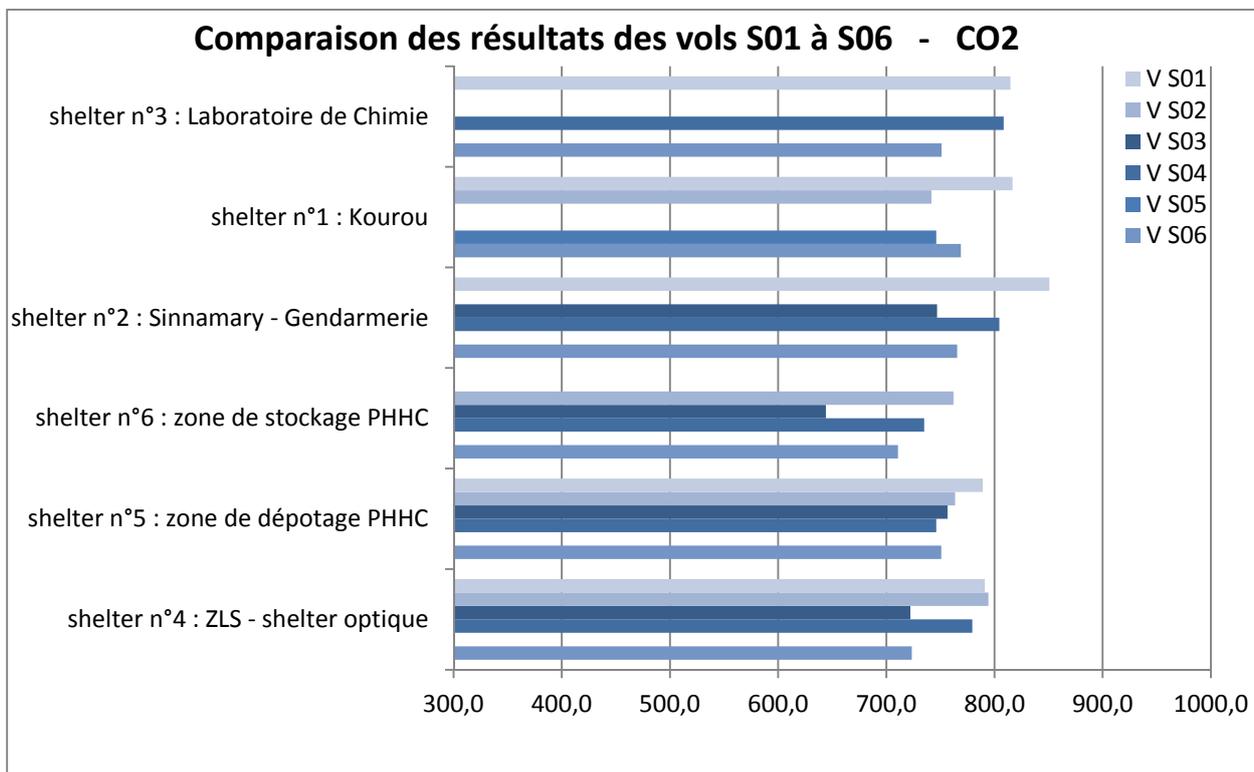
### Comparaison des résultats des vols S01 à S06 - NO<sub>2</sub>



- CO : De faibles variations de concentrations sont à noter. Nous pouvons donc conclure que les analyseurs n'ont pas détecté d'apports particuliers en CO attribuables au lancement; les quantités détectées sont comparables avec les précédentes ; les analyseurs ont détecté le bruit de fond.

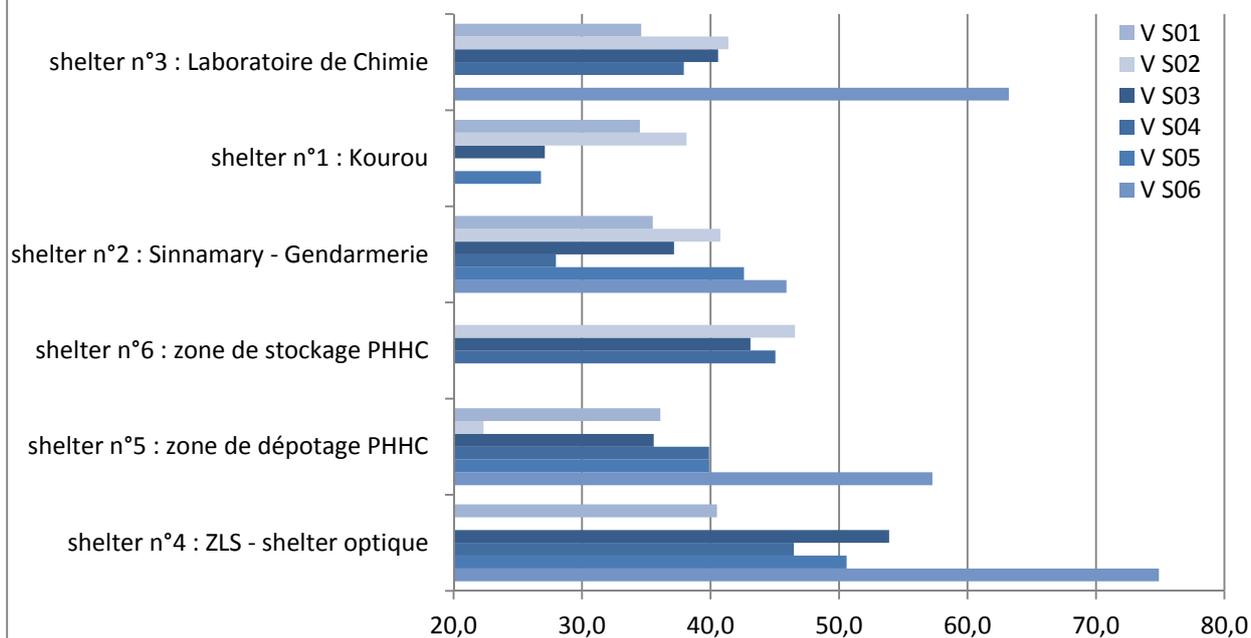


- $CO_2$  : Pour ce vol, tous les shelters ont fonctionné normalement, Les teneurs de  $CO_2$  mesurées sont es quantités détectées sont comparables avec les précédentes.

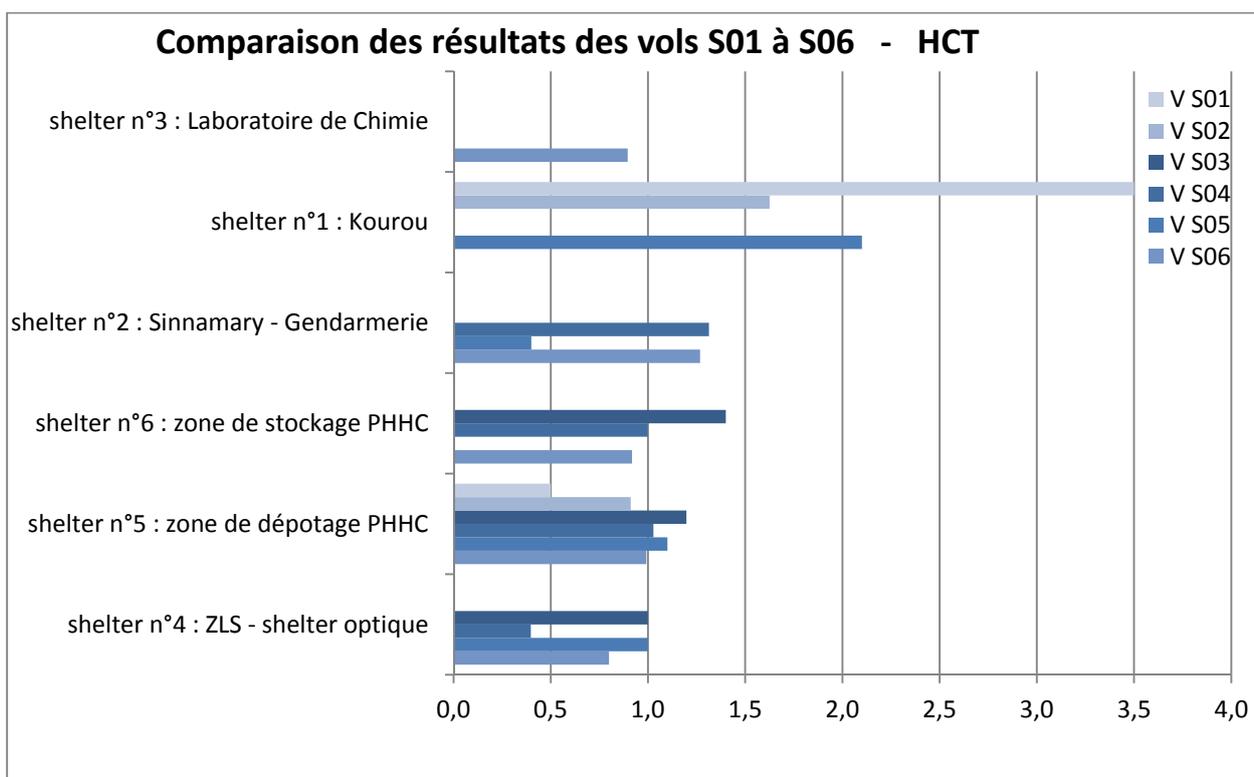


- $O_3$  : Pour le V S06, on observe que la concentration moyenne la plus forte a été mesurée au niveau des Shelter 4 et 3 (implantés, respectivement, à 190 mètres et 10,5 kilomètres de la ZLS). Au-delà de ces points, les concentrations en ozone sont équivalentes à celles enregistrées pendant les précédents vols Soyuz. L'impact de l'ozone formé est donc très limité géographiquement. Les émissions du lanceur ne semblent pas avoir eu de conséquences sur la qualité de l'air.

### Comparaison des résultats des vols S01 à S06 - O3

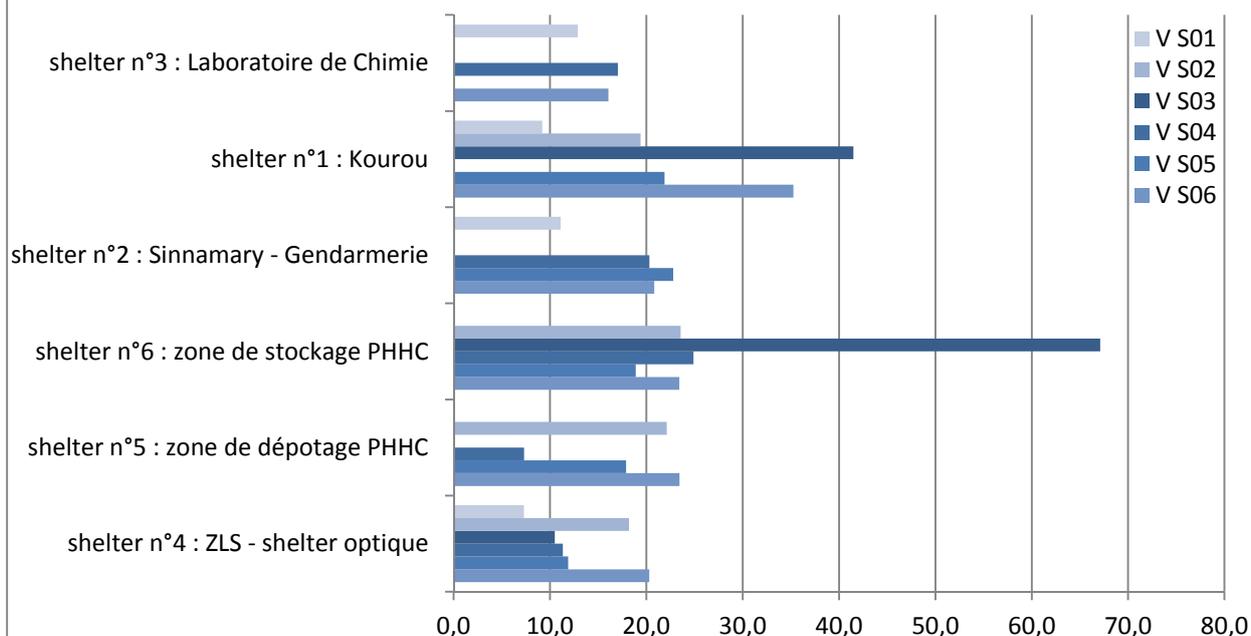


- Les hydrocarbures : Peu de données sont disponibles. Celles qui sont présentés sont cohérentes avec les vols précédents. Néanmoins, pour rappel, les hydrocarbures (ou composés organiques volatiles ou BTEX) ont comme principales sources d'émissions :
  - la végétation (présence de forêt à proximité immédiate des capteurs),
  - les voies de circulation (présence d'axes routiers importants ou de parkings à proximité immédiate des capteurs).

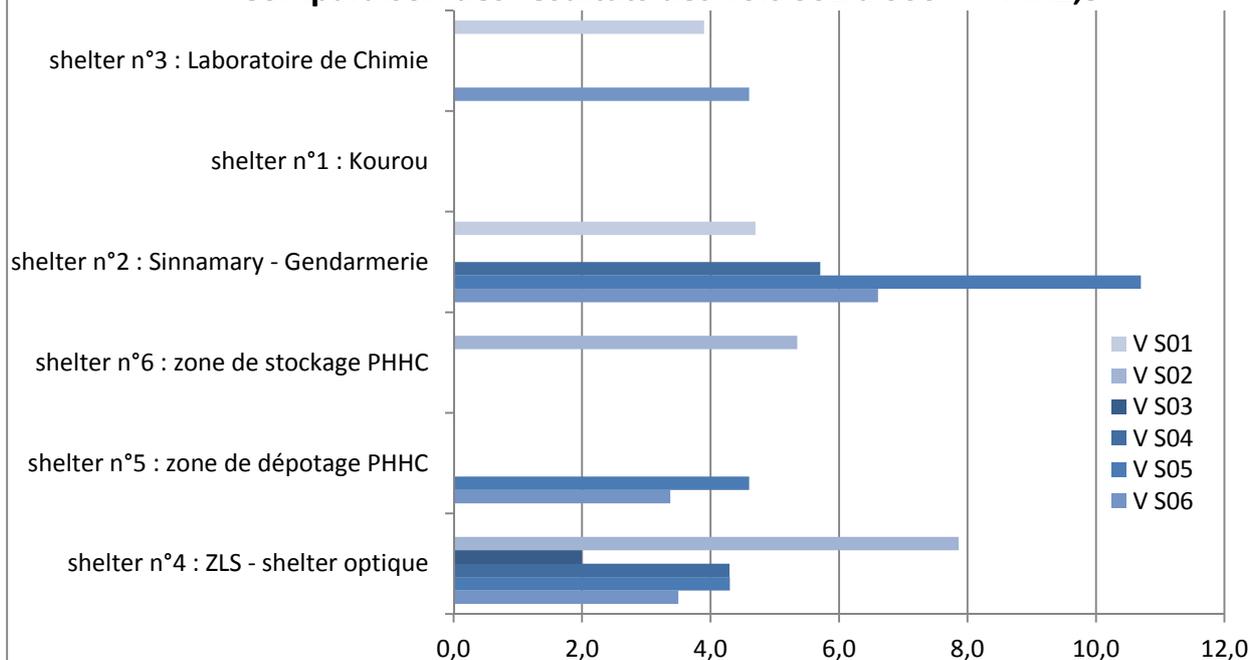


- Les matières particulaires : Avec les données obtenues, les volumes sont comparables d'un vol à l'autre.

### Comparaison des résultats des vols S01 à S06 - PM10



### Comparaison des résultats des vols S01 à S06 - PM2,5



### 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 S06**

La surveillance de la qualité de l'air par les analyseurs en continu de l'air a mis en évidence que les impacts directs des produits de combustion émis par Soyuz sur le territoire du CSG sont très fiables et contenues dans le périmètre du l'ELS. Ainsi aussi que les villes de Kourou et de Sinnamary.

Les valeurs mesurées correspondent

- au bruit de fond ambiant qui suit des variations nycthémérales (dynamique « naturelle » de variations),
- au cumul de la pollution émise par les véhicules motorisé 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 qui ont été quantifiés ils ne sont pas forcément liées à l'activité du lancement Cela confirme donc.

- la conclusion de l'impact négligeable des produits de combustion de Soyuz sur l'Environnement des champs proche, moyen et lointain.