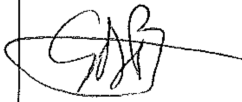




**RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT
 SOYUZ ST-B VOL S10 DU 18 DECEMBRE 2014 A 15H37 MN**

DIFFUSION

| | Nom et Sigle | Date et Signature |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Préparé par | DEL BUFALO G. SDP/ES | 11/08/2015  |
| Vérifié par | | |
| Approuvé par | RICHARD S. SDP/ES | 17/09/15  |
| Application autorisée par | TRINCHERO J.P. SDP/ES | 17/09/2015  |

| destinataires | 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 |
| S.P.P.P.I. | 1 |
| SDP/ES | 1 |

Nombre total d'exemplaires : 12



CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Réf. : CG/SDP/ES/N°15-634

Ed/Rév : 01/00

Classe : GP

Date : 15/07/2015

Page : 2/34

RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT SOYUZ
ST-B VOL S10 DU 18 DECEMBRE 2014 A 15H37 MN

REPERTOIRE DES MODIFICATIONS

| Ed/Rév | Date | Pages Modifiées | Objet de la modification |
|---------------|-------------|------------------------|---------------------------------|
| 01/00 | 15/07/2015 | 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 | 5 |
| 3. DEFINITIONS ET SIGLES..... | 5 |
| 3.1. DEFINITIONS | 5 |
| 3.2. SIGLES | 6 |
| 4. RAPPELS CONCERNANT LE PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT DU VOL S 10..... | 8 |
| 5. LOCALISATION DES POINTS DE MESURES | 9 |
| 6. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES..... | 10 |
| 6.1. DONNEES BRUTES DU RADIOSONDAGE 5R181214 | 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 10 aux résultats de VS 09 a VS01</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 S10..... | 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 le satellite **O3b-F3**. Le **vol S10** a eu lieu le **18 Décembre 2014 à 15 heures 37 minutes** en heure locale, soit 18 heures 37 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 **[DR 5 à 13]**.

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°15-514** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B vol S09 du 22 Août 2014 à 09H27
- [DR 6] **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 7] **CG/SDP/ES/N°15-409** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-A vol S07 du 3 Avril 2014 à 18h02
- [DR 8] **CG/SDP/ES/N°15-197** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B vol S06 du 19 décembre 2013 à 09h12
- [DR 9] **CG/SDP/ES/N°15-172** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B du S05 du 25 juin 2013 à 19H27
- [DR 10] **CG/SDP/ES/N°14-866** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B du S04 du 19 décembre 2012 à 09H12
- [DR 11] **CSG-RP-SSX-14762-CNES** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-B du S03 du 12 Octobre 2012 à 15H15
- [DR 12] **CSG-RP-SSX-14379-CNES** – Résultats du Plan de mesures Environnement Soyuz ST-A du S02 du 16 Décembre 2011 à 23H03
- [DR 13] **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) |
| VL | : | 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 10

Les domaines couverts par le plan de mesures Vol S10 **[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 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 | |
|----------------------|---|---------------------------------------------------------------------|-------------------|-----|
| 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 S10 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 5R181214

Le jour du lancement, à H0 +34 minutes, un radiosondage spécifique a été effectué (**référence 5R181214.txt** du 18 Décembre 2014). Il donne des informations sur trois cent vingt-cinq couches distinctes tous les cent mètres.

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

| ALTITUDE (mètres) | PRESSION (mb) | VITESSE DU VENT (m/s) | VENT EN PROVENANCE (°) | TEMPERATURE (°C) | HUMIDITE (%) |
|-------------------|---------------|-----------------------|------------------------|------------------|--------------|
| 12 | 1 008,9 | 4 | 60 | 28,6 | 76 |
| 100 | 999 | 5,5 | 41 | 26,9 | 74 |
| 500 | 954,6 | 6,6 | 58 | 23,3 | 80,7 |
| 1000 | 901,3 | 4,6 | 57 | 19,7 | 80,6 |
| 1500 | 850,4 | 2,6 | 77 | 16,9 | 84,8 |
| 2000 | 801,8 | 3,4 | 104 | 13,9 | 84,8 |
| 2500 | 755,6 | 5,3 | 93 | 12,1 | 52,3 |
| 3000 | 711,7 | 4,6 | 5 | 11,4 | 40,9 |
| 3500 | 670,1 | 3,3 | 357 | 8,1 | 27,7 |
| 4000 | 630,5 | 0,6 | 207 | 4,9 | 30,1 |

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) | 700 |
| BASSES COUCHES DE L'ATMOSPHERE (pour une altitude allant du sol jusqu'à la hauteur de stabilisation) | |
| - Vitesse moyenne des vents (m/s) | 10 |
| - Direction moyenne des vents (°) | 115 |
| ⇒ Les vents sont orientés vers | Carrefour Changement |
| HAUTES COUCHES DE L'ATMOSPHERE (pour une altitude allant de la hauteur de stabilisation jusqu'à 4000 m) | |
| - Vitesse moyenne des vents (m/s) | 10 |
| - Direction moyenne des vents (°) | 115 |
| ⇒ Les vents sont orientés vers | Carrefour Changement |

Figure 1 : Retombées en dioxyde de carbone en champ proche

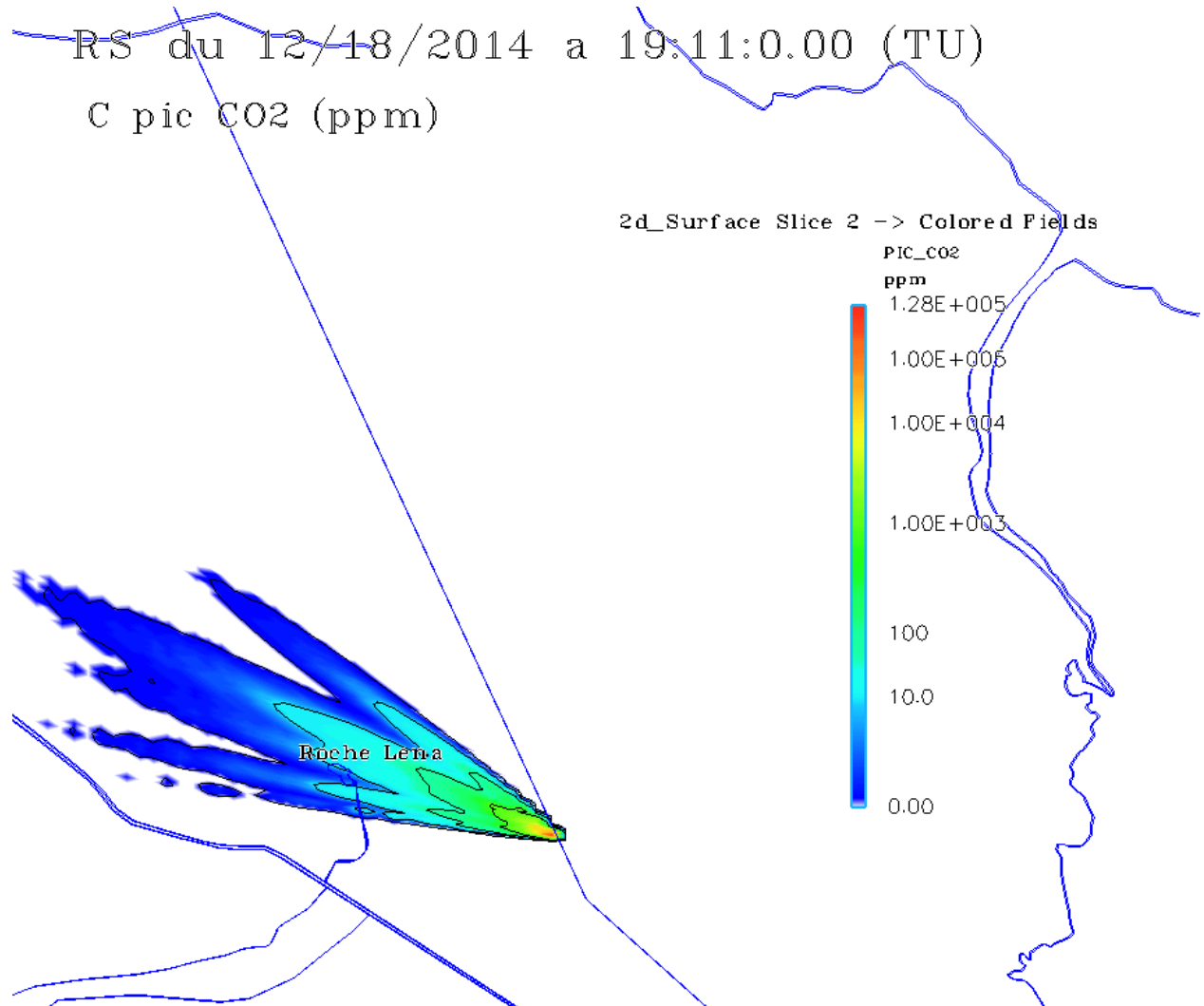


Figure 2 : Retombées en dioxyde de carbone en champ lointain

RS du 12/18/2014 a 19:11:0.00 (TU)
SARRIM 4.4

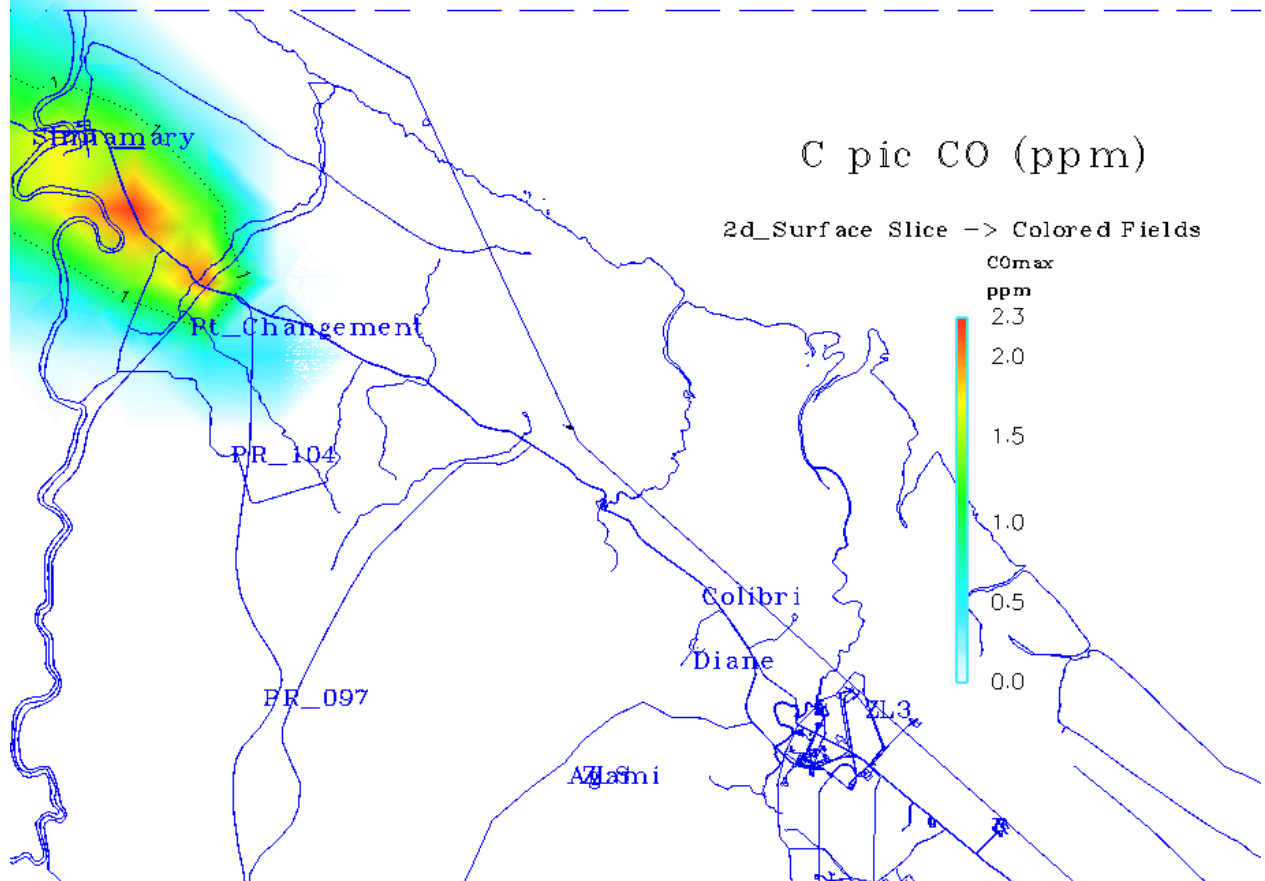


Figure 3 : Retombées en monoxyde de carbone en champ proche

RS du 12/18/2014 a 19:11:0.00 (TU)
SARRIM 4.4

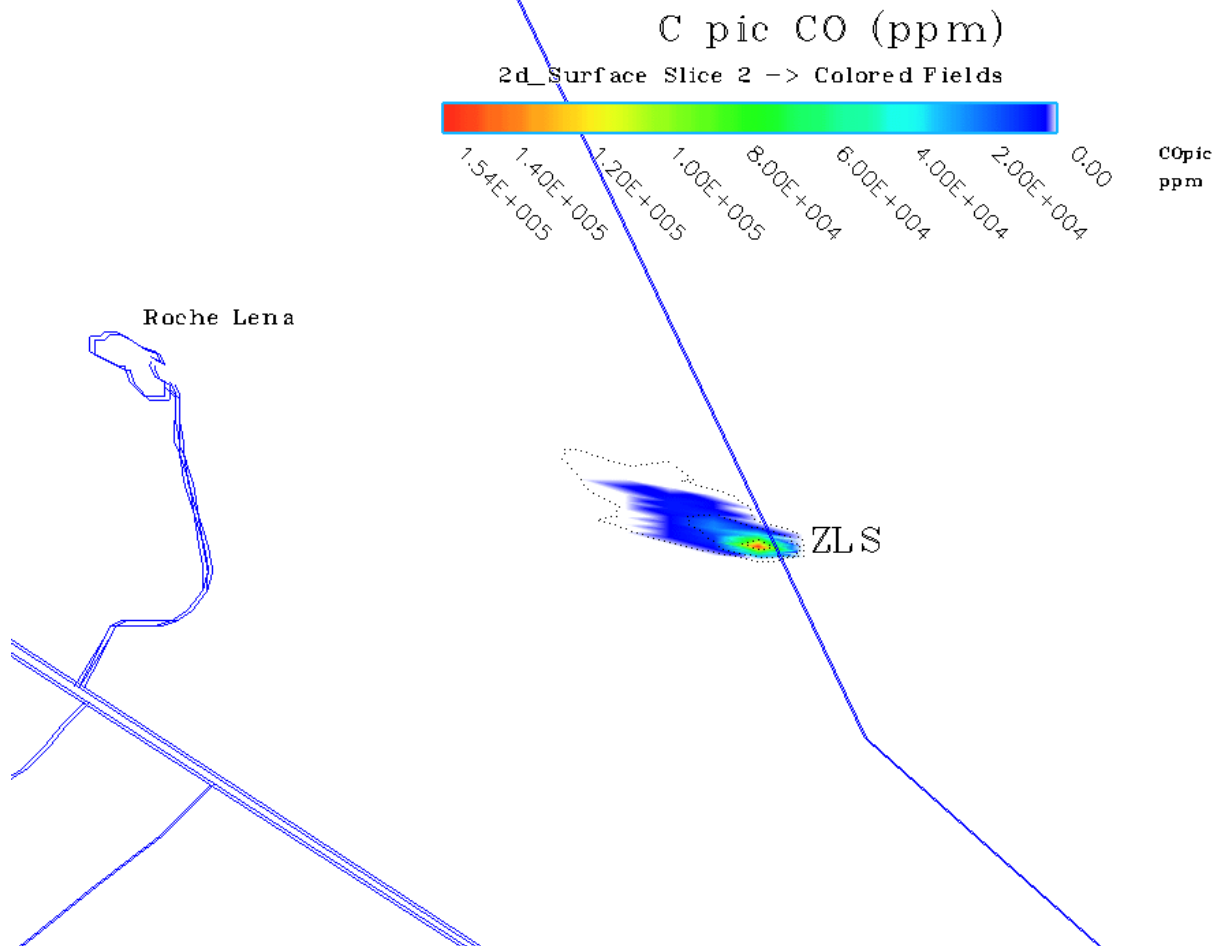
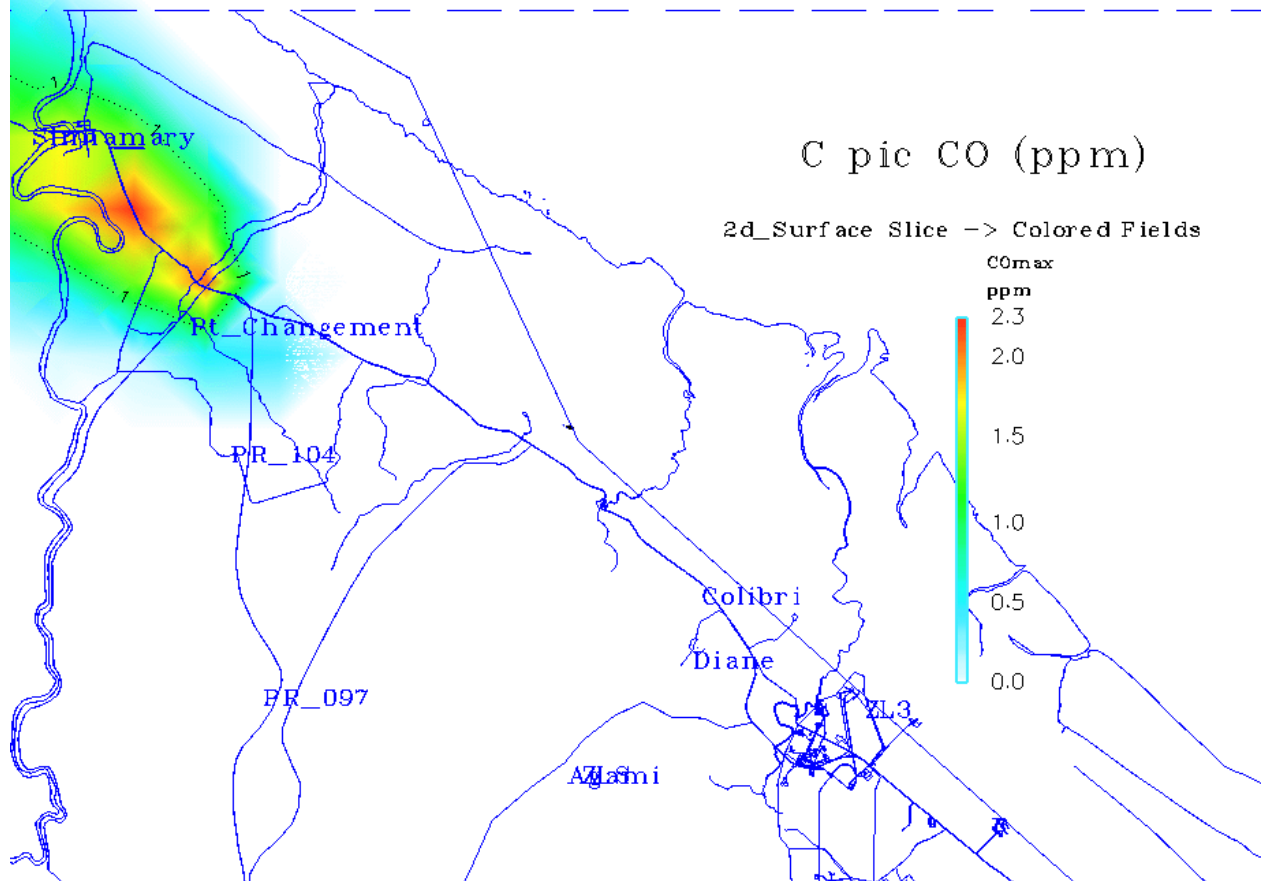


Figure 4 : Retombées en monoxyde de carbone en champ lointain

RS du 12/18/2014 a 19:11:0.00 (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).

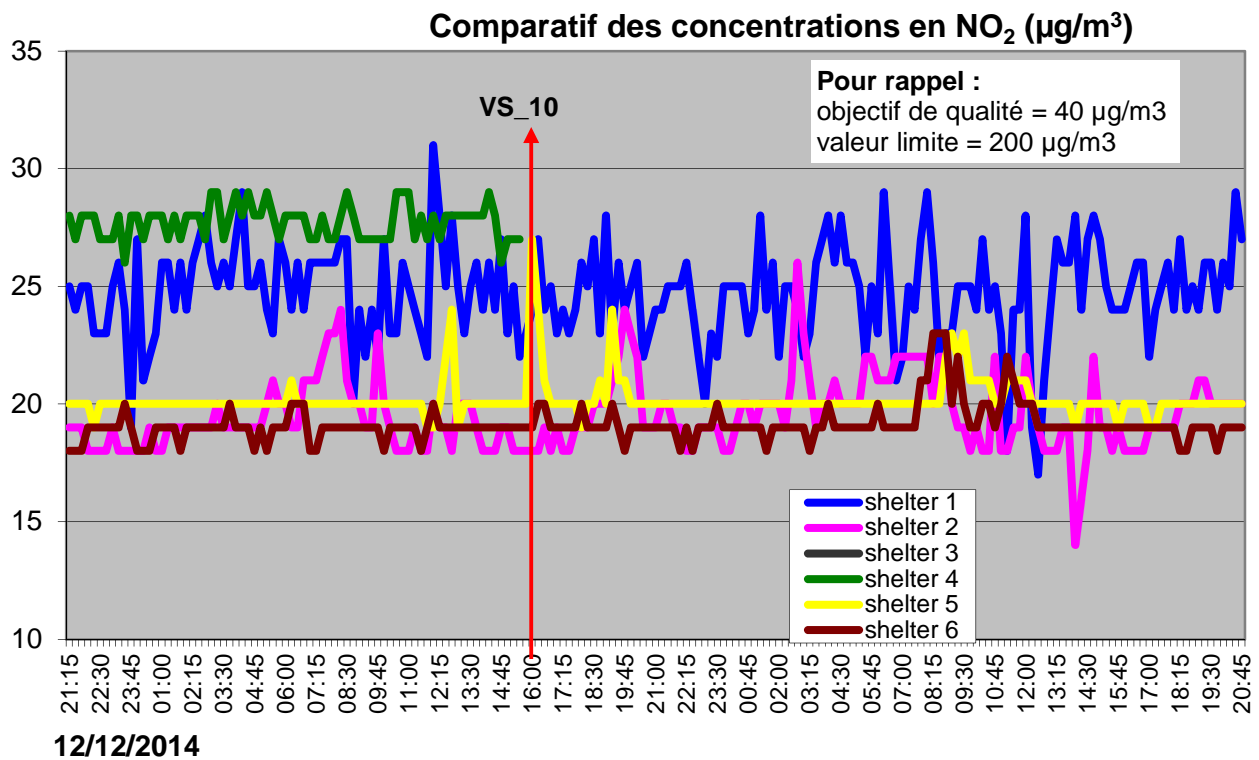
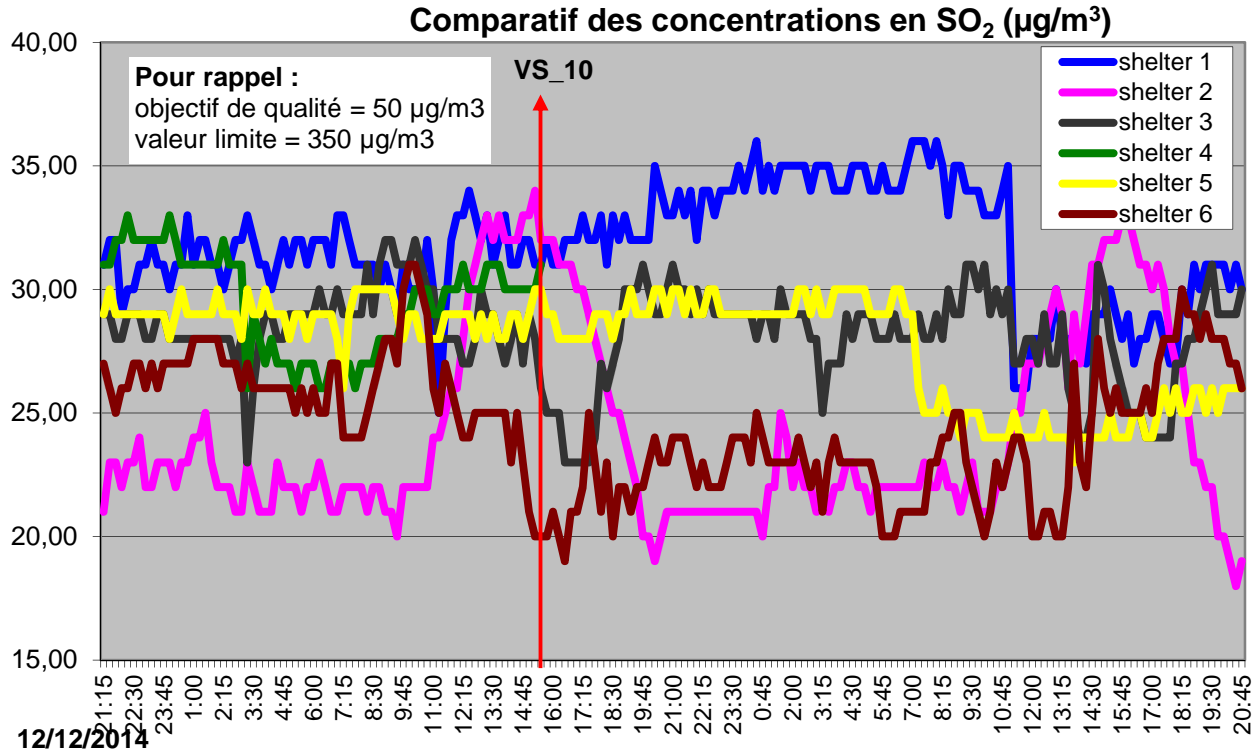
Ce suivi de qualité de l'air est effectué au moyen de 2 types d'appareillage :

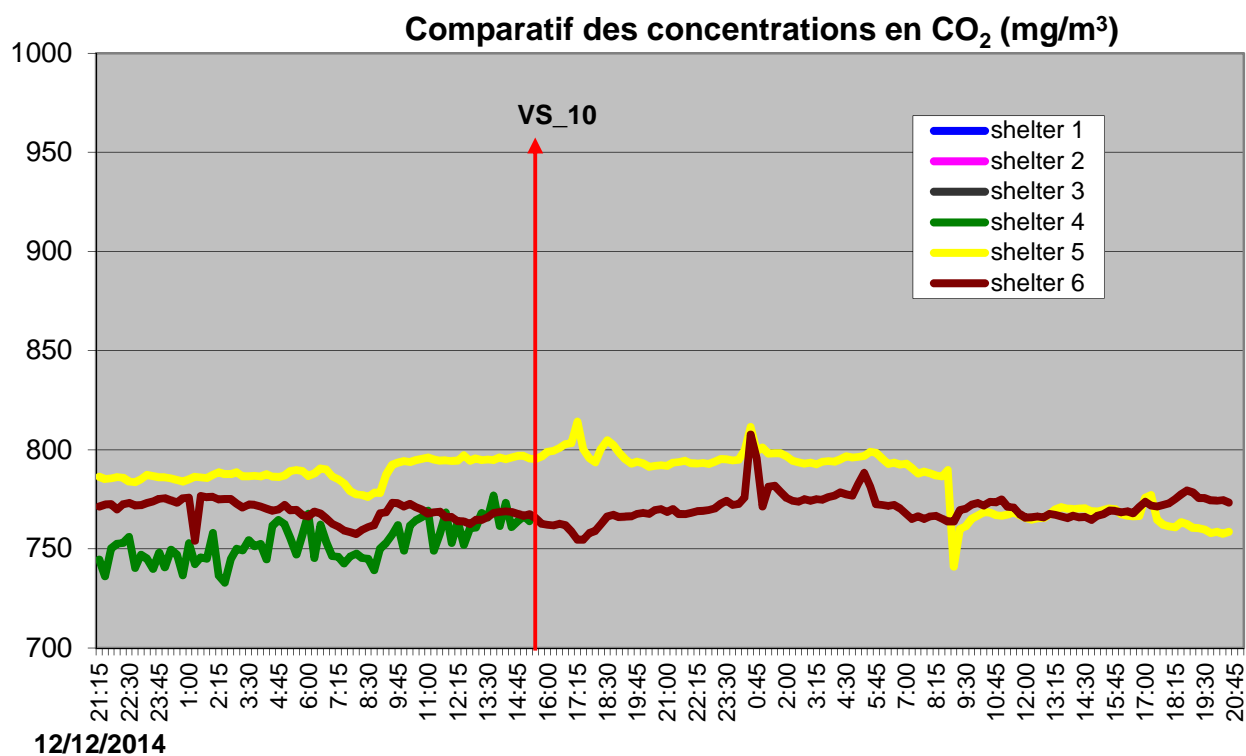
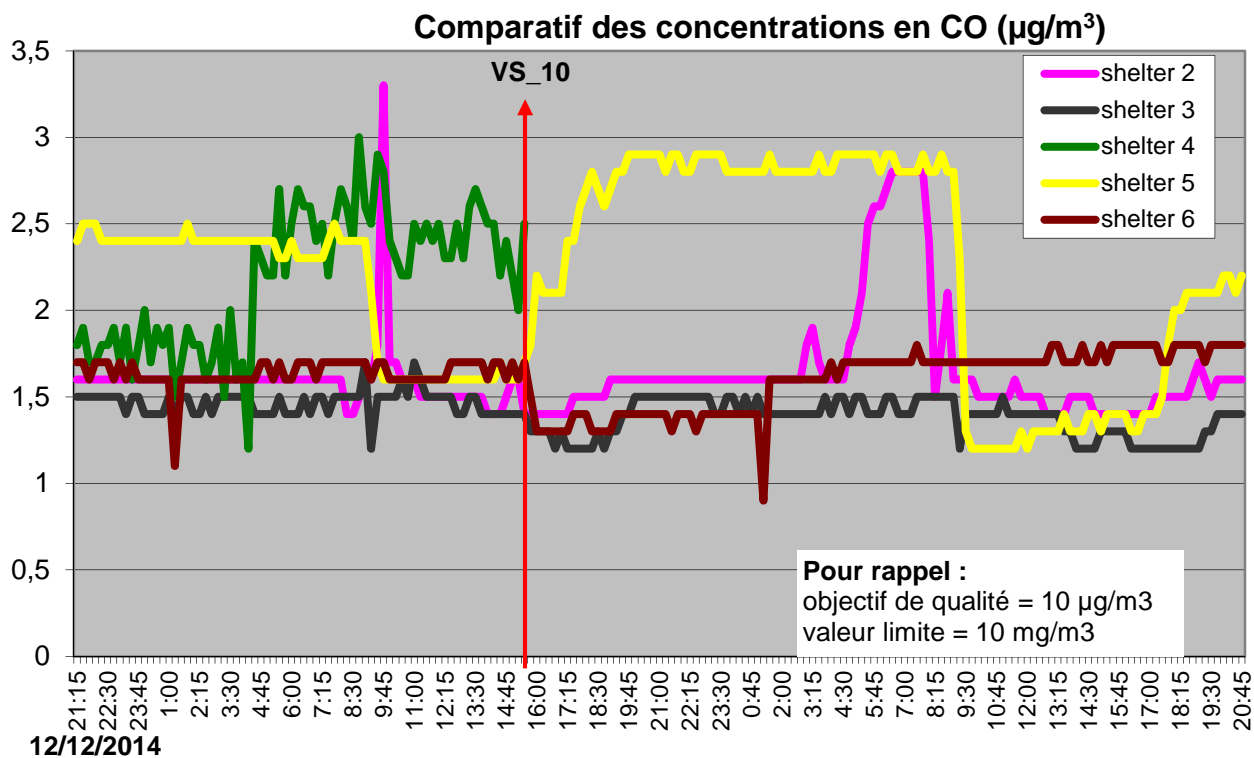
- Les analyseurs en continu de la marque ENVIRONNEMENT SA dont les points de mesures sont répartis sur les villes de Kourou et de Sinnamary, sur l'ensemble de lancement Soyuz ainsi qu'aux ELA,
- Les détecteurs de type SPM de la marque ZELLWEGER constituant le réseau CODEX.

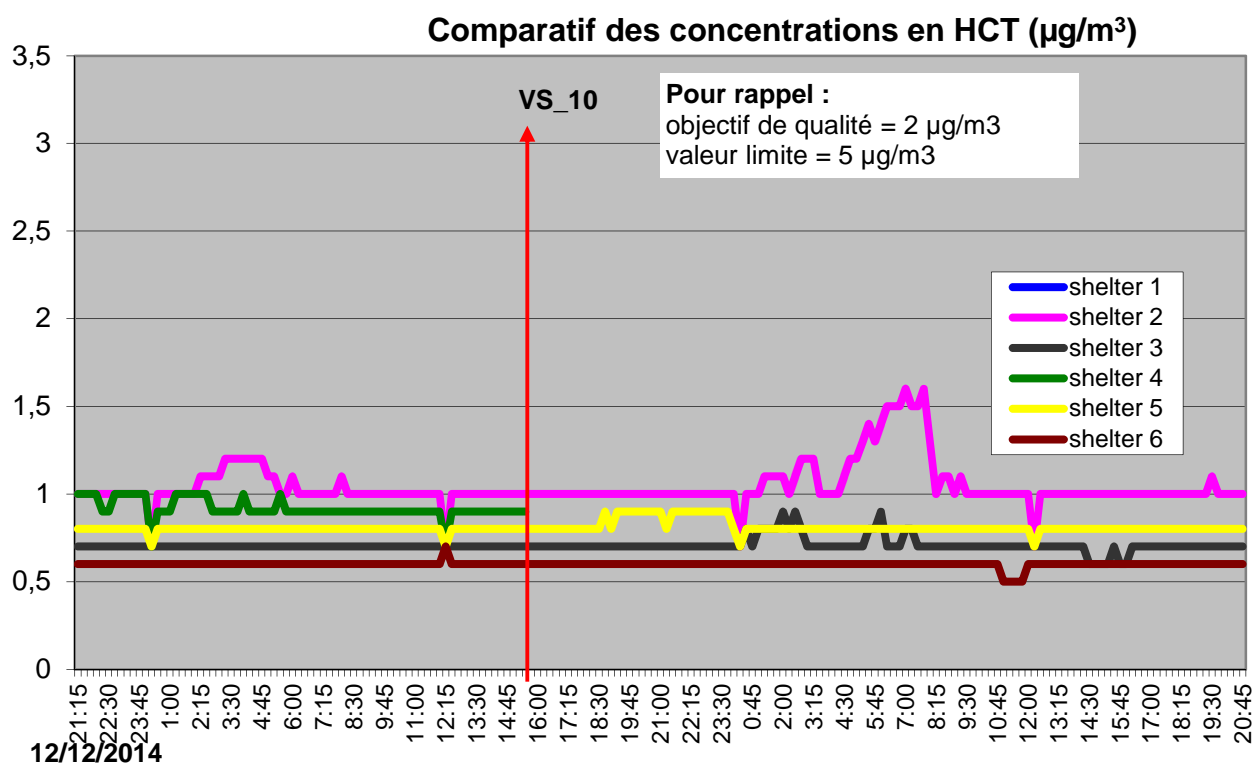
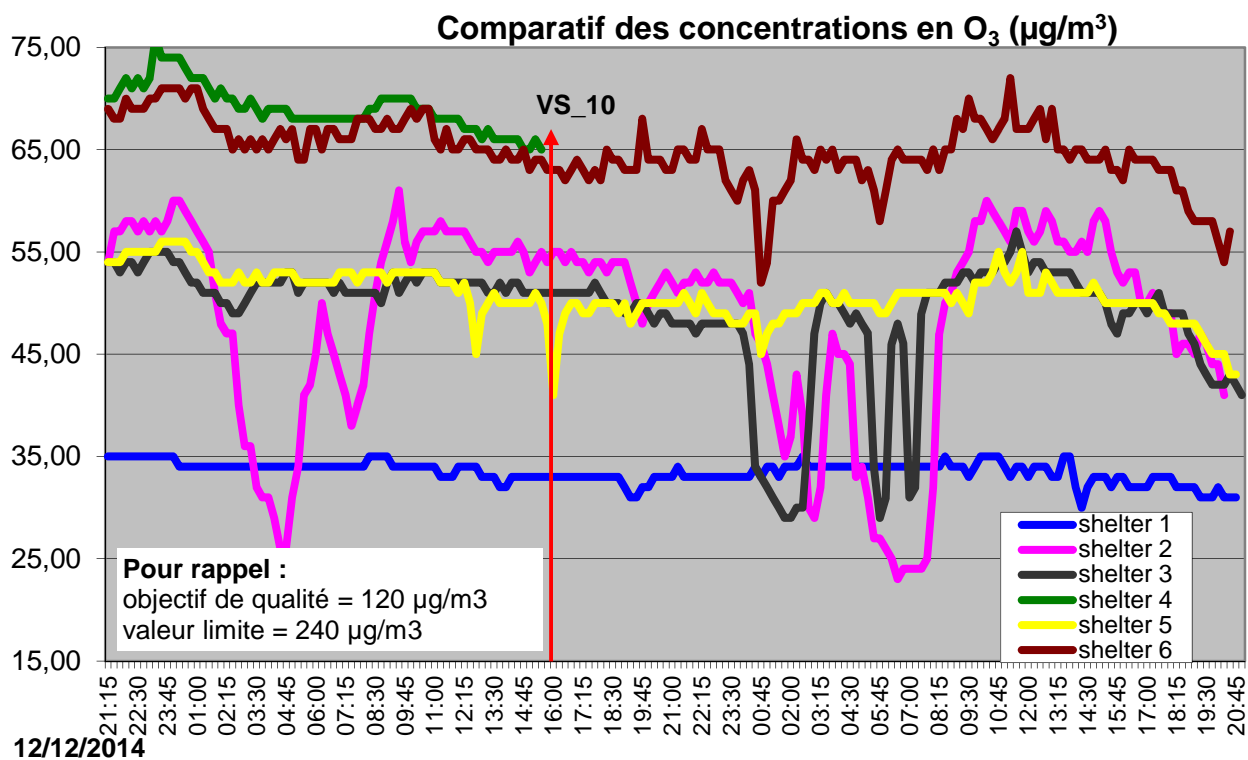
7.2. Résultats des mesures

7.2.1. Résultats des analyseurs en continu ENVIRONNEMENT SA

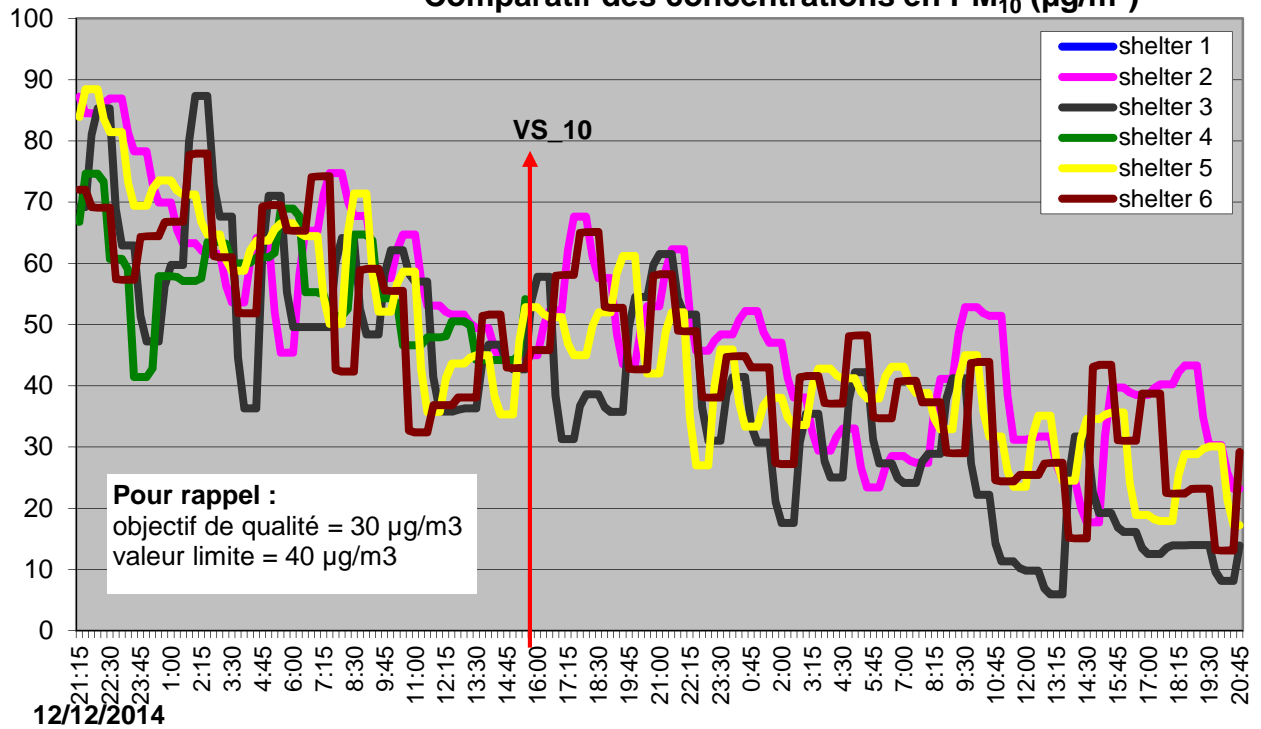
Les graphiques ci-dessous présentent, quant à eux, un comparatif des concentrations en produits de combustion à partir des résultats obtenus quelques heures avant et après le H0.



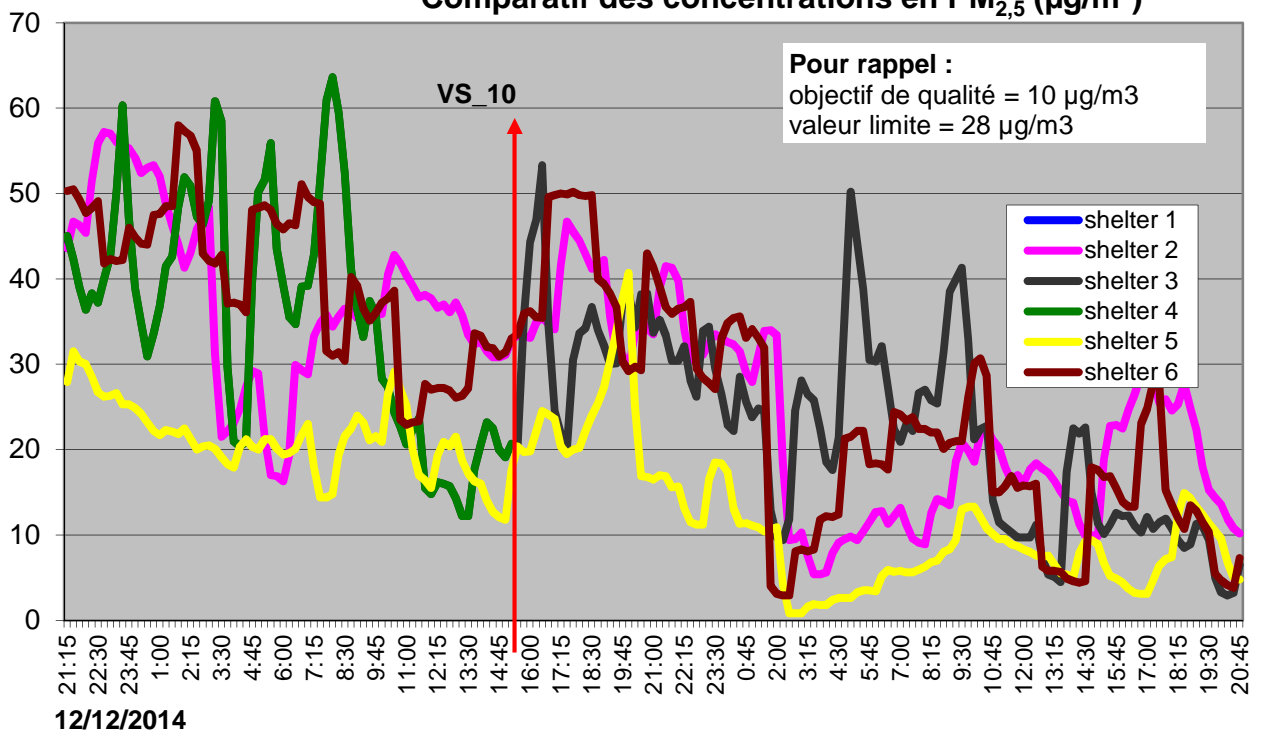




Comparatif des concentrations en PM₁₀ (µg/m³)



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 | Max | | | * | | Min |
| NO ₂ | | | HS | Max * | | Min |
| CO | HS | | Min | Max * | | |
| CO ₂ | HS | HS | HS | Min * | Max | |
| O ₃ | Min | | | Max * | | |
| HCT | HS | Max | | * | | Min |
| PM ₁₀ | HS | | Min | Max* | | |
| PM _{2,5} | HS | | | Max* | Min | |

* = Séries de données incomplètes

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 31,8 et 24,3 µg/m³ (concentration moyenne = 27,7 µg/m³). Les concentrations les plus fortes sont mesurées au niveau du shelter n°1 implanté à Kourou – Hôtel des Roches (à 28 Km de la zone de lancement – point 5). Les concentrations les plus basses ont, quant à elles, été quantifiées sur le point n°4 (Gendarmerie de Sinnamary- implanté à 15,9 km de la ZLS, Shelter 2).
Par ailleurs, en champ proche, les niveaux enregistrés sont équivalents à ceux du champ lointain. Aucune augmentation significative de la teneur en dioxyde de soufre n'a été mise en évidence après le lancement.
Ainsi, on peut conclure que :
 - les analyseurs n'ont pas détecté d'apports particuliers en SO₂ imputables au lancement VS 10 ; 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 mesurée sont tous similaires entre eux. Il est à noter que les teneurs quantifiées en champ proche (shelters 4 à 6) sont comparables aux concentrations du champ moyen et lointain, shelters 2 et 3. 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 NO₂. Les quantités détectée sont constituant 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 $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ; les valeurs maximales moyennes ont été atteinte sur le point 5 (Kourou – Hôtel des Roches, implanté 28 km de la ZLS, Shelter 2) avec une valeur de $3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
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. Les Capteurs n'ont pas mise en évidence des augmentations significatives après le décollage du VS 10. 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, les niveaux relevés 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 de COV n'est pas attribuable au lancement.
- 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. En prenant en compte l'homogénéité des niveaux enregistrés pour tous les shelters et la saison on peut conclure que les concentrations correspondent aux particules provenant du Sahara. 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. A noter qu'après le lancement il n'y a pas eu d'augmentations significatives en PM_{2,5}. On peut conclure que ces particules ne sont pas attribuables au lancement.

- Pour rappel, les résultats des simulations SARRIM (présentés au *paragraphe 6*) montrent que la « trace » de combustion s'est dirigée vers le carrefour Changement (PR 104 de la RN1). 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 10 aux résultats de VS 09 a VS01

Les histogrammes et le *Tableau 5* 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 en champ proche de VS 10 à VS 01 ainsi que des écarts type associés

| | | Concentrations moyenne sur 48h | | | | | | | | Ecart type (σ) sur 48h | | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------|------|-----------------|----------------|------|------------------|-------------------|------|
| | | SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | CO (mg/m^3) | CO ₂ (mg/m^3) | O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | HCT (mg/m^3) | PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | SO ₂ | NO ₂ | CO | CO ₂ | O ₃ | HCT | PM ₁₀ | PM _{2,5} | |
| 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 |
| | 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 |
| | 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 |

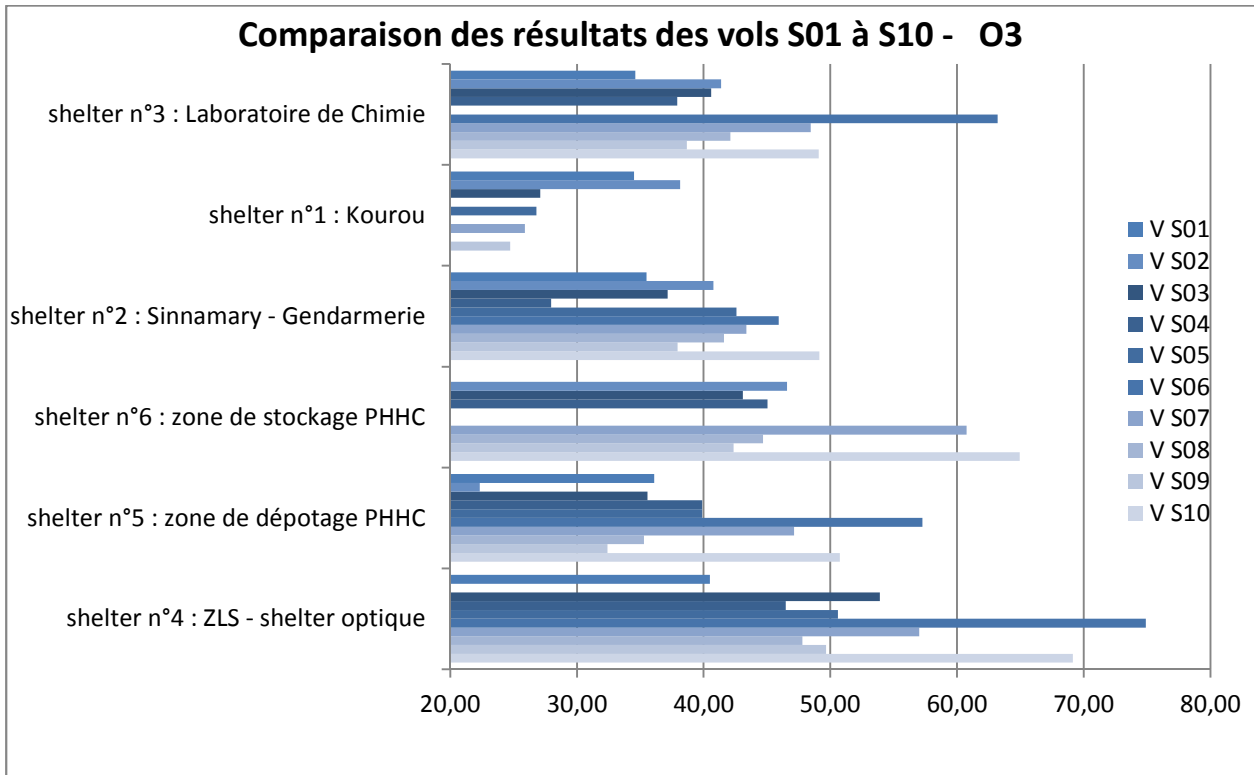
* = Série de données incomplète

Tableau 6 : Synthèse des résultats moyens en champ lointain de VS 10 à VS 01 ainsi que des écarts type associés

| | | 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) | ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | | | | |
| 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 |
| | 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. |
| | 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 | N.A. | 49,1 | 0,7 | 39,5 | 27,7 | 1,9 | NA | 0,1 | N.A. | 5,8 | 0,0 | 19,9 | 14,1 |

* = Série de données incomplète

- 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 comme pour les vols Soyuz 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 S10

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 S10 à ceux des vols VS 09 à VS 01 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 proches, moyen et lointain,
- les conclusions faites lors du rapport de présentation des résultats des précédents plans de mesures environnement Soyuz **[DR 5 à 13]**.