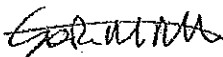




**RESULTATS DU PLAN DE MESURES ENVIRONNEMENT
SOYUZ ST-B VOL S05 DU 25 JUIN 2013 A 16H27 MN**

| | Nom et Sigle | Date et Signature |
|---------------------------|------------------------------|--|
| Préparé par | DEL BUFALO G. SDP/ES | 19/03/2015  |
| Vérifié par | S.O. | |
| Approuvé par | RICHARD S. SDP/ES | 19/03/15  |
| Application autorisée par | TRINCHERO J.P. SDP/ES | le 27/03/2015  |

DIFFUSION

| destinataires | Nb |
|---------------------|----|
| ADEME | 1 |
| AE/DP/K | 1 |
| AE/DP/K/SE | 1 |
| CG/COM | 1 |
| CNES/PARIS - DP/CME | 1 |
| DEAL | 1 |
| ESA/K | 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 | 06/02/2015 | TOUTES | CREATION / DEL BUFALO G. et RICHARD S. |

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 S05..... | 8 |
| 5. LOCALISATION DES POINTS DE MESURES | 9 |
| 6. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES..... | 10 |
| 6.1. DONNEES BRUTES DU RADIOSONDAGE 5R250613 | 11 |
| 6.2. SIMULATION SARRIM A PARTIR DU RADIOSONDAGE 5R250613 | 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 du vol S05 aux résultats des vols S01, S02, S03 et S04.....</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 S05..... | 35 |

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 **O3B F1 (4 S/C)**. Le **vol S05** a eu lieu le **25 juin 2013 à 16 heures 27 minutes** en heure locale, soit 19 heures 27 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 7]**.

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.
- [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 23h03
- [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

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 |
| 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 |
| 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 S05

Les domaines couverts par le plan de mesures Vol S05 [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 Soyouz. La quantification des concentrations en monoxyde de carbone (CO), en dioxyde de carbone (CO₂), en oxydes d'azote (NO_x), en oxydes de soufre (SO_x), en ozone (O₃), en composés organiques volatiles et hydrocarbures (COV / HCT) et en particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) a lieu sur 6 sites (villes de Kourou, de Sinnamary, Ensemble de Lancement 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 S05 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 0 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 5R250613

Le jour du lancement, à H0 +44 minutes, un radiosondage spécifique a été effectué (**référence 5R250613** du 25 juin 2013). Il donne des informations sur trois cent vingt-cinq couches distinctes tous les cent mètres.

Tableau 2 : Données météorologiques issues du radiosondage 5R250613 pour les couches atmosphériques représentatives.

| ALTITUDE (mètres) | PRESSION (mb) | VITESSE DU VENT (m/s) | VENT EN PROVENANCE (°) | TEMPERATURE (°C) | HUMIDITE (%) |
|-------------------|---------------|-----------------------|------------------------|------------------|--------------|
| 12 | 1 010,5 | 5 | 30 | 27 | 88 |
| 100 | 1 000,5 | 3,9 | 48 | 26,1 | 80,4 |
| 500 | 956,1 | 5,6 | 45 | 23,9 | 79,3 |
| 1000 | 902,9 | 5,4 | 76 | 20,8 | 81,2 |
| 1500 | 852,1 | 3,5 | 78 | 18,4 | 77,8 |
| 2000 | 803,7 | 6,7 | 67 | 14,8 | 94,9 |
| 2500 | 757,6 | 8,7 | 57 | 13,1 | 85,9 |
| 3000 | 713,7 | 7,7 | 64 | 10,6 | 91,3 |
| 3500 | 672 | 9,8 | 56 | 7,5 | 98 |
| 4000 | 623,5 | 10,9 | 62 | 6,5 | 52,1 |

6.2. Simulation SARRIM à partir du radiosondage 5R250613

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) | 456 |
| BASSES COUCHES DE L'ATMOSPHERE (pour une altitude allant du sol jusqu'à la hauteur de stabilisation) | |
| - Vitesse moyenne des vents (m/s) | 5,3 |
| - Direction moyenne des vents (°) | 56 |
| ⇒ Les vents sont orientés vers | Point kilométrique PR 097 |
| HAUTES COUCHES DE L'ATMOSPHERE (pour une altitude allant de la hauteur de stabilisation jusqu'à 4000 m) | |
| - Vitesse moyenne des vents (m/s) | 7,7 |
| - Direction moyenne des vents (°) | 66 |
| ⇒ Les vents sont orientés vers | Point kilométrique PR 097 |

Figure 1 : Retombées en dioxyde de carbone en champ proche

RS du 06/25/2013 a 20:11:0.00 (TU)

C pic CO2 (ppm)

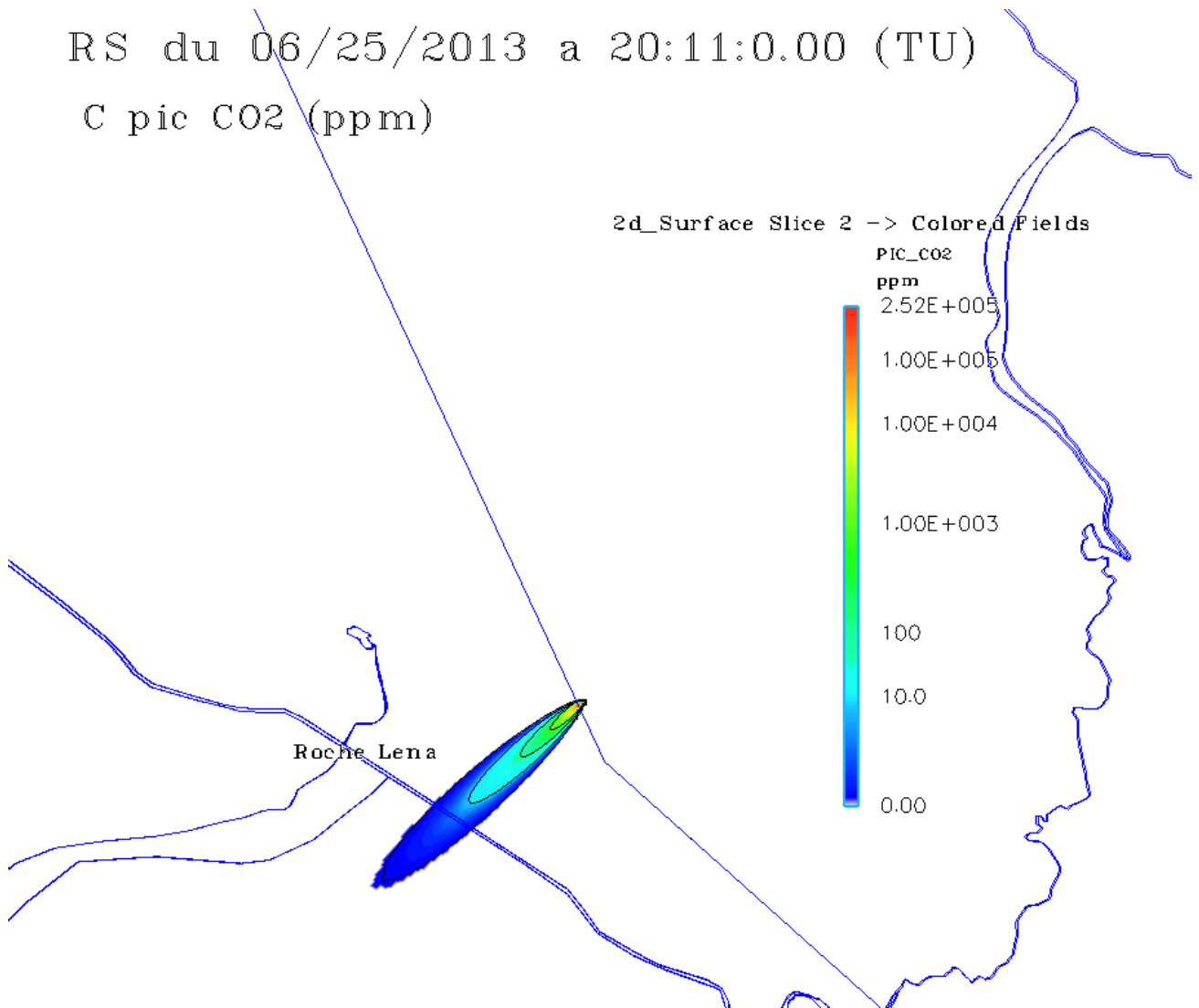


Figure 2 : Retombées en dioxyde de carbone en champ lointain

RS du 06/25/2013 a 20:11:0.00 (TU)

C pic CO2 (ppm)

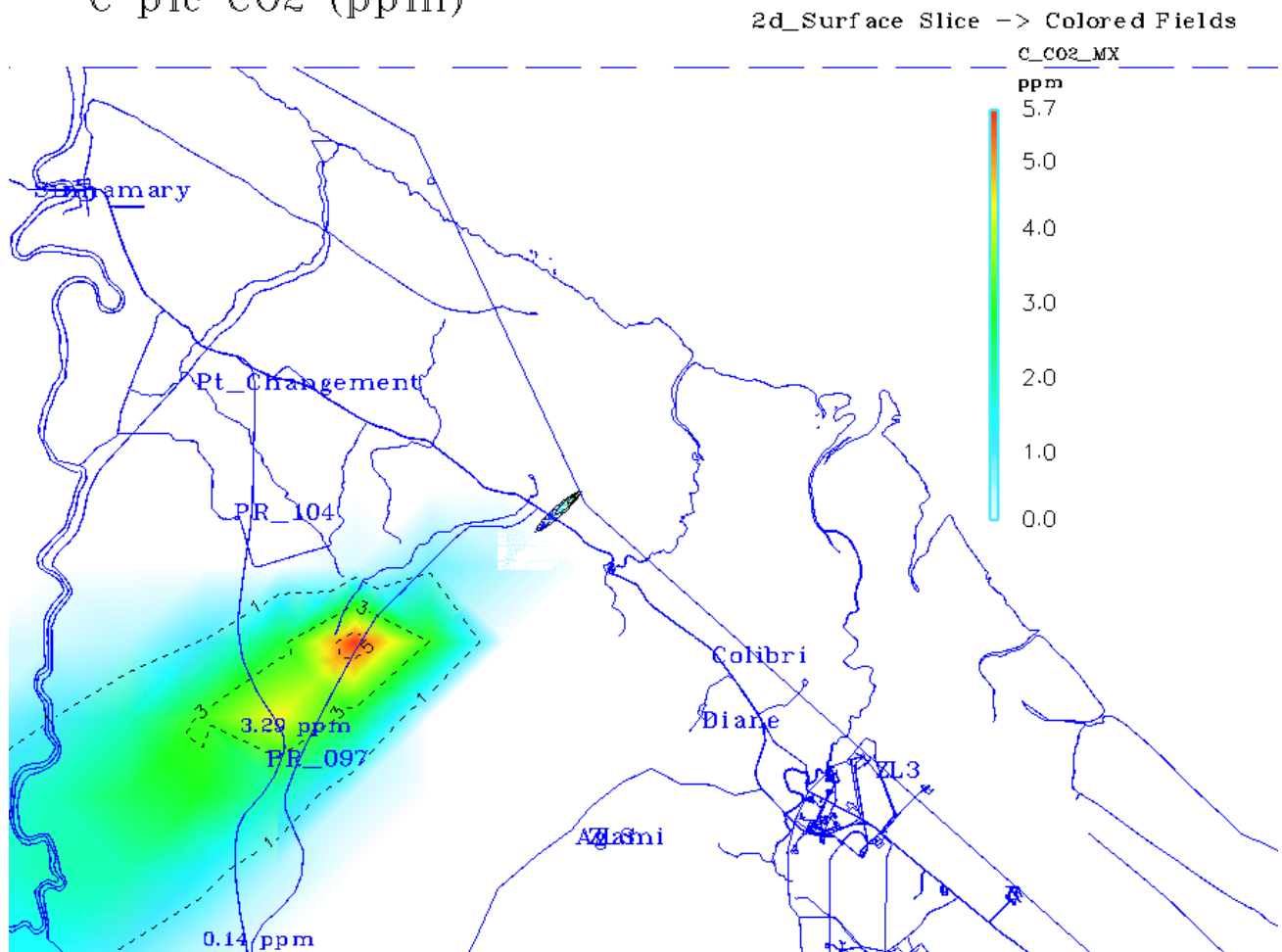


Figure 3 : Retombées en monoxyde de carbone en champ proche

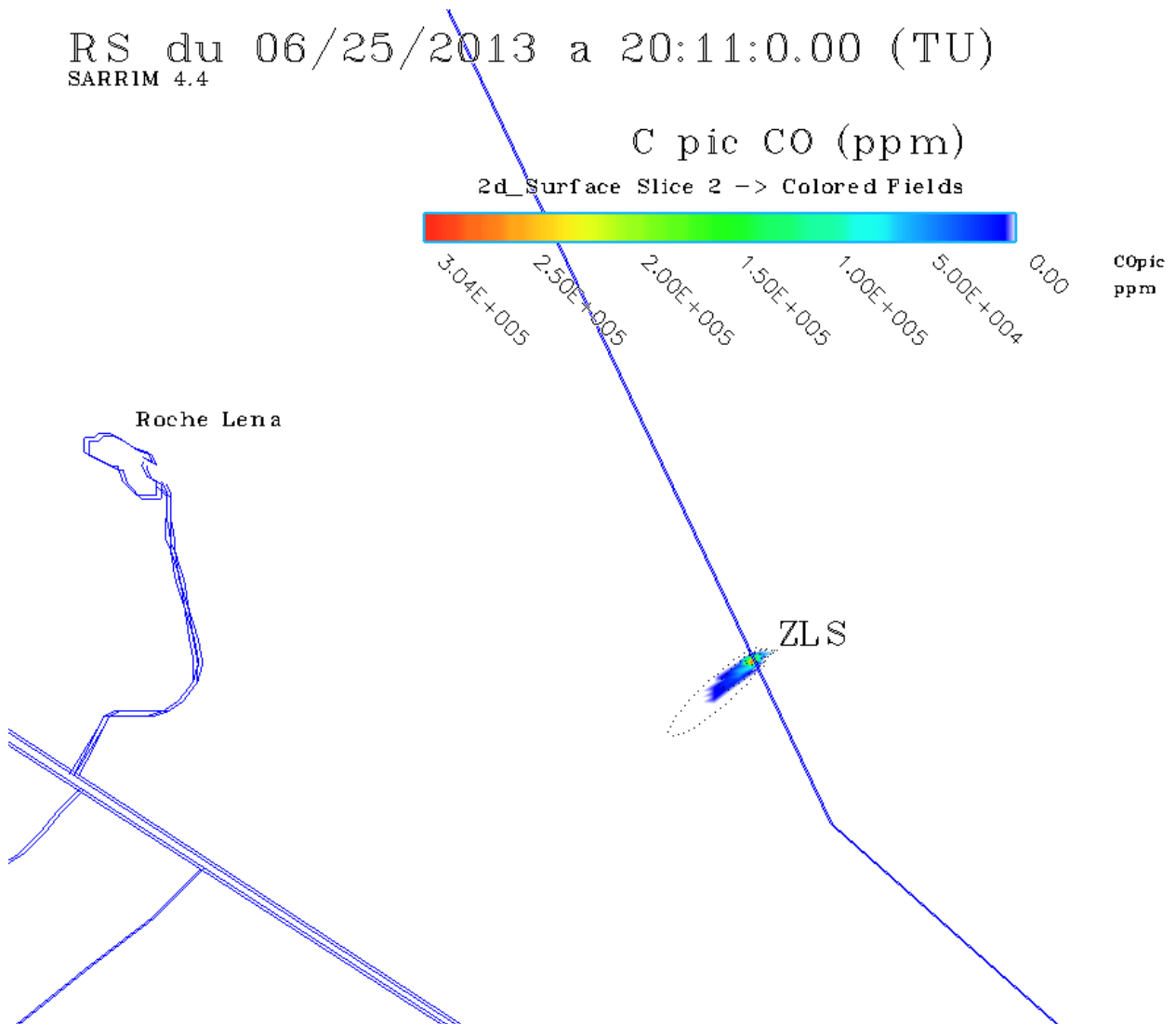
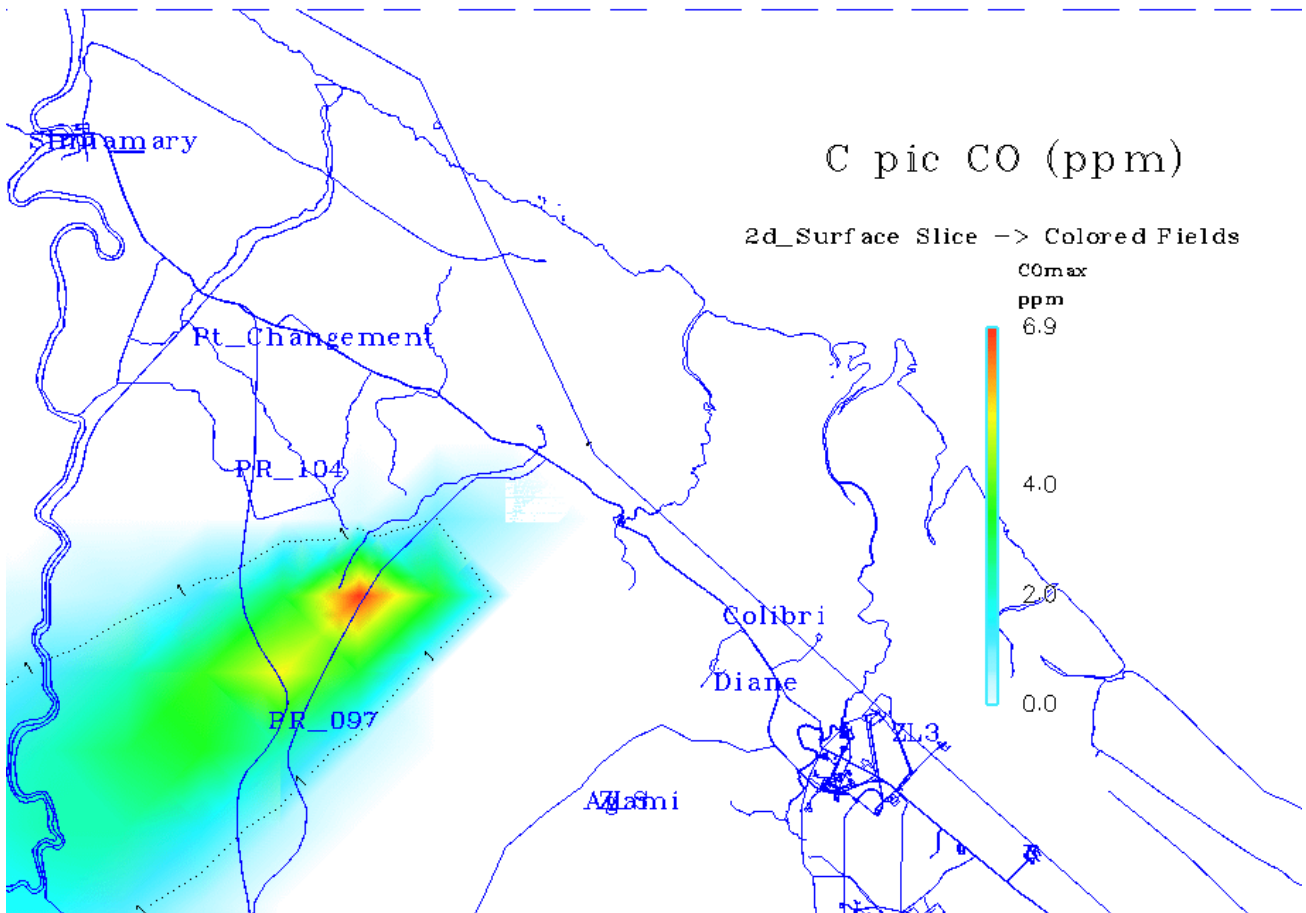


Figure 4 : Retombées en monoxyde de carbone en champ lointain

RS du 06/25/2013 a 20:11:0.00 (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 :

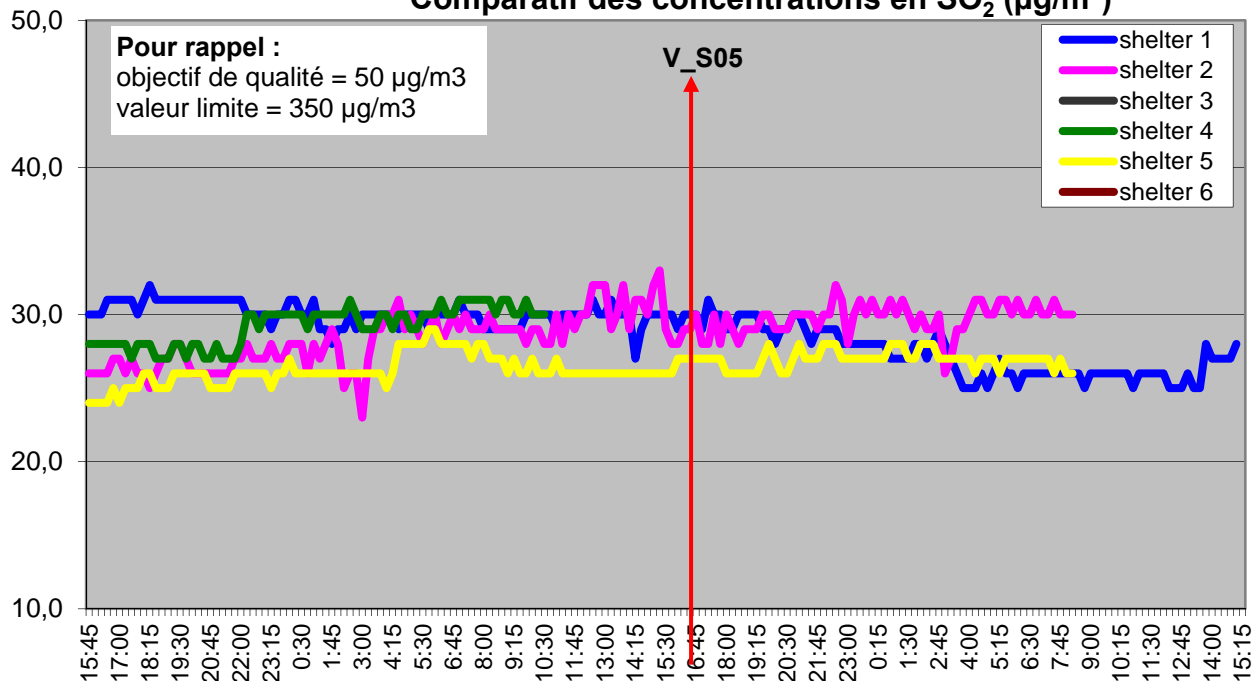
- Les analyseurs en continu de la marque ENVIRONNEMENT SA dont les points de mesures sont répartis sur les villes de Kourou et de Sinnamary, sur l'ensemble de lancement Soyuz ainsi qu'aux ELA,
- Les détecteurs de type SPM de la marque ZELLWEGER constituant le réseau CODEX.

7.2. Résultats des mesures

7.2.1. Résultats des analyseurs en continu ENVIRONNEMENT SA

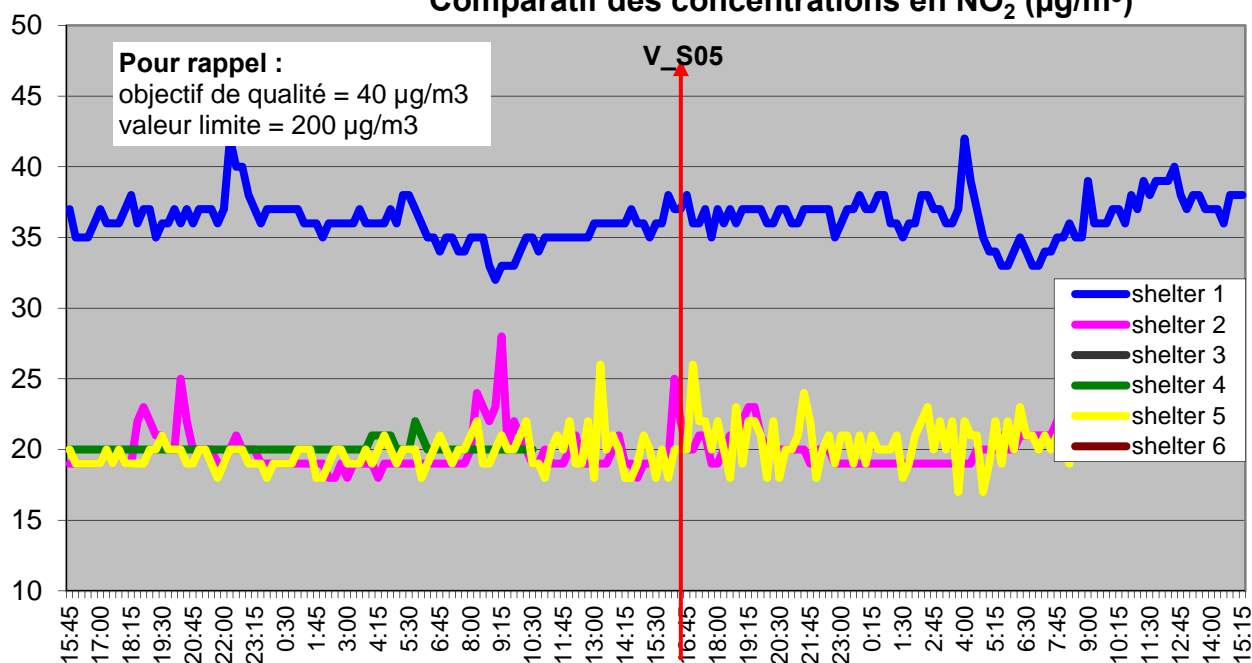
Les graphiques ci-dessous présentent, quant à eux, un comparatif des concentrations en produits de combustion à partir des résultats obtenus quelques heures avant et après le H0.

Comparatif des concentrations en SO₂ (µg/m³)



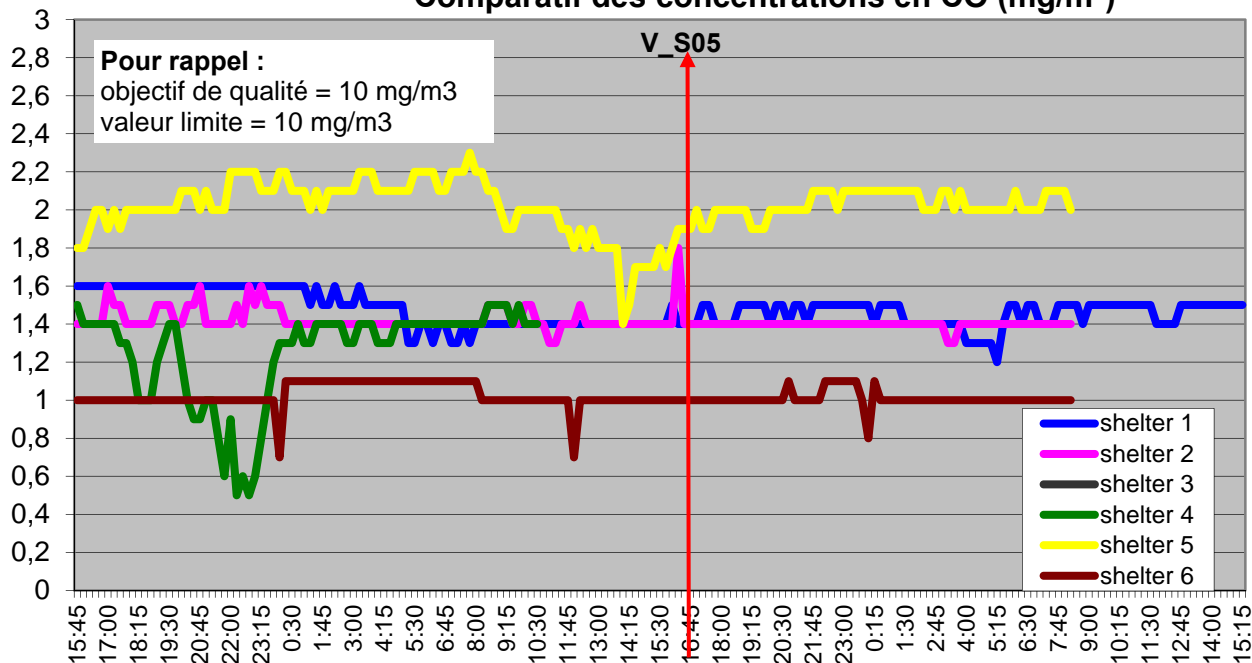
24/06/2013

Comparatif des concentrations en NO₂ (µg/m³)



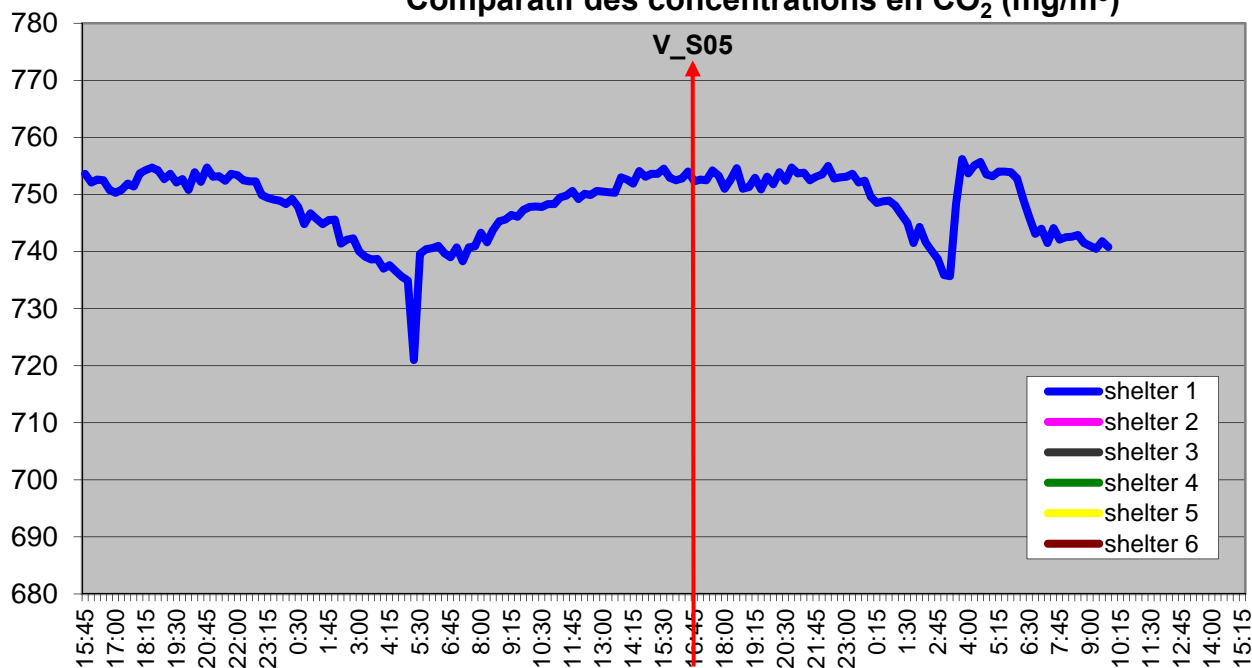
24/06/2013

Comparatif des concentrations en CO (mg/m³)



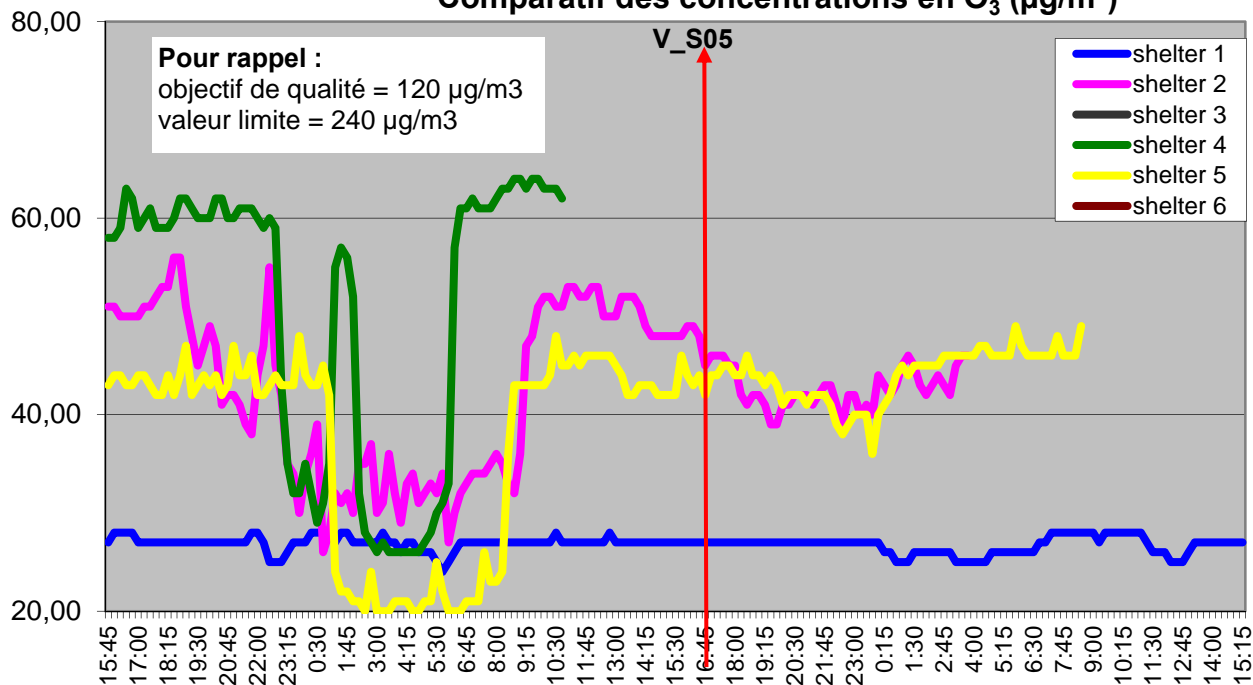
24/06/2013

Comparatif des concentrations en CO₂ (mg/m³)



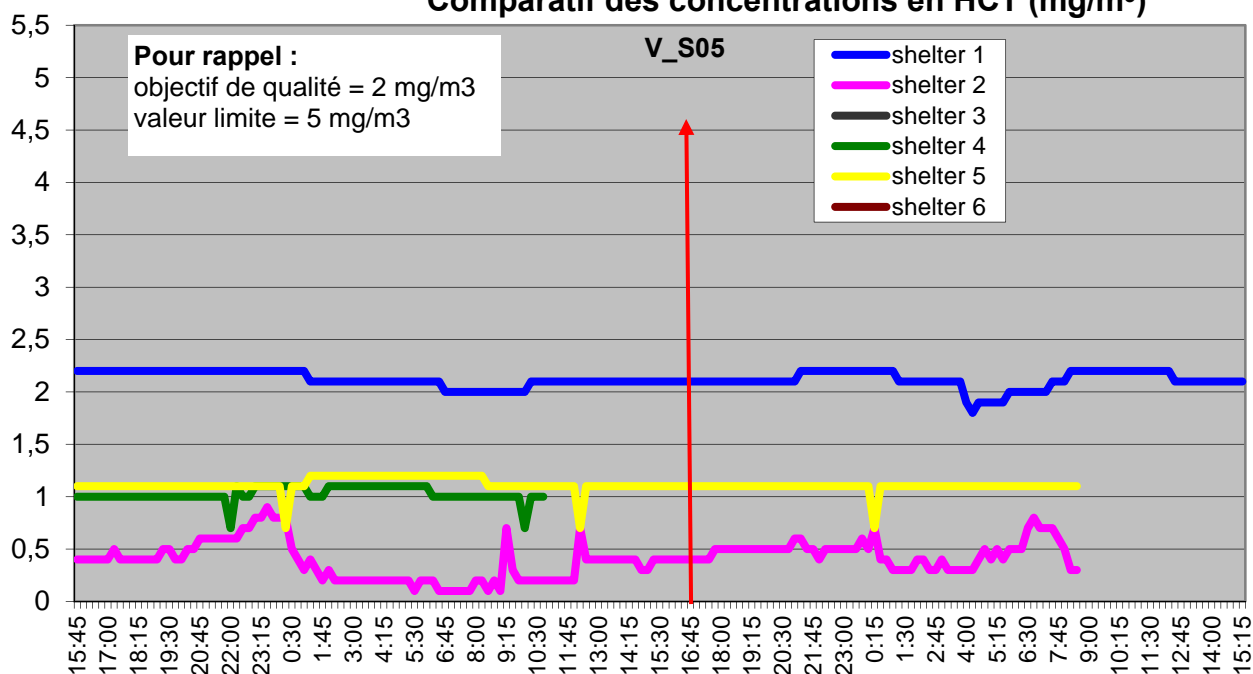
24/06/2013

Comparatif des concentrations en O₃ (µg/m³)



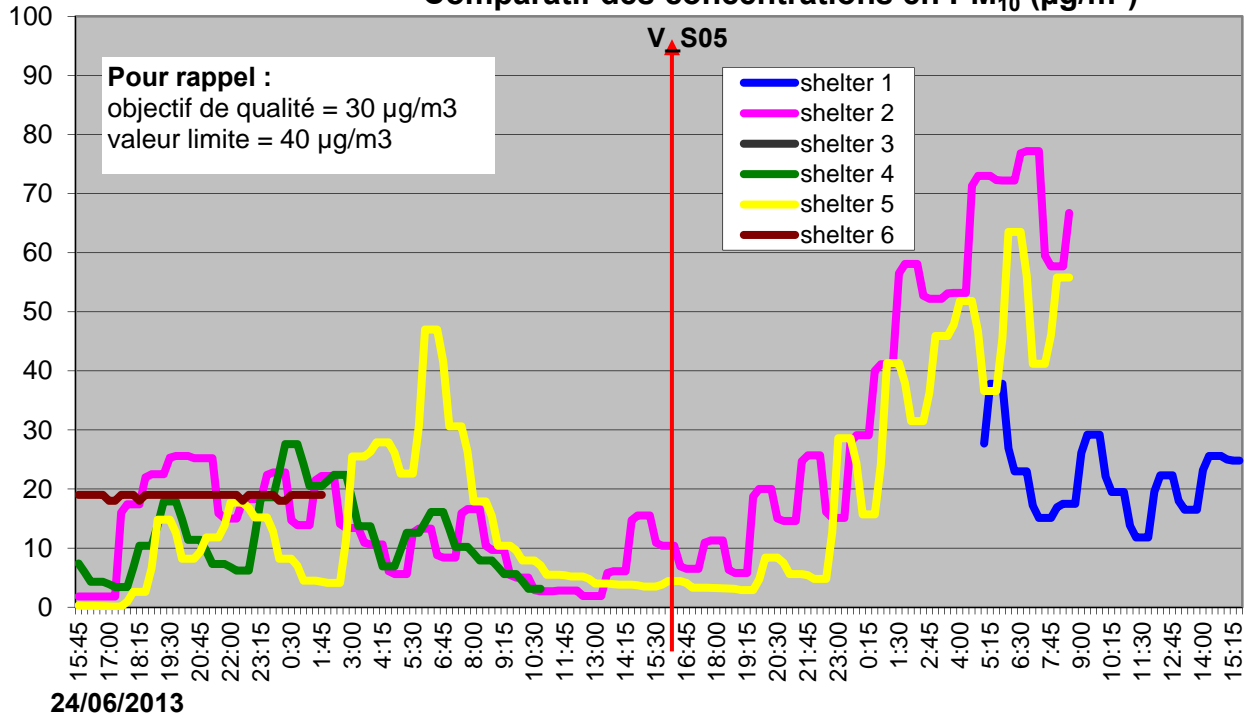
24/06/2013

Comparatif des concentrations en HCT (mg/m³)

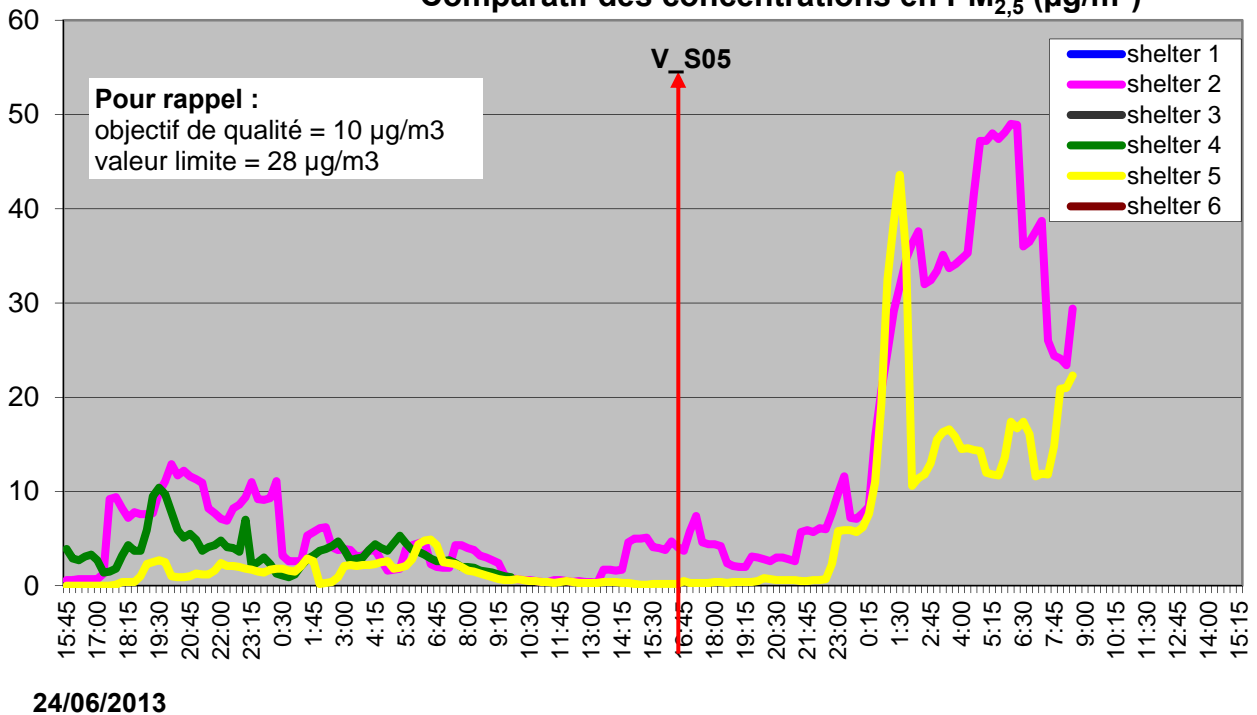


24/06/2013

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 | max ## | min ### | HS |
| NO ₂ | max | ### | HS | ## | min ### | HS |
| CO | | ### | HS | min ## | max ### | ### |
| CO ₂ | | HS | HS | HS | HS | HS |
| O ₃ | min | ### | HS | max ## | ### | HS |
| HCT | max | min ### | HS | ## | ### | HS |
| PM ₁₀ | | max ### | HS | ## | min ### | # |
| PM _{2,5} | HS | max ### | HS | ## | min ### | HS |

= Valeur moyenne sur 14h max

= Valeur moyenne sur 19h

= Valeur moyenne sur 34h max

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

Remarque :

- 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 26,5 et 29,2 µg/m³ (concentration moyenne = 28,3 µg/m³). Les concentrations moyennes les plus fortes sont mesurées au niveau du point 4 (à 15,9 km mètres de la zone de lancement – Shelter 2 Gendarmerie de Sinnamary). Les concentrations moyennes les plus basses, quant à elles, ont été quantifiées sur le point 2 (implanté à 550 mètres de la ZLS - shelter n°5).
Il est à noter que l'analyseur des points 6 et 3 n'a pas fonctionné correctement sur la période de mesures.
Par ailleurs, en champ proche (point 1 à 3), les niveaux enregistrés sont comparables à ceux du champ lointain. Enfin, 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 V S05 ; 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 NO₂ : La teneur en NO₂ mesurée en dehors du territoire du CSG (Kourou - Shelter 1 / Sinnamary – Shelter 2) est moyennement supérieure à celle détectée sur les autres points de mesures (36,3 µg/m³ contre 20 µg/m³). En effet, les concentrations moyennes de NO₂ détectées au niveau des points 4 et 5 sont respectivement de 20.1 µg/m³ et 20,0 µg/m³.
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, sauf la station de Kourou qui a dépassé le seuil de 40 µg/m³ en deux occasions.
Néanmoins, on peut conclure que les analyseurs n'ont pas détecté d'apports particuliers en NO₂ dû à l'activité de lancement. Les valeurs mesurées correspondent au bruit de fond.
- 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 légèrement supérieures à celles du champ lointain (0,6 µg/m³ d'écart) ; les valeurs maximales étant atteintes au niveau du point 2 (Shelter 5 - implanté à 550 mètres de la ZLS). Les 2 autres points du champ proches ont été ou hors de service (point 2) ou ont atteint des niveaux moyennes inférieures (1 µg/m³ d'écart).
- graphique CO₂ : Le graphique ne montre pas d'apport en CO₂ attribuable au lancement Soyuz. Les valeurs sont constantes sur la plage de mesures. La courbe montre des variations des concentrations en fonction du temps. Cela coïncide aux phénomènes de photosynthèse et de respiration de la végétation : consommation de CO₂ la journée et production de CO₂ la nuit. Pour rappel, 50% du territoire du CSG est recouvert par de la forêt primaire et secondaire (soit environ 350 km²)
- 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 dernières 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 nyctémérale). 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 au niveau des shelters n°1, 2, 4 et 5. Les niveaux relevés en ces points 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 ailleurs nous rappelons que les HCT sont dû aux émissions:
 - de la végétation (présence de mangrove à proximité immédiate du shelter),
 - des voies de circulation (présence de parkings et de routes aux alentours).Par conséquent, la présence de COV enregistrées par les shelter n'est pas attribuable au lancement VS 05.
- graphique PM10 : Des PM10 ont été détectées en très fortes concentrations 8h après le décollage du V S05 (dépassant l'objectif de qualité et la valeur limite) en champ proche (Shelter 6 et Shelter 5) et à Sinnamary (Shelter 2). Ce phénomène est la conséquence d'apports naturels particulièrement importants lors de la grande saison sèche. Compte tenu de ces très forts apports naturels, nous ne pouvons pas distinguer la contribution du VS 05 et en conclure quant à l'impact de la « trace » de combustion
- graphique PM_{2.5} : Pendant le période de mesures, les analyseurs des shelters 2, 5 et 6 n'ont pas fonctionné correctement sur la période de mesures. Les autres analyseurs ont été hors service. Les données utilisées ont montré des pics attribuables à de phénomènes d'origine naturelle liée à la saison sèche (particules provenant 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 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 05. 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 S05 aux résultats des vols S01, S02, S03 et S04

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 S05 avec V S01 V S02 V S03 et V S04 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 | 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 | 0,43 | 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 * | 3,01 | 0,00 | 0,00 | 4,69 | 1,70 | 0,08 | 3,67 | 1,74 |
| | | 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 |
| | 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 | 3,14 | 1,68 | 0,18 | 82,12 | 9,75 | N.A. | N.A. | N.A. |
| | | V S03 | 26,8 | 20,5 | 2,1 | 756,6 | 35,6 | 1,2 | HS | HS | 2,13 | 0,93 | 0,10 | 52,09 | 1,06 | 0,08 | 9,87 | N.A. |
| | | 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 |
| | 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 | 2,16 | 1,13 | 0,07 | 57,64 | 11,15 | 0,65 | 13,66 | 3,75 |
| | | V S03 | HS | 16,1 **** | 1,4 **** | 644,1 **** | 43,1 **** | 1,4 **** | 67,1 **** | HS | N.A. | 7,43 | 0,64 | 297,89 | 18,11 | 0,59 | N.A. | 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 | 3,83 |
| | | 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. |
| 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 | 1,61 | 2,79 | N.A. | N.A. | 8,21 | N.A. | N.A. | N.A. |
| | | V S03 | 26,6 | 21,1 | 1,5 | 747,0 | 37,2 | HS | HS | HS | 3,24 | 1,43 | 0,07 | 31,84 | 1,43 | N.A. | N.A. | 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 |
| | 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 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 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. |
| | 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. |

* Valeur moyenne sur 5h

Valeur moyenne sur 14h max

** Valeur moyenne sur 20h

Valeur moyenne sur 19h

*** Valeur moyenne sur 35h

Valeur moyenne sur 34h max

**** Valeur moyenne sur 40h

| | | | 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 | 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 | 0,43 | 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 * | 3,01 | 0,00 | 0,00 | 4,69 | 1,70 | 0,08 | 3,67 | 1,74 |
| | | 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 |
| | 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 | 3,14 | 1,68 | 0,18 | 82,12 | 9,75 | N.A. | N.A. | N.A. |
| | | V S03 | 26,8 | 20,5 | 2,1 | 756,6 | 35,6 | 1,2 | HS | HS | 2,13 | 0,93 | 0,10 | 52,09 | 1,06 | 0,08 | 9,87 | N.A. |
| | | 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 |
| | 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 | 2,16 | 1,13 | 0,07 | 57,64 | 11,15 | 0,65 | 13,66 | 3,75 |
| | | V S03 | HS | 16,1 **** | 1,4 **** | 644,1 **** | 43,1 **** | 1,4 **** | 67,1 **** | HS | N.A. | 7,43 | 0,64 | 297,89 | 18,11 | 0,59 | N.A. | 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 | 3,83 |
| | | 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. |
| 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 | 1,61 | 2,79 | N.A. | N.A. | 8,21 | N.A. | N.A. | N.A. |
| | | V S03 | 26,6 | 21,1 | 1,5 | 747,0 | 37,2 | HS | HS | HS | 3,24 | 1,43 | 0,07 | 31,84 | 1,43 | N.A. | N.A. | 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 |
| | 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. |

* Valeur moyenne sur 5h

Valeur moyenne sur 14h max

** Valeur moyenne sur 20h

Valeur moyenne sur 19h

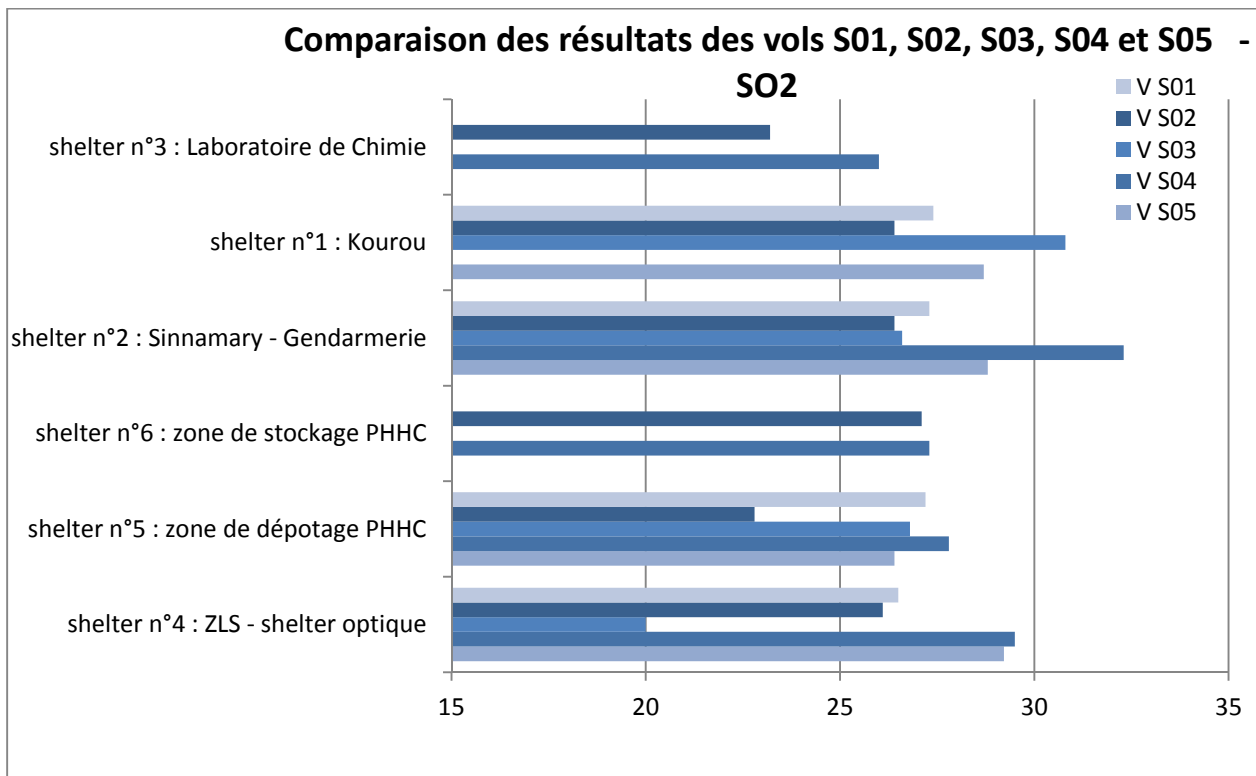
*** Valeur moyenne sur 35h

Valeur moyenne sur 34h max

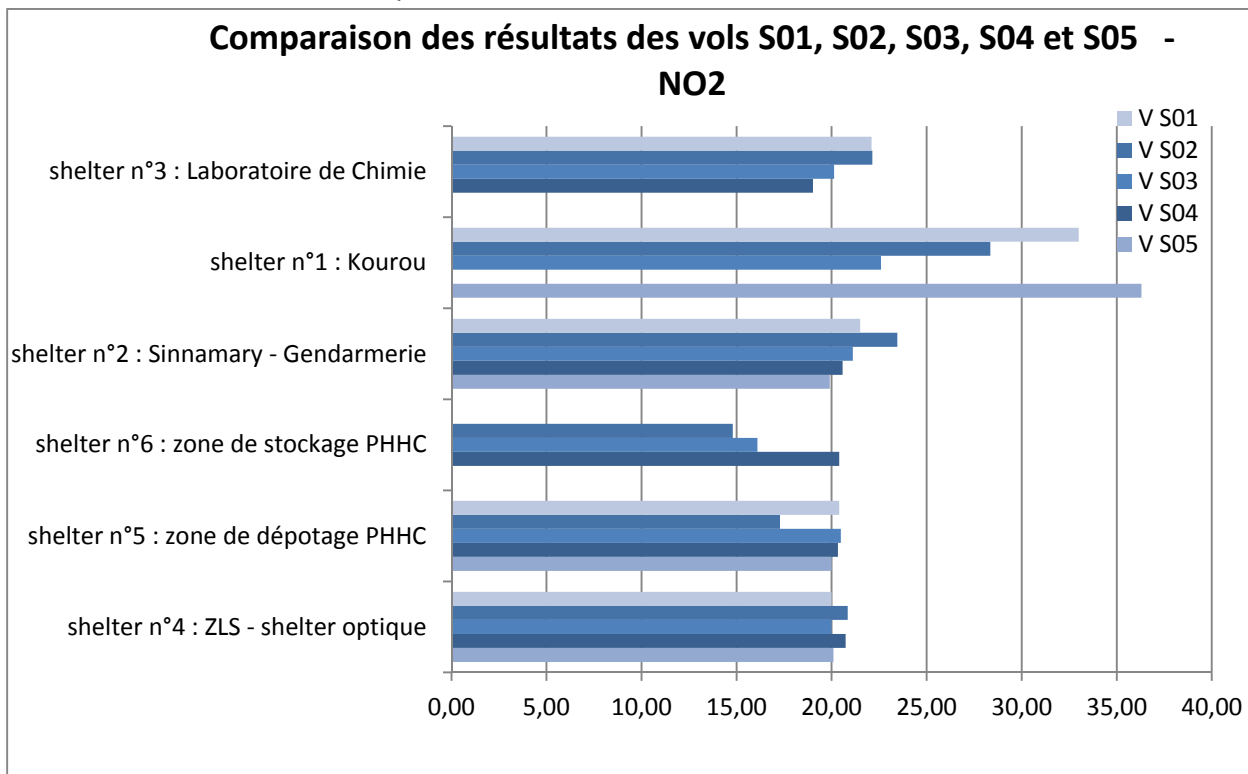
**** Valeur moyenne sur 40h

Remarque:

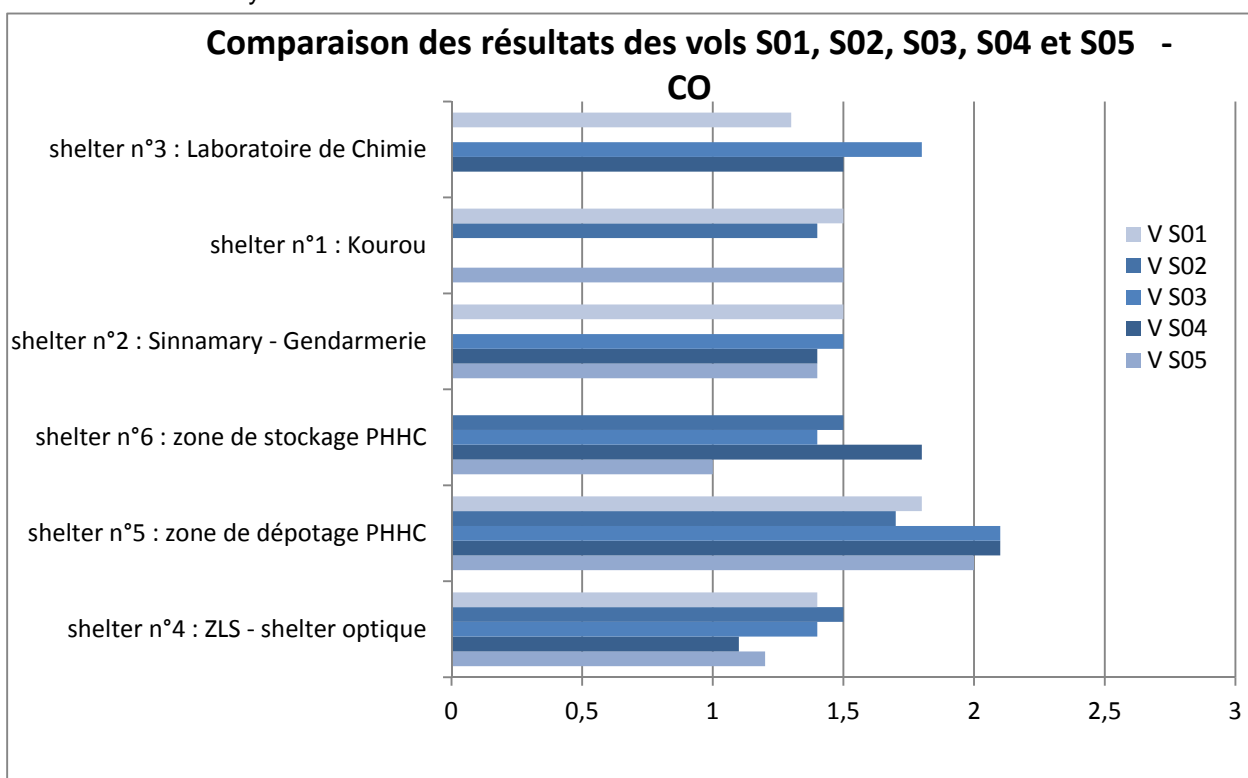
- SO₂ : Les teneurs en SO₂ quantifiées lors de la campagne de mesures pour V S05 sont comparables avec les valeurs obtenues pendant les autres campagnes. Les taux du SO₂ mesurés hors du périmètre du CSG sont comparables avec ceux mesurés autour de la ZLS. Par conséquent, les analyseurs en continu n'ont pas quantifié d'apports imputables au lancement V S05. Ils ont mesuré la qualité de l'air ambiant.



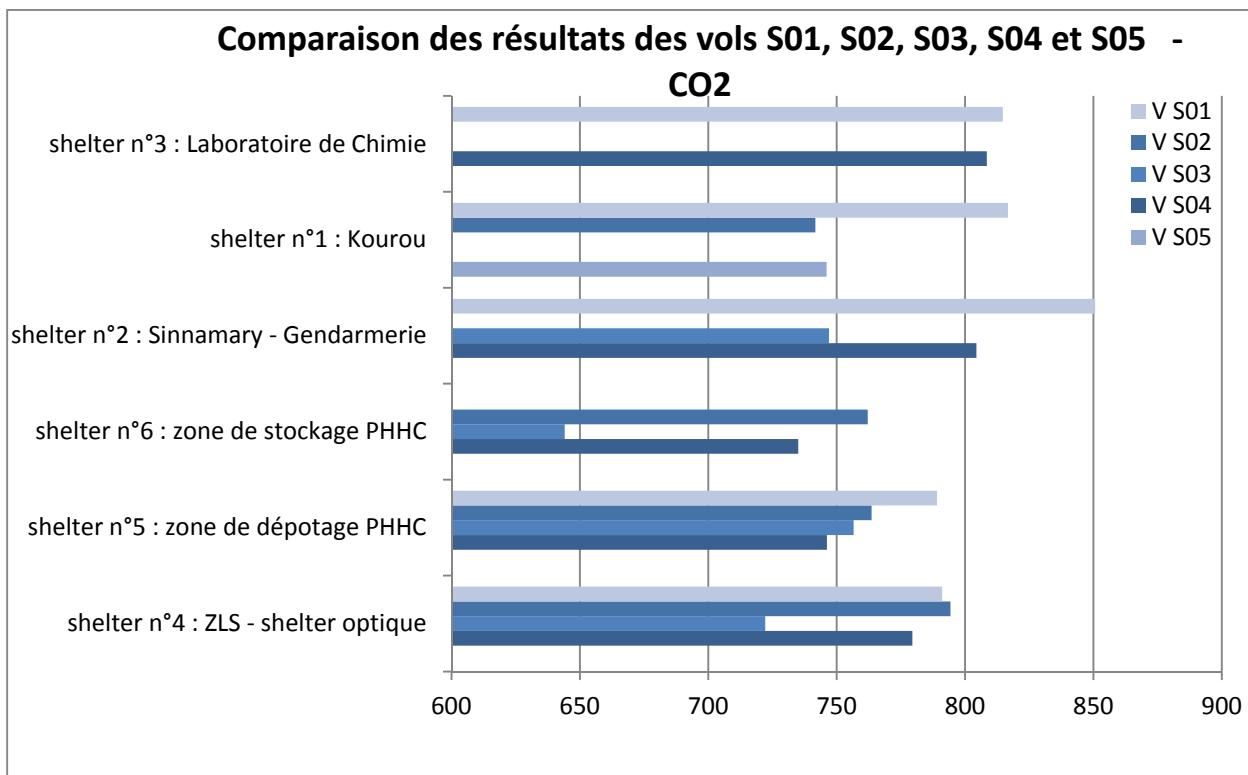
- NO₂ : Pour un même lancement, on constate que les concentrations moyennes fluctuent de façon importante d'un site à l'autre ; les teneurs les plus fortes étant systématiquement relevées à Kourou. Cependant, la comparaison des résultats obtenus lors des 4 lancements met en évidence un écart type non significatif. Ainsi les capteurs n'ont pas détecté d'apports particuliers en NO₂ pas attribuables au lancement V S05 ; les valeurs mesurées correspondent au bruit de fond.



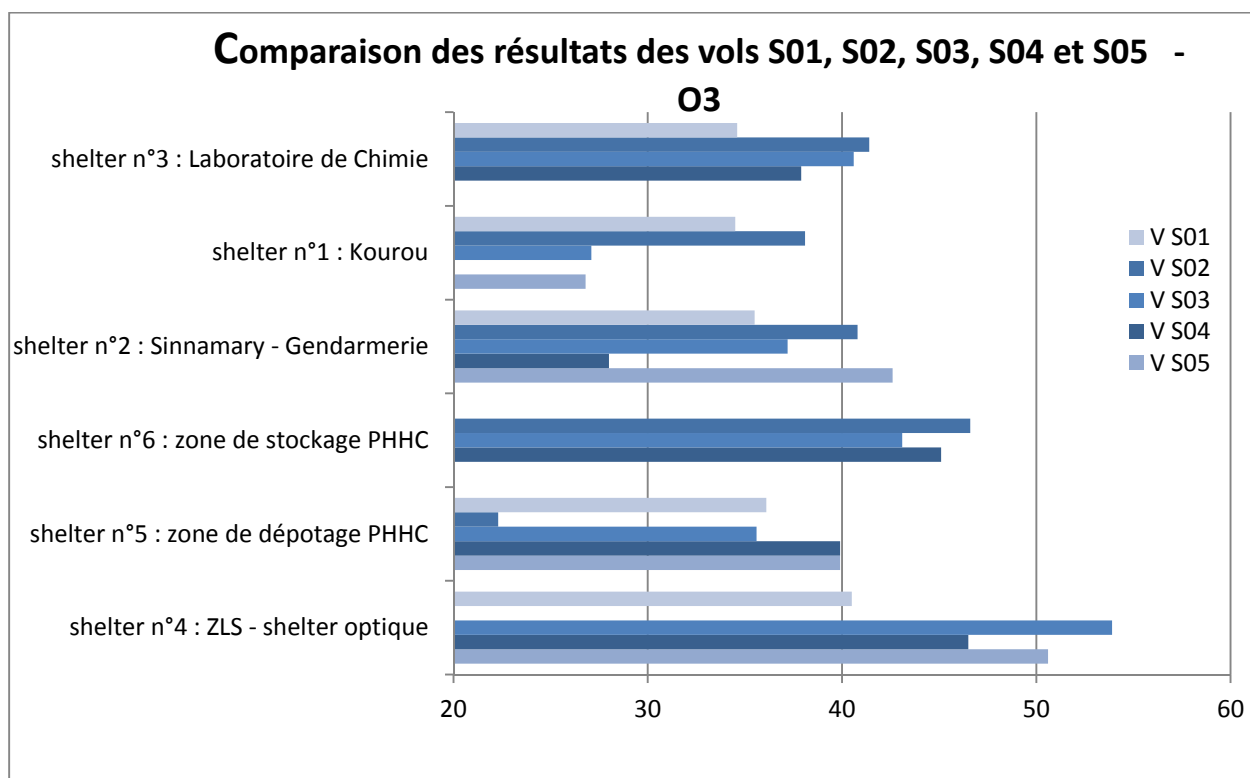
- CO : De faibles variations de concentrations sont à noter. Nous pouvons donc conclure que les analyseurs n'ont pas détecté d'apports particuliers en CO attribuables au lancement; les quantités détectées sont comparables avec les précédentes ; les analyseurs ont détecté le bruit de fond.



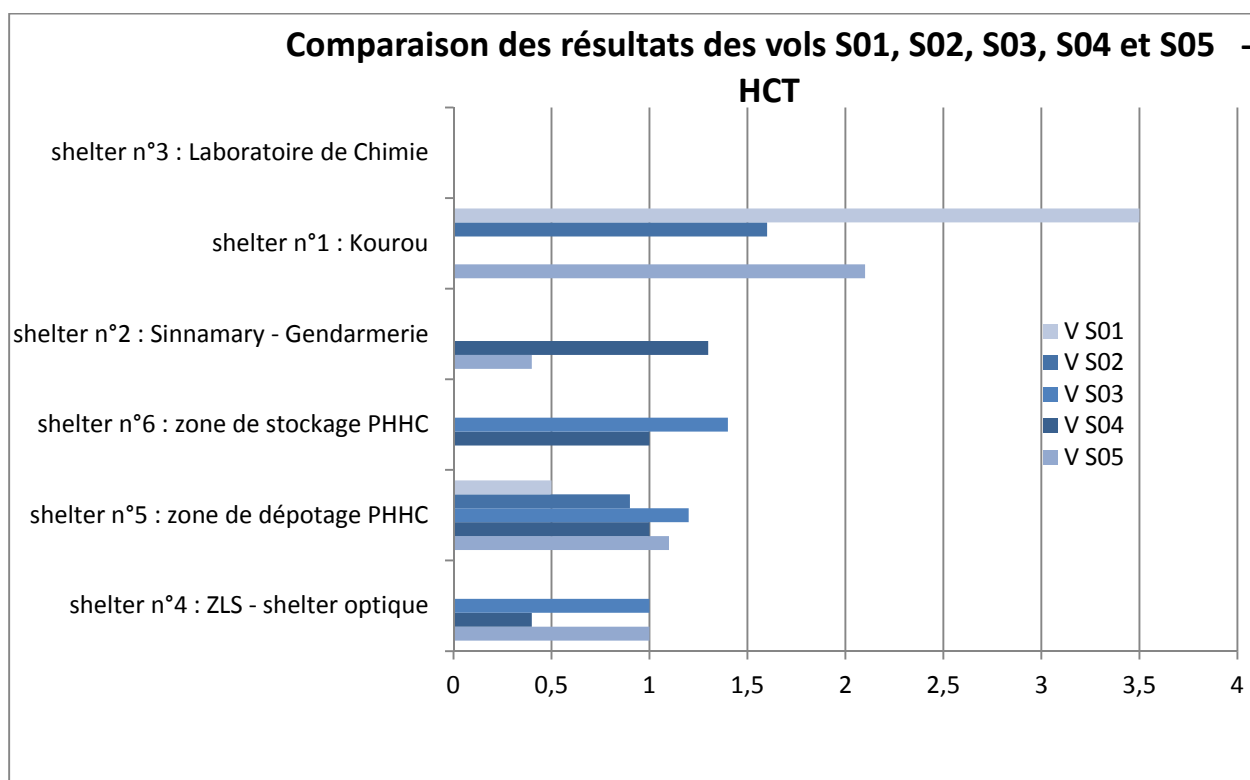
- CO_2 : Pour ce vol, seul le shelter 1 a fonctionné, Les teneurs de CO_2 mesurées sont comparables avec les valeurs mesurés pour le V S02.



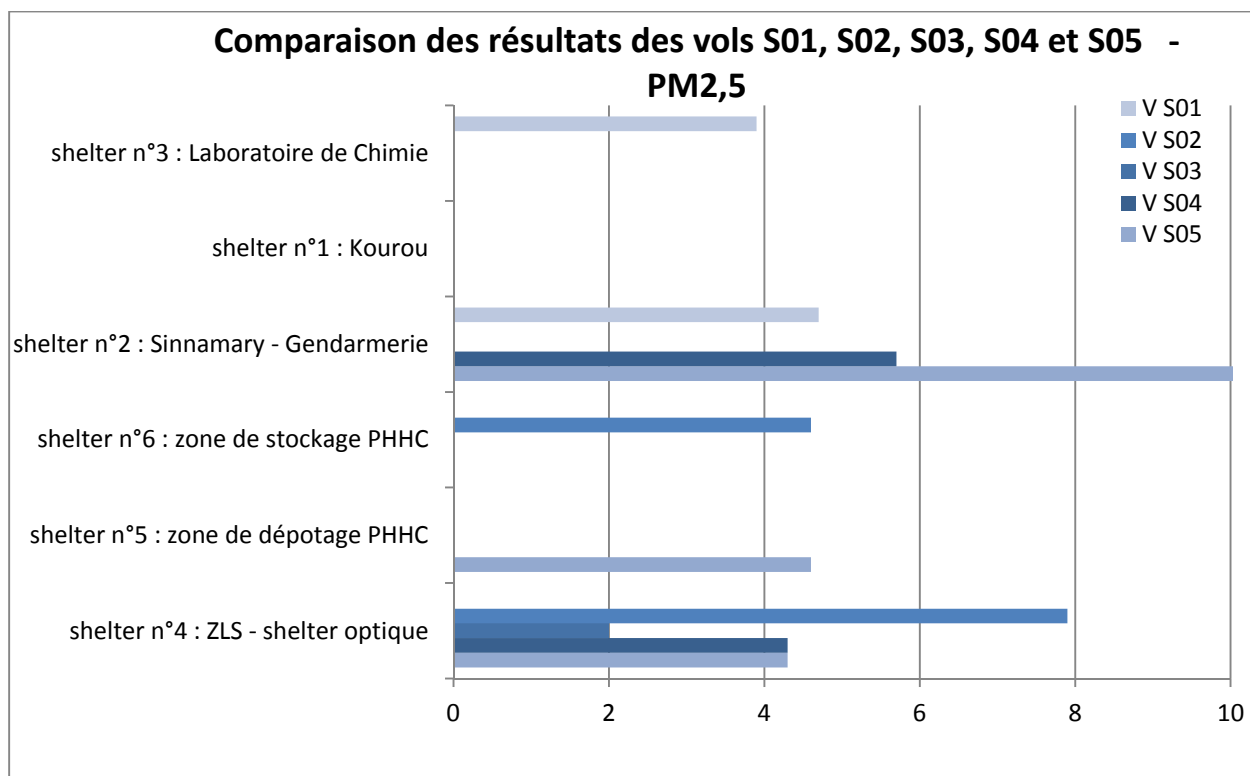
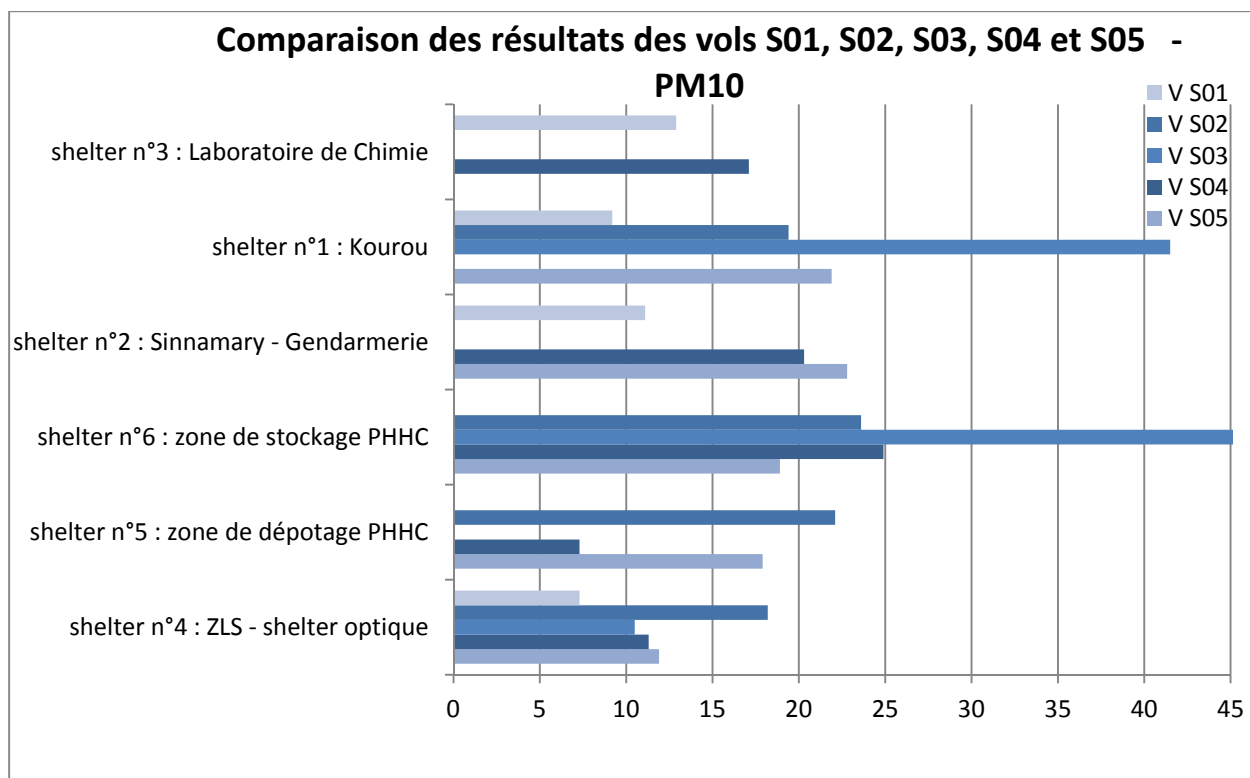
- O_3 : Pour le V S05, on observe que la concentration moyenne la plus forte a été mesurée au niveau du Shelter 4 et 2 (implanté, respectivement, à 190 mètres et 15,9 kilomètres de la ZLS). Au-delà de ces points, les concentrations en ozone sont équivalentes à celles enregistrées pendant le deuxième trimestre de 2013 en Guyane. 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.



- Les hydrocarbures : Peu de données sont disponibles. Celles qui sont présents 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.



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 S05

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.

Nous constatons que les valeurs mesurées correspondent

- au bruit de fond ambiant qui suit des variations nyctémérales (dynamique « naturelle » de variations) ou saisonnières,
- 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. En la plus part des cas 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 S05 à ceux de V S01, V S02, V S03 et V S04 ne met pas en évidence d'écarts majeurs. Les teneurs mesurées sur l'ensemble des sites sont conformes 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, 6 et 7]**.