

Licence Professionnelle
Protection de l'Environnement



Détermination du bruit de fond en ion chlorure à Sinnamary (Guyane Française)



Par Arnould EBER

LICENCE PROFESSIONNELLE "PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT"

Institut d'Enseignement Supérieur de la Guyane
Année 2006-2007

Responsables :

IES : Ghislaine PREVOT-LINGUET

ORA de Guyane : Mme PANECHOU-PULCHERIE Kathy

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette étude enrichissante.

Je souhaite adresser mes remerciements à toute l'équipe de l'Observatoire Régional de l'Air de Guyane qui a participé à ma bonne intégration. Je remercie tout particulièrement Madame HEDER-MORMONT, Présidente de l'ORA, Madame PANECHOU-PULCHERIE, Directrice de l'ORA, et également Monsieur PANSA, Technicien de maintenance et d'exploitation pour leur disponibilité et leur aide précieuse.

SOMMAIRE

Remerciements	2
Sommaire	3
INTRODUCTION.....	4
1. Présentation du plan de mesures spécifiques.....	6
1.1 Objectifs du dispositif	6
1.2 Localisation des points de mesures	6
1.3 Origine du bruit de fond naturel	9
1.4 Descriptif du matériel pour les prélèvements d'air.	10
1.5 Méthodologie	11
1.6 Traitement des données de terrain.....	12
1.7 Valeurs de référence	13
2. Résultats des prélèvements d'air ambiant et des retombées particulières.....	14
2.1 Analyses des concentrations en chlorure issues des barboteurs.....	14
2.1.1 Evolution en fonction du temps	14
2.1.2 En fonction de la durée de barbotage	15
2.1.3 En fonction des sites de prélèvements.....	16
2.1.4 Incidences des conditions météorologiques (pluviométrie, force du vent, humidité, marée).....	17
2.2 Analyses des concentrations en chlorure issues des bacs à eau	19
2.2.1 En fonction du temps.....	19
2.2.2 En fonction des sites de prélèvements.....	20
2.2.3 Incidences des conditions météorologiques (pluviométrie, force du vent, humidité)21	
2.3 Comparaison des mesures avec l'année 2005	24
2.3.1 Les concentrations en chlorure issues des barboteurs	24
2.3.2 Les concentrations en chlorure issues des bacs à eau	25
3. Discussion : Eventuel impact de l'activité spatiale.....	27
3.1 Principaux produits émis par le lanceur Ariane 5	27
3.2 Plan de mesures environnement du Centre Spatial Guyanais	28
3.3 Résultats des analyses des retombées gazeuses en acide chlorhydrique.....	29
3.4 Résultats des analyses des retombées en particules d'acide chlorhydrique	30
CONCLUSION	32
Bilan personnel.....	33
Annexes	34
Bibliographie	40

INTRODUCTION

La loi sur l'air de 1996 a été l'occasion d'un développement de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air et par la même des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA), dont fait partie l'Observatoire Régional de l'Air de Guyane.

A but non lucratif et régie par la loi du 1er juillet 1901, cette association est agréée par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et est membre de la fédération ATMO.

Il fut créé le 13 août 1998 par anticipation de la loi sur l'air du 30 décembre 1996 et du fait de la spécificité de notre région liée à l'activité du Centre Spatial Guyanais.

Par rapport à la richesse de sa forêt et à sa position géographique, la Guyane bénéficie d'un état quasiment vierge de toute pollution atmosphérique. Afin de prévenir un accroissement de la pollution, a pour missions principales de mettre en place un réseau de surveillance de la qualité de l'air, de mesurer les concentrations de certains polluants atmosphériques et de renseigner la population sur les différents niveaux de pollution de l'air.

L'ORA exerce principalement une action de prévention et a pour mission :

- la mesure et la surveillance de la qualité de l'air du Département avec l'analyse des polluants atmosphériques (tels que le **dioxyde d'azote**, le **dioxyde de soufre**, **monoxyde de carbone**, **l'ozone** et les **particules fines** de diamètre inférieur à 10 μ m),
- l'information de la population sur les niveaux de pollution atmosphérique,
- la sensibilisation des jeunes aux problèmes et aux métiers de l'environnement afin de préserver notre patrimoine écologique,
- et la prise en compte du critère de "qualité de l'air" à préserver dans les futurs axes de développement de la Guyane.

Les mesures réglementaires sont assurées depuis 2002, par une station urbaine fixe située dans l'enceinte d'EDF-Jubelin à Cayenne. Un indice de Qualité de l'Air est calculé quotidiennement. Depuis 2003, un camion laboratoire mobile permet des campagnes d'observations sur toute l'île de Cayenne, et sur les autres communes du littoral.



Station fixe



Camion laboratoire

Le réseau de surveillance de la qualité de l'air a été étendu en 2004 par un dispositif spécifique pour la mesure de polluants liés aux activités du Centre Spatiale Guyanais, notamment pour l'acide chlorhydrique.

Dix sites à Sinnamary et un à Kourou ont été équipés d'un dispositif de surveillance des chlorures (ions Cl⁻) pendant et en dehors des périodes de lancements d'Ariane 5, afin d'évaluer la représentativité des résultats par rapport au « bruit de fond » lié aux aérosols marins et de mesurer l'éventuel impact des retombées atmosphériques dans les zones habitées autour de l'agglomération de Sinnamary.

Ce dispositif a été défini par l'Institut National de l'Environnement industriel et des Risques (INERIS), Laboratoire Central de la Surveillance de la Qualité de l'Air et mis en place par par l'ORA.

1. PRESENTATION DU PLAN DE MESURES SPECIFIQUES

1.1 Objectifs du dispositif

Le dispositif de surveillance de la qualité de l'air mis en place en décembre 2004 par l'Observatoire Régional de l'Air, dans les zones habitées autour de l'agglomération de Sinnamary, a pour but de :

- déterminer le bruit de fond « naturel » en ions Cl⁻ en dehors des périodes de lancements d'Ariane 5.
- de mettre en évidence la variabilité des mesures par rapport aux conditions météorologiques.
- et d'estimer par différence l'éventuel impact des émissions d'acide chlorhydrique d'Ariane 5 sur la commune de Sinnamary en analysant les retombées atmosphériques lors des lancements.

1.2 Localisation des points de mesures

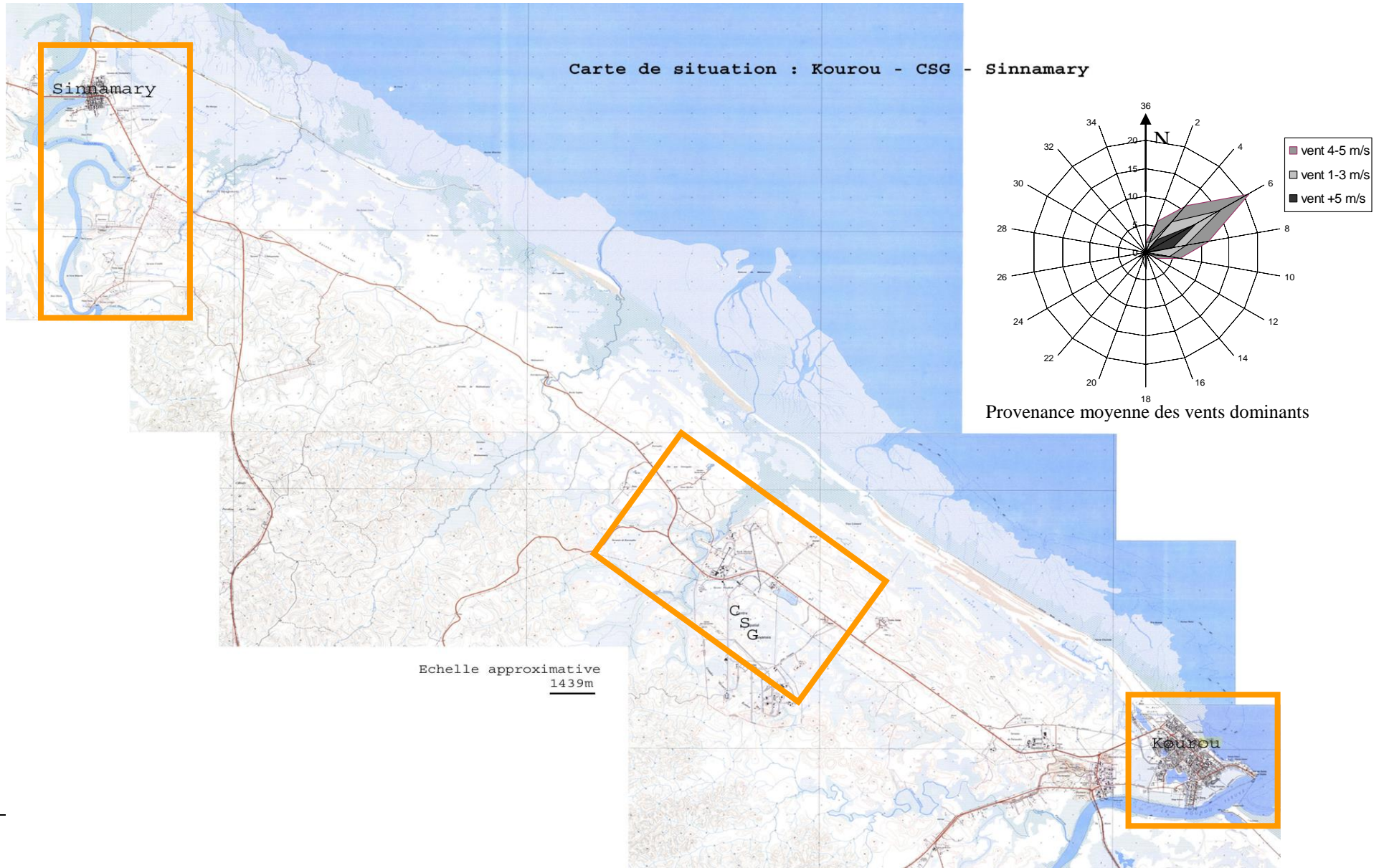
De manière à couvrir toutes les zones habitées de la commune de Sinnamary, 10 sites de prélèvements ont été choisis sur un axe Nord-Sud.

Référence du site	Dénomination	Eloignement au centre ville
Site A	Estuaire	1,5 km
Site B	Service technique	0,75 km
Site C	Mairie de Sinnamary	Centre ville
Site D et E	Service des sports	1,75 km
Site F	M. Horth	3,5 km
Site G	M. Perronet	4 km
Site H	CIRAD	4,75 km
Site I	M. Laurent	6 km
Site J	Mme Derain	7,5 km

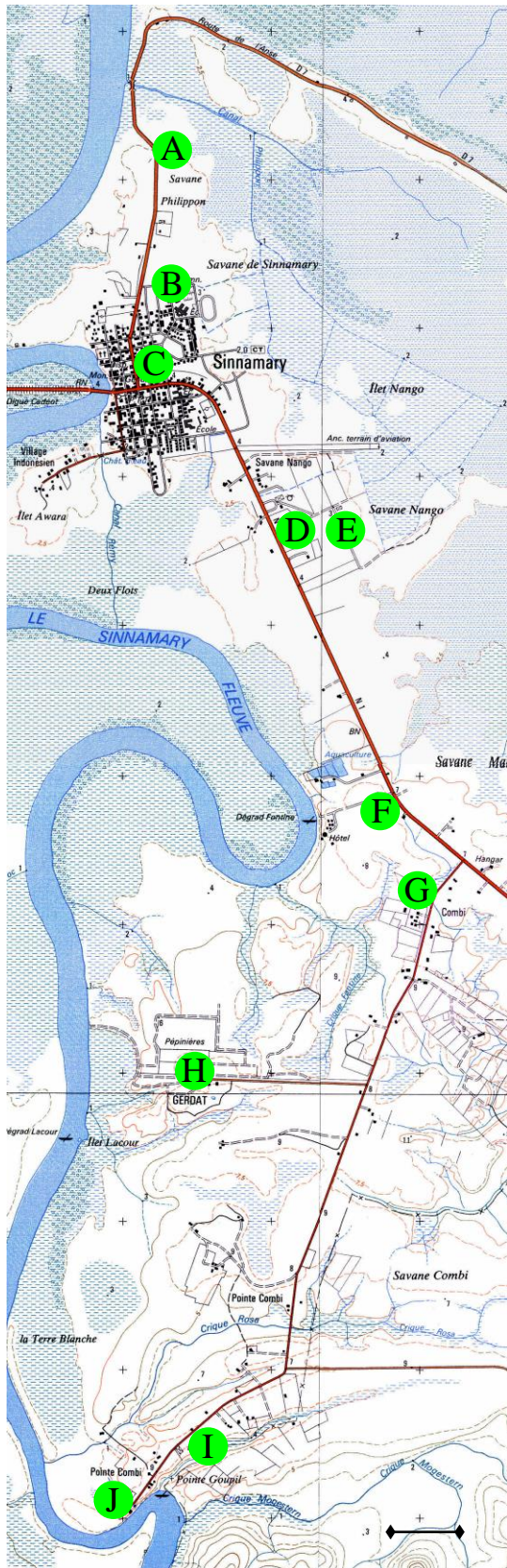
Ces sites sont situés à environ 26 km de la zone de lancement du centre spatiale.

Un dernier point est situé à la gendarmerie de Kourou (point K) et est considéré comme un point zéro car lorsque les vents dominants sont orientés sur Kourou les lancements de fusées sont reportés.

• Représentation géographique de l'étude



• Emplacement géographique des sites à Sinnamary et à Kourou.



Ech : 450m

Localisation sur Sinnamary



Schelle approximative 25cm

1.3 Origine du bruit de fond naturel

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ce sont les océans qui contiennent de loin la plus grande quantité de chlorures dans l'environnement.

L'air que nous respirons n'est pas composé uniquement de gaz. Il contient également de toutes petites particules solides ou liquides, appelées aérosols. Leurs tailles varient de quelques nanomètres (10^{-9} mètres) à presque 100 microns (soit l'épaisseur d'un cheveu). Elles sont le plus souvent invisibles à l'œil nu. Ces derniers proviennent des sources naturelles ou humaines.

Dans l'atmosphère, les particules peuvent se transformer, être transportées et retomber. Ces processus dépendent de plusieurs facteurs, comme la taille des particules, leur concentration et leur composition chimique, la géographie, les conditions météorologiques.

► L'origine marine

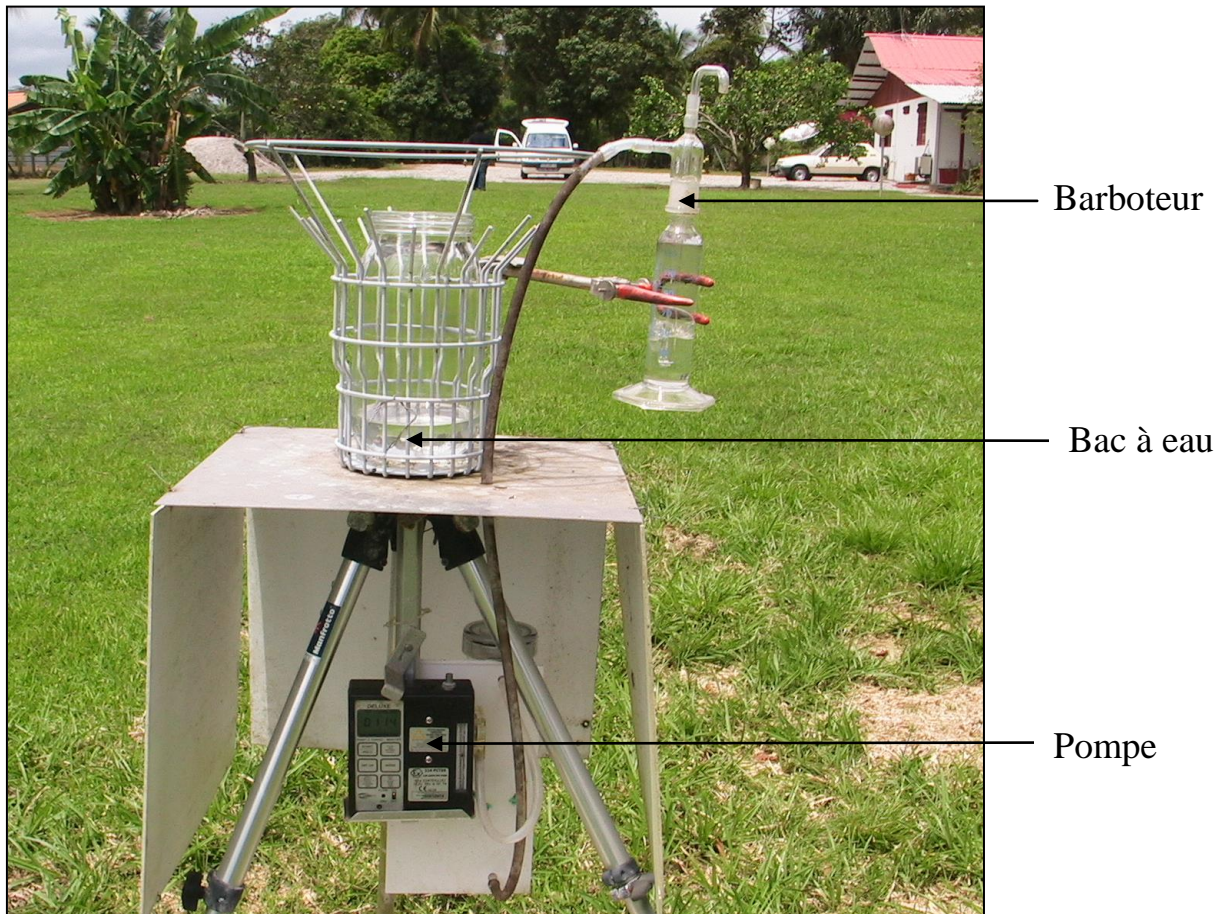
En zone côtière, les aérosols marins se produisent sous l'action du déferlement des vagues. De grosses particules, composées essentiellement de chlorure de sodium, sont émises par l'écume des vagues lorsque le vent souffle très fort. De plus petites particules sont aussi émises par toutes les bulles d'air contenues dans l'écume, qui éclatent à la surface de l'eau. Les océans de la planète émettent dans l'atmosphère environ 1,3 milliards de tonnes de particules par an.



Aérosols marins

Le bruit de fond sur Sinnamary en ion chlorure provient essentiellement des aérosols marins.

1.4 Descriptif du matériel pour les prélèvements d'air.



Matériel de prélèvement d'air

- Sur chaque site, les prélèvements des retombées atmosphériques au sol sont réalisés à l'aide d'un **bac à eau**. Ce dernier permet de capturer les ions chlorures sous forme particulaire. Le bac contient 300ml d'eau distillée. Les prélèvements s'effectuent en continu pendant 6 jours en dehors des périodes de lancements et pendant 24 heures lors des lancements.

- Sur chaque site, les prélèvements d'air sont effectués dans un **barboteur**, qui permet de saisir les ions chlorures sous forme gazeuse. Le barbotage s'effectue sur une période de 2 ou 4 heures dans 50ml d'eau distillée, à l'aide d'un système de **pompe** automatique programmable. L'échantillonnage est orienté vers le bas pour privilégier le prélèvement des particules les plus fines, représentative de l'exposition des personnes, par inhalation.

Les échantillons d'eau prélevés sont récupérés chaque semaine et l'analyse des ions chlorures est réalisée par l'Institut Pasteur, par chromatographie d'échange d'ions, avec un seuil de détection de 0,05 mg/l.

1.5 Méthodologie

► La pollution particulaire

Elle est mesurée sur chaque point de mesure à l'aide de bacs à eau qui ont une surface d'exposition de 64 cm² (**S**). Ils contiennent au préalable une certaine quantité d'eau distillée qui après une durée d'exposition d'environ 7 jours (**T**), et analysée par l'Institut Pasteur.

Détermination de la concentration surfacique en **mg/m²** pour une durée d'exposition T :

$$C_s = \frac{C_p \times V}{S}$$

Avec :

S la surface d'exposition (m²)

T la durée d'exposition (minutes)

V le volume d'eau (litres)

C_p la concentration de l'Institut Pasteur (mg/l)

De manière à pouvoir traiter toute les données nous les ramenons à une durée d'exposition commune de 8h soit 480 minutes :

$$C_{8h} = \frac{C_s \times 480}{T}$$

C_{8h}, en **mg/m²**

► La pollution gazeuse

Elle est mesurée sur chaque point de mesure à l'aide de barboteurs. Ils contiennent au préalable une quantité d'eau distillée connue et ont une durée d'exposition de 120 ou 240 minutes (**T**). Le contrôle du débit (**Q**), permet de calculer le volume d'air prélevé (**A = Q x T**). Les échantillons d'eau sont analysés par l'Institut Pasteur.

Détermination de la concentration en **mg/m³** pour une durée d'exposition T :

$$C = \frac{C_p \times V}{A}$$

Avec :

A le volume d'air prélevé (m³)

T la durée d'exposition (minutes)

V le volume d'eau (litres)

C_p concentration de l'Institut Pasteur (mg/l)

Cependant de manière à pouvoir traiter toute les données nous les ramenons à une durée d'exposition commune de 15 minutes:

$$C_{15min} = \frac{C \times 10^{-3} \times 15}{T}$$

C_{15min}, en **µg/m³**

1.6 Traitement des données de terrain

Les résultats de la campagne de mesure, débute au 1^{er} Janvier 2005. Le protocole prévoit un relevé tous les six jours environ, soit un par semaine. Nous disposons donc de 123 bordereaux de terrain pour les années 2005 et 2006.

L'année 2005

Les lots vont du numéro 6 à 65, soit 60 bordereaux contenant chacun 22 résultats.
1088 résultats sur les 1320 attendus à la fin de l'année 2005 sont exploitables, soit **82,4 %**.

Pour les barboteurs : 512 résultats sur les 660 attendus sont exploitables, soit 77,5 %.

Pour les bacs à eau : 576 résultats sur les 660 attendus sont exploitables, soit 87,2 %.

L'année 2006

Les lots vont du numéro 66 à 128, soit 63 bordereaux.
1218 résultats sur les 1386 attendus à la fin de l'année 2006 sont exploitables, soit **87,2 %**.

Pour les barboteurs : 593 résultats sur les 693 attendus sont exploitables, soit 85,6 %.

Pour les bacs à eau : 625 résultats sur les 693 attendus sont exploitables, soit 90,2 %.

▪ Commentaires :

Au regard du nombre de données obtenues par rapport aux prévisions, nous avons matière à estimer le bruit de fond représentatif dans le temps.

On remarque que les données exploitables par barboteurs sont plus faibles que pour les bacs à eau de par la défaillance des pompes.

Pour les bacs à eau, les valeurs invalides, sont majoritairement dues à des pollutions animales, types insectes, grenouilles ou oiseaux, mais également dues aux problèmes du fauchage des herbes.

1.7 Valeurs de référence

Une valeur limite représente la concentration dans l'air d'un composé chimique que peut respirer une personne pendant un temps déterminé sans risque d'altération de sa santé, même si des modifications physiologiques réversibles sont parfois tolérées. La valeur est généralement exprimée en mg/m^3 .

◇ Seuils de Toxicité Aiguë pour l'acide chlorhydrique (HCl)

Type	Abréviation	Valeur	Définition
Valeur toxicologique de référence	VTR	0.02 mg/m^3	
Seuil olfactif		1,15 mg/m^3	Odeur piquante
Valeur limite d'exposition à court terme	VLE	7.5 mg/m^3	Concentration dans l'air que peut respirer une personne sans risque d'altération de sa santé pendant une durée de 15 minutes
Seuil des effets irréversibles	SEI 10 min 30 min 60 min	358 mg/m^3 119 mg/m^3 60 mg/m^3	Concentration maximale de polluant dans l'air pour un temps d'exposition donné en dessous de laquelle chez la plupart des individus on n'observe pas d'effets irréversibles.
Seuil des effets létaux	SEL 10 min 30 min 60 min	1937 mg/m^3 700 mg/m^3 358 mg/m^3	Concentration maximale de polluant dans l'air pour un temps d'exposition donné en dessous de laquelle chez la plupart des individus, on n'observe pas de décès.
Seuil des effets significatifs	SES	1520 mg/m^3	En situation accidentelle c'est la valeur à laquelle un être humain ne doit pas rester exposé plus de 30 minutes.

L'effet majeur de l'acide chlorhydrique est son potentiel d'irritation. Il est extrêmement irritant pour les yeux et la partie supérieure de l'appareil respiratoire.

A faibles concentrations, les effets aigus sont limités à la perception de l'odeur et à l'irritation des voies respiratoires.

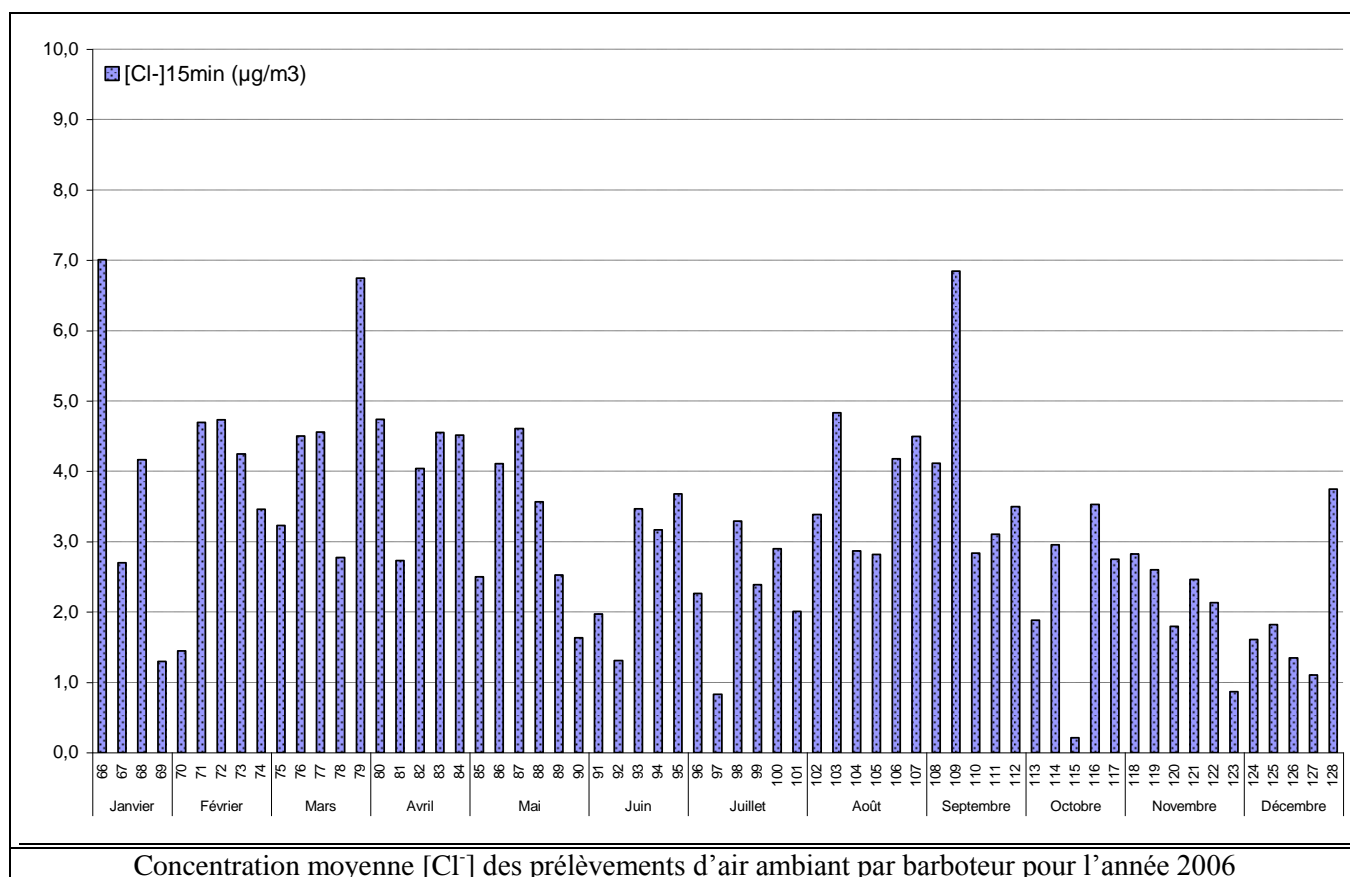
A fortes concentrations dans l'atmosphère, l'acide chlorhydrique est décrit comme fortement irritant et corrosif.

2. RESULTATS DES PRELEVEMENTS D’AIR AMBIANT ET DES RETOMBÉES PARTICULAIRES

2.1 Analyses des concentrations en chlorure issues des barboteurs

2.1.1 Evolution en fonction du temps

La concentration moyenne en ion chlorure sous forme gazeuse hors période de lancement pour l’année 2006 à Sinnamary est de $3,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec une plage de valeurs allant de $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$: \Rightarrow le bruit de fond est de **$3,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .



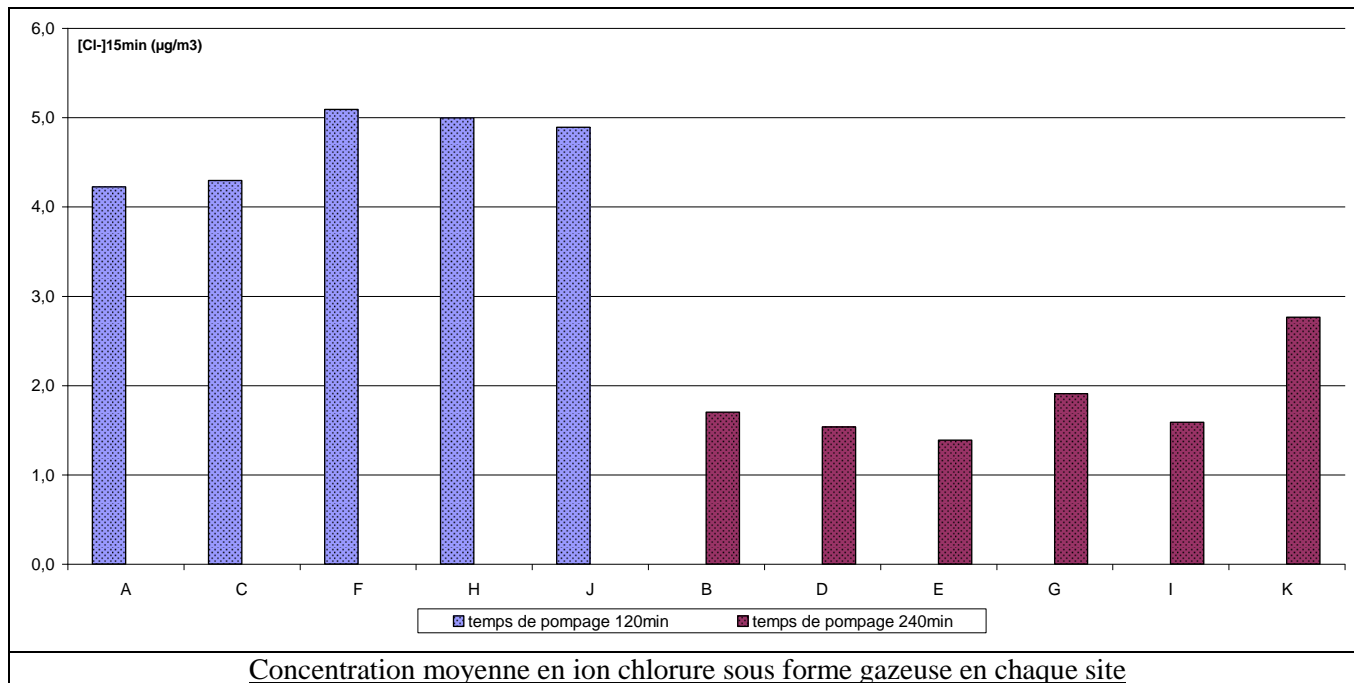
La variabilité des valeurs est vraisemblablement due aux conditions météorologiques du moment. Ceci sera confirmé, par la suite, par l’analyse de la pluviométrie, de la force du vent, de l’humidité et également des variations des marées.

Pour le site témoin de Kourou, on observe une concentration moyenne de $2,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les données sont récapitulées en [annexe 1](#).

2.1.2 En fonction de la durée de barbotage

Le graphique ci-dessous montre la concentration moyenne en ion chlorure sous forme gazeuse de chaque site, et fait ressortir les temps de pompage de 120 minutes et de 240 minutes.



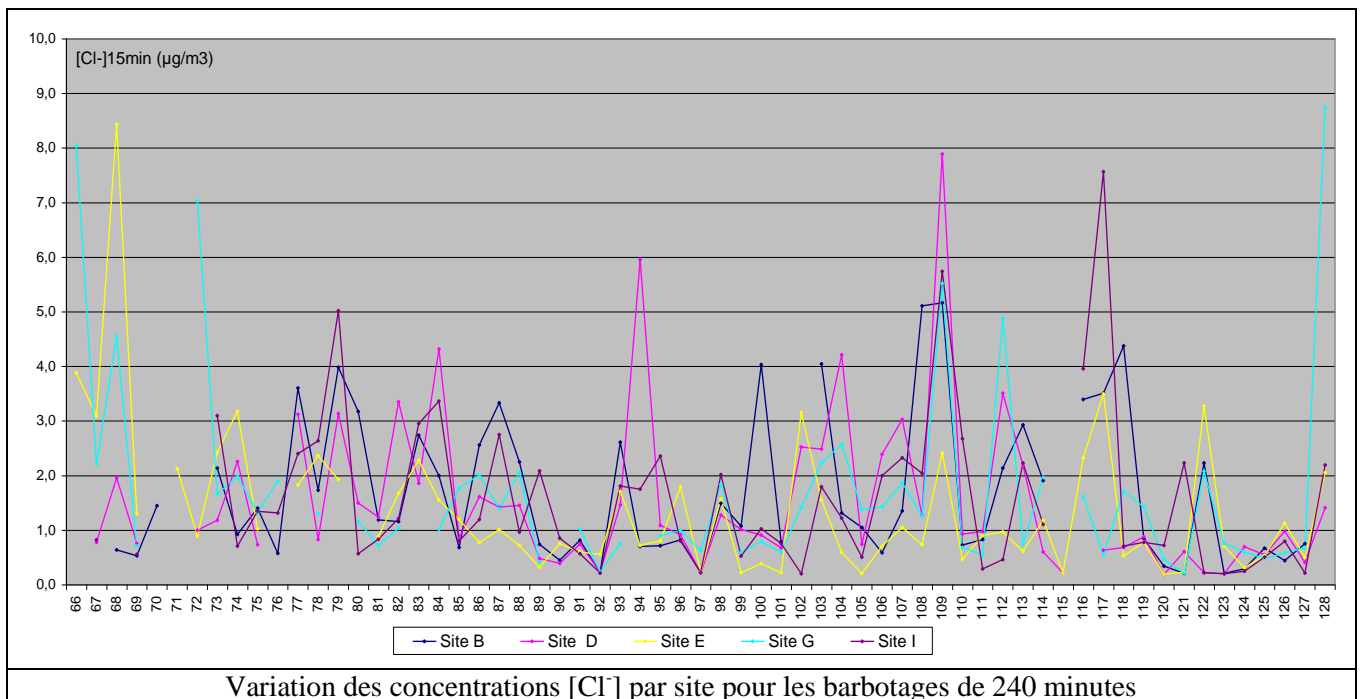
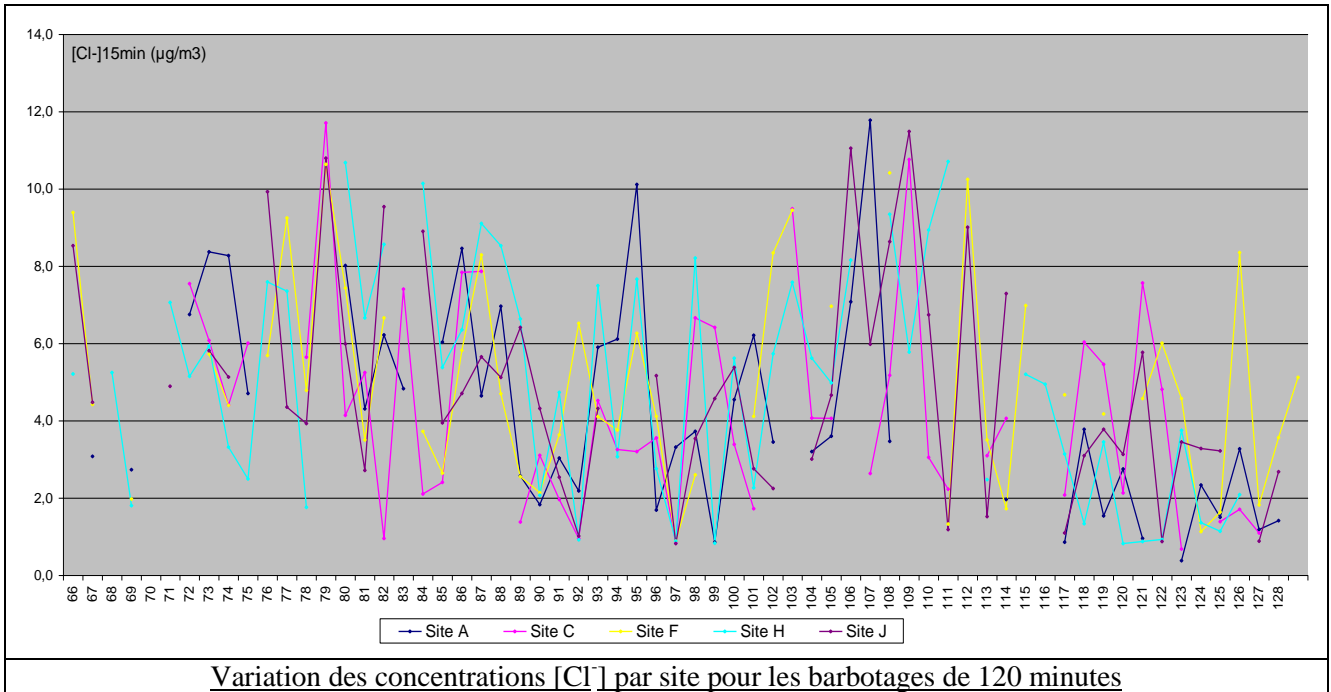
Le temps de barbotage influe sur la concentration finale. On observe deux tendances avec un bruit de fond de 1,62 µg/m³ pour une durée de barbotage de 240 minutes et un bruit de fond de 4,70 µg/m³ pour une durée de 120 minutes.

		Barbotage de 120 minutes					Barbotage de 240 minutes						
[Cl ⁻] _{15min} (µg/m ³)	Sites	A	C	F	H	J	B	D	E	G	I	(K)	Total
		Moyenne	4,22	4,30	5,09	5,00	4,89	1,70	1,54	1,39	1,91	1,59	(2,76)
Bruit de fond	Moyenne	4,70 µg/m ³					1,62 µg/m ³						

Un barbotage excessif engendre probablement une perte des ions chlorures dans l'eau, d'où la concentration plus faible observée pour les barbotages de 4 heures.

2.1.3 En fonction des sites de prélèvements

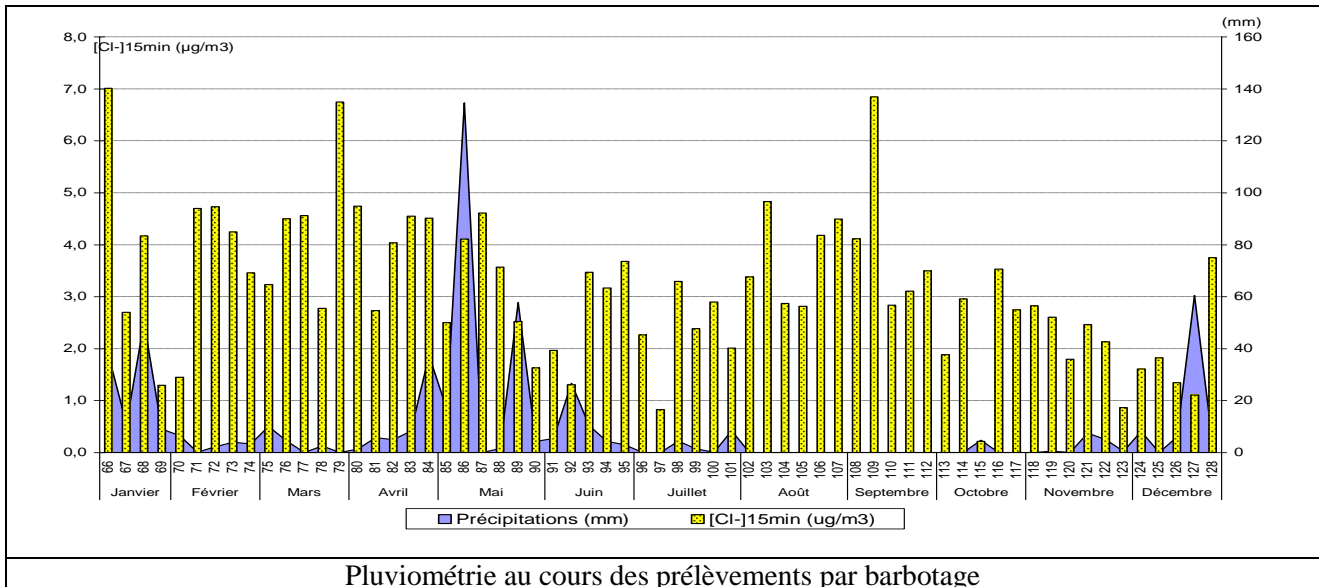
Les concentrations en ion chlorure sous forme gazeuse n'ont pas le même profil selon chaque site et selon le temps de barbotage, mais ont des évolutions comparables.



Les mesures d'air ambiant présentent une grande variabilité, du fait de la mobilité de la pollution sous forme gazeuse.

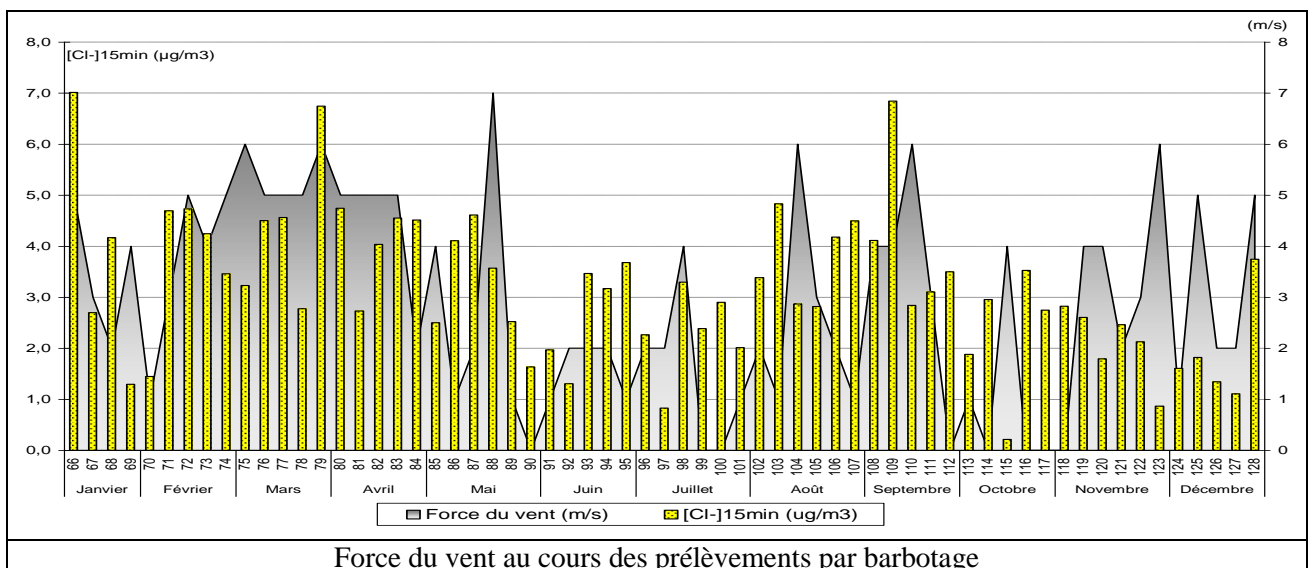
2.1.4 Incidences des conditions météorologiques (pluviométrie, force du vent, humidité, marée)

Pluviométrie : La comparaison des précipitations aux concentrations moyennes des prélèvements d'air ambiant par barbotage montre que la pluviométrie n'influe pas ou très peu sur le bruit de fond en ion chlorure sous forme gazeuse (coefficient de corrélation égal à 5%).



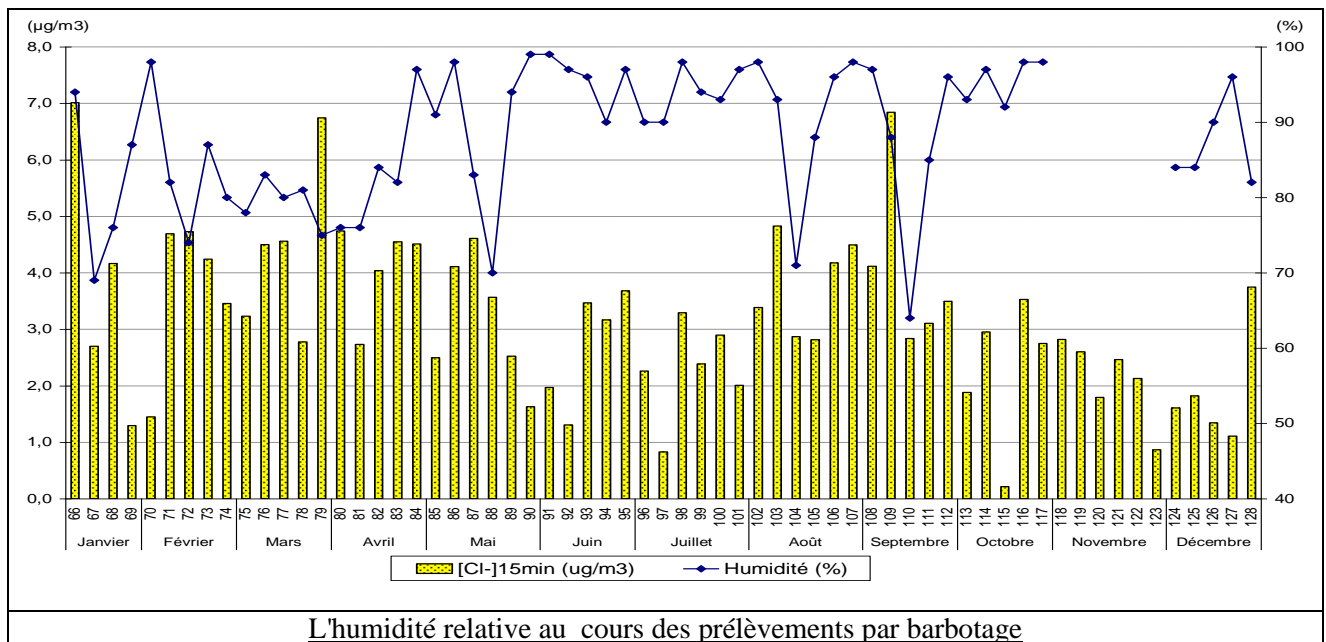
La différence de bruit de fond calculé en saison sèche (de Juin à Novembre) de $2,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et celui en saison des pluies (de Décembre à Mai) de $3,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ montre qu'il n'y a pas réellement un phénomène saisonnier (écart type en saison sèche : 1,26 et en saison des pluies : 1,23).

Force du vent : La vitesse du vent influe sur les concentrations moyennes des prélèvements d'air ambiant par barbotage (coefficient de corrélation égal à 25%).



La concentration en ion chlorure a tendance à augmenter quand la force du vent s'amplifie.

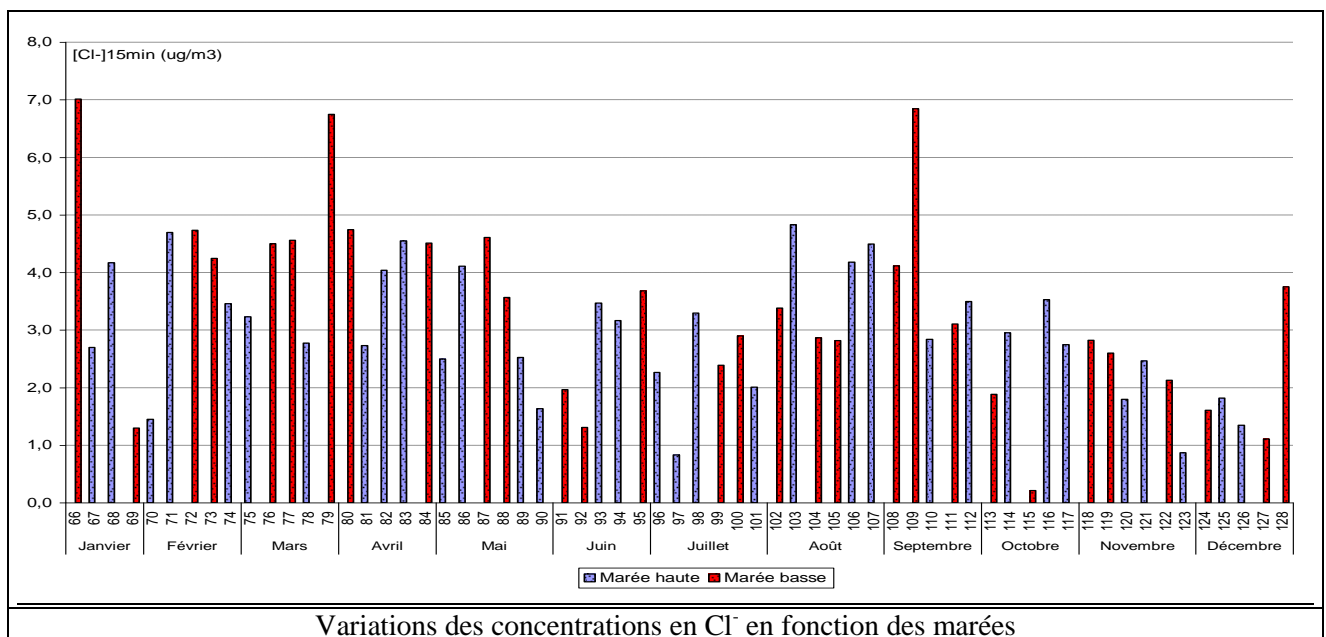
Humidité relative : Le taux d'humidité de l'air influence les concentrations moyennes des prélèvements d'air ambiant par barbotage (coefficient de corrélation égal à 21%).



L'humidité relative au cours des prélèvements par barbotage

On remarque que la concentration en ion chlorure a tendance à légèrement diminuer quand l'humidité dans l'air augmente.

Marée : Les marées ont une influence sur les concentrations moyennes en ions chlorures dans l'air ambiant (coefficient de corrélation égal à 22%). A marée basse, les concentrations enregistrées (3,40 µg/m³) sont sensiblement supérieures à celles des marées hautes (2,94 µg/m³) – (Ecart type en marées basses : 1,69 et 1,10 en marées hautes)



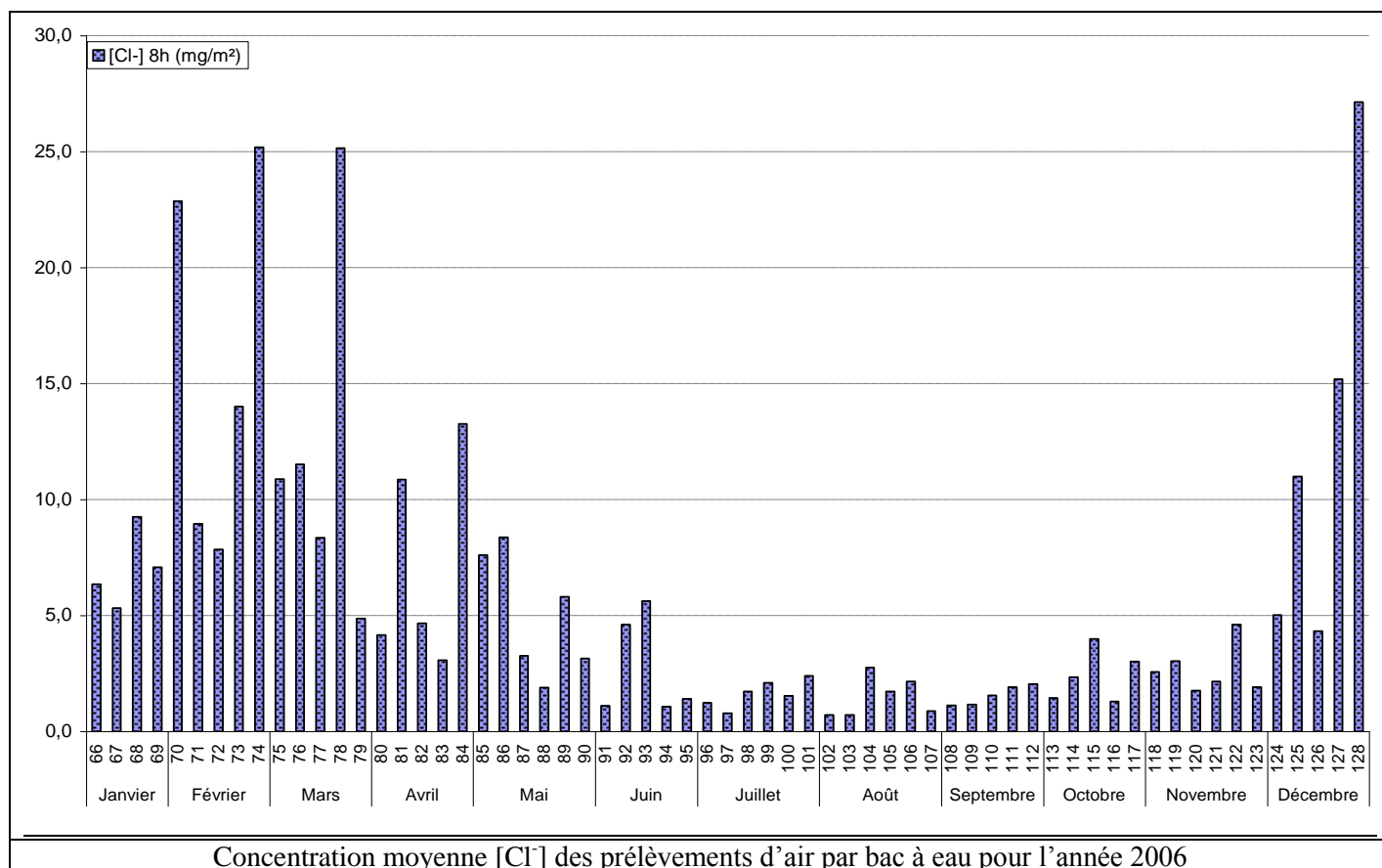
Variations des concentrations en Cl⁻ en fonction des marées

☞ Un résumé des corrélations avec les données météorologiques se trouve dans un tableau en [annexe 4](#).

2.2 Analyses des concentrations en chlorure issues des bacs à eau

2.2.1 En fonction du temps

La concentration moyenne en ion chlorure sous forme particulaire hors lancement pour l'année 2006 à Sinnamary est de 5,79 mg/m² avec une plage de valeurs allant de 0,7 mg/m² à 26 mg/m² : ⇒ le bruit de fond est donc de **5,79 mg/m²**.



La variabilité des valeurs est vraisemblablement due aux conditions météorologiques du moment. Ceci sera confirmé, par la suite, par l'analyse de la pluviométrie, de la force du vent.

Nous observons distinctement un phénomène de saisons, avec un bruit de fond en saison sèche (Juin à Novembre) de 2,07 mg/m² et un bruit de fond en saison des pluies (Décembre à Mai) de 9,88 mg/m² (Ecart type en saison sèche : 1,19 et en saison des pluies : 6,97).

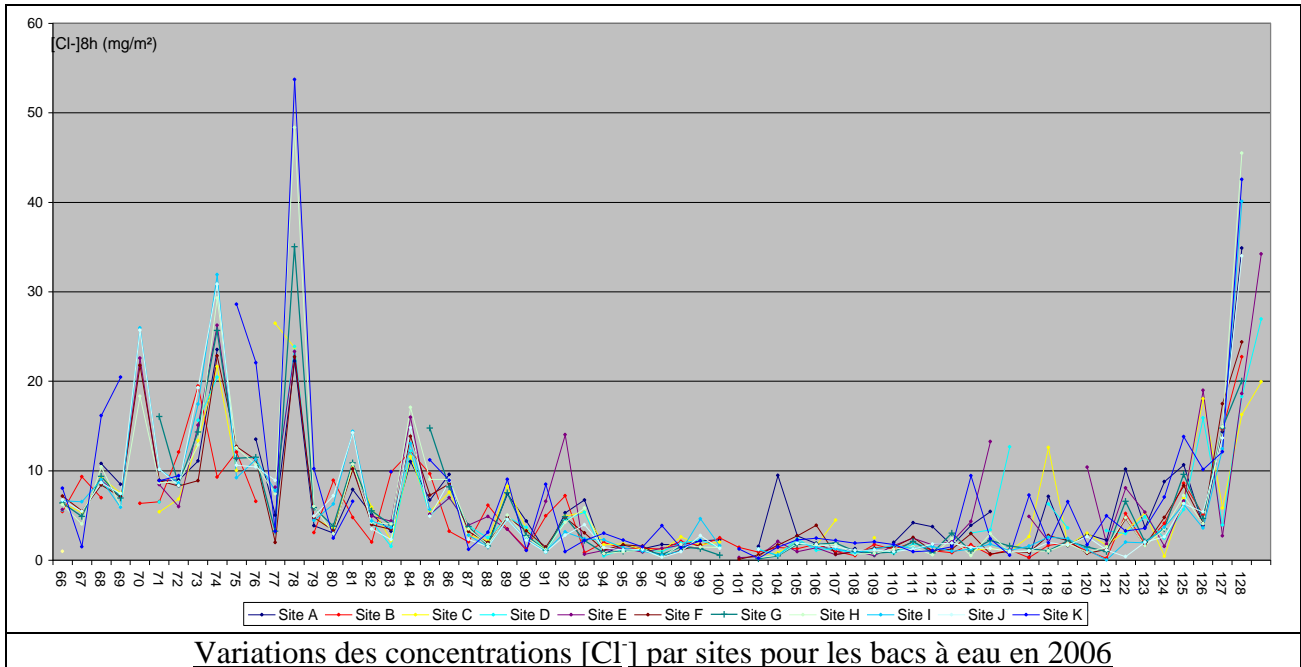
Pour le site témoin de Kourou, on observe une concentration moyenne de 7,29 mg/m²

Les mesures à partir des bacs à eaux sont plus représentatives, car la prise d'échantillon s'effectue sur une période de temps beaucoup plus grande.

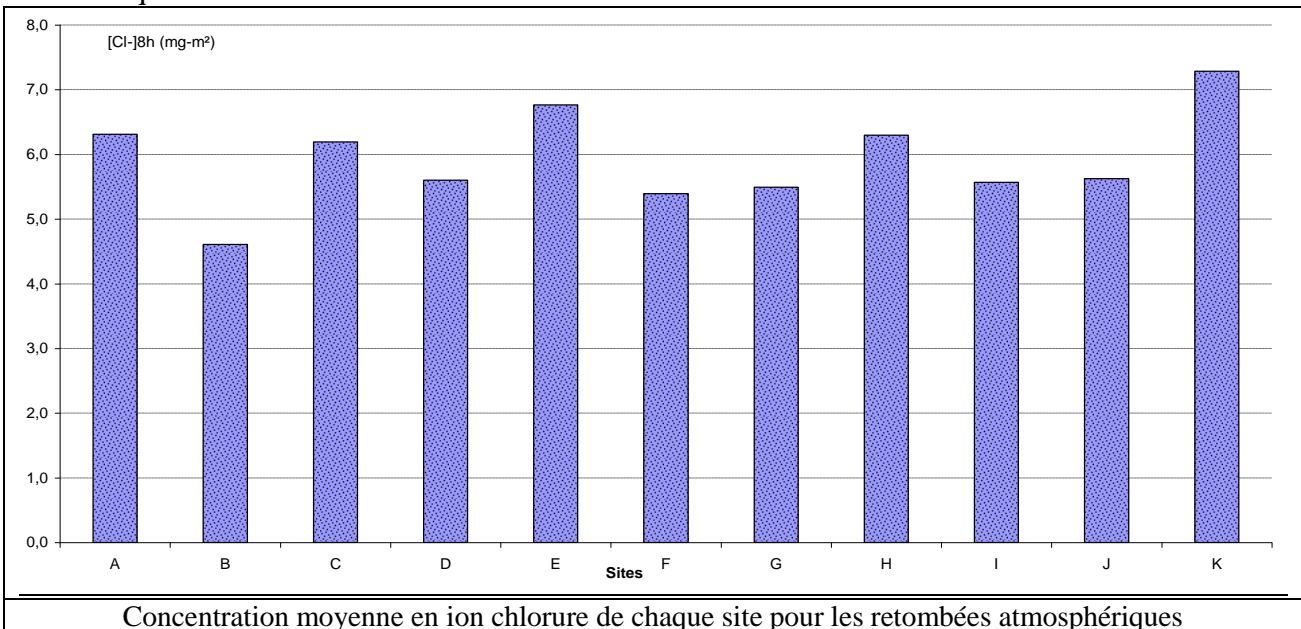
Les données sont récapitulées sous forme de tableau en [annexe 1](#).

2.2.2 En fonction des sites de prélèvements

Les concentrations moyennes en chlorures sous forme particulaire relevées sur chaque site évoluent de la même façon au cours du temps.



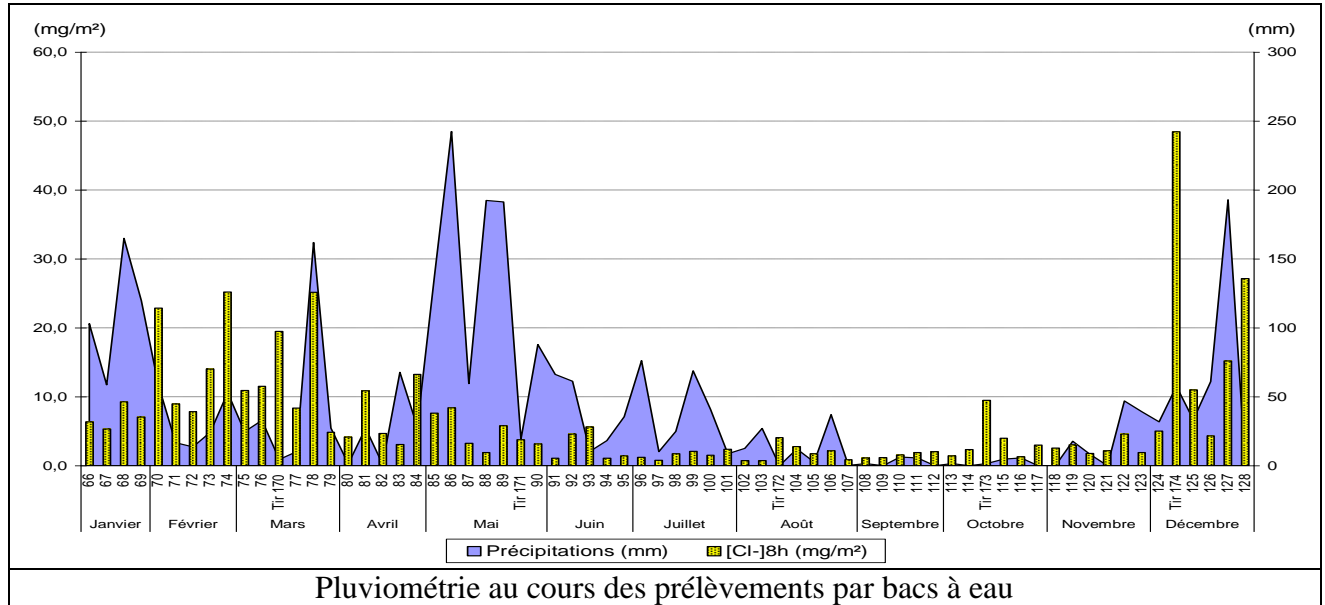
Ce graphique fait apparaître les concentrations moyennes en chlorures sous forme particulaire de chaque site



On note de plus que le point K situé à Kourou est le plus proche de la côte. Bien que la concentration en ce point soit légèrement au dessus des autres, il suit le même ordre de grandeur.

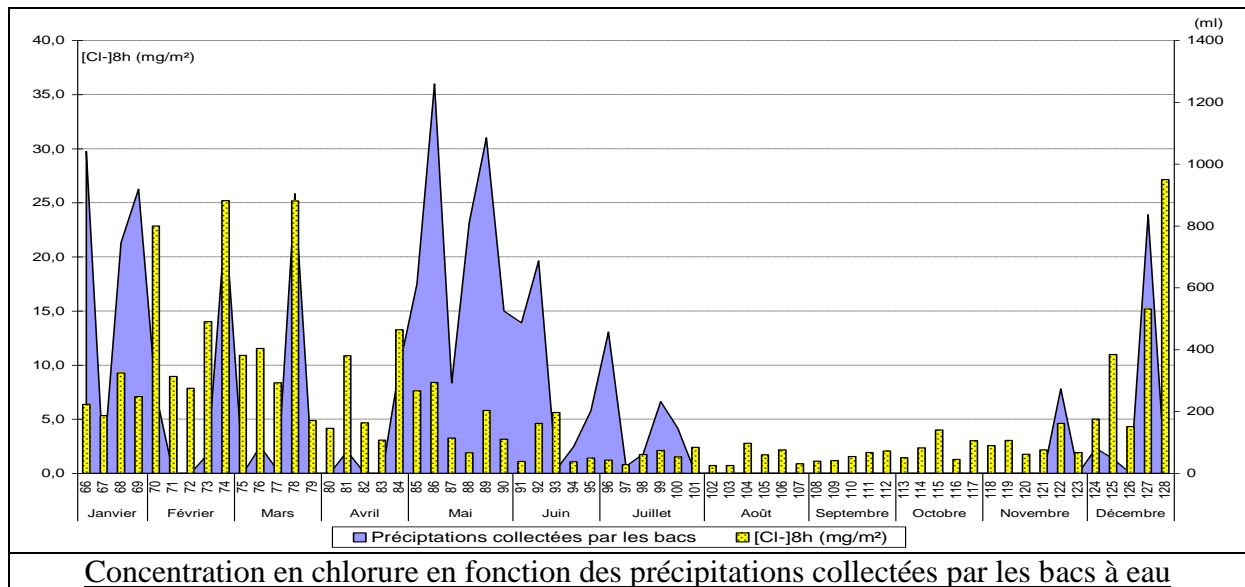
2.2.3 Incidences des conditions météorologiques (pluviométrie, force du vent, humidité)

Pluviométrie : Ce graphique met en relation les précipitations et les concentrations moyennes des prélèvements par bac à eau. (Coefficient de corrélation : 27%)



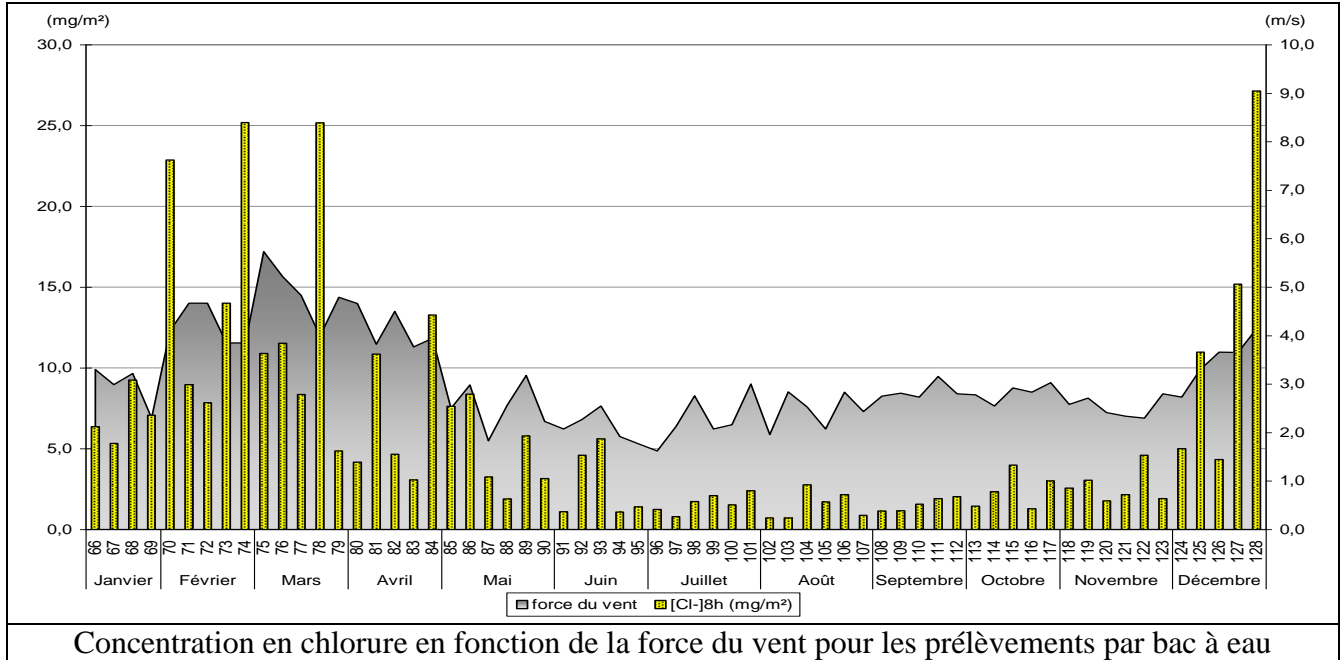
La pluie joue un rôle dans l'analyse du bruit de fond : Elle est récupérée par les bacs à eau.

La représentation graphique du volume d'eau récupérée par les bacs lors des précipitations, superposée aux concentrations moyennes en ions chlorures dans les bacs à eau, montre que la pluviométrie influe sur le bruit de fond. (Coefficient de corrélation : 30%)



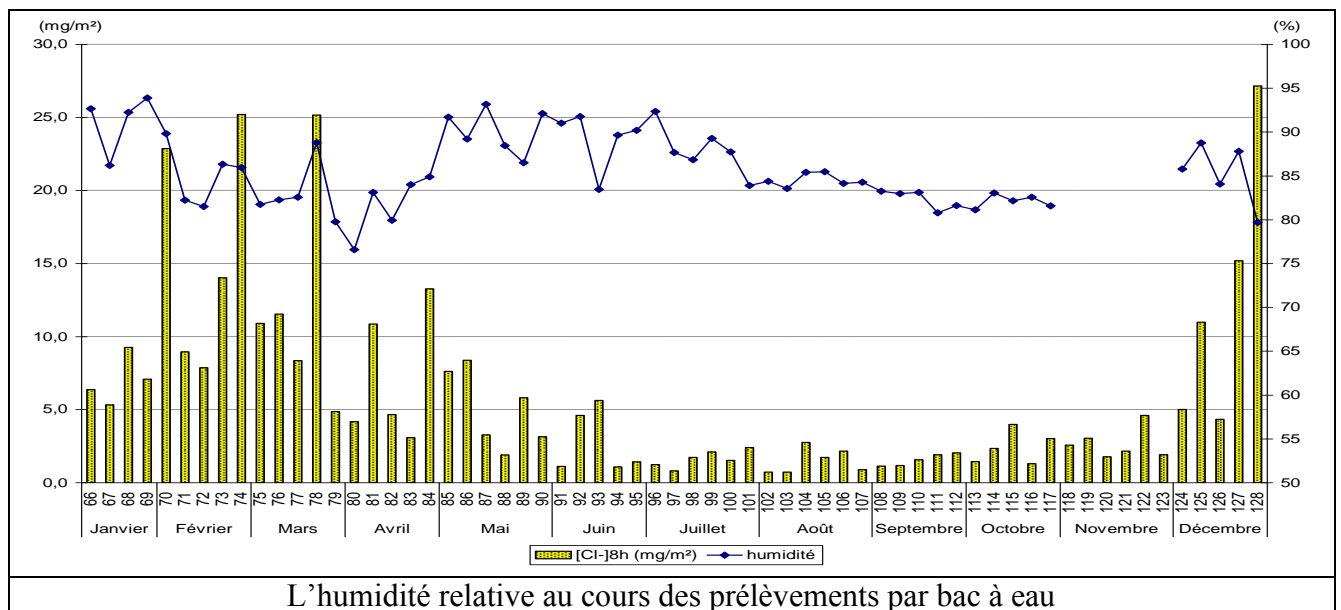
En effet l'ion chlorure est un ion très hydrophile et se fixe aux gouttes de pluie. Il est piégé par les bacs à eau qui jouent un rôle de collecteurs de précipitations. La concentration en chlorure augmente d'autant plus que la précipitation se situe après une période sèche.

Force du vent : ce graphique compare la vitesse du vent aux concentrations moyennes en chlorure sous forme particulaire des prélèvements par bac à eau au cours du temps. (Coefficient de corrélation : 57%)



On remarque que la concentration en ion chlorure augmente quand la force du vent s'amplifie. Le vent a donc une influence sur le bruit de fond en ion chlorure sous forme particulaire.

Humidité relative : Le taux d'humidité de l'air influence peu les concentrations moyennes des prélèvements par bac à eau. (Coefficient de corrélation : 10%)



On remarque que la concentration en ion chlorure a tendance à augmenter quand l'humidité dans l'air diminue.

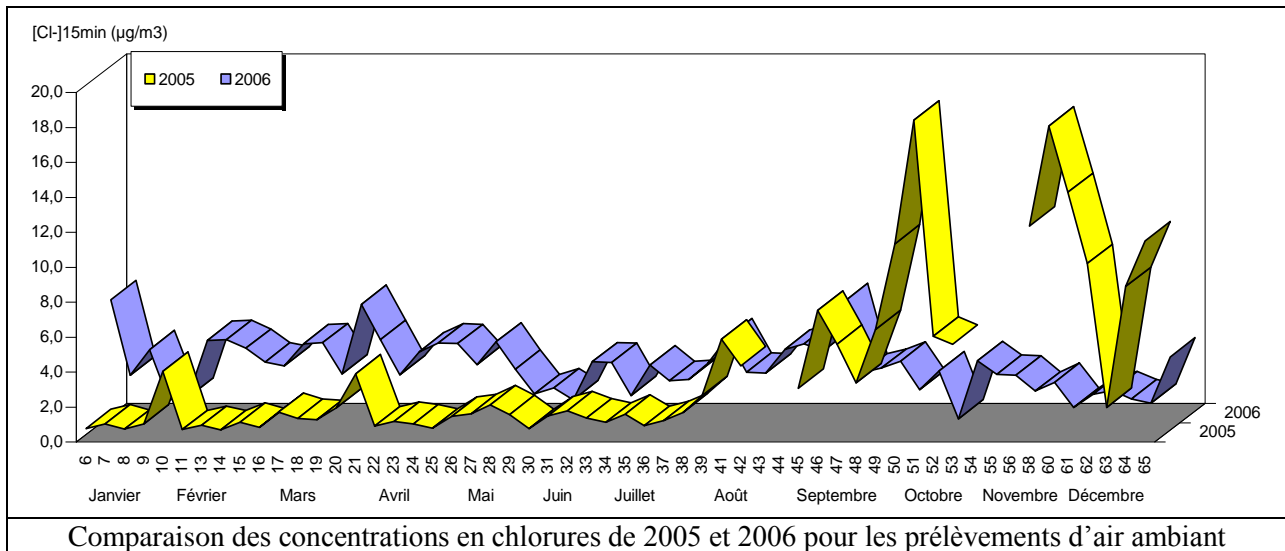
Les marées : On ne peut pas réaliser de corrélation avec le niveau des marées car les prélèvements par bac à eau s'effectuent sur six jours environs.

☞ Un résumé des corrélations avec les données météorologique se trouve en [annexe 4](#).

2.3 Comparaison des mesures avec l'année 2005

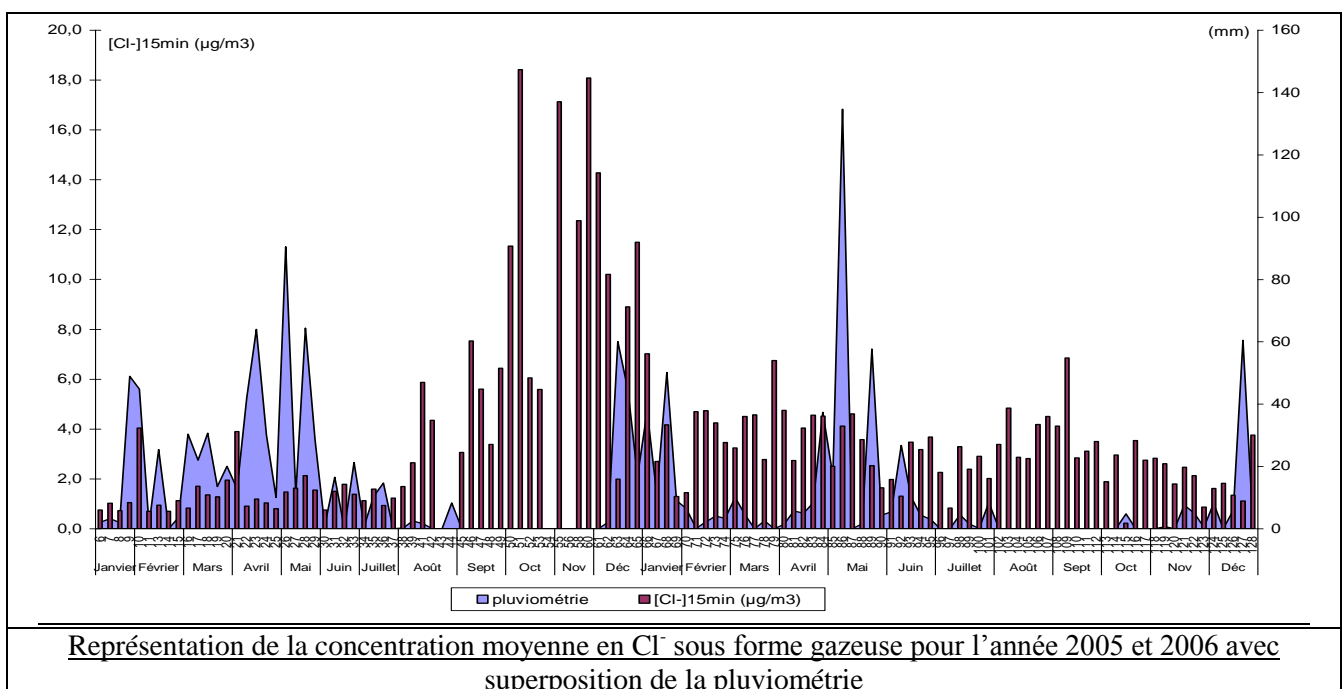
Nous allons donc comparer les résultats obtenus en 2006 à ceux de 2005.

2.3.1 Les concentrations en chlorure issues des barboteurs



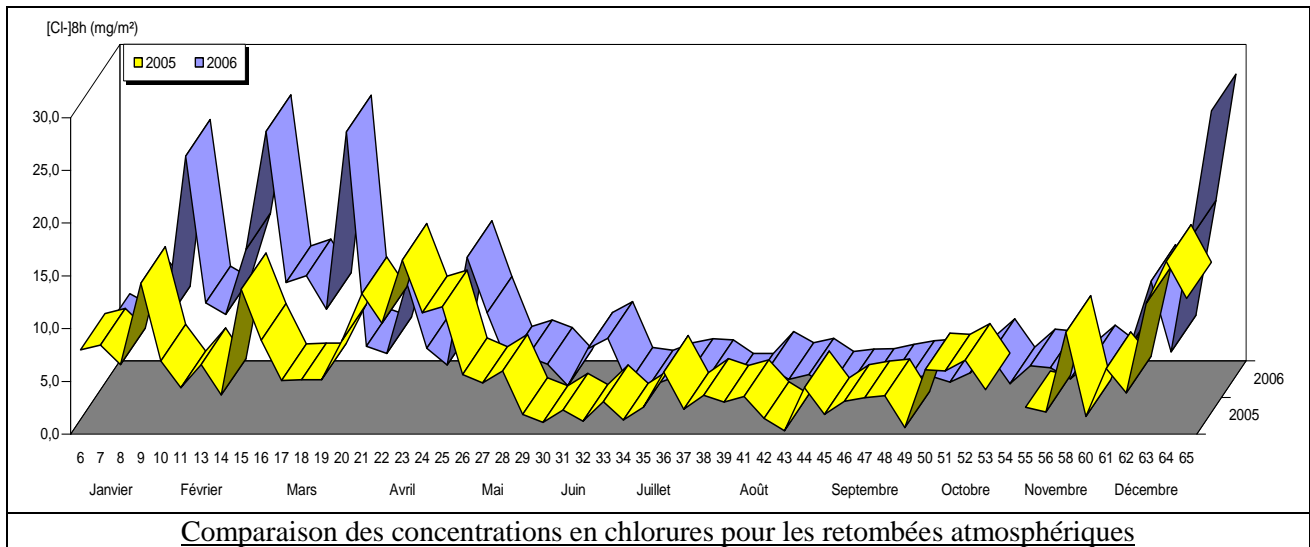
La concentration moyenne annuelle en ion chlorure sous forme gazeuse pour l'année 2005 est de **4,22 µg/m³**, et de **3,16 µg/m³** pour 2006. Cette diminution est probablement due au pic observé sur les trois derniers mois de l'année 2005. Le reste de l'année par contre, les concentrations de 2006 sont supérieures.

Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la concentration moyenne en ion chlorure sous forme gazeuse en 2005 et 2006.



On ne constate pas un phénomène saisonnier : le bruit de fond reste constant, notamment pour 2006. Les pics observés fin 2005, seraient peut-être dus au chantier SOYOUZ ou à des conditions météorologiques particulières (vent, précipitations).

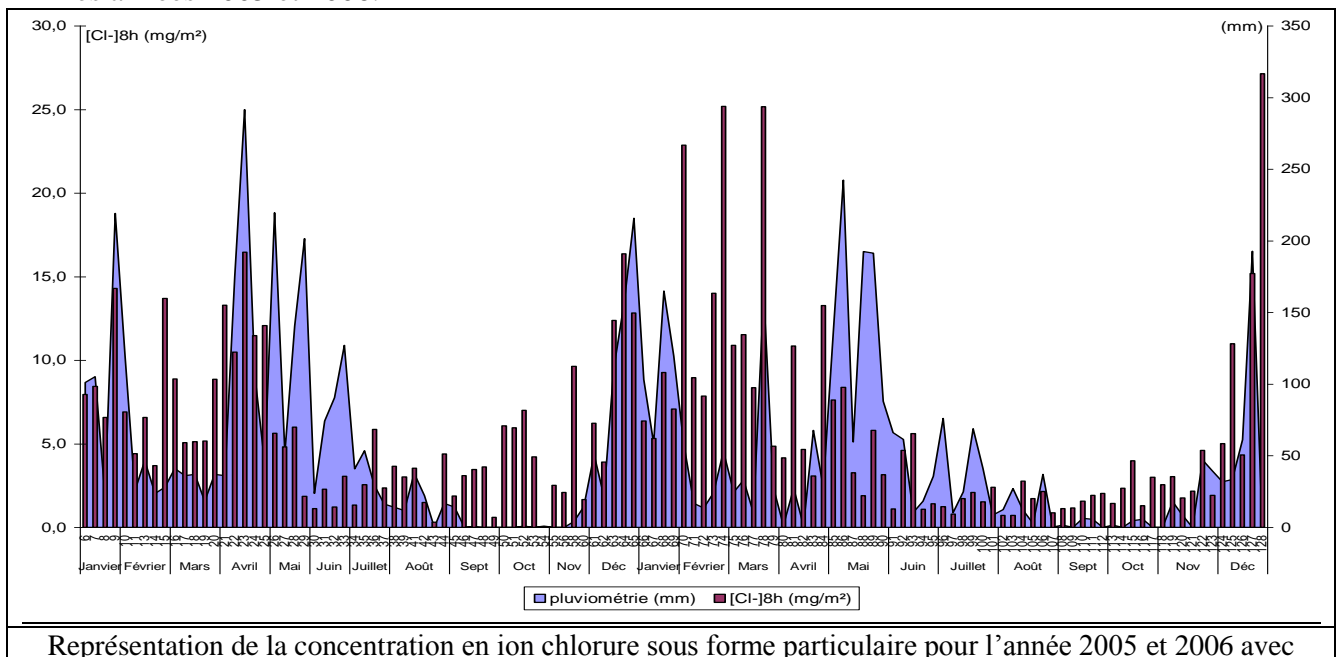
2.3.2 Les concentrations en chlorure issues des bacs à eau



La concentration moyenne en ion chlorure sous forme particulaire pour l'année 2005 est de **5,95 mg/m²**, alors que pour 2006, elle est de **5,79 mg/m²**.

Les deux années se superposent assez bien. En effet le bruit de fond ne diffère que de 0,16 mg/m². De plus, la variation du bruit de fond entre la saison des pluies et la saison sèche se confirme.

Le graphique ci-dessous représente le bruit de fond en ion chlorure sous forme gazeuse pour les années 2005 et 2006.



superposition de la pluviométrie

On constate un phénomène saisonnier : la concentration en ion chlorure dans les bacs à eau diminue en saison sèche, alors qu'elle augmente en saison des pluies, ceci étant notamment du aux apports des précipitations. En effet la pluie va fixer les ions chlorures de l'air, qui se retrouvent collectés par les bacs à eau.

3. DISCUSSION : EVENTUEL IMPACT DE L'ACTIVITE SPATIALE

3.1 Principaux produits émis par le lanceur Ariane 5

- L'étage principal cryogénique (EPC)

Il contient un réservoir rempli de 157 tonnes d'ergols.

- 132 tonnes de LOX (oxygène liquide)
- 25 tonnes de LH2 (hydrogène liquide)
- durée de combustion : 589 secondes

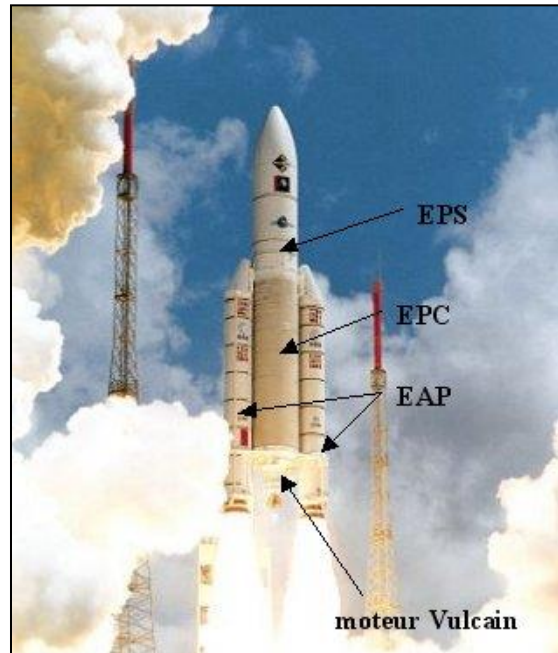
La poussée est fournie par le moteur Vulcain. Cet étage fournit la majorité de l'énergie nécessaire à la mise en orbite de la charge utile. Lorsque le lanceur s'arrête, il retombe ensuite vers la Terre et se désintègre au-dessus de l'océan.

- Les étages accélérateurs à poudre (EAP)

Ils permettent d'arracher les 725 tonnes du lanceur à la table de lancement. Les propulseurs contiennent chacun 237 tonnes de propergols.

- 68 % de **perchlorate d'ammonium**
- 18% de polybutadiène
- 14% d'aluminium
- durée de combustion : 130 secondes

Ils sont éjectés à une altitude de 55 à 70 km, avant de retomber dans la mer à environ 150 km de la base de lancement.



- L'étage à propergols stockables (EPS)

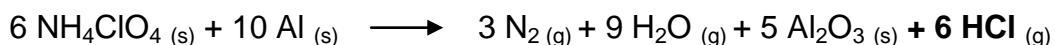
L'EPS comporte un ensemble de quatre réservoirs contenant jusqu'à 9,7 tonnes d'ergols.

- 3,2 tonnes de MMH (monométhylhydrazine)
- 6,5 tonnes de N₂O₄ (tétroxyde d'azote)
- durée de combustion : jusqu'à 1100 secondes

Il sert à ajuster la position des satellites dans l'espace.

Dès les premières secondes de vol, la combustion génère une grande quantité de chlorure d'hydrogène (HCl) et d'alumine (Al₂O₃) ainsi que des oxydes d'azote. Un système de pulvérisation d'eau au début de la phase de décollage de la fusée a notamment pour rôle de fixer les gaz expulsés lors de la combustion.

Chaque seconde, une expulsion de 1,9 t de gaz provenant, en partie, de la réaction suivante :



Pour l'année 2006, uniquement des fusées Ariane 5 "10 tonnes" ont été lancées. Cette version d'Ariane 5 est équipée du moteur Vulcain 2. Le volume d'oxygène liquide a été augmenté d'environ 15 tonnes et la quantité de propergol dans les EAP ont été augmentée de 2430 kilos. Cette modification permet d'obtenir un gain supplémentaire de 400 kilos de charge utile.

3.2 Plan de mesures environnement du Centre Spatial Guyanais

Le centre spatial guyanais doit répondre aux obligations réglementaires de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter l'Ensemble de Lancement n°3 ; ceci le contraignant à évaluer l'impact des activités liées au lanceur Ariane 5 sur l'environnement.

Les prescriptions de l'arrêté ont pour but la réalisation d'un plan de mesures sur l'environnement comprenant :

- la localisation de la zone de passage du nuage de combustion
- la mesure en continu de la qualité de l'air
- la mesure de retombées chimiques particulières et gazeuses en alumine et acide chlorhydrique
- l'analyse sur les eaux de carreaux et eaux de process du bâtiment d'assemblage final.
- la mesure de l'impact sur la végétation et sur l'avifaune
- la mesure sur la faune aquatique
- la mesure de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines
- la mesure de la qualité des sédiments des criques du CSG
- le suivi du mode de vie de la colonie d'échassiers (Ibis Rouges) de la Karouabo

Le centre national d'études spatiales (CNES), publie un rapport pour chaque vol et présente ainsi les résultats du plan de mesures. Ces données sont disponibles sur le site de la Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement de Guyane. (<http://www.ggm.drire.gouv.fr>)

• Les principales conclusions du plan de mesures environnement du CSG.

Les concentrations mesurées en aluminium et en ions chlorures suivent un gradient de dispersion allant des fortes concentrations vers des faibles concentrations en fonction de la distance d'éloignement par rapport à la zone de lancement.

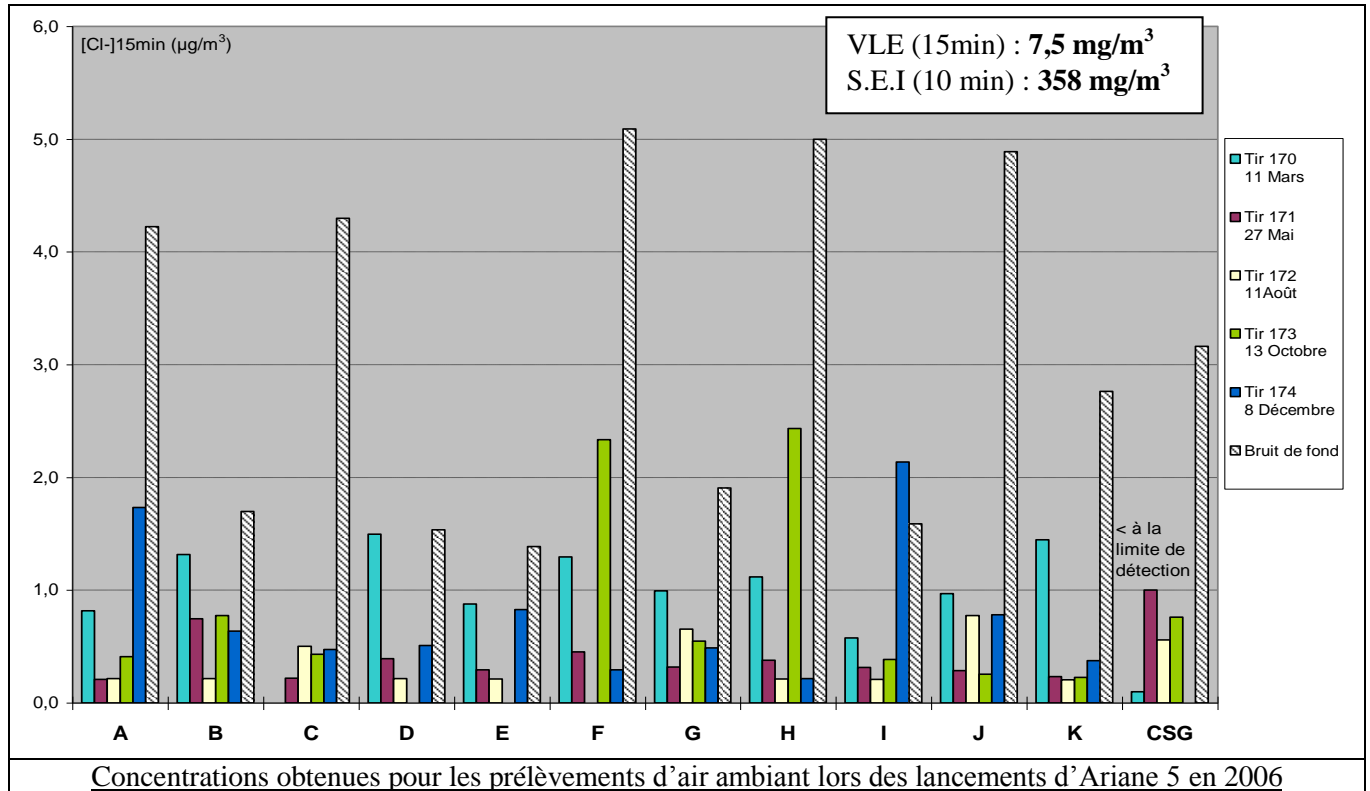
L'essentiel de l'impact des produits de combustion se situe en champ proche (jusqu'à 1km environ). Au-delà, en champ lointain, les valeurs mesurées sont inférieures aux valeurs seuils réglementaires.



Essai des accélérateurs à poudre

3.3 Résultats des analyses des retombées gazeuses en acide chlorhydrique

Ce graphique fait apparaître pour chaque site, les résultats des prélèvements d'air ambiant lors des lancements d'Ariane 5 pendant 2006.



Les valeurs mesurées en ion chlorure sous forme gazeuse lors des lancements d'Ariane 5 sur Sinnamary sont non significatives et du même ordre de grandeur que les valeurs naturelles :

⇒ Les valeurs mesurées correspondent au bruit de fond provenant des aérosols marins.

Les résultats des analyses du centre national d'études spatiales pour le lancement 174, n'ont pas été pris en compte car ils n'ont pas encore été publiés. Les sites de prélèvements à Sinnamary sont situés à environ 26 km de la zone de lancement du centre spatiale.

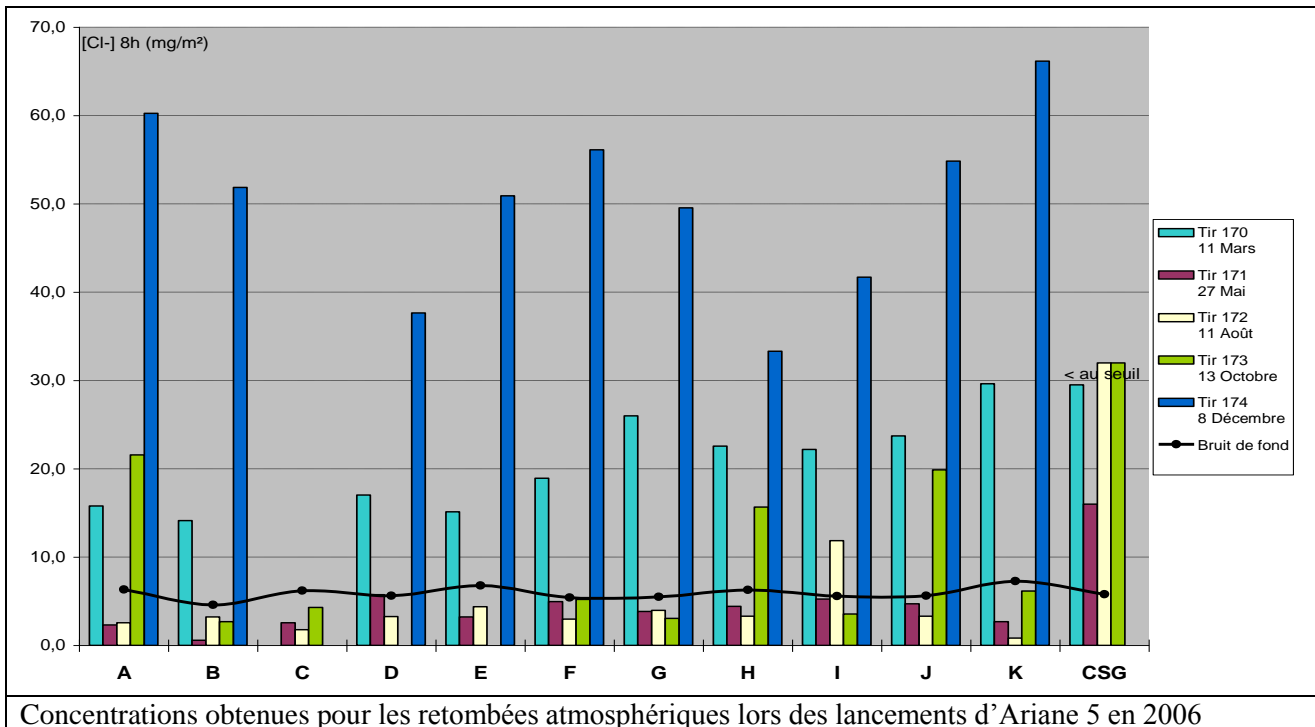
Les données du CSG ont été retranscrites pour une durée de 15 minutes pour les barbotages et de 8 heures pour les bacs à eau, de manière à pouvoir comparer les données entre elles.

⇒ Les concentrations en ions chlorures mesurées à Sinnamary sont très inférieures aux valeurs seuils réglementaires.

Les données sont récapitulées sous forme de tableau en [annexe 2](#), ainsi que les données du centre spatial en [annexe 3](#).

3.4 Résultats des analyses des retombées en particules d'acide chlorhydrique

Ce graphique fait apparaître pour chaque site, les résultats des prélèvements des retombées atmosphériques pour les lancements d'Ariane 5 de l'année 2006.



Les valeurs mesurées en ion chlorure sous forme particulaire lors des lancements d'Ariane 5 sur Sinnamary témoignent d'un éventuel impact :

⇒ certaines concentrations dépassent nettement les valeurs naturelles.

Les mesures issues des bacs à eaux sont les plus sensibles. On constate toutefois des nuances très différentes selon les lancements dus notamment aux conditions météorologiques et plus précisément à l'orientation que va prendre le nuage de combustion par rapport aux sites de prélèvements.

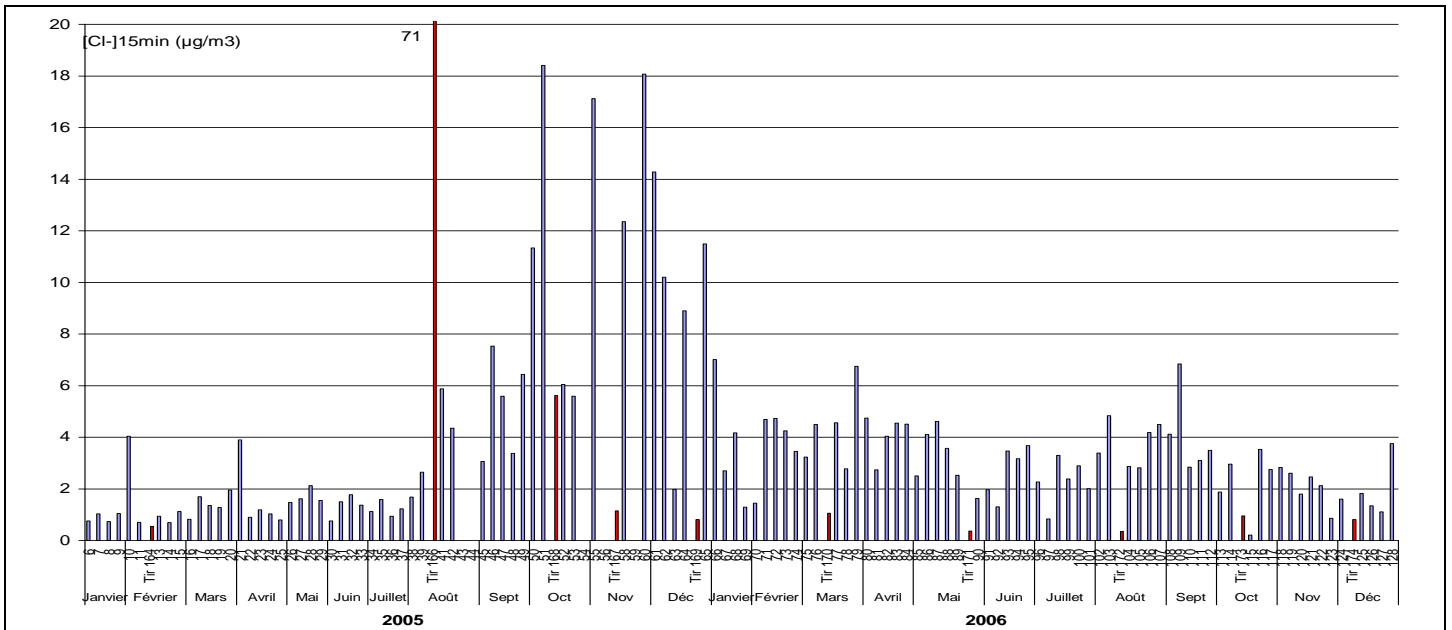
Les concentrations mesurées à Sinnamary ne peuvent pas être comparées à un seuil réglementaire car il n'existe à notre connaissance aucune référence en mg/m².

Données météorologiques du CNES lors les lancements (Annexe 3):

Le nuage de combustion se stabilise entre 1000m et 1300m d'altitude, et poursuit sa dispersion dans les basses couches de l'atmosphère.

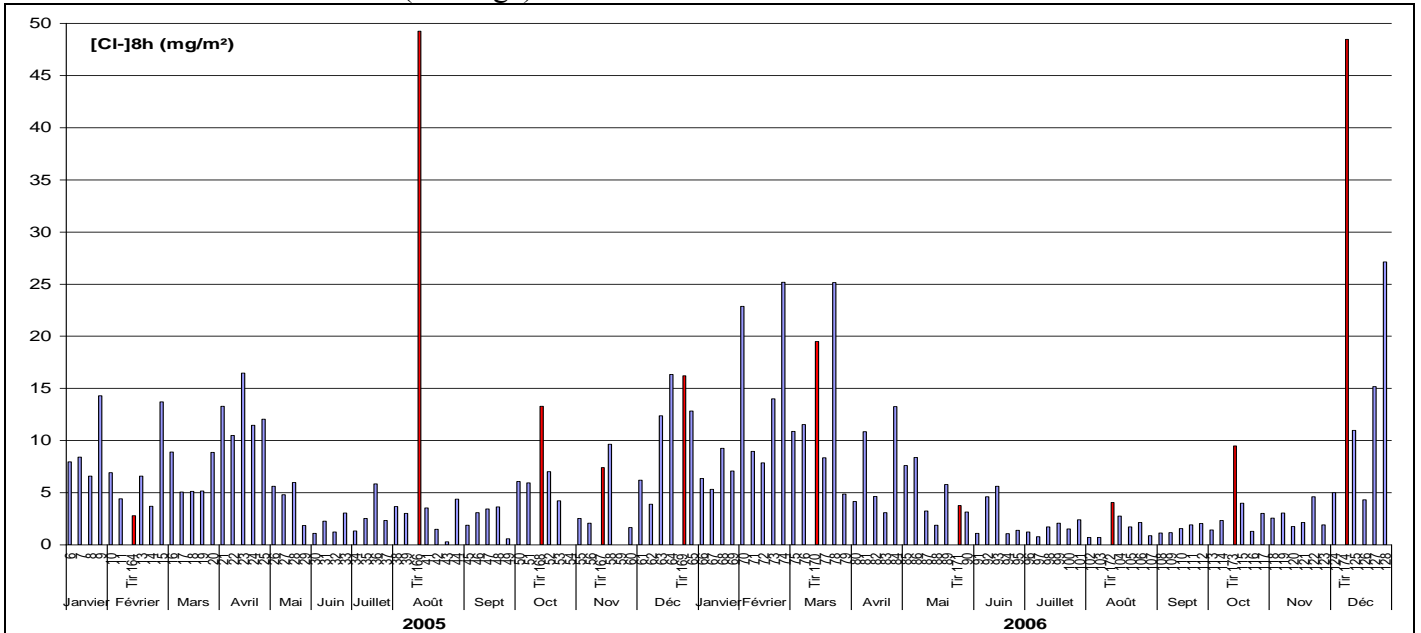
☞ On remarque une météorologie très variée notamment avec des vents qui changent en permanence mais les vents dominants soufflent majoritairement vers la commune de Sinnamary.

- Résultats des prélèvements d'air ambiant (en bleu) avec la représentation des lancements d'Ariane 5 (en rouge) de l'année 2005 et 2006.



Représentation des concentrations en ion chlorure sous forme gazeuse avec les lancements d'Ariane 5

- Résultats des prélèvements des retombées atmosphériques (en bleu) avec représentation des lancements d'Ariane 5 (en rouge) de l'année 2005 et 2006.



Représentation des concentrations en ion chlorure sous forme particulaire avec les lancements d'Ariane 5

- ♦ Les lancements d'Ariane 5 n'ont pas d'impacts mesurables sur la concentration en chlorure dans l'air ambiant de par les durées de barbotage de 4 heures.

Par contre, dans certaines conditions météorologiques particulières, on observe à Sinnamary des retombées supérieures au bruit de fond naturel en chlorure.

CONCLUSION

La prise en compte des enjeux environnementaux est désormais reconnue comme un impératif dans le cadre d'une démarche globale de développement durable.

⇒ Contrairement à ce qui a été observé pour les concentrations mesurées par barbotage, les **mesures par bac à eau** (Cl⁻ particulaire) présentent peu de variations entre les différents points de mesures, donnant une **meilleure estimation du bruit de fond en ion chlorure**.

⇒ Les concentrations des retombées obtenues sont tout de même inférieures aux normes réglementaires.

⇒ **Certaines mesures lors des tirs dépassent celui du bruit de fond naturel en ion chlorure**, montrant une modification ponctuelle de la qualité de l'air due aux émissions des produits de combustion du lanceur Ariane V.

Les résultats sur les retombées en acide chlorhydrique sont hétérogènes : l'étude ne couvre qu'une toute petite zone, et les retombées des polluants varient en fonction des conditions météorologiques.

Les mesures issues des bacs à eaux sont les plus sensibles. On constate toutefois des nuances très différentes selon les lancements dus notamment aux conditions météorologiques et plus précisément à l'orientation que va prendre le nuage de combustion par rapport aux sites de prélèvements.

Toutefois, avec les activités spatiales grandissantes, l'étude est à poursuivre pour une meilleure connaissance du bruit de fond et des polluants spécifiques sur le long terme en zones habitées.

Il serait alors intéressant :

- d'enlever les barboteurs, ou de réduire leur nombre car ils sont contraignant à l'exploitation (recharge des batteries des pompes) et opter pour un temps de barbotage de 120 minutes, que l'on appliquera pour tous les sites

- et d'augmenter le nombre de bacs à eau afin d'élargir la couverture du champ d'étude autour de l'agglomération.

Cette démarche permettrait une meilleure densité et représentativité d'échantillonnage.

Il serait également pertinent de mettre en place d'autres dispositifs, analysant une plus grande diversité de polluants (alumine, oxydes d'azote, oxydes de carbone, hydrocarbure aromatique polycyclique ...).

BILAN PERSONNEL

Ces quatorze semaines de stage passées au sein de l'Observatoire Régional de l'Air de Guyane m'ont tout d'abord permis de me familiariser avec le monde du travail et de découvrir le domaine de l'air, les analyseurs et leur fonctionnement.

Ce stage m'aura fait prendre conscience que les techniciens, dans ce domaine, doivent en effet être polyvalents et avoir de nombreuses connaissances. Car l'analyse de l'air, fait appel à un savoir sur la météorologie, l'informatique et l'électronique.

De plus ce stage fut très enrichissant car il m'a apporté une vision professionnelle indispensable à l'accomplissement de ma licence.

Suite à l'expérience acquise, ma formation s'avère un bon tremplin pour atteindre un avenir professionnel intéressant dans ce domaine très vaste, celui de la protection de l'environnement où les débouchés sont actuellement porteurs.

ANNEXES

ANNEXE 1 : TABLEAU DE MESURE SUR LE BRUIT DE FOND

**ANNEXE 2 : TABLEAU DE MESURE POUR LES LANCEMENTS
D'ARIANE V**

ANNEXE 3 : MESURE DU CSG SUR SINNAMARY

**ANNEXE 4 : CORRELATIONS AVEC DES DONNEES
METEOROLOGIQUES**

❖ **Annexe 1:** Tableau de mesure

Mois	N° Lot	[Cl ⁻] _{15min} (µg/m ³)	[Cl ⁻] _{8h} (mg/m ²)	Pluviométrie BE (ml)	Pluviométrie B (mm)	Vent BE (m/s)	Vent B (m/s)	Humidité % B
Janvier	66	7,01	6,36	1041	37,8	3,3	5	94
	67	2,70	5,32	28	10,9	3,0	3	69
	68	4,17	9,26	746	50,1	3,2	2	76
	69	1,30	7,08	919	9,0	2,3	4	87
Février	70	1,45	22,86	261	6,5	4,1	1	98
	71	4,69	8,96	0	0,1	4,7	3	82
	72	4,73	7,85	0	2,2	4,7	5	74
	73	4,24	14,01	62	4,0	3,9	4	87
	74	3,46	25,19	813	3,3	3,9	5	80
	75	3,23	10,89	0	10,0	5,7	6	78
Mars	76	4,50	11,52	87	4,5	5,2	5	83
	Tir 170	1,05	19,49	46	4,5	4,6	4	85
	77	4,56	8,35	8	0,0	4,8	5	80
	78	2,78	25,16	904	2,5	4,0	5	81
	79	6,74	4,86	0	0,0	4,8	6	75
Avril	80	4,74	4,16	0	1,3	4,7	5	76
	81	2,73	10,86	71	5,7	3,8	5	76
	82	4,04	4,66	0	5,0	4,5	5	84
	83	4,55	3,07	0	8,3	3,8	5	82
	84	4,51	13,26	344	37,3	3,9	2	97
Mai	85	2,50	7,61	612	16,9	2,5	4	91
	86	4,11	8,38	1259	134,6	3,0	1	98
	87	4,61	3,26	292	0,0	1,8	2	83
	88	3,57	1,90	811	1,5	2,6	7	70
	89	2,52	5,80	1085	57,7	3,2	1	94
	Tir 171	0,36	3,76	105	19,2	2,5	4	91
	90	1,63	3,15	525	4,3	2,2	0	99
Juin	91	1,97	1,10	487	5,4	2,1	1	99
	92	1,31	4,60	687	26,7	2,3	2	97
	93	3,47	5,61	11	10,3	2,6	2	96
	94	3,17	1,08	87	4,3	1,9	2	90
	95	3,68	1,41	202	3,0	1,8	1	97



Détermination de la concentration naturelle en ion chlorure à Sinnamary

- Annexe 1 -

Juillet	96	2,26	1,23	457	0,0	1,6	2	90
	97	0,83	0,79	22	0,0	2,1	2	90
	98	3,29	1,72	62	4,4	2,8	4	98
	99	2,39	2,09	232	1,4	2,1	0	94
	100	2,90	1,53	145	0,1	2,2	0	93
Août	101	2,01	2,40	0	8,4	3,0	1	97
	102	3,38	0,72	0	0,0	2,0	2	98
	103	4,83	0,71	0	0,0	2,8	1	93
	Tir 172	0,36	4,07	0	0,0	2,4	3	82
	104	2,87	2,76	0	0,0	2,5	6	71
	105	2,82	1,72	0	0,0	2,1	3	88
Septembre	106	4,18	2,15	0	0,0	2,8	2	96
	107	4,49	0,88	0	0,0	2,4	1	98
	108	4,11	1,13	0	0,0	2,8	4	97
Octobre	109	6,84	1,17	0	0,0	2,8	4	88
	110	2,84	1,56	0	0,0	2,7	6	64
	111	3,10	1,92	0	0,0	3,2	3	85
	112	3,50	2,04	0	0,0	2,8	0	96
Novembre	113	1,88	1,44	0	0,0	2,8	1	93
	114	2,95	2,33	0	0,0	2,6	0	97
	Tir 173	0,95	9,49	0	1,5	3,8	4	77
	115	0,21	3,98	0	4,7	2,9	4	92
	116	3,53	1,29	0	0,0	2,8	0	98
Décembre	117	2,75	3,01	0	0,0	3,0	0	98
	118	2,82	2,56	0	0,0	2,6	0	
	119	2,60	3,04	0	0,6	2,7	4	
	120	1,79	1,77	0	0,0	2,4	4	
	121	2,46	2,16	0	7,5	2,3	2	
	122	2,13	4,60	273	5,0	2,3	3	
Année	123	0,87	1,91	0	0,4	2,8	6	
	124	1,61	5,01	81	8,2	2,7	1	84
	Tir 174	0,81	48,46	288,0	57,5	2,3	2,0	94,0
	125	1,82	10,99	47	0,0	3,3	5	84
	126	1,35	4,33	0	5,9	3,7	2	90
Année	127	1,11	15,19	836	60,5	3,7	2	96
	128	3,75	27,14	0	3,5	4,1	5	82

❖ Annexe 2: Tableau de mesures pour les lancements d'Ariane V de 2006.

TIRS	Sites	[Cl ⁻] ₁₅ (µg/m ³)	[Cl ⁻] _{8h} (mg/m ²)	TIRS	Sites	[Cl ⁻] ₁₅ (µg/m ³)	[Cl ⁻] _{8h} (mg/m ²)
76_170	A	0,82	15,78	114_173	A	0,41	21,57
	B	1,32	14,13		B	0,77	2,70
	C				C	0,43	4,28
	D	1,50	17,00		D		
	E	0,88	15,11		E		
	F	1,29	18,92		F	2,33	5,19
	G	0,99	26,01		G	0,55	3,05
	H	1,12	22,55		H	2,43	15,67
	I	0,58	22,21		I	0,39	3,54
	J	0,97	23,70		J	0,26	19,89
	K	1,45	29,62		K	0,22	6,14
	CSG	0,10	29,50		CSG	0,76	32,00
	89_171	A	0,21		2,31	124_174	A
B		0,75	0,57	B	0,64		51,85
C		0,22	2,55	C	0,48		
D		0,39	5,75	D	0,51		37,63
E		0,29	3,22	E	0,83		50,91
F		0,45	4,96	F	0,29		56,10
G		0,32	3,86	G	0,49		49,53
H		0,38	4,42	H	0,22		33,32
I		0,31	5,25	I	2,14		41,70
J		0,29	4,73	J	0,78		54,83
K		0,23	2,70	K	0,38		66,14
CSG		1,00	16,00				
103_172		A	0,21	2,55			
	B	0,22	3,22				
	C	0,50	1,79				
	D	0,22	3,26				
	E	0,21	4,38				
	F		2,99				
	G	0,65	3,98				
	H	0,21	3,31				
	I	0,21	11,86				
	J	0,78	3,33				
	K	0,21	0,81				
	CSG	0,56	32,00				

❖ Annexe 3 : Mesure du CSG sur Sinnamary

Mesures du CSG en champ lointain sur Sinnamary						
Pollution particulaire			Pollution gazeuse			
[Cl ⁻] CSG (mg/m ²)	Temps d'exposition	[Cl ⁻] 8h (mg/m ²)	[Cl ⁻] CSG (µg)	Temps de pompage	Débit horaire (L/h)	[Cl ⁻] 15min (µg/m ³)
354,4	96h	29,5	1	3h20	23	0,1
96	48h	16	0,94	2h55	27,5	1
96	24h	32	0,94	3h47	29,2	0,56
96	24h	32	1	3h10	32,6	0,76

Les limites de détection :

- en ions chlorures sous forme gazeuse : 1 µg
- en ions chlorures sous forme particulaire: 2 mg/l soit 96 mg/m²

Dimension des bacs à eau : 17,4 x 12 cm

Données météorologiques du CNES lors les lancements :

- **Vol 170** : la force du vent du sol jusqu'à une altitude de 500m est de 8,2 m/s avec une direction Sud-ouest. Au-delà de 500m la vitesse des vents diminue et s'oriente vers l'Ouest.
- **Vol 171** : la force du vent du sol jusqu'à 500m est de 6,6 m/s avec une direction Ouest.
- **Vol 172** : la force du vent du sol jusqu'à 500m est de 6,6 m/s avec une direction Ouest, puis change de direction et s'oriente vers le Nord-ouest.
- **Vol 173** : la force du vent du sol jusqu'à 500m est de 5,3 m/s avec une direction Ouest. La vitesse des vents augmente jusqu'à 2500m pour atteindre une vitesse maximum de 11,0m/s, et s'oriente vers le Nord-ouest entre 1000m et 4000m d'altitude.

Annexe 4 : Corrélation avec les données météorologiques

<u>La pluviométrie</u>	<u>Le vent</u>	<u>L'humidité</u>	<u>Les marées</u>	
BARBOTAGE [Cl-] 15min (µg/m ³) gazeux	Pas d'influence enregistrée	[Cl-] augmente quand la force du vent s'amplifie	[Cl-] diminue quand l'hygrométrie augmente	[Cl-] augmente avec la marée basse et diminue avec la marée haute
BAC A EAU [Cl-] 8h (mg/m ²) particulaire	[Cl-] augmente quand la pluviométrie augmente	[Cl-] augmente significativement quand la force du vent s'amplifie	[Cl-] augmente quand l'hygrométrie augmente	

♦ Calcul statistiques

	Moyenne annuelle 2006	Ecart type	Variance (x)	Covariance(x,y)	coef corrélat°(%)
[Cl-] gazeux 15min	3,16 µg/m ³	1,42	2,01		
Pluviométrie	9,11 mm	20,96	439,21	1,37	5 %
Force du vent	2,92 m/s	1,98	3,91	0,68	25 %
Humidité	88,12 %	9,21	84,79	-2,78	21 %
[Cl-] Saison pluies	3,49 µg/m ³	1,53			
[Cl-] Saison sèche	2,86 µg/m ³	1,26			
Marées	2,06 m	0,89	0,80	-0,27	22 %
[Cl-] Marées B	3,40 µg/m ³	1,69			
[Cl-] Marées H	2,94 µg/m ³	1,10			
[Cl-] particulaire 8h	5,79 mg/m ²	6,24	38,90		
Pluviométrie	45,68 mm	57,04	3253,91	94,56	27 %
Force du vent	3,07 m/s	0,93	0,86	3,27	57 %
Humidité	85,7 %	4,16	16,69	2,46	10 %
[Cl-] Saison pluies	9,88 mg/m ²	6,97			
[Cl-] Saison sèche	2,07 mg/m ²	1,19			

- L'équation de la **covariance** est la suivante :
$$Cov(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)$$

où x et y sont les moyennes d'échantillon, et n la taille de l'échantillon.

La covariance, moyenne des produits des écarts pour chaque série d'observations. La covariance s'utilise pour déterminer la relation entre deux ensembles de données.

- L'équation du **coefficient de corrélation** est la suivante :
$$\rho_{x,y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Le coefficient de corrélation s'utilise pour déterminer la relation entre deux propriétés.
Par exemple, on examine la relation entre la concentration en chlorure et la force du vent.



BIBLIOGRAPHIE

- Documents de référence :

INERIS

Institut National de L'Environnement Industriel et des Risques
« Aide à la définition d'une stratégie de surveillance de la qualité de l'air dans les zones habitées autour du Centre Spatial Guyanais »
M.RAMEL – C.FERRIERES
Direction des Risques Chroniques
Décembre 2002

INERIS

« Mise en place de préleveurs pour la mesure de HCl dans l'air ambiant autour de Sinnamary »
C.FERRIERES
Direction des Risques Chroniques
Janvier 2005

INERIS

« Seuils de Toxicité Aiguë - Acide chlorhydrique (HCl) »
Annick PICHARD
Direction des Risques chroniques (DRC)
Unité d'Expertise Toxicologique des Substances chimiques (ETSC)
Janvier 2003



Centre National d'Etudes Spatiales
« Résultats du plan de mesures environnement Ariane »
Préparé par S. Richard
Approuvé par V. Veilleur



Données Météo France
Service Régional de Guyane / Climatologie
- Pluviométrie Quotidienne sur Kourou et Sinnamary
- Force et direction du vent sur Kourou et Sinnamary

- Sites Internet:

<http://www.arianespace.com/>
Arianespace

<http://www.cnes.fr/>
CNES - Ariane 5

<http://www.esa.int/>
ESA - Ariane 5