

Rapport de stage de licence 3

Année universitaire 2011-2012

QUESNE-TURIN Ambroise

Composition chimique de sols de l'hémisphère Sud



Responsable: Rémi Losno, LISA

Je tiens en premier lieu à remercier le laboratoire LISA et le professeur Rémi Losno de m'avoir accepté en stage, et m'avoir permis d'effectuer ce travail de recherche. Je le remercie aussi pour ces conseils concernant l'obtention des résultats ainsi que leur exploitation. Cela m'a permis d'apprendre le travail de laboratoire, mais aussi le travail de terrain lorsqu'il m'a emmené installer des appareils de mesure au sommet du Puy de Dôme alors que cela n'entrait pas dans le cadre des recherches de mon stage.

Je remercie le professeur Jean Paul Quisefit de m'avoir accepté lors de l'un de ses TPs destinés aux masters SGE, me permettant d'étudier le spectromètre à fluorescence X qui m'a été indispensable durant ce stage. Je le remercie aussi pour tout ces conseils et explications qu'il m'a fourni le long de ce stage. Je remercie aussi Guy Malingre pour son aide lors des manipulation que j'ai effectuées.

Je remercie Zihan Qu pour l'aide qu'il m'a apportée, et pour la préparation des sols que j'ai analysés. Je remercie aussi Alexie Heimburger pour les informations qu'elle m'a apportées.

Table des matières

Introduction.....	4	Échantillons de sols.....	13
Matériel.....	5	Aérosols:.....	14
Spectrométrie de fluorescence X.....	5	Kerguelen :.....	15
Fonctionnement:.....	5	Échantillons de sols.....	15
Broyage :.....	6	Évolution des teneurs.....	16
Pastille :.....	7	Fluorescence X.....	16
Logiciel Omnian Minipal :.....	7	Comparaison avec les résultats de Diego	
ICP-AES :.....	8	M Gaiero.....	16
Fusion :.....	8	Comparaison avec les lichens:.....	16
Dissolution :.....	8	Conclusion.....	18
Étalonnage et fiabilité.....	9	Première expérience de terrain.....	19
Vérification de la fiabilité de la spectrométrie		Puy de dôme.....	19
par fluorescence X :.....	9	Installation.....	19
Précision :.....	9	Conclusion.....	20
Répétabilité :.....	10	Annexes.....	21
Prélèvements.....	11	Fiabilité du spectromètre à Fluorescence X	22
Technique de prélèvement.....	11	Étalonnage.....	22
Patagonie.....	11	Répétabilité.....	24
Introduction :.....	11	Analyse de fluorescence X :.....	25
Prélèvements :.....	11	Légende :.....	25
Kerguelen.....	12	Kerguelen :.....	26
Introduction :.....	12	Patagonie :.....	28
Prélèvements :.....	12	Analyse ICP-AES des lichen de Patagonie.	30
Résultats :.....	13	Analyse ICP-AES des aérosols.....	32
DFP :.....	13		

Introduction

L'océan Austral s'étend sur une vaste région dans le Sud du globe terrestre. Les zones de terre présents dans cette partie du globe sont peut nombreuses. Les aérosols générés par les vents soufflant sur ces mers et ces terres proviennent principalement de l'Australie, du Sud de l'Afrique et de la Patagonie. Les aérosols sont indispensable a la vie dans les océans car ils apportent des nutriments indispensables au développement du phytoplancton¹.

Durant mon stage, j'ai eu à étudier des sols prélevés en Patagonie et sur les îles Kerguelen afin de mieux connaître la composition chimique de ces terres et donc des aérosols qui en sont issus. Nous avons analysé ces sols par spectrométrie de fluorescence X. Pour cela, nous avons du tout d'abord préparé les sols en les broyant pour en faire des pastilles par frittage. Puis nous avons comparé nos résultats d'analyse avec les résultats d'autres expérimentateurs, qui auront analysé les sols, les aérosols ou bien des lichens prélevés dans les mêmes zones. Nous avons voulu essayer une analyse par ICP-AES² (Inductively coupled Plasma, Atomic emission Spectrometry) de nos échantillons. Contrairement à la SFX où l'échantillon est analysé sous forme de solide, l'ICP-AES nécessite une mise en solution préalable. Nous avons tenté cette mise en solution par fusion au tétraborate de lithium mais sans succès. Je terminerai ce rapport par un petit compte rendu de ma première expérience de terrain où j'ai participé à l'installation d'une station de collecte et de mesure du mercure au Puy de Dôme.

Ce travail contribue au programme "Dust From Patagonia"³ financé par l'INSU dans le cadre de son programme LEFE et fait partie de SOLAS⁴.

1 Morel F. M. M. and N. M. Price, The Biogeochemical Cycles of Trace Metals in the Oceans, *Science*, 300, 944 – 947, DOI: 10.1126/science.1083545.2003.

2 R. Losno, l'ICP-AES, documents de cours.

3 <http://www.insu.cnrs.fr/lefe/projets-retenus-en-2012>

4 <http://solas-int.org/science/researchendorsements/resendprojects/FLATOCAJan2012.pdf>

Matériel

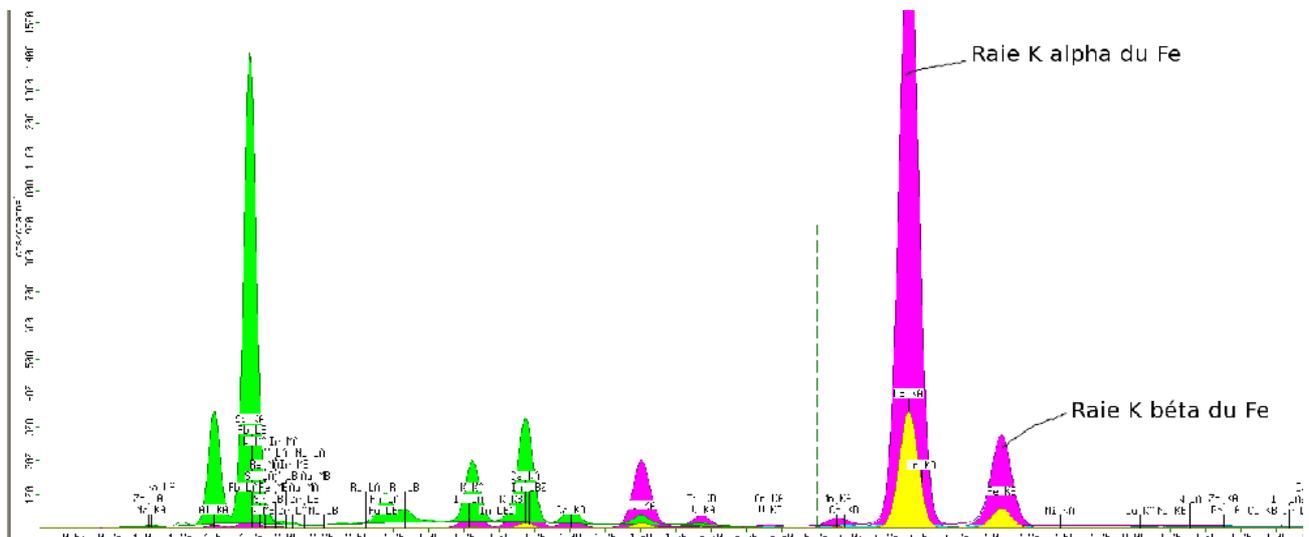
Spectrométrie de fluorescence X

Fonctionnement:

Cette technique permet de détecter un rayonnement X caractéristique d'un élément chimique.

Le principe de cette technique est de bombarder un échantillon avec des rayons X, de manière à exciter les atomes dans leurs couches internes, ce qui provoque une fluorescence dans le domaine des rayons X. Les photons de fluorescence ont une énergie caractéristique de l'atome qui les ont émis, et c'est ainsi qu'on peut les caractériser⁵.

Lorsque le photon va être absorbé par l'atome, il va entraîner la perte d'un électron de cœur (généralement de la couche K). L'ion ainsi créé va se stabiliser en promouvant un de ses électrons d'une couche supérieure vers la couche de l'électron qui a été éjecté. Cette promotion s'accompagne par une perte d'énergie de l'atome, traduite par l'émission d'un photon d'une longueur d'onde caractéristique de l'élément.



Si l'électron éjecté par le photon X incident appartenait à la couche K, deux possibilités se présentent alors. Soit l'électron promu vient de la couche L (appelée transition K_{α}), soit il vient de la couche M (appelée transition K_{β}). Un électron provenant d'une couche M entraîne une plus grande perte d'énergie que s'il venait de la couche L, qui se traduit par un rayonnement de plus forte énergie. De cette manière, sur notre spectre, les éléments présents qui se sont vus retirer un électron de la couche K, possèdent deux raies provenant des transitions K_{α} et K_{β} . On peut facilement les

⁵ http://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie_de_fluorescence_X

différencier : la raie de $K\alpha$ est plus intense que $K\beta$ car elle est plus probable et la raie $K\beta$ a une énergie plus forte (donc longueur d'onde plus faible) que $K\alpha$.

Principe de l'appareil :

La création de rayons X se fait à l'aide d'un tube à rayons X composé d'un filament en tungstène sous vide et d'une plaque métallique recouverte de rhodium. On applique entre le filament et la plaque une différence de potentiel d'une puissance ad-hoc, de manière à créer des rayons X avec l'énergie et l'intensité voulues. Ce tube à rayons X est entouré d'un blindage en cuivre, ne laissant passer les rayons que par une fenêtre en béryllium (n'absorbant pas les rayons X émis) orientée vers l'échantillon qui va réémettre un rayonnement de fluorescence.



Illustration 1: SFX utilisé pour nos manipulations

Les photons de fluorescence sont alors analysés un par un par une diode dispersive en énergie suivant 2048 canaux linéairement répartis entre 0 et 30 keV. L'analyse des éléments impose différentes contraintes à l'appareil: pour les éléments légers, une faible tension est favorable (environ 5 kV) à l'analyse, alors que pour un élément plus lourd, on utilisera une tension plus élevée (30 kV). On peut interposer un filtre entre le tube et l'échantillon, ce filtre va aussi jouer un rôle selon les éléments que l'on analyse; nous disposons de filtre en argent, en aluminium ou en polymère plastique. Pour une analyse quantitative, nous devons préparer des solutions étalons de composition connues afin d'estimer la proportion d'éléments que nous avons.

Broyage :

Nous utilisons est un broyeur à billes afin d'obtenir de meilleurs résultats. On place notre échantillon dans un bol en carbure de tungstène avec des billes composées de ce même matériau (ou en un autre matériau selon ce que l'on veut analyser). Puis on place notre bol fermé dans le broyeur réglé à 420 tours/minute pendant 5 minutes. Une fois fini, on vérifie que notre échantillon n'est plus qu'une poudre bien fine et homogène.



Illustration 2: Broyeur à billes que nous avons utilisé

Le choix du matériau du bol et des billes est important, car on retrouvera des traces de ce matériau dans nos analyses. Ici, nous avons décidé que, pour l'ensemble de nos échantillons, nous utiliserons un broyeur en carbure de tungstène ; nous retrouverons alors dans nos échantillons des traces de tungstène dues au broyage, ce qui nous empêchera d'obtenir la véritable composition en tungstène de notre échantillon. L'avantage du carbure de tungstène est que, comparé aux autres matériaux que nous possédons, il ne contamine pas nos échantillons en terres rares, car nous souhaitons connaître avec précision la présence de ces éléments dans nos échantillons.



Illustration 3: Bol et billes en carbure de tungstène

Pastille :

La mise en forme d'une pastille doit être précédée d'une étape de mélange de notre échantillon broyé avec de la cire (Ici, nous avons utilisé de la cire C Hoechst micropoudre). Nous faisons un mélange de 5 g d'échantillon avec 0,9 g de cire. On homogénéise le mélange en l'agitant énergiquement dans un pilulier fermé avant de poursuivre. Une fois le mélange terminé, on peut le passer à la presse, on le soumet à une pression de 20 tonnes dans un moule afin de lui donner la forme et la dureté voulues. La pastille est alors terminée, elle est stockée dans une boîte adaptée.



Logiciel Omnian Minipal :

Le logiciel Omnian permet de traiter la masse de données récupérées par le détecteur de fluorescence X pour en obtenir les valeurs de composition élémentaire des pastilles. Ce logiciel a été bien calibré pour traiter des échantillons de sols. Le spectromètre va alors effectuer 4 spectres sous différentes conditions: un 1er sous 30kV, 300 μ A et un filtre argent. Le second est sous 20kV,

392 μA et filtre aluminium. Un troisième sous 12kV, 611 μA et un filtre plastique. Et enfin un dernier spectre sous une tension de 5,5kV et une intensité de 1000 μA , sans filtre. Le programme établit alors une compilation et une déconvolution des spectres pour déterminer la concentration élémentaire de nos échantillons.

ICP-AES :

Fusion :

La fusion de nos échantillons est nécessaire avant l'analyse à l'ICP. Pour cela, on pèse 50 mg de notre échantillon, dans un creuset en platine ou or/platine, que l'on mélange à 250 mg de Métaborate de lithium, ou de Tétraborate de lithium, ou un mélange des deux. Nous faisons fondre l'ensemble dans un four à 1000°C pendant 12 heures. Le refroidissement se fait lentement, le produit a alors le temps de se cristalliser. On le passe alors au bec meker, puis on le refroidit brutalement en posant le creuset sur une plaque de carbone graphite.

Dissolution :

Après refroidissement, le reste des étapes s'effectuera en salle blanche afin de ne pas contaminer nos échantillons. On verse 4 à 5 ml d'acide nitrique dans le creuset à l'aide d'une éprouvette graduée. On place alors le creuset dans des bocaux fermés afin d'éviter l'évaporation de l'acide. Au bout de 24 heures, l'échantillon devrait être dissous dans l'acide. On le place alors dans un flacon que l'on a pesé au préalable, puis on remplit ce flacon d'eau ultra-pure. On pèse à nouveau afin de calculer le volume d'eau ajouté. Comme nous l'avons signalé dans l'introduction, la phase de dissolution n'a pas bien fonctionné.

Il nous a fallu attendre plus d'une semaine pour à chaque fois obtenir la dissolution complète du verre de borate produit par la fusion. Le nombre de creusets en platine étant très restreint, nous avons dû abandonner le projet d'analyser nos sols de cette façon pendant la durée de mon stage. Nous avons comparé les propriétés des différents Borates dont nous disposons : Métaborate, Tétraborate et un mélange 50% Tétraborate 50% Métaborate. Nous les avons fait fondre au four à 1000°C pendant 12h puis nous les avons mis en solution avec de l'acide nitrique. Le mélange égal Tétra et Métaborate s'est dissous au bout d'une semaine, alors que les deux autres ne se sont pas ou mal dissous. J'ai en revanche pu assister à l'analyse ICP-AES des lichens prélevés en Patagonie et préparés par Mathilde Vaillant dans le cadre du projet DFP et à l'analyse des échantillons d'aérosols de laboratoire, extraits à partir des mêmes sols de Patagonie que j'ai analysés.

Étalonnage et fiabilité

Vérification de la fiabilité de la spectrométrie par fluorescence X :

Précision :

Afin de vérifier si les résultats que nous donne le spectromètre sont justes, nous passons des échantillons de standard géologiques afin de déterminer la fiabilité de cette méthode de mesure. Un standard géologique est un échantillon de sol, de roche, ou d'un autre matériau naturel, dont la composition est connue. On compare les résultats fournis par le logiciel du spectromètre de fluorescence X avec la composition élémentaire certifiée fournie par le fabricant du géostandard. Nous avons passé ces échantillons 3 fois chacun pour pouvoir faire une moyenne de nos mesures.

On observe alors que certains éléments ne sont pas fiables, tel que l'or, le thorium ou l'indium, car on retrouve des traces de ces éléments par analyse alors que les CRM n'en contiennent pas ou en quantité bien inférieure à celle analysée. D'autres éléments ne sont détectables qu'à partir d'un minimum de concentration tel que le potassium (1% minimum), le sodium (3% minimum) et le magnésium (10% minimum). On observe une bonne répétabilité de nos mesures ainsi qu'une précision qui dépend des éléments (avec 15% d'erreur au maximum).

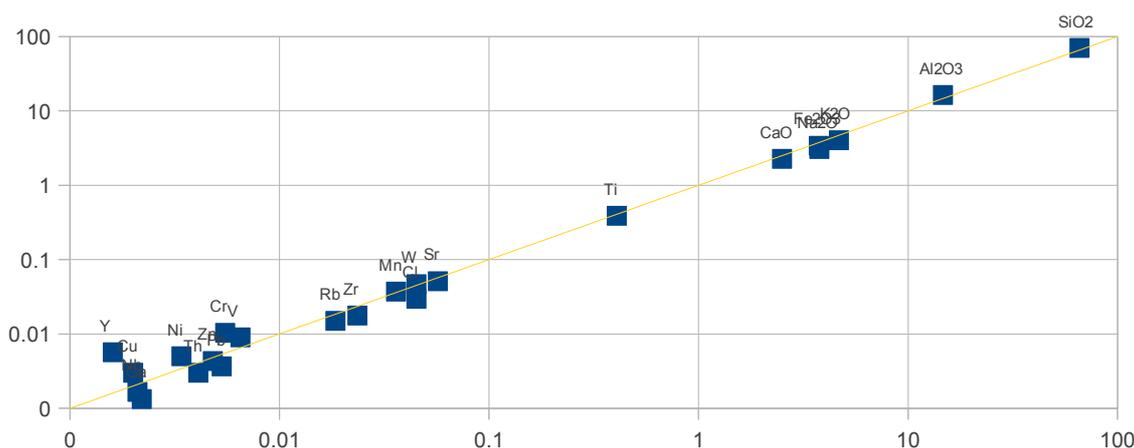


Illustration 4: composition élémentaire mesurée par Omnian du géostandard GSN en fonction de sa composition de référence. Les éléments les moins concentrés (en bas à gauche) sont les moins bien analysés.

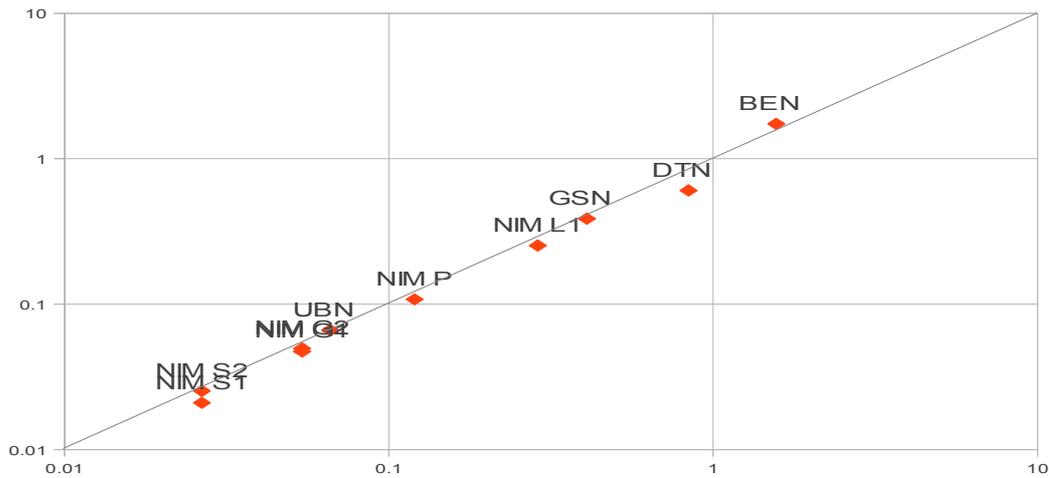


Illustration 5: Concentration en Ti analysé par Omnian dans les géostandards en fonction de sa composition de référence

Répétabilité :

Nous avons ensuite fait 3 pastilles du même sol que nous avons analysées 5 fois chacune. On observe un écart relatif maximum à la moyenne qui dépend de l'élément et de sa concentration. Par exemple, le sodium a un écart relatif maximum de 26,6%, mais certains éléments, comme le nickel, ont un écart relatif maximum inférieur à 0.5%. La moyenne des écarts relatifs maximum est de 6,95% (en excluant Ru et Ga). Lorsque l'on fait le bilan de nos mesures, on s'aperçoit que le chrome, le sodium et le soufre montrent une variabilité importante.

Conclusion: nous pouvons donc en déduire la liste des éléments que nous pouvons analyser par cette méthode: Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn, Sr et W

Prélèvements

Technique de prélèvement

Les lieux des sols prélevés ont été choisis pour leur pertinence. Mais tous les types de sols n'ont pas été prélevés. Seuls les sols susceptibles d'être érodables l'ont été. Une photo proche des sols à prélever est alors prise, puis une plus éloignée. Les sols sont alors prélevés dans des boîtes ou des sachets en plastique, qui sont ensuite refermés.

Patagonie

Introduction :

La Patagonie est une région qui se situe sur la pointe sud de l'Amérique du Sud. Cette région comprend principalement l'Argentine, et le Sud du Chili, elle comprend des zones montagneuses à l'Ouest, des glaciers, mais aussi des plaines et des grands lacs. La Patagonie se trouve à la latitude de l'Océan Austral.

Prélèvements :

Les prélèvements pour le programme Dust From Patagonia ont été effectués dans le Sud de la province de Santa Cruz, 34 sols de différents lieux ont été prélevés pour analyse. Les prélèvements ont été effectués par Alexie Heimburger, Rémi Losno et Fabrice Monna au cours d'une campagne menée en décembre 2011. La surface couverte par les prélèvements est approximativement de 6000 km². Ces échantillons nous permettent donc d'étudier une grande surface,

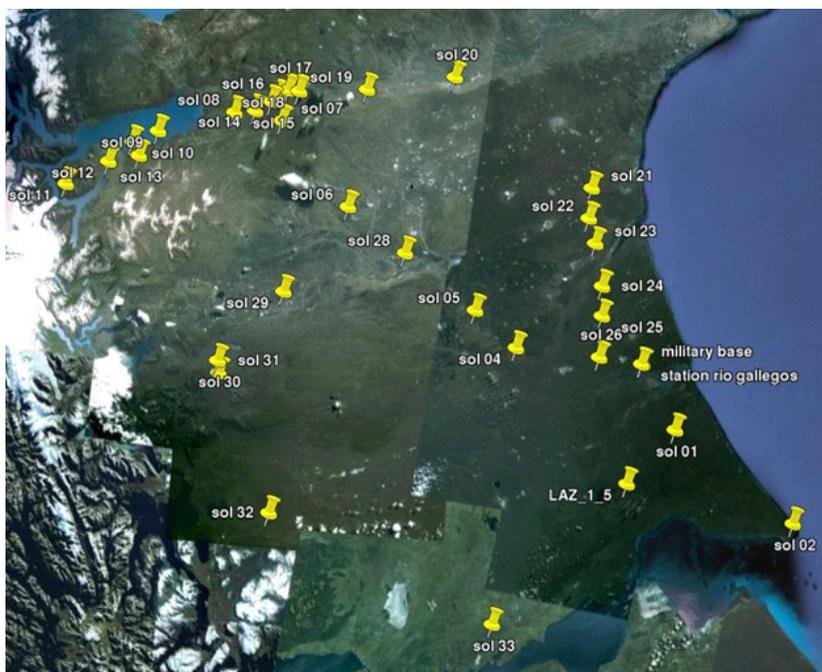


Illustration 6: Image Google Earth des emplacements des sols prélevés en Patagonie

10 ont été prélevés sur la cote Est de Patagonie, 10 au centre, 5 au Nord-Ouest, près du lac Argentino, et 9 au Nord. L'espacement entre un point de prélèvement et son plus proche voisin est très variable, il va de quelques centaines de mètres à une centaine de kilomètres. La majeure partie des points de prélèvement et de leurs plus proches voisins sont séparés d'une dizaine de kilomètres. Des prélèvements de lichens ont également été effectués si possible au même endroit que les sols, et une station de mesure d'aérosol a été installée.

Kerguelen

Introduction :

Les îles de Kerguelen, ou îles de la Désolation, se situent dans l'Océan Austral, au Sud Est de l'Afrique, aux coordonnées 49° 20' S et 69° 20' E. Ces îles sont d'origine volcanique, le point culminant de ces îles est un volcan appelé le Mont Ross qui s'élève à 1850 mètres. La région est balayée par des vents forts qui soufflent d'Ouest en Est. L'île principale, nommée Grande Terre est d'une taille presque égale à celle de la Corse. Les principales activités effectuées sur ces îles sont d'ordre scientifique.

Prélèvements :

Les prélèvements des îles Kerguelen ont été effectués sur plusieurs sites, 32 sols ont été prélevés afin d'être analysés. Les prélèvements ont été effectués par Alexie Heimbουργeur, et Sylvain Triquet au cours de 2 campagnes de décembre 2009 et 2010. La surface couverte par les prélèvements est approximativement de 500 km².



Illustration 7: Image Google Earth des emplacements des sols prélevés sur l'île de Kerguelen

Résultats :

DFP :

Échantillons de sols

Les pastilles des échantillons prélevées en Patagonie ont été analysées par SFX, afin de discriminer les sols prélevés en différents endroits, nous y avons calculé le rapport Ti/Al d'environ 0,05 sur l'ensemble des résultats (mis à part le sol « LAZ_1_5 », qui a été prélevé sur un volcan, qui a un rapport de 0,2). On observe que les sols 3 ; 11 ; 23 et 30 présentent une proportion plus importante des mêmes éléments : Ca, Fe, Cu, Zn, Ga, Sr et Y, ces éléments sont présents en grande quantité, de plus, ces sols ont une faible teneur en Si.

Les sols 2 ; 11 et 23 ont une composition en sodium suffisante pour qu'elle soit visible en SFX. Cela s'explique par leur proximité avec la mer. L'interpolation des rapports Ti/Al nous permet d'observer un rapport assez uniforme dans la région des sols prélevés, mis à part le sol 3 (LAZ_1_5) pour lequel on observe une différence très nette avec le reste de la carte.

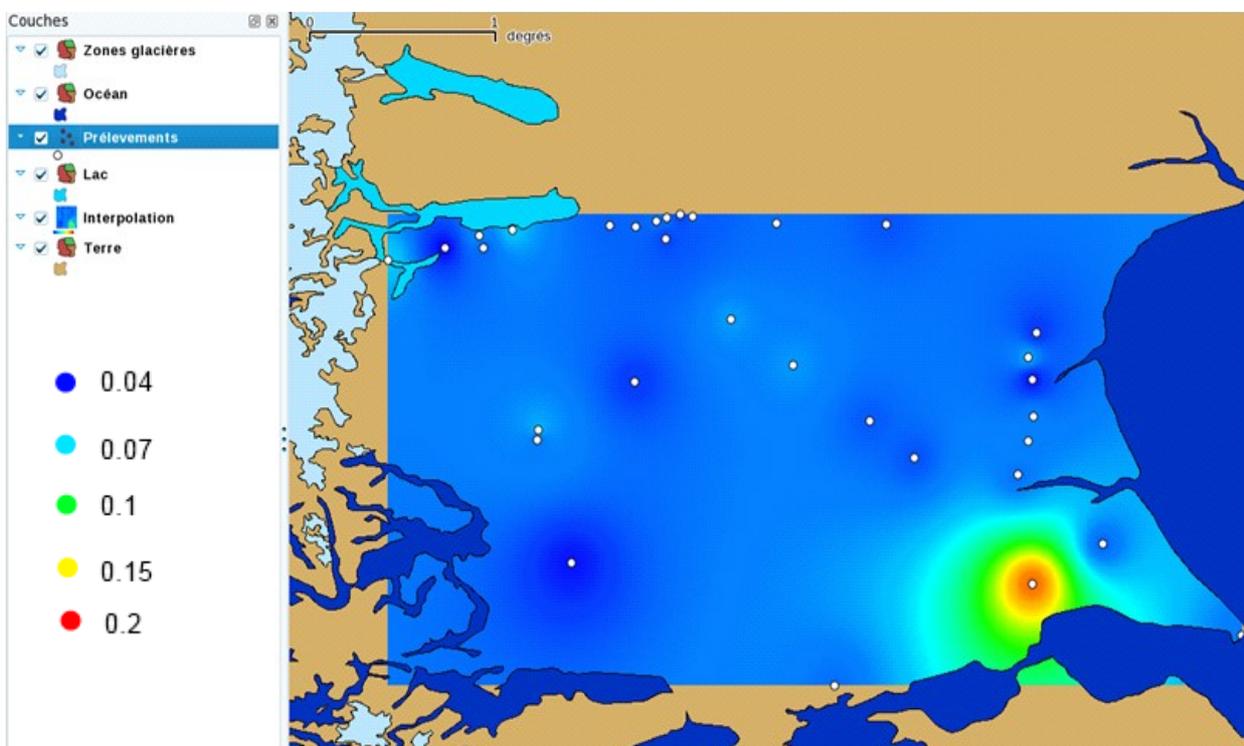


Illustration 8: Interpolation du rapport Ti/Al des sols prélevés en Patagonie avec le logiciel Quantum GIS

Aérosols:

Des aérosols ont été recréés à partir de sols de Patagonie puis analysés par ICP-AES après dissolution par HNO₃/HF⁶ et Spectrométrie à fluorescence X. Ces aérosols ont été préparés par Zihan QU. Nous pouvons alors comparer les aérosols aux sols dont ils sont issus. Nous observons que les compositions élémentaires des sols et aérosols sont dans des proportions proches. Mais les variations de composition entre les sols et les aérosols générés sont plus difficiles à expliquer à ce niveau.

6 Z. Qu, Emission de poussière par la Patagonie, rapport de stage de Master 2, Master SGE, juin 2012.

Kerguelen :

Échantillons de sols

On observe que les sols labélisés AH sont proches au niveau de leurs compositions chimiques, alors que les sols labélisés GPS sont très différents les uns des autres. Ces différences ou ressemblances s'expliquent par la proximité des sols AH entre eux et sans doute sur un terrain plus homogène, alors que les sols GPS sont davantage distants les uns des autres et situés sur un terrain avec une grande variété de pédologie. Nous n'avons pas encore interprété ces variations à la lumière de cartes géologiques ni pédologique, mais ce sera l'objet d'études ultérieures.

Pour les échantillons prélevés à Kerguelen, on observe une grande variabilité du rapport Ti/Al, en effet, il varie de 0,057 à 0.25. On peut observer une évolution graduelle du rapport Ti/Al de l'Ouest vers l'Est. Cette évolution est très nette lorsqu'on l'observe sur l'interpolation effectuée avec le logiciel Quantum GIS. Afin de pouvoir comparer plus facilement avec la Patagonie, nous avons gardé la même échelle de couleur. On peut observer que le sol le plus à l'Est a un rapport Ti/Al similaire aux sols de Patagonie, mais ce rapport augmente rapidement pour atteindre des valeurs très supérieures.

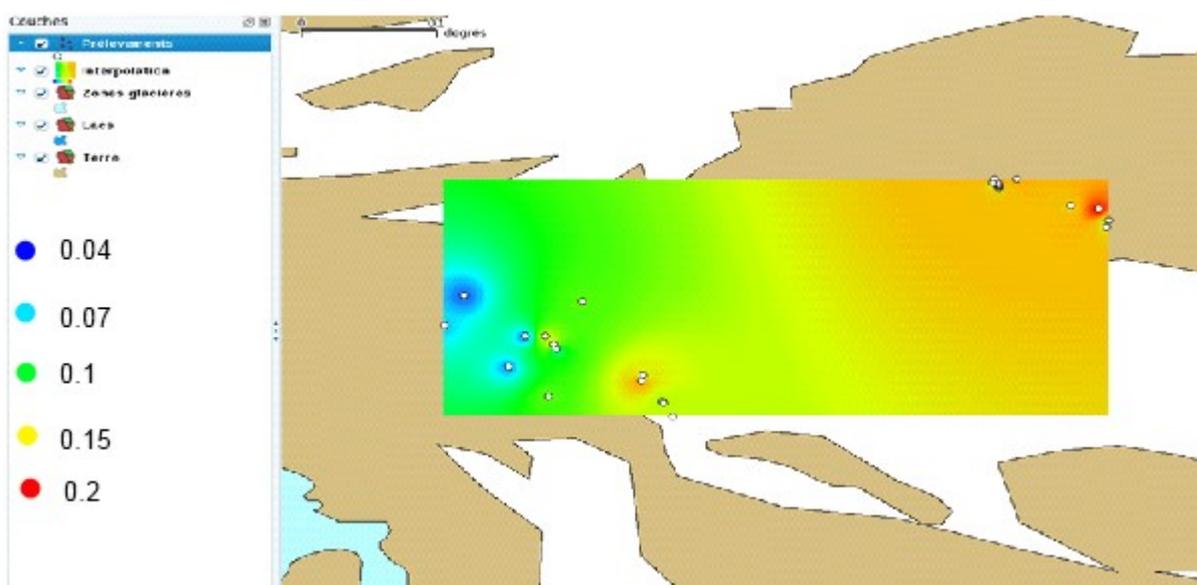


Illustration 9: Interpolation des rapports Ti/Al des sols prélevés à Kerguelen avec le logiciel Quantum GIS

Évolution des teneurs

Fluorescence X

Comparaison avec les résultats de Diego M Gaiero

Diego M Gaiero a lui aussi analysé des terres de Patagonie, certains de ces échantillons ont été prélevés non loin de nos propres points de prélèvement, nous pouvons alors comparer nos résultats avec les siens.

Une différence notable entre ces méthodes d'analyse est la taille des grains étudiés ; nous avons tamisé les sols par voie sèche pour obtenir des grains de taille inférieure à 1mm, alors que les résultats de Diego M Gaiero ne concernent que des grains inférieurs à 63 μ m. Nos échantillons semblent contenir plus de quartz comme le démontre une teneur en silice (SiO²) plus élevée dans nos échantillons. Afin de pouvoir comparer nos résultats, nous avons dû faire l'hypothèse que les grains plus gros que 63 μ m sont essentiellement du quartz.

Les rapports Fe/Al ont 16% de différence entre les deux résultats. Les rapports Ti/Al ont 37% de différence. Et les rapports Mn/Al ont une différence de 11%. On observe que dans tous les rapports que nous avons comparés, les résultats de Diego M Gaiero ont des valeurs supérieures aux nôtres. On peut penser que les grains de taille comprise entre 1mm et 63 μ m ne sont pas uniquement composés de Si mais aussi de Fe, Mn et Ti. Avec cette incertitude sur la composition des ces gros grains , nous ne pouvons pas vérifier directement nos mesures en les comparant à celle de Diego M Gaiero.

Comparaison avec les lichens:

Des lichens ont été prélevés en Patagonie dans les mêmes zones de prélèvement que les sols. Ces lichens ont pour caractéristique de prélever les minéraux nécessaires à leur survie non pas sur les roches sur lesquelles ils poussent, mais dans les particules d'aérosols⁷. Nous pouvons alors grâce à ces lichens déterminer la composition des aérosols en analysant la composition des lichens. Leurs

⁷ Monna, F., Poujol, M., Annegarn, H., Losno, R., Coetze, H., Dominik, J. (2006) Origin of atmospheric lead in Johannesburg, South Africa. Atmospheric Environment. 40, 6554-6566.

préparations aux analyses ont été effectuées par Mathilde Vaillant dans le cadre du projet DFP. Une fois préparés, ils ont été analysés par ICP-AES.

Afin de pouvoir comparer les valeurs des mesures des lichens et des sols, nous avons dû remanier nos résultats. Les lichens ont été dissous dans de l'acide fluorhydrique, la totalité de Si s'est alors évaporée sous la forme de SiF_4 . Nous avons donc ôté le Si de nos mesures de sols. De plus, nous avons ignoré les valeurs de K et P dans les mesures des lichens car ces deux éléments sont fortement métabolisés par le symbiote. Nous avons alors pu comparer les lichens et les sols.

La majeure partie des compositions élémentaires des lichens ne semble pas avoir un lien très étroit avec la composition des sols associés. Mais, on observe que les rapport Fe/Al ainsi que les rapports Ti/Al sont bien corrélés dans les sols et les lichens (Illustration 10). On observe aussi que les lichens et les sols LAZ, ont un rapport Ti/Al et Fe/Al élevé, ces sols ont été prélevés à proximité d'un volcan.

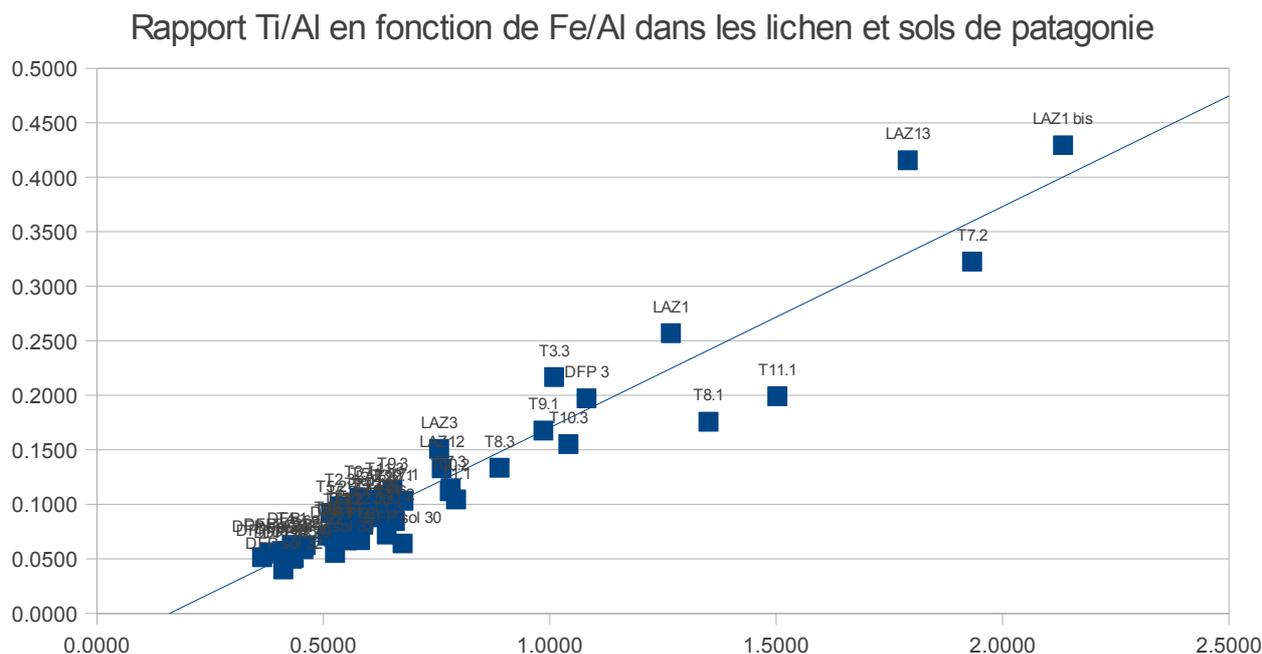


Illustration 10: Les sols sont marqués DFP

Conclusion

La majeure partie des résultats que nous avons traités proviennent d'analyse par spectrométrie à fluorescence X. Nous avons vérifié la fiabilité de nos analyses avec les échantillons de géostandard. Les analyses effectuées avec le spectromètre à fluorescence X semblent être suffisamment précises pour pouvoir être exploitées correctement pour les éléments suivants, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn, Sr et W. On a donc pu observer que les compositions des sols de Patagonie sont très uniformes comparées aux sols de Kerguelen.

En comparant ces résultats aux lichens présents à proximité de ces sols, on a pu voir qu'il n'y a que peu de liens direct entre la composition chimique des sols et des aérosols. On peut donc penser que les aérosols ne sont constitués que de certains grains de tailles spécifiques, qui n'ont pas la même composition que l'ensemble des grains que forment les sols. Nos résultats ont aussi été comparés avec les sols analysés par Diego M Gaiero, ce qui renforce l'hypothèse que l'on vient d'émettre à propos de la différence de composition des grains. Les sols de Diego M Gaiero ont été tamisés de manière à obtenir des grains de tailles bien inférieures aux nôtres, leur composition en était très variée.

Première expérience de terrain

Puy de dôme

Du 30 mai au 1er juin, je suis parti avec mon Maître de stage Rémi Losno à Clermont Ferrand afin d'installer un collecteur de retombées atmosphériques et un analyseur de mercure gazeux. Nous avons installé ces systèmes au sommet du Puy de Dôme, dans l'observatoire scientifique du Puy de Dôme (OPGC), spécialisé dans les études atmosphériques. Nous avons travaillé en collaboration avec Aurélie Colomb, qui nous y a accueilli.

Installation

Nous avons tout d'abord installé l'analyseur de gaz étalonné grâce à une fiole contenant des vapeurs de mercure à saturation. Nous avons prélevé le gaz contenu dans ces fioles à l'aide d'une seringue, puis nous l'avons injecté dans l'analyseur en lui indiquant la masse de mercure injecté. Pour calculer cette quantité, nous avons utilisé une table de valeur de pression de vapeur saturante du mercure en fonction de la température. Nous avons injecté différentes masses de mercure pour former une droite de calibration. L'appareil fonctionne par absorption atomique à la vapeur froide et avec pré concentration sur or. Nous avons alors connecté l'appareil à une prise d'air menant sur le toit de l'observatoire. Cela nous permet de pouvoir analyser le mercure atmosphérique à la hauteur du toit.

Le collecteur de retombé totale a été installé sur le toit de l'observatoire, nous avons tout d'abord fixé un tube PVC (qui sert de support), nous avons alors posé un entonnoir, relié à une bouteille remplie d'acide chlorhydrique à 2% qui empêche le mercure de s'échapper. La bouteille sera collectée et remplacée tous les 15 jours, puis analysée en laboratoire.



Conclusion

Avec ce voyage, j'ai pu voir comment se déroulaient les conditions du terrain, j'ai eu l'occasion de parler avec des universitaires de Clermont Ferrand. J'ai aussi pu voir l'intérieur d'un laboratoire d'analyse atmosphérique d'altitude. Le cadre de cette station est exceptionnel avec une vue sur toute l'Auvergne ainsi qu'un temple antique gallo-romain à quelques mètres de l'observatoire ; de plus, notre mission concernait le relevé du mercure et, le hasard faisant bien les choses, le temple était dédié au Dieu Mercure.



Annexes

Fiabilité du spectromètre à Fluorescence X

Étalonnage

Nr	BEN	DTN	GSN	NIM D1	NIM D2	NIM G1	NIM G2	NIM L1	NIM P	NIM S1	NIM S2	UBN
MgO	13,15	0	2,3	43,51	43,51	0,06	0,06	0,28	25,33	0,46	0,46	35,21
Na2O	0	0	3,77	0,04	0,04	3,36	3,36	8,37	0,37	0,43	0,43	0,1
Al2O3	10,07	59,2	14,67	0	0	12,08	12,08	13,64	4,18	17,34	17,34	0
SiO2	38,2	36,45	65,8	38,96	38,96	75,7	75,7	52,4	51,1	63,63	63,63	39,43
Cl	0	0,003	0,045	0	0	0	0	0,12	0	0	0	0,08
P2O5	1,05		0,28					0,0028366867	0,00098193	0,12	0,12	0,04
SO3	0,0749101796		0,0279720559					0,1623053892				0,0499401198
K2O	1,39	0,12	4,68	0,01	0,01	4,99	4,99	5,51	0,09	15,35	15,35	0,02
CaO	13,87	0,04	2,5	0,28	0,28	0,78	0,78	3,22	2,66	0,68	0,68	1,2
Ti	1,5646933667	0,8392991239	0,4076595745	0,012	0,012	0,054	0,054	0,2877	0,12	0,0265	0,0265	0,0659449312
V	0,0235	0,015	0,0065	0,004	0,004	0,0002	0,0002	0,0081	0,023	0,001	0,001	0,0075
Cr	0,036	0,026	0,0055	0,3551219512	0,3551219512	0,0012	0,0012	0,001	2,9593495935	0,0012	0,0012	0,23
Mn	0,1548914576	0,0061956583	0,036	0,1703806033	0,1703806033	0,016	0,016	0,5963321116	0,1703806033	0,008	0,008	0,093
Fe2O3	12,84	0,55	3,75	17	17	2	2	9,91	12,7	1,4	1,4	8,34
Ni	0,0267	0,0014	0,0034	0,2043180297	0,2043180297	0,0008	0,0008		0,0555	0,0007	0,0007	0,2
Cu	0,0072	0,0007	0,002	0,001	0,001	0,0012	0,0012	0,0013	0,0018	0,0019	0,0019	0,0028
Zn	0,012	0,0028	0,0048	0,009	0,009	0,005	0,005	0,0395	0,01	0,001	0,001	0,0085
Ga	0,0017	0,003	0,0022	0	0	0,0027	0,0027	0,0054	0,0008	0,0011	0,0011	0
Rb	0,0047	0,0006	0,0185	0	0	0,0325	0,0325	0,019	0	0,053	0,053	0
Sr	0,137	0,003	0,057	0,0003	0,0003	0,001	0,001	0,4566184134	0,0032	0,0062	0,0062	0
Y	0,003	0,00066	0,0016	0	0	0,0143	0,0143	0,0022	0,0005	0	0	0,00025
Zr	0,026	0,037	0,0235	0	0	0,03	0,03	1,1030498296	0	0,0033	0,0033	0
Nb	0,0105	0,0034	0,0021	0	0	0,0053	0,0053	0,0977608908	0	0	0	0
W	0,0029	0,012	0,045	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0,013	0,14	0,001	0,001	0,012	0,012	0,045	0,0046	0,2418254745	0,2418254745	0
Hf	0	0,001	0,00062	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	0,0004	0,0025	0,0053	0	0	0,004	0,004	0,0043	0	0,0005	0,0005	0,00013
In	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Th	0,00104	0,0012	0,0041	0	0	0,0051	0,0051	0,0066	0	0,0001	0,0001	0
Ru	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Au	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Illustration 11: Tableau des valeurs d'analyse des CRMs par fluorescence X

Nr	BEN	DTN	GSN	NIM D1	NIM D2	NIM G1	NIM G2	NIM L1	NIM P	NIM S1	NIM S2	UBN
MgO	10,329333333	0	0	40,158666667	39,903	0	0	0	21,383666667	0	0	37,244
Na2O	0	0	3,08	0	0	2,5683333333	2,6063333333	7,737	0	0	0	0
Al2O3	12,918	61,916333333	16,349666667	0	0	14,739	14,766333333	16,807	6,313	19,081666667	18,529666667	0
SiO2	42,262	36,612333333	70,253333333	40,670333333	40,394666667	75,380333333	74,906666667	55,255666667	53,774	66,357333333	65,985	48,593
Cl	0	0	0,029666667	0,010666667	0	0,020666667	0,022666667	0,1013333333	0	0	0	0,075666667
P2O5	1,159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO3	0,273666667	0,040333333	0	0,008666667	0,007666667	0	0	0,3313333333	0,081666667	0	0,001666667	0,715
K2O	1,305666667	0,112666667	4,014666667	0,02	0	4,385666667	4,623666667	4,8923333333	0,089666667	12,975	13,717	0,011
CaO	14,959333333	0,037666667	2,262666667	0,308666667	0,317666667	0,78	0,8333333333	3,0343333333	2,716	0	0	1,278666667
Ti	1,7373333333	0,605666667	0,387	0	0	0,0473333333	0,049666667	0,2533333333	0,108	0,021	0,0253333333	0,0663333333
V	0,032	0,015	0,009	0	0	0,001	0,001	0,0063333333	0,0193333333	0	0	0,005666667
Cr	0,056666667	0,027	0,0103333333	0,294666667	0,300666667	0,026	0,0143333333	0,0163333333	2,268666667	0,01	0,012666667	0,332666667
Mn	0,164666667	0	0,037	0,171666667	0,176	0,010666667	0,011666667	0,5343333333	0,175666667	0,005	0,006	0,121
Fe2O3	14,249333333	0,562333333	3,4	18,105333333	18,631333333	1,926	2,0133333333	9,367666667	12,937333333	1,269	1,415666667	11,203
Ni	0,033666667	0,004	0,005	0,2273333333	0,2363333333	0,003	0,003	0,0223333333	0,061	0,003	0,0033333333	0,305666667
Cu	0,011	0,002	0,003	0	0	0,0023333333	0,003	0	0,004	0,003	0,003666667	0,0023333333
Zn	0,013	0,0023333333	0,0043333333	0,009	0,009	0,004666667	0,005	0,037	0,01	0,000666667	0,0003333333	0,012
Ga	0,0013333333	0,002	0,0013333333	0	0	0,0023333333	0,002666667	0,004666667	0	0,001	0,001	0
Rb	0,004666667	0	0,015	0	0	0,0263333333	0,028666667	0,016	0	0,0413333333	0,0463333333	0
Sr	0,1533333333	0,003	0,0513333333	0	0	0,001	0,001	0,425666667	0,003	0,005	0,005666667	0
Y	0,009	0,005	0,005666667	0,006	0,006	0,0143333333	0,015	0,009	0,006	0,004	0,004	0,008
Zr	0,0253333333	0,029666667	0,017666667	0	0	0,0223333333	0,0233333333	0,973	0	0,001	0,0013333333	0
Nb	0,0113333333	0,003	0,001666667	0	0	0,004	0,004	0,0873333333	0	0	0	0
W	0	0,0103333333	0,046666667	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ag	0	0	0	0	0	0	0	0,038	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0,019	0,0133333333	0,042666667	0	0,215	0,2333333333	0
Hf	0	0	0	0	0	0	0	0,022666667	0	0	0	0
Pb	0	0,002	0,003666667	0	0	0,002666667	0,003666667	0,002	0	0	0	0,002
In	0,279	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0,011
Th	0	0	0,003	0	0	0,004	0,003	0,0003333333	0	0	0	0
Ru	0	0	0	0,000666667	0,0003333333	0,0003333333	0	0	0,0003333333	0,0003333333	0,000666667	0,0003333333
Au	0,011	0,0063333333	0,0063333333	0,007666667	0,008	0,007	0,007	0,019	0,008	0,006	0,007	0,0103333333

Illustration 12: Tableau des valeurs théoriques des CRMs

Nr	coefficient directeur	Erreur	R ²	seuil de détection (%)
MgO	0.95	-5%	0.995	3
Na ₂ O	0.91	-9%	0.996	0.5
Al ₂ O ₃	1.04	4%	0.998	0.001
SiO ₂	0.93	-7%	0.985	0.001
Cl	0.80	-20%	0.961	0.04
P ₂ O ₅	1.13	13%	0.966	1
SO ₃	0.58	-42%	0.115	'
K ₂ O	0.87	-13%	0.999	0.02
CaO	1.09	9%	0.998	0.78
Ti	1.04	4%	0.985	0.024
V	1.14	14%	0.946	0.005
Cr	0.76	-24%	0.998	0.02
Mn	0.91	-9%	0.995	0.008
Fe ₂ O ₃	1.09	9%	0.992	0.001
Ni	1.25	25%	0.984	0.001
Cu	1.53	53%	0.908	0.002
Zn	0.95	-5%	0.992	0.001
Ga	0.86	-14%	0.975	0.001
Rb	0.83	-17%	0.997	0.0012
Sr	0.94	-6%	0.998	0.001
Y	0.64	-36%	0.935	0.006
Zr	0.88	-12%	1.000	0.001
Nb	0.89	-11%	1.000	0.001
W	1.04	4%	0.997	0.01
Ag				0.08
Ba	0.82	-18%	0.904	0.2
Hf	-3.73	-473%	-0.183	0.04
Pb	0.63	-37%	0.869	0.002
In				'
Th	0.43	-57%	0.708	'
Ru				'
Au				'

Répétabilité

Ident	Na2O	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Ti	V
DFP sol 19 face A	1,11	15,91	74,08	0,07	1,62	2,36	0,44	0,01
DFP sol 19' face A	1,35	15,94	73,73	0,07	1,64	2,38	0,46	0,01
DFP sol 19" face A	1,7	15,93	73,46	0,07	1,61	2,37	0,44	0,01
DFP sol 19 face A (2éme analyse)	1,33	15,95	73,75	0,07	1,63	2,38	0,44	0,01
DFP sol 19' face A (2éme analyse)	1,24	15,99	73,7	0,07	1,65	2,4	0,46	0,01
DFP sol 19" face A (2éme analyse)	1,41	15,94	73,66	0,07	1,64	2,4	0,45	0,01
DFP sol 19 face A (3éme analyse)	1,24	15,89	73,97	0,07	1,62	2,36	0,44	0,01
DFP sol 19' face A (3éme analyse)	1,32	15,99	73,68	0,07	1,64	2,39	0,46	0,01
DFP sol 19" face A (3éme analyse)	1,27	15,91	73,85	0,07	1,63	2,39	0,44	0,01
DFP sol 19 face B (4éme analyse)	1,29	15,92	73,76	0,07	1,64	2,41	0,44	0,01
DFP sol 19' face B (4éme analyse)	1,7	15,88	73,5	0,07	1,61	2,37	0,43	0,01
DFP sol 19" face B (4éme analyse)	1,18	16,01	73,74	0,08	1,65	2,39	0,45	0,01
DFP sol 19 face B (5éme analyse)	1,73	15,89	73,37	0,07	1,63	2,39	0,44	0,01
DFP sol 19' face B (5éme analyse)	1,32	15,95	73,7	0,08	1,64	2,4	0,44	0,01
DFP sol 19" face B (5éme analyse)	1,26	15,97	73,79	0,07	1,64	2,36	0,45	0,01
min	1,11	15,88	73,37	0,07	1,61	2,36	0,43	0,01
max	1,73	16,01	74,08	0,08	1,65	2,41	0,46	0,01
moyenne	1,36	15,94	73,72	0,07	1,63	2,38	0,44	0,01
ecart type	0,19	0,04	0,18	0	0,01	0,01	0,01	0
ecart type sur la moyenne	14,11%	0,24%	0,24%	4,03%	0,84%	0,62%	1,63%	5,28%
écart max	0,36	0,07	0,37	0,01	0,02	0,02	0,01	0
écart max relatif	26,66%	0,46%	0,50%	8,74%	1,38%	0,96%	2,88%	6,25%

Ident	Cr	Mn	Fe2O3	Ni	Cu	Zn	Ga	As
DFP sol 19 face A	0,01	0,09	4,2	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19' face A	0,01	0,09	4,23	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19" face A	0,02	0,09	4,21	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19 face A (2éme analyse)	0,01	0,09	4,24	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19' face A (2éme analyse)	0,01	0,09	4,28	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19" face A (2éme analyse)	0,01	0,09	4,23	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19 face A (3éme analyse)	0,01	0,09	4,21	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19' face A (3éme analyse)	0,01	0,09	4,25	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19" face A (3éme analyse)	0,01	0,09	4,24	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19 face B (4éme analyse)	0,02	0,09	4,26	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19' face B (4éme analyse)	0,01	0,09	4,22	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19" face B (4éme analyse)	0,02	0,09	4,28	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19 face B (5éme analyse)	0,02	0,1	4,25	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19' face B (5éme analyse)	0,01	0,09	4,26	0	0	0,01	0	0
DFP sol 19" face B (5éme analyse)	0,02	0,1	4,25	0	0	0,01	0	0
min	0,01	0,09	4,2	0	0	0,01	0	0
max	0,02	0,1	4,28	0	0	0,01	0	0
moyenne	0,01	0,09	4,24	0	0	0,01	0	0
ecart type	0	0	0,03	0	0	0	0	0
ecart type sur la moyenne	31,25%	0,96%	0,61%	0,00%	0,00%	6,00%	27,66%	0,00%
écart max	0	0	0,04	0	0	0	0	0
écart max relatif	42,41%	1,79%	1,01%	0,00%	0,00%	14,77%	100,00%	0,00%

Ident	Rb	Sr	Y	Zr	W	Pb	Ru	Au	Nb
DFP sol 19 face A	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19' face A	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19" face A	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19 face A (2éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19' face A (2éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19" face A (2éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19 face A (3éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19' face A (3éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19" face A (3éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19 face B (4éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19' face B (4éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19" face B (4éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19 face B (5éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19' face B (5éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
DFP sol 19" face B (5éme analyse)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
min	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
max	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
moyenne	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0	0,01	0
ecart type	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ecart type sur la moyenne	0,00%	1,61%	3,65%	5,27%	2,56%	0,00%	387,30%	5,75%	263,90%
écart max	0	0	0	0	0	0	0	0	0
écart max relatif	0,00%	2,20%	13,21%	9,37%	9,27%	0,00%	1400,00%	11,11%	650,00%

Analyse de fluorescence X :

Les valeurs ci-dessous sont les résultats des analyses obtenus en fluorescence X des sols prélevés en Patagonie et à Kerguelen.

Légende :

Valeur supérieure à la moyenne plus l'écart type

Valeur supérieure à la moyenne

Valeur inférieure à la moyenne

Valeur inférieure à la moyenne moins l'écart type

Kerguelen :

Ident	AH 1	AH2	AH 3	AH 4	AH 5	AH 6	AH 7	AH 7- 227m	AH8	AH 9	AH	guillou	guillou RL	guillou ST	jacky
Na2O	3,389	2,916	2,939	2,801	2,463	2,149	1,912	1,646	3,062	0,937	1,801	0	0	0	2,06
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,567	7,121	7,082	3,228
Al2O3	20,39	19,048	18,721	18,058	17,561	17,897	16,165	16,896	17,469	22,142	17,303	16,325	18,025	18,082	20,798
SiO2	55,577	55,278	55,363	54,658	55,11	59,173	55,248	55,729	59,951	51,953	52,749	47,454	50,018	49,725	49,323
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,593	0	0	0	0	0
SO3	0	0,05	0,051	0,322	0,048	0,207	0,176	0,161	0,019	0,034	0,033	0	0	0	0,033
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	1,902	1,992	2,123	2,099	1,663	1,698	2,121	2,145	1,907	1,46	1,301	0,594	0,886	0,903	1,341
CaO	5,168	4,888	4,877	5,566	5,479	5,161	5,077	5,063	5,444	3,002	6,2	6,896	7,344	7,326	5,883
Ti	1,666	1,754	1,679	1,634	1,73	1,874	2,165	2,06	1,722	1,498	2,162	0,983	1,065	1,075	1,775
V	0,025	0,027	0,026	0,027	0,03	0,031	0,035	0,034	0,025	0,029	0,039	0,024	0,024	0,026	0,03
Cr	0,022	0,023	0,029	0,027	0,024	0,023	0,03	0,043	0,022	0,023	0,034	0,076	0,058	0,056	0,038
Mn	0,097	0,146	0,168	0,262	0,268	0,046	0,126	0,124	0,067	0,334	0,21	0,164	0,15	0,152	0,152
Fe2O3	11,575	13,725	13,889	14,309	15,405	11,516	16,728	15,892	10,993	17,856	17,893	17,637	15,019	15,308	15,123
Ni	0,004	0,007	0,006	0,007	0,008	0,008	0,01	0,01	0,006	0,009	0,008	0,05	0,027	0,028	0,012
Cu	0,005	0,008	0,007	0,008	0,009	0,008	0,009	0,009	0,006	0,011	0,014	0,008	0,011	0,011	0,01
Zn	0,011	0,013	0,013	0,018	0,016	0,016	0,021	0,018	0,011	0,015	0,017	0,014	0,012	0,012	0,013
Ga	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
Br	0	0,003	0,001	0,007	0,002	0,005	0,007	0,007	0,001	0	0,002	0	0	0	0
Rb	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,005	0,005	0,003	0,005	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002
Sr	0,04	0,042	0,04	0,052	0,047	0,053	0,058	0,055	0,048	0,033	0,067	0,027	0,043	0,039	0,033
Y	0,008	0,01	0,009	0,012	0,01	0,012	0,015	0,014	0,009	0,012	0,011	0,008	0,009	0,009	0,008
Zr	0,025	0,034	0,031	0,034	0,03	0,035	0,048	0,046	0,027	0,034	0,033	0,01	0,015	0,015	0,026
Nb	0,003	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,007	0,007	0,004	0,004	0,005	0	0	0,002	0,004
In	0,065	0	0	0,076	0,078	0,062	0	0	0,078	0	0,102	0,149	0,163	0,136	0,097
W	0,015	0,014	0,009	0	0	0	0,021	0,021	0,014	0	0	0	0	0	0
Rh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ir	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Re	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0
Ir	0	0,009	0	0,013	0	0	0,013	0	0	0	0	0	0	0	0
Au	0,008	0	0,009	0	0,011	0,013	0	0,013	0,009	0,011	0,011	0,009	0,009	0,009	0

Ident	N1	N4	N5 GPS6	N6 GPS7	N7 GPS8	N8 GPS9	N9 GPS10	N10 GPS11	N11 GPS12	N12 GPS13	N13 GPS14	N14 GPS15	N15 GPS16	N16 GPS17	N17 GPS18	N3
Na2O	3,871	4,725	2,412	4,424	3,577	2,707	3,844	2,971	2,261	0	3,937	2,035	2,549	3,098	1,796	3,372
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0	3,354	3,412	0	4,551	0	0	3,518	0
Al2O3	19,591	19,326	26,047	19,507	18,406	18,493	22,966	18,823	20,99	19,484	16,577	18,799	20,857	16,476	19,46	24,144
SiO2	56,274	61,132	51,518	59,041	54,246	56,157	58,486	60,919	50,782	50,963	59,052	52,49	53,403	54,735	50,618	56,982
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,331	0,534	0	0	0	0	0	0
SO3	0,067	0,108	0,284	0,121	0,025	0,101	0	0,214	0,056	1,799	0,028	0,064	0,027	0,022	0,052	0,287
Cl	0	0,396	0,085	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,058
K2O	3,275	4,331	4,567	4,2	2,115	3,387	3,259	2,852	2,227	0	3,793	2,254	2,184	1,875	1,094	3,655
CaO	3,047	3,591	1,469	2,376	5,088	3,732	4,805	3,06	4,434	7,336	3,881	5,436	5,193	6,772	7,296	1,911
Ti	1,314	0,703	0,788	0,829	1,639	1,498	0,649	1,274	1,658	1,995	1,234	1,502	1,657	1,978	1,764	0,794
V	0,013	0,011	0,007	0,008	0,016	0,011	0,01	0,017	0,024	0,025	0,018	0,023	0,028	0,038	0,032	0,011
Cr	0,023	0,011	0,018	0,019	0,026	0,027	0,016	0,021	0,027	0,03	0,022	0,044	0,021	0,028	0,028	0,019
Mn	0,147	0,062	0,172	0,141	0,146	0,165	0,071	0,106	0,147	0,132	0,124	0,132	0,148	0,152	0,134	0,158
Fe2O3	12,206	5,503	12,277	9,2	14,466	13,55	5,787	9,526	13,551	14,008	11,205	12,497	13,818	14,576	13,944	8,471
Ni	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,007	0,006	0,009	0,009	0,019	0,008	0,009	0,008	0,004
Cu	0,005	0,004	0,005	0,004	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,007	0,005	0,007	0,008	0,009	0,011	0,005
Zn	0,014	0,007	0,013	0,012	0,014	0,014	0,007	0,016	0,013	0,012	0,012	0,013	0,014	0,015	0,013	0,013
Ga	0,002	0,002	0,006	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
Br	0,004	0,001	0,03	0,004	0,001	0,003	0	0,002	0,002	0	0,002	0,005	0	0,001	0	0,003
Rb	0,006	0,004	0,009	0,007	0,004	0,006	0,004	0,007	0,004	0,004	0,006	0,004	0,003	0,003	0,002	0,006
Sr	0,06	0,018	0,015	0,03	0,071	0,068	0,035	0,038	0,075	0,073	0,033	0,075	0,029	0,039	0,051	0,02
Y	0,009	0,007	0,019	0,009	0,009	0,01	0,006	0,01	0,008	0,009	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,01
Zr	0,038	0,015	0,147	0,037	0,038	0,04	0,014	0,058	0,029	0,025	0,026	0,025	0,029	0,033	0,022	0,054
Nb	0,006	0,002	0,023	0,007	0,007	0,007	0,002	0,01	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,003	0,008
In	0	0	0	0	0,074	0	0	0	0	0,129	0	0	0	0,115	0,134	0
W	0,014	0,028	0,068	0,011	0,01	0	0,02	0	0	0	0,013	0	0	0	0	0
Rh	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Ir	0	0	0	0	0	0	0	0	0,009	0	0	0	0	0	0	0
Re	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ir	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Au	0,009	0,008	0,016	0,009	0,009	0,011	0,008	0,01	0	0,009	0,008	0,009	0,009	0,01	0,009	0,01

Ident	moyenne	ecart type	écart type relatif	Moyenne + écart type	Moyenne – écart type
Na2O	2,4405	1,2715	52,10%	3,7120	1,1689
MgO	1,3495	2,5970	192,45%	3,9465	-1,2476
Al2O3	19,1879	2,2962	11,97%	21,4841	16,8918
SiO2	54,6486	3,6280	6,64%	58,2766	51,0207
P2O5	0,0470	0,1503	319,59%	0,1973	-0,1033
SO3	0,1416	0,3210	226,75%	0,4626	-0,1795
Cl	0,0174	0,0726	417,43%	0,0900	-0,0552
K2O	2,2324	1,1243	50,36%	3,3567	1,1080
CaO	4,9291	1,6039	32,54%	6,5330	3,3252
Ti	1,4877	0,4423	29,73%	1,9300	1,0453
V	0,0234	0,0090	38,32%	0,0323	0,0144
Cr	0,0293	0,0136	46,59%	0,0429	0,0156
Mn	0,1485	0,0590	39,76%	0,2075	0,0894
Fe2O3	13,1146	3,1304	23,87%	16,2450	9,9842
Ni	0,0099	0,0095	95,66%	0,0194	0,0004
Cu	0,0074	0,0025	34,23%	0,0100	0,0049
Zn	0,0136	0,0028	20,92%	0,0165	0,0108
Ga	0,0024	0,0009	36,62%	0,0033	0,0015
Br	0,0030	0,0055	182,78%	0,0085	-0,0025
Rb	0,0041	0,0018	45,34%	0,0059	0,0022
Sr	0,0454	0,0170	37,52%	0,0624	0,0284
Y	0,0098	0,0026	26,38%	0,0124	0,0072
Zr	0,0346	0,0237	68,47%	0,0583	0,0109
Nb	0,0052	0,0040	76,87%	0,0091	0,0012
In	0,0470	0,0571	121,41%	0,1041	-0,0101
W	0,0083	0,0139	167,45%	0,0223	-0,0056
Rh	0,0016	0,0090	556,78%	0,0106	-0,0074
Ir	0,0003	0,0016	556,78%	0,0019	-0,0013
Re	0,0001	0,0002	387,08%	0,0003	-0,0002

Patagonie :

Ident	DFP 1	DFP 2	DFP 3	DFP 4	DFP 5	DFP 6	DFP 7	DFP 8	DFP 9	DFP 10	DFP 11	DFP 12	DFP 13	DFP 14	DFP 15	DFP 16	DFP 17
Na2O	1,757	2,415	1,569	1,071	1,523	1,285	1,099	1,504	1,159	1,484	1,314	2,243	1,594	1,235	1,849	1,838	1,582
MgO	0	0	6,676	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	15,583	14,851	14,63	15,868	17,033	16,377	16,953	17,057	16,13	18,015	14,354	16,845	14,766	15,903	16,843	16,431	15,232
SiO2	72,606	74,232	55,154	73,663	71,288	72,025	72,106	70,922	69,65	67,875	68,967	71,756	75,553	72,896	69,995	71,102	74,549
SO3	0,108	0,064	0,092	0,103	0,076	0,051	0,113	0,053	0	0,045	0,301	0	0,072	0	0,036	0	0
Cl	0	0,053	0	0	0	0	0	0	0	0	0,085	0	0	0	0	0	0
K2O	1,413	1,555	1,244	1,493	1,519	1,529	1,866	1,782	1,763	1,749	2,617	1,668	1,664	1,753	1,73	1,709	1,72
CaO	2,725	2,108	6,648	2,176	2,261	2,638	1,968	2,711	3,741	3,305	5,719	2,761	1,644	2,489	3,206	2,794	1,86
Ti	0,435	0,435	1,528	0,419	0,458	0,524	0,427	0,468	0,573	0,558	0,519	0,342	0,404	0,441	0,478	0,473	0,366
V	0,013	0,011	0,021	0,012	0,013	0,012	0,011	0,012	0,016	0,014	0,012	0,008	0,008	0,011	0,013	0,013	0,01
Cr	0,016	0,01	0,048	0,021	0,017	0,014	0,041	0,011	0,029	0,034	0,018	0,017	0,009	0,011	0,026	0,018	0,01
Mn	0,1	0,069	0,126	0,09	0,107	0,078	0,112	0,114	0,114	0,102	0,117	0,108	0,107	0,118	0,121	0,125	0,103
Fe2O3	5,133	4,094	11,976	4,982	5,608	5,343	5,207	5,268	6,73	6,721	5,746	4,149	4,079	5,049	5,603	5,4	4,474
Ni	0,005	0,003	0,031	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,004
Cu	0,004	0,003	0,008	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Zn	0,007	0,006	0,012	0,006	0,007	0,006	0,007	0,007	0,007	0,008	0,012	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006
Ga	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
As	0	0	0	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0	0,001	0	0	0,001	0,001	0	0	0,001
Br	0,001	0,002	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rb	0,004	0,004	0,003	0,005	0,005	0,004	0,007	0,005	0,005	0,005	0,009	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Sr	0,032	0,024	0,053	0,03	0,029	0,026	0,025	0,03	0,026	0,034	0,064	0,03	0,022	0,027	0,033	0,029	0,022
Y	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,011	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
Zr	0,013	0,015	0,021	0,016	0,019	0,02	0,02	0,02	0,013	0,016	0,024	0,016	0,018	0,017	0,017	0,019	0,02
Nb	0	0	0,004	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0
In	0	0	0,108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ag	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	0,028	0,029	0,029	0,017	0,009	0,016	0,012	0,01	0,017	0,005	0,084	0,024	0,023	0,013	0,013	0,013	0,016
Pb	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ru	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001
Au	0,008	0,007	0,008	0,008	0,008	0,006	0,008	0,007	0,007	0,008	0,013	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007

Ident	DFP 18	DFP 19	DFP 20	DFP 21	DFP 22	DFP 23	DFP 24	DFP 25	DFP 26	DFP 27	DFP 28	DFP 29	DFP 30	DFP 31	DFP32	DFP 33	DFP 34
Na2O	1,386	1,275	1,488	1,196	1,129	2,656	1,855	2,037	1,201	2,097	1,458	1,858	0,557	1,292	2,165	1,217	2,061
MgO	0	0	0	0	0	3,097	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	16,134	15,857	15,978	15,261	14,948	17,302	14,88	14,182	15,205	15,36	15,854	16,314	17,679	19,284	17,812	16,669	15,672
SiO2	72,48	73,799	72,913	75,157	74,298	58,422	74,823	75,175	74,27	73,214	72,643	71,979	65,109	66,637	69,854	69,791	73,03
SO3	0,051	0,07	0,089	0,065	0,095	0,063	0,055	0,072	0,093	0,079	0,069	0,093	0,424	0,101	0,152	0,292	0,084
Cl	0	0	0	0	0	1,034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	1,749	1,649	1,681	1,563	1,549	2,231	1,466	1,369	1,468	1,492	1,556	1,68	1,446	1,438	1,128	1,605	1,476
CaO	2,73	2,405	1,976	2,362	2,013	6,445	1,993	2,161	2,099	2,323	2,499	2,284	4,709	2,58	2,683	2,982	2,368
Ti	0,443	0,45	0,424	0,367	0,496	0,361	0,441	0,429	0,434	0,421	0,503	0,395	0,601	0,554	0,381	0,491	0,435
V	0,011	0,009	0,012	0,009	0,013	0,018	0,012	0,011	0,012	0,013	0,013	0,011	0,02	0,018	0,011	0,015	0,012
Cr	0,016	0,008	0,014	0,011	0,028	0,027	0,016	0,013	0,025	0,047	0,019	0,047	0,021	0,014	0,01	0,025	0,012
Mn	0,104	0,095	0,126	0,071	0,113	0,118	0,054	0,065	0,111	0,098	0,079	0,109	0,173	0,109	0,145	0,168	0,095
Fe2O3	4,8	4,285	5,206	3,842	5,214	8,012	4,308	4,386	4,983	4,758	5,213	5,135	9,034	7,868	5,552	6,639	4,66
Ni	0,004	0,004	0,005	0,004	0,005	0,007	0,004	0,004	0,005	0,004	0,005	0,005	0,006	0,004	0,004	0,005	0,004
Cu	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	0,006	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,009	0,005	0,004	0,005	0,003
Zn	0,006	0,006	0,007	0,005	0,006	0,011	0,004	0,005	0,008	0,006	0,006	0,007	0,016	0,009	0,007	0,011	0,005
Ga	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
As	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0	0,001	0	0,001	0
Br	0	0	0	0	0,001	0,003	0	0	0,001	0	0	0	0,003	0,001	0,002	0,003	0
Rb	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,007	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,004	0,005	0,004
Sr	0,03	0,031	0,021	0,028	0,027	0,037	0,025	0,027	0,027	0,029	0,027	0,027	0,047	0,033	0,036	0,031	0,029
Y	0,007	0,007	0,008	0,007	0,008	0,009	0,007	0,007	0,008	0,007	0,007	0,007	0,012	0,008	0,007	0,009	0,007
Zr	0,019	0,023	0,018	0,016	0,025	0,012	0,022	0,019	0,016	0,018	0,018	0,018	0,02	0,018	0,012	0,014	0,02
Nb	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
In	0	0	0	0	0	0,107	0	0	0	0	0	0	0,074	0	0	0	0
Ag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	0,012	0,01	0,013	0,021	0,011	0	0,018	0,02	0,015	0,016	0,014	0,012	0,017	0,009	0,02	0,011	0,013
Pb	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ru	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0
Au	0,007	0,007	0,008	0,007	0,008	0,01	0,007	0,007	0,008	0,007	0,007	0,008	0,013	0,009	0,008	0,01	0,008

Ident	moyenne	ecart type	ecart type relatif	Moyenne + ecart type	Moyenne – ecart type
Na2O	1,57203	0,44511	28,31%	2,01714	1,12692
MgO	0,28744	1,24744	433,98%	1,53488	-0,96000
Al2O3	16,09594	1,14653	7,12%	17,24247	14,94942
SiO2	71,11568	4,40157	6,19%	75,51724	66,71411
SO3	0,09003	0,08823	98,00%	0,17826	0,00180
Cl	0,03447	0,17742	514,70%	0,21189	-0,14295
K2O	1,62706	0,26137	16,06%	1,88843	1,36569
CaO	2,86371	1,22725	42,86%	4,09095	1,63646
Ti	0,48453	0,19451	40,14%	0,67904	0,29002
V	0,01265	0,00301	23,83%	0,01566	0,00963
Cr	0,02068	0,01135	54,88%	0,03202	0,00933
Mn	0,10718	0,02522	23,53%	0,13239	0,08196
Fe2O3	5,57226	1,62829	29,22%	7,20055	3,94398
Ni	0,00541	0,00461	85,12%	0,01002	0,00081
Cu	0,00382	0,00140	36,69%	0,00523	0,00242
Zn	0,00735	0,00244	33,12%	0,00979	0,00492
Ga	0,00115	0,00036	31,34%	0,00151	0,00079
As	0,00062	0,00055	89,26%	0,00117	0,00007
Br	0,00053	0,00096	181,51%	0,00149	-0,00043
Rb	0,00500	0,00104	20,89%	0,00604	0,00396
Sr	0,03082	0,00864	28,04%	0,03947	0,02218
Y	0,00753	0,00121	16,10%	0,00874	0,00632
Zr	0,01800	0,00317	17,62%	0,02117	0,01483
Nb	0,00024	0,00074	314,91%	0,00098	-0,00051
In	0,00850	0,02814	331,07%	0,03664	-0,01964
Ag	0,00088	0,00514	583,10%	0,00603	-0,00426
W	0,01735	0,01339	77,16%	0,03074	0,00396
Pb	0,00097	0,00017	17,67%	0,00114	0,00080
Ru	0,00012	0,00033	277,98%	0,00044	-0,00021

Analyse ICP-AES des lichen de Patagonie

	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg
CV1	1,00E+000	7,11E-003	7,01E-001	8,05E-004	6,60E-004	5,92E-001	1,35E+000	4,54E-004	5,90E-001
CV2	1,00E+000	8,27E-003	7,35E-001	1,80E-003	1,07E-003	6,98E-001	2,53E+000	4,32E-004	6,90E-001
CV3	1,00E+000	7,74E-003	4,92E-001	3,36E-003	1,27E-003	7,30E-001	2,11E+000	4,61E-004	4,48E-001
CV3 bis	1,00E+000	7,08E-003	4,39E-001	1,53E-003	1,17E-003	6,28E-001	1,95E+000	4,11E-004	5,41E-001
LAZ1	1,00E+000	7,57E-003	1,26E+000	1,25E-002	2,13E-003	1,27E+000	1,79E+000	2,64E-004	1,02E+000
LAZ1 bis	1,00E+000	1,26E-002	1,99E+000	2,60E-002	5,38E-003	2,13E+000	3,62E+000	3,79E-004	1,40E+000
LAZ2	1,00E+000	5,81E-003	6,24E-001	5,24E-003	3,24E-003	6,12E-001	3,02E+000	3,85E-004	5,49E-001
LAZ3	1,00E+000	7,95E-003	4,04E+000	2,75E-003	3,46E-003	7,56E-001	2,68E+000	4,39E-004	5,26E-001
LAZ12	1,00E+000	7,19E-003	1,93E+000	7,99E-003	7,49E-004	7,61E-001	6,12E-001	2,54E-004	2,57E-001
LAZ13	1,00E+000	1,36E-002	1,80E+000	8,00E-003	1,38E-003	1,79E+000	7,80E-001	2,16E-004	6,06E-001
T1.1	1,00E+000	7,49E-003	3,76E-001	1,00E-003	1,14E-003	7,93E-001	2,33E+000	4,08E-004	3,65E-001
T1.2	1,00E+000	8,73E-003	7,08E-001	6,33E-004	3,63E-003	5,81E-001	5,61E+000	3,49E-004	8,90E-001
T1.3	1,00E+000	1,12E-001	1,08E+000	1,42E-003	5,88E-003	6,40E-001	7,27E+000	4,17E-004	1,34E+000
T2.1	1,00E+000	2,08E-002	1,64E+000	4,47E-003	3,99E-003	5,52E-001	5,06E+000	3,78E-004	1,03E+000
T2.1 bis	1,00E+000	2,10E-002	1,54E+000	7,37E-003	3,83E-003	6,25E-001	4,82E+000	4,73E-004	8,53E-001
T2.2	1,00E+000	2,32E-002	1,44E+000	1,31E-003	3,34E-003	5,80E-001	5,70E+000	3,91E-004	4,46E-001
T2.3	1,00E+000	3,89E-002	1,91E+000	5,20E-004	2,86E-003	5,36E-001	7,53E+000	3,44E-004	6,74E-001
T3.1	1,00E+000	7,91E-003	2,33E+000	7,32E-004	1,22E-003	5,79E-001	1,51E+000	3,68E-004	3,82E-001
T3.2	1,00E+000	8,11E-003	1,57E+000	8,47E-004	1,12E-003	6,39E-001	1,65E+000	4,15E-004	3,39E-001
T3.3	1,00E+000	1,76E-002	5,01E+000	1,68E-003	5,35E-003	1,01E+000	6,03E+000	7,48E-004	3,87E-001
T4.1	1,00E+000	4,36E-002	2,71E+001	6,53E-004	1,79E-003	4,30E-001	7,52E+000	6,14E-004	1,56E+000
T4.2	1,00E+000	2,91E-002	1,61E+001	4,77E-004	1,61E-003	4,56E-001	5,12E+000	5,76E-004	9,69E-001
T4.3	1,00E+000	1,94E-002	6,20E+000	4,82E-004	9,25E-004	4,21E-001	2,70E+000	5,59E-004	5,32E-001
T5.1	1,00E+000	8,90E-003	1,42E+000	9,05E-004	9,19E-004	5,93E-001	2,18E+000	6,93E-004	2,80E-001
T5.2	1,00E+000	8,84E-003	3,17E+000	9,15E-004	1,79E-003	5,17E-001	1,53E+000	5,58E-004	2,41E-001
T5.3	1,00E+000	9,08E-003	2,79E+000	6,09E-004	1,29E-003	5,39E-001	1,72E+000	5,23E-004	2,59E-001
T6	1,00E+000	7,52E-003	1,42E+000	6,91E-004	5,20E-004	5,09E-001	5,88E-001	4,21E-004	1,01E-001
T7.1	1,00E+000	9,99E-002	1,29E+000	5,40E-004	3,24E-003	6,77E-001	4,42E+000	4,22E-004	8,53E-001
T7.2	1,00E+000	6,26E-002	9,38E+000	3,64E-003	1,19E-002	1,93E+000	2,28E+001	1,09E-003	2,40E+000
T7.3	1,00E+000	4,19E-002	9,19E-001	1,33E-003	2,72E-003	7,81E-001	4,57E+000	4,04E-004	5,72E-001
T8.1	1,00E+000	2,99E-002	3,10E+000	1,76E-003	3,04E-003	1,35E+000	3,85E+000	7,85E-004	2,56E-001
T8.2	1,00E+000	9,49E-003	9,20E-001	1,36E-003	3,07E-003	6,32E-001	4,37E+000	4,18E-004	9,10E-001
T8.3	1,00E+000	9,42E-003	7,89E-001	1,61E-003	1,62E-003	8,89E-001	1,97E+000	5,10E-004	2,31E-001
T9.1	1,00E+000	1,89E-002	2,44E+000	1,02E-002	4,85E-003	9,86E-001	4,29E+000	5,84E-004	8,69E-001
T9.2	1,00E+000	2,58E-002	1,14E+000	3,55E-003	7,89E-003	5,94E-001	4,05E+000	3,39E-004	8,60E-001
T9.3	1,00E+000	7,63E-003	5,59E-001	2,16E-003	3,05E-003	6,53E-001	2,58E+000	4,83E-004	6,47E-001
T10.1	1,00E+000	9,56E-003	4,90E-001	1,84E-003	1,20E-003	6,56E-001	1,41E+000	3,79E-004	2,34E-001
T10.2	1,00E+000	2,11E-002	4,65E+000	1,71E-003	5,85E-003	7,80E-001	1,00E+001	3,15E-004	1,62E+000
T10.2 bis	1,00E+000	1,65E-002	3,63E+000	0,00E+000	6,78E-003	5,88E-001	1,10E+001	0,00E+000	1,80E+000
T10.3	1,00E+000	1,66E-002	2,06E+000	3,66E-003	6,93E-003	1,04E+000	8,99E+000	4,34E-004	1,77E+000
T11.1	1,00E+000	1,57E-002	1,09E+001	2,12E-003	2,88E-003	1,50E+000	3,75E+000	6,51E-004	1,33E+000
T11.2	1,00E+000	1,13E-002	7,45E+000	8,92E-004	1,80E-003	6,58E-001	1,09E+000	2,93E-004	5,04E-001
T11.3	1,00E+000	9,79E-003	8,28E+000	1,95E-003	3,31E-003	6,35E-001	4,95E+000	3,18E-004	1,62E+000
T12.1	1,00E+000	5,01E-002	2,18E+001	0,00E+000	9,67E-003	5,22E-001	1,23E+001	0,00E+000	3,29E+000
T12.2	1,00E+000	2,57E-002	9,44E+000	1,51E-003	3,31E-003	5,48E-001	1,05E+001	3,32E-004	3,10E+000
T12.3	1,00E+000	5,18E-002	1,60E+001	0,00E+000	6,05E-003	5,21E-001	1,26E+001	0,00E+000	4,02E+000
T13.1	1,00E+000	7,55E-003	3,68E+000	1,49E-003	1,51E-003	6,29E-001	9,75E-001	5,30E-004	3,84E-001
T13.2	1,00E+000	6,89E-003	8,65E-001	1,04E-003	9,32E-004	5,42E-001	1,16E+000	4,32E-004	3,93E-001

	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Sr	Ti	V	Zn
CV1	1,64E-002	2,14E+000	1,84E-003	2,90E-001	4,53E-003	3,53E-001	8,61E-003	7,91E-002	2,79E-003	5,32E-003
CV2	2,64E-002	9,63E-001	1,67E-003	8,14E-001	3,60E-003	4,30E-001	1,04E-002	9,31E-002	3,01E-003	1,01E-002
CV3	2,16E-002	1,05E+000	2,72E-003	6,06E-001	2,52E-003	3,77E-001	7,95E-003	9,09E-002	2,96E-003	8,35E-003
CV3 bis	2,01E-002	1,04E+000	6,05E-004	5,79E-001	5,40E-003	3,62E-001	7,35E-003	7,92E-002	2,79E-003	7,67E-003
LAZ1	2,54E-002	5,90E-001	5,27E-003	5,92E-001	7,51E-003	7,96E-001	1,07E-002	2,57E-001	5,82E-003	1,35E-002
LAZ1 bis	4,54E-002	1,12E+000	9,69E-003	1,27E+000	1,49E-002	1,83E+000	1,74E-002	4,29E-001	9,57E-003	2,81E-002
LAZ2	2,00E-002	9,28E-001	1,10E-003	9,61E-001	1,48E-002	2,06E+000	6,65E-003	1,01E-001	2,97E-003	1,24E-002
LAZ3	2,30E-002	6,49E-001	2,17E-003	1,38E+000	4,52E-003	1,58E+000	1,06E-002	1,51E-001	3,93E-003	2,46E-002
LAZ12	1,36E-002	5,07E-001	1,45E-003	1,38E-001	6,07E-003	2,22E-001	9,78E-003	1,33E-001	3,81E-003	5,79E-003
LAZ13	2,75E-002	6,05E-001	5,07E-003	1,74E-001	6,20E-003	1,98E-001	1,42E-002	4,16E-001	8,92E-003	6,72E-003
T1.1	2,37E-002	6,04E-001	1,25E-003	7,19E-001	7,91E-003	5,62E-001	5,15E-003	1,04E-001	3,58E-003	1,80E-002
T1.2	2,98E-002	7,28E-001	1,45E-002	2,00E+000	1,10E-002	1,13E+000	8,09E-003	6,72E-002	2,15E-003	4,11E-002
T1.3	3,69E-002	1,07E+000	3,55E-003	2,96E+000	2,24E-002	1,92E+000	1,22E-002	7,24E-002	2,33E-003	1,86E-001
T2.1	4,64E-002	8,96E-001	3,08E-003	1,95E+000	1,83E-001	1,23E+000	2,26E-002	8,10E-002	2,44E-003	5,37E-002
T2.1 bis	4,58E-002	8,48E-001	1,74E-003	1,88E+000	1,79E-001	1,15E+000	2,17E-002	9,04E-002	2,78E-003	5,07E-002
T2.2	3,91E-002	5,36E-001	2,52E-003	2,03E+000	7,51E-002	1,26E+000	1,99E-002	9,44E-002	2,56E-003	5,12E-001
T2.3	3,93E-002	5,09E-001	5,87E-003	2,69E+000	1,53E-001	1,60E+000	2,59E-002	9,81E-002	2,64E-003	2,34E-001
T3.1	4,79E-002	3,85E-001	1,70E-003	3,90E-001	4,89E-003	3,73E-001	1,06E-002	1,06E-001	2,90E-003	1,27E-002
T3.2	4,96E-002	3,54E-001	1,25E-003	4,65E-001	3,28E-003	3,99E-001	9,10E-003	1,02E-001	2,94E-003	1,25E-002
T3.3	1,58E-001	1,00E+000	3,15E-003	1,88E+000	1,03E-002	1,85E+000	2,45E-002	2,17E-001	6,39E-003	3,21E-002
T4.1	4,87E-002	4,52E-001	1,57E-003	1,52E+000	9,91E-003	1,02E+000	8,03E-002	6,29E-002	2,14E-003	5,13E-002
T4.2	5,60E-002	3,74E-001	5,17E-003	1,43E+000	8,18E-003	8,14E-001	5,56E-002	5,90E-002	1,96E-003	3,99E-002
T4.3	2,23E-002	2,76E-001	1,85E-003	5,44E-001	6,02E-003	3,53E-001	2,23E-002	5,74E-002	2,11E-003	2,00E-002
T5.1	5,74E-002	4,94E-001	1,60E-003	4,48E-001	9,11E-003	4,19E-001	7,37E-003	1,04E-001	2,68E-003	1,61E-002
T5.2	4,73E-002	4,25E-001	1,56E-003	3,11E-001	5,28E-003	3,10E-001	1,10E-002	9,22E-002	2,80E-003	1,36E-002
T5.3	5,18E-002	4,39E-001	1,04E-002	4,13E-001	2,72E-003	2,95E-001	8,36E-003	8,79E-002	2,43E-003	1,49E-001
T6	1,64E-002	1,83E-001	6,43E-004	7,01E-002	1,49E-003	6,88E-002	4,20E-003	7,13E-002	2,51E-003	2,21E-003
T7.1	3,28E-002	8,52E-001	2,17E-003	1,61E+000	1,62E-002	1,43E+000	1,52E-002	1,03E-001	2,90E-003	3,05E-002
T7.2	1,12E-001	3,39E+000	9,89E-003	7,12E+000	4,13E-002	5,47E+000	6,98E-002	3,23E-001	7,34E-003	1,80E-001
T7.3	3,76E-002	6,03E-001	2,92E-003	1,19E+000	9,79E-003	8,89E-001	1,12E-002	1,15E-001	3,45E-003	3,21E-002
T8.1	7,38E-002	5,94E-001	3,93E-003	1,34E+000	1,60E-002	7,18E-001	1,40E-002	1,76E-001	5,28E-003	3,25E-002
T8.2	2,20E-002	1,20E+000	6,32E-003	1,31E+000	1,37E-002	1,27E+000	1,13E-002	9,75E-002	2,60E-003	2,62E-002
T8.3	2,68E-002	4,86E-001	1,39E-003	6,72E-001	4,53E-003	4,54E-001	6,90E-003	1,34E-001	3,81E-003	1,52E-002
T9.1	4,14E-002	1,49E+000	5,93E-003	9,79E-001	2,74E-002	1,34E+000	2,01E-002	1,68E-001	4,52E-003	6,76E-002
T9.2	2,92E-002	1,11E+000	8,08E-003	9,83E-001	2,20E-002	1,22E+000	1,15E-002	9,42E-002	1,64E-003	6,12E-002
T9.3	1,68E-002	1,05E+000	5,57E-003	6,27E-001	1,35E-002	1,03E+000	7,73E-003	1,13E-001	3,20E-003	2,80E-002
T10.1	1,59E-002	6,63E-001	1,30E-003	2,51E-001	7,29E-003	4,00E-001	7,87E-003	1,02E-001	2,93E-003	1,15E-002
T10.2	8,33E-002	1,19E+000	6,62E-003	3,43E+000	1,65E-002	2,59E+000	2,91E-002	1,12E-001	3,64E-003	8,59E-002
T10.2 bis	6,29E-002	1,02E+000	2,14E-003	3,51E+000	2,49E-002	2,62E+000	2,15E-002	8,13E-002	3,77E-003	9,20E-002
T10.3	4,53E-002	1,71E+000	3,64E-003	2,97E+000	1,91E-002	2,16E+000	2,70E-002	1,55E-001	4,03E-003	1,08E-001
T11.1	8,32E-002	1,28E+000	4,51E-003	7,48E-001	2,78E-002	1,50E+000	4,53E-002	1,99E-001	6,68E-003	3,37E-002
T11.2	4,26E-002	5,01E-001	1,59E-003	2,49E-001	5,80E-003	5,79E-001	3,39E-002	8,48E-002	3,01E-003	1,62E-002
T11.3	8,28E-002	1,57E+000	4,16E-003	1,04E+000	1,98E-002	2,27E+000	4,34E-002	1,09E-001	3,16E-003	3,64E-002
T12.1	2,14E-001	4,13E+000	3,24E-003	4,65E+000	2,26E-002	3,41E+000	1,49E-001	7,06E-002	0,00E+000	1,30E-001
T12.2	1,24E-001	3,69E+000	1,01E-002	2,31E+000	3,30E-002	2,08E+000	7,73E-002	8,16E-002	2,88E-003	7,66E-002
T12.3	2,37E-001	2,80E+000	4,86E-003	4,84E+000	4,02E-002	2,41E+000	1,31E-001	7,27E-002	3,16E-003	9,45E-002
T13.1	1,89E-002	7,38E-001	1,82E-003	2,61E-001	8,30E-003	4,33E-001	8,06E-003	8,83E-002	3,07E-003	1,36E-002
T13.2	1,75E-002	4,59E-001	5,88E-004	1,49E-001	7,16E-003	2,18E-001	5,67E-003	8,05E-002	2,82E-003	2,37E-002
T13.3	2,07E-002	8,60E-001	3,13E-003	2,54E-001	1,50E-002	4,76E-001	9,94E-003	9,41E-002	2,95E-003	1,52E-002

Analyse ICP-AES des aérosols

Echantillon	AH9	G3	G7	G10	
Al		1	1	1	1
Ba		0	0	0,01	0
Ca		0,12	0,04	0,42	0,09
Co		0	0	0	0
Cr		0	0	0	0
Cu		0	0	0	0
Fe		1,04	0,46	1,02	0,58
K		0,26	0	0,04	0,01
Li		0	0	0	0
Mg		0,25	0,04	0,24	0,1
Mn		0,04	0,02	0,02	0,01
Na		0,17	0,01	0,05	0,02
Ni		0	0	0	0
P		0,05	0,03	0,06	0,04
Pb		0	0	0	0
Sr		0	0	0	0
Ti		0,12	0,04	0,15	0,07
V		0	0	0	0
Zn		0	0	0	0

*Illustration 13: Rapport élémentaire sur Aluminium des aérosols
recrée a partir des sols de Kerguelen*

Echantillon	Sol 16	Sol 18	Sol 20	Sol27	
Al		1	1	1	1
Ba		0,01	0,01	0,01	0,01
Ca		0,19	0,22	0,17	0,18
Co		0	0	0	0
Cr		0	0	0	0
Cu		0	0	0	0
Fe		0,49	0,5	0,46	0,49
K		0,05	0,79	0,04	0,02
Li		0	0	0	0
Mg		0,11	0,14	0,11	0,1
Mn		0,02	0,01	0,01	0,03
Na		0	0	0	0,04
Ni		0	0	0	0
P		0,01	0,01	0,01	0,05
Pb		0	0	0	0,14
Sr		0	0	0	0
Ti		0,06	0,07	0,04	0,05
V		0	0	0	0
Zn		0	0	0	0

*Illustration 14: Rapport élémentaire sur Aluminium des aérosols
recrée a partir des sols de Patagonie*