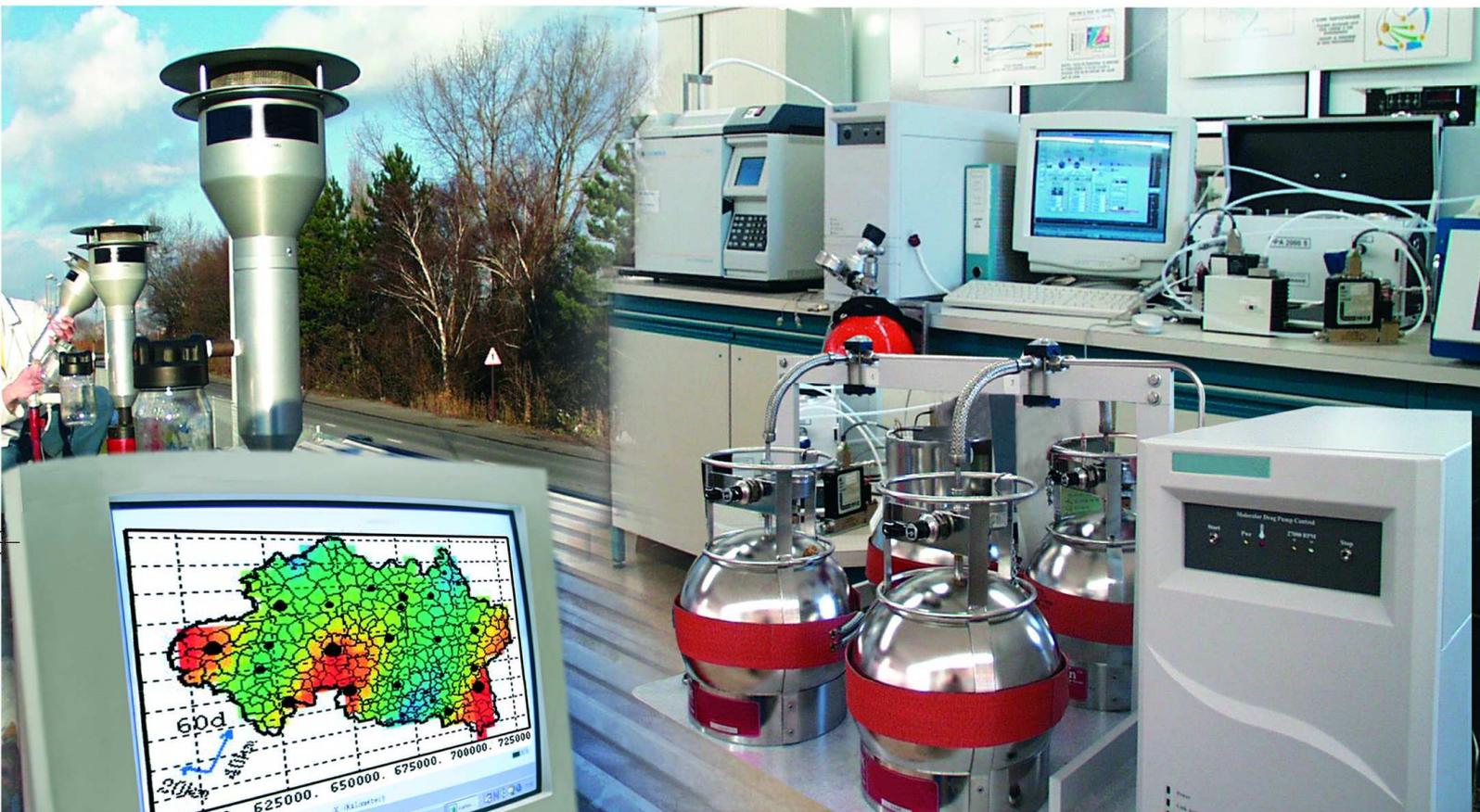




## Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Métrologie des particules  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$

### Caractérisation chimique des particules

Evaluation de l'impact sur la qualité de l'air des émissions particulaires du volcan Eyjafjallajökull au cours du mois d'Avril 2010

Décembre 2010  
Programme 2010

O. FAVEZ / A. COLETTE / L. CHIAPPINI







## PREAMBULE

# **Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air**

**Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'Ecole des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement, et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique ont été financés par la Direction Générale de l'Energie et du Climat (bureau de la qualité de l'air) du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement. Ils sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique au MEDDTL et aux AASQA.**

**L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.**



# Caractérisation chimique des particules

Laboratoire Central de Surveillance  
de la Qualité de l'Air

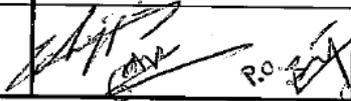
## Métrologie des particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>

Programme financé par la  
Direction Générale de l'Energie et du Climat

Décembre 2010

O. FAVEZ, E. LEOZ, F. GAUTIER, S. VERLHAC, F. GODEFFROY, A.  
COLETTE, B. BESSAGNET, L. CHIAPPINI

Ce document comporte 27 pages (hors couverture et annexes)

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Augustin COLETTE Olivier FAVEZ Laura CHIAPPINI	Bertrand BESSAGNET  Eva LEOZ-GARZIANDIA	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur unité MOCA Ingénieurs unité Chimie Métrologie Essais Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'unité MOCA  Responsable de l'unité Chimie Métrologie Essais  Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA- INERIS  Direction des Risques Chroniques
Visa			



# TABLE DES MATIÈRES

<b>RESUME</b> .....	<b>7</b>
<b>1. CONTEXTE</b> .....	<b>9</b>
<b>2. LA COMBINAISON DE TROIS COMPETENCES</b> .....	<b>9</b>
2.1 Des mesures optiques : les LIDARS .....	9
2.2 Des outils de modélisation : CHIMERE et FLEXPART.....	10
2.3 Des moyens métrologiques : le dispositif CARA .....	11
<b>3. INFORMATIONS APPORTEES PAR LES TROIS COMPETENCES</b> .....ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.	
3.1 Les données LIDARS.....	12
3.2 La modélisation du panache .....	13
3.3 La mise en œuvre des mesures et des analyses .....	15
<b>4. RESULTATS</b> .....	<b>15</b>
4.1 Mesures automatiques.....	15
4.2 Exercices de fermeture chimique .....	17
4.3 Analyses supplémentaires, recherche de traceurs spécifiques (métaux : Al, Fe, Ti ...).....	19
<b>5. POUR ALLER PLUS LOIN</b> .....	<b>21</b>
5.1 L'étude des précipitations.....	21
5.2 L'utilisation du MEB.....	23
5.3 Des mesures aéroportées .....	24
5.4 Bilan .....	25
<b>6. CONCLUSIONS</b> .....	<b>26</b>
<b>7. LISTE DES ANNEXES</b> .....	<b>27</b>



## REMERCIEMENTS

Le LCSQA, Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, tient à remercier l'ensemble des AASQA, Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air participant à CARA et en particulier à souligner la réactivité et l'expertise de AIR NORMAND, ATMO Champagne-Ardenne, l'ASPA, ATMO Lorraine Nord, ATMO Franche-Comté, AIRLOR, ATMO Nord Pas de Calais, AIRAQ et ATMO Rhône-Alpes, qui ont mis très rapidement à disposition des filtres pour analyses ainsi que des données complémentaires dans une situation de crise localement très sensible.

La mobilisation des équipes techniques et scientifiques du SIRTÀ (Site Instrumenté de Recherche par Télédétection Atmosphérique) a permis de collecter des mesures de télédétection d'une qualité exceptionnelle, ce qui fut particulièrement utile en temps réel ainsi que dans l'analyse a posteriori.



## RESUME

A la mi avril 2010, l'Europe a été perturbée par l'éruption du volcan islandais Eyjafjallajokull dont les émissions du nuage de cendres ont entraîné la fermeture de la grande majorité de l'espace aérien d'Europe du Nord pendant plusieurs jours.

La modélisation du panache de cendres, mise en œuvre par l'INERIS et d'autres équipes de modélisation européennes, a permis de prévoir son arrivée dans le nord de la France avec un impact maximal potentiel, dans l'air ambiant, sur le Nord-est, coïncidant avec les épisodes de particules secondaires de nitrate d'ammonium communément observés au printemps. Dans ce contexte, CARA, dispositif de surveillance des PM en France géré par le LCSQA avec l'appui local des AASQA, a été activé afin de répondre à la demande du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) d'évaluer le plus rapidement possible la contribution locale potentielle du nuage de cendres sur la qualité de l'air en France. Pour traiter de cette question, l'INERIS a élaboré une approche combinant trois aspects : des modèles chimie-transport à partir de CHIMERE, des mesures Lidar réalisées sur le plateau de Saclay (Essonne, Institut Pierre Simon Laplace) afin de suivre le passage du nuage dans la couche limite à la verticale de ce point, et des mesures de spéciation chimique des particules au sol en différents sites.

Ce rapport illustre la mise en œuvre de ces trois aspects et montre comment leur synergie a permis d'évaluer l'impact des émissions volcaniques sur la qualité de l'air en France. Il fait suite à un rapport intermédiaire publié en avril 2010, focalisé sur l'activation du dispositif CARA, ainsi que les résultats et conclusions qui ont pu en être tirés.

Le fonctionnement en routine sur l'ensemble de l'année du dispositif CARA, la réactivité et l'efficacité des AASQA ont permis une récupération rapide de filtres d'intérêt et par conséquent d'alimenter quasiment en temps réel l'expertise auprès des pouvoirs publics afin de mettre en place les mesures appropriées.

Le suivi du panache par mesures optiques ainsi que sa modélisation ont permis de localiser les points d'intérêt pour le prélèvement d'échantillons et de faire le lien entre l'éruption islandaise et les pics de PM observés au niveau du sol.

Les analyses réalisées dans le cadre de la présente étude ont révélé un impact des émissions particulaires volcaniques sur la qualité de l'air relativement limité dans l'espace (essentiellement nord-est de la France) et dans le temps (surtout les 18 et 19 avril). Bien que non-négligeable localement, l'apport de cendres volcaniques n'a pas été à l'origine d'une augmentation exceptionnelle des niveaux de PM<sub>10</sub> dans l'air ambiant, restés globalement en deçà de 70 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne journalière sur les stations de fond.

Un épisode de nitrate d'ammonium notamment lié aux conditions météorologiques favorables était prévu à cette même période par le système Prev'air et n'a pas eu l'ampleur attendue. La présence de cendres volcaniques dans la couche limite semblerait avoir eu pour conséquence de limiter localement la formation d'aérosols secondaires probablement par le biais d'interactions avec la phase gazeuse

Au-delà de l'évaluation de l'apport du nuage de cendres sur la qualité de l'air, cet évènement a démontré la capacité du dispositif CARA à jouer son rôle d'outil de compréhension des épisodes de pollution en apportant rapidement des éléments d'information y compris lors de situations exceptionnelles. La complémentarité avec les systèmes de modélisation et de prévision numérique de la qualité de l'air mis en œuvre dans le cadre de Prev'air et par l'INERIS a également été établie.

## **1. CONTEXTE**

Le 14 avril 2010, le volcan islandais Eyjafjallajökull entre en éruption. Le jour suivant, le nuage de cendres ainsi émis atteint l'Europe, en haute altitude, entraînant la fermeture de la grande majorité de l'espace aérien d'Europe du Nord pendant plusieurs jours.

La modélisation du panache réalisée par l'INERIS et les équipes de modélisation européennes a permis de prévoir son arrivée dans le nord de la France dès le 16 avril avec un impact maximal potentiel, dans l'air ambiant, sur le Nord-est, simultanément avec les épisodes de pollution particulaire communément observés au printemps (concomitance de situations météorologiques anticycloniques et de certaines activités humaines, notamment les épandages d'engrais).

A la demande du MEEDDM, afin d'évaluer la contribution locale potentielle du nuage de cendres sur la qualité de l'air ambiant en France, l'INERIS a établi sur une approche d'analyse combinant trois aspects :

- 1) des mesures Lidar (réalisées à l'observatoire SIRTA de l'Institut Pierre Simon Laplace<sup>1</sup>) afin de suivre le passage du nuage dans la couche limite,
- 2) des modèles chimie-transport afin de modéliser l'empreinte du panache à la surface (Colette et al., in press)<sup>2</sup>,
- 3) des mesures en air ambiant, à la surface, en différents sites.

Ce rapport présente la mise en œuvre de ces trois aspects, ainsi que les résultats et conclusions qui ont pu en être tirés.

## **2. TROIS SOURCES D'INFORMATION POUR LE SUIVI DU PANACHE**

### **2.1 DES MESURES OPTIQUES : LES LIDARS**

Les LIDARs (Light Detection and Ranging) permettent de détecter à distance des couches d'aérosols atmosphériques, mêmes fines et peu concentrées. Aéroporté (avion ou satellite), il permet d'effectuer des coupes verticales de la composition de l'atmosphère quasi-instantanées. Depuis le sol on peut l'utiliser pour obtenir une coupe espace temps, alors que l'atmosphère défile au dessus du point de mesure.

---

<sup>1</sup> Cf. : <http://sirta.ipsl.polytechnique.fr/>

<sup>2</sup> Le travail de modélisation réalisé pour cette étude est décrit brièvement dans un poster présenté à la conférence de l'European Geophysical Union (Vienne, 2-7 mai 2010) reproduit en Annexe 1 de ce rapport, ainsi qu'à l'IAC et dans une publication scientifique publié dans la revue Atmospheric Environment Colette, A., O. Favez, F. Meleux, L. Chiappini, M. Haeffelin, Y. Morille, L. Malherbe, A. Papin, B. Bessagnet, L. Menut, E. Leoz and L. Rouïl "Assessing in near real time the impact of the April 2010 Eyjafjallajökull ash plume on air quality." Atmospheric Environment **In Press, Corrected Proof**.

Il est en effet difficile d'attribuer à une source distante la responsabilité d'une anomalie observée au sol. Cette difficulté est principalement induite par la présence d'autres sources de pollution pouvant affecter la mesure. La télédétection LIDAR permet de documenter précisément l'intrusion d'une couche d'aérosol depuis la troposphère vers la couche limite alors que les modèles actuels représentent bien le transport de telles couches dans la troposphère libre. Même s'ils sont souvent trop diffusifs, le transport troposphérique étant peu turbulent, on peut envisager de suivre pendant plusieurs jours le transport des couches d'aérosols dans la troposphère. L'utilisation conjointe de la télédétection et de la modélisation du transport troposphérique est donc l'outil le plus approprié pour suivre le transport d'une couche d'aérosols depuis sa source, lors de son transport dans la troposphère libre, et enfin lors de son injection dans la couche limite.

Le Site Instrumenté de Recherche par Télédétection Atmosphérique (SIRTA, <http://sirta.ipsl.polytechnique.fr/>) de l'Institut Pierre-Simon Laplace opère plusieurs LIDARs sur son site de Palaiseau (Essonne). Certains fonctionnent 24/24 toute l'année alors que d'autres, plus perfectionnés, ne peuvent être déployés sans surveillance. Il faut noter que lors de l'épisode d'Avril 2010, c'est grâce à la mobilisation des équipes techniques de l'IPSL qu'il a été possible de conduire des mesures avec l'ensemble de ces outils. En particulier, le LIDAR Nuages Aérosols (LNA) développé afin de restituer les caractéristiques optiques et microphysiques des nuages et des aérosols présents dans la couche limite atmosphérique et dans la troposphère entre 0.1 km et 15 km ainsi qu'un appareil commercial, le LIDAR ALS450, ont été mis en œuvre.

## **2.2 DES OUTILS DE MODELISATION : CHIMERE ET FLEXPART**

Différents modèles furent mis en œuvre pour documenter le transport et l'extension spatiale du panache volcanique (en prévision et a posteriori) et établir un lien sans ambiguïté entre les concentrations en PM mesurées à la surface du sol en France et l'éruption islandaise.

Le modèle CHIMERE (INERIS/CNRS), utilisé quotidiennement pour la prévision de la qualité de l'air en France et en Europe dans Prev'air a été adapté pour fonctionner sur un domaine étendu à l'ouest de l'Islande, et tenir compte d'un nouveau terme source correspondant au volcan, émettant des traceurs passifs en quantité et altitude prescrites par des mesures in-situ et des données de télédétection.

Un second modèle (FLEXPART/NILU) de philosophie complètement différente car reposant sur une approche Lagrangienne fut aussi déployé du fait de sa simplicité et de sa rapidité de mise en œuvre et de sa capacité à étudier le transport à longue distance.

Grâce à ses collaborations internationales et son implication dans les projets Européens tels que MACC (Modelling Atmospheric Composition and Climate), l'INERIS avait par ailleurs un accès privilégié aux travaux en cours de divers partenaires Européens sur ce sujet.

## 2.3 DES MOYENS METROLOGIQUES : LE DISPOSITIF CARA

Le dispositif CARA a été mis en place par le LCSQA (INERIS) suite aux épisodes de pollution par les PM<sub>10</sub> du printemps 2007 qui avaient mis en évidence le besoin de compréhension et d'information sur l'origine de ces pics. Basé sur une approche couplée entre la caractérisation chimique des particules (analyse des anions : Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, et cations : Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, des fractions de carbone organique OC et élémentaire EC) et la modélisation, ce dispositif mis en œuvre en collaboration avec des AASQA volontaires, consiste à effectuer des prélèvements de particules sur quelques sites en France afin de réaliser une spéciation chimique sur une sélection de ces échantillons (épisodes de forte pollution ou situations de fond d'intérêt), et de confronter les résultats à la modélisation. Il a également permis d'initier des travaux métrologiques et analytiques afin de répondre aux besoins énoncés par la nouvelle directive européenne qui prévoit la mesure de la composition chimique des PM<sub>2.5</sub> sur plusieurs sites ruraux en France.

Ayant fonctionné pendant deux ans sur six sites urbains et montré sa capacité à apporter des éléments de réponse à la problématique des origines de PM et à la compréhension des pics de particules survenant en France<sup>3</sup>, il a évolué en 2010 en accord avec les orientations définies par la nouvelle directive européenne (2008/50/CE), en matière de surveillance des particules. Il regroupe aujourd'hui treize sites, présentés sur la figure ci-dessous :

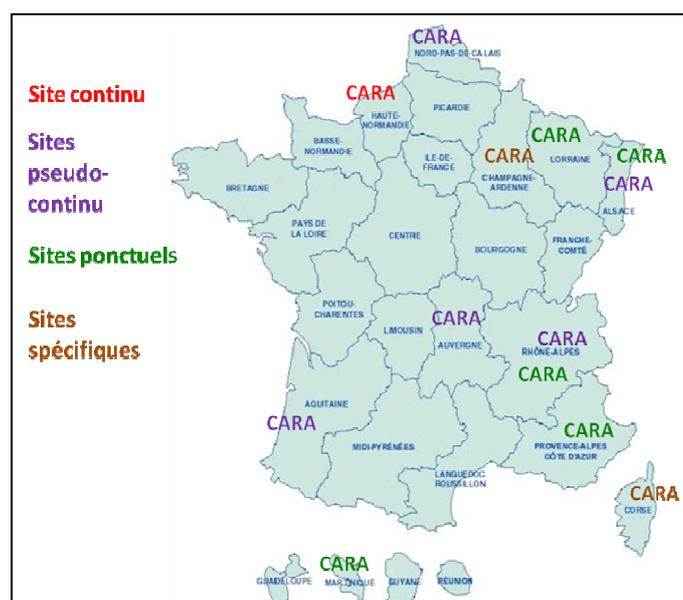


Figure 1 : Répartition des sites intégrés au dispositif CARA

Ces sites sont de typologies différentes et leur mode de fonctionnement varie selon les modalités suivantes :

<sup>3</sup> Rapport LCSQA 2009 : Caractérisation chimique des particules : Bilan des campagnes de mesure de janvier 2008 à janvier 2009, disponible sur : <http://www.lcsqa.org/thematique/metrologie/caracterisation-chimique-des-particules-bilan-des-campagnes-de-janvier-2008-ja>

- 1- un fonctionnement en continu sur un site urbain de façon à prélever en simultané PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> sur l'ensemble de l'année,
- 2- un fonctionnement en pseudo continu (les filtres sont prélevés en alternance avec les filtres pour la surveillance des HAP et certains sont choisis pour analyse) sur cinq sites urbains et 2 sites ruraux spécifiques avec analyse des filtres en période de pics ou lors des événements particuliers choisis avec les modélisateurs,
- 3- un fonctionnement ponctuel basé sur des prélèvements réalisés de façon exceptionnelle, en fonction de l'observation et de la prévision de pics de PM par PREV'AIR ou de la sollicitation d'AASQA qui auraient observé en régions des phénomènes particuliers. L'analyse de traceurs supplémentaires tels les métaux ou le lévoglucosan pourraient alors être envisagée en fonction des sites et des épisodes.

Les prélèvements de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> sont réalisés sur des filtres en fibre de quartz par des préleveurs haut-volume DA80 pendant 24 heures (soit 720 m<sup>3</sup>).

En pratique, le LCSQA met à disposition les filtres nécessaires et prend en charge le rapatriement (tous les trois mois environ, au maximum) et l'analyse des échantillons. Concernant la sélection des échantillons à analyser, le choix est opéré par le LCSQA sur les filtres non utilisés par l'AASQA pour ses propres besoins d'analyses de HAP. Les situations privilégiées pour effectuer les analyses sont en priorité les épisodes de pic de pollution ainsi que d'autres épisodes d'intérêt, définis en commun avec les modélisateurs (situations pour lesquelles les résultats de la modélisation s'écartent des valeurs mesurées ou suscitent des questionnements sur les sources).

Dans le cadre de l'épisode « volcan », l'activation du système (rapatriement des filtres prélevés sur les différents sites des AASQA), a été décidée pour répondre à la situation exceptionnelle.

En plus des sites ainsi disponibles, des prélèvements de particules ont également été réalisés sur le site de l'INERIS à Verneuil en Halatte.

### **3. ANALYSE COMBINEE DU SUIVI DU PANACHE VOLCANIQUE**

#### **3.1 LES DONNEES LIDARS**

Les mesures du Lidar à 532nm du SIRTA sont données sur la Figure 2 pour la période du 16 Avril au 19 Avril 2010. On voit nettement une couche d'aérosol apparaître au dessus de Palaiseau (Essonne) le 16 en fin de journée, puis descendre rapidement avant de stagner à 2km d'altitude pendant près de 48h. A partir de ces seules données, on ne pouvait pas alors conclure à un impact potentiel du panache volcanique sur la qualité de l'air au niveau du sol dès le 16 Avril.

En revanche, à partir du 18 Avril, avec l'augmentation de la profondeur de la couche de mélange (pointillés noirs), on voit nettement que la couche d'aérosol est entrée en contact avec la couche limite, entraînant probablement une dégradation de la qualité de l'air. Nous reviendrons plus loin sur cette dégradation de manière quantitative.

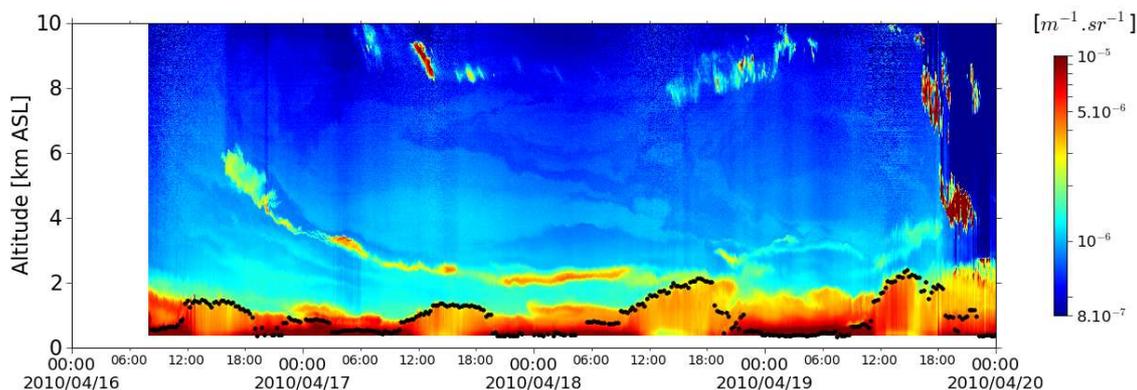


Figure 2 : Coupe temps (abscisse) / altitude (ordonnée) du rapport de rétrodiffusion lidar à 532nm observé depuis le site du SIRTA entre les 16 et 19 Avril 2010. Les masses d'air bleues sont pauvres en aérosols, les nuages (très opaques) sont rouges foncés et le jaune/orangé correspond aux aérosols que ce soit dans la troposphère libre (couche de cendre volcanique) ou dans la couche limite (sous 2km et présentant un cycle diurne prononcé).

### 3.2 LA MODELISATION DU PANACHE

Sont présentés ici les résultats du modèle CHIMERE (Bessagnet et al., 2008) pour les calculs de dispersion du panache volcanique. Ce modèle est déployé quotidiennement par plusieurs organismes dont le LCSQA dans le cadre de la mise en œuvre de PREVAIR<sup>4</sup>, pour effectuer des prévisions de qualité de l'air. La configuration du modèle utilisée ici est très proche du modèle de référence. Le nombre de niveaux verticaux a été porté à 30 pour atteindre 200hPa et mieux représenter la troposphère libre et le domaine géographique a été étendu pour inclure l'Islande.

Un traceur des émissions du volcan a également été ajouté. Ce traceur est « passif » chimiquement et dynamiquement, il est toutefois affecté par le dépôt sec et humide. Il est émis au dessus du volcan en quantité et à l'altitude prescrites par les estimations de la fournies par le Service Hotvolc de l'Université de Clermont-Ferrand ([http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/hotvolc/Islande\\_Avril2010/](http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/hotvolc/Islande_Avril2010/)).

La coupe temps/altitude de la Figure 3 à comparer aux observations lidar de la Figure 2 montre que le modèle capture bien la dynamique du panache : son arrivée en altitude au dessus du site d'observation le 16 en fin d'après-midi, sa rapide subsidence, et son injection dans la couche limite deux jours plus tard. Cette figure confirme les performances du modèle et justifie d'y recourir pour estimer l'empreinte à la surface du panache. On voit celle-ci sur la figure 4 qui donne la concentration moyenne de traceurs en dessous de 1000m. Il apparaît dès lors qu'une grande partie de l'Europe est affectée le 18 Avril par ce panache volcanique et que le nord-est de la France est particulièrement touché.

Ces résultats furent obtenus en temps quasi-réel et nous ont permis d'identifier très rapidement les zones qui seraient les plus touchées. C'est aussi grâce à ces résultats que l'on a pu « extrapoler » l'observation du SIRTA qui montre le panache descendre dans la couche limite mais qui est malheureusement limitée à un point d'observation. Le modèle permet d'avoir une vision globale du panache. Enfin, ces

<sup>4</sup> <http://www.prevoir.org>

résultats de modélisation confirment l'origine volcanique du pic de PM<sub>10</sub> observé pendant cette période. Nous verrons plus loin des preuves expérimentales de cette origine mais les modèles (Chimere « volcan avec la source ponctuelle volcan, Chimere dust, highsplit pour les retro-trajectoires et Flexpart pour la dispersion de panache...) permettent d'éliminer sans ambiguïté d'autres sources telles que les panaches de poussières sahariennes.

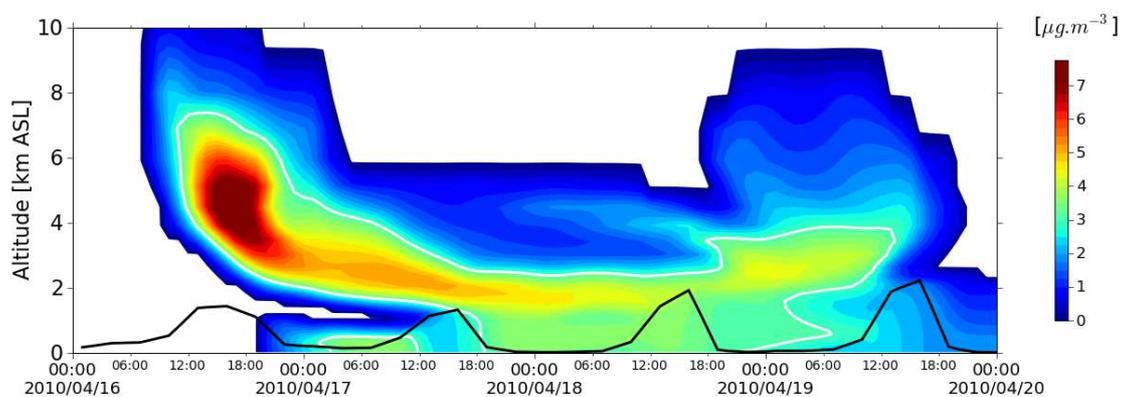


Figure 3 : Concentration de traceurs volcaniques calculée à l'aide du modèle CHIMERE. Coupe temps (abscisse) / altitude (ordonnées) comparable à la visualisation Lidar de la Figure 2.

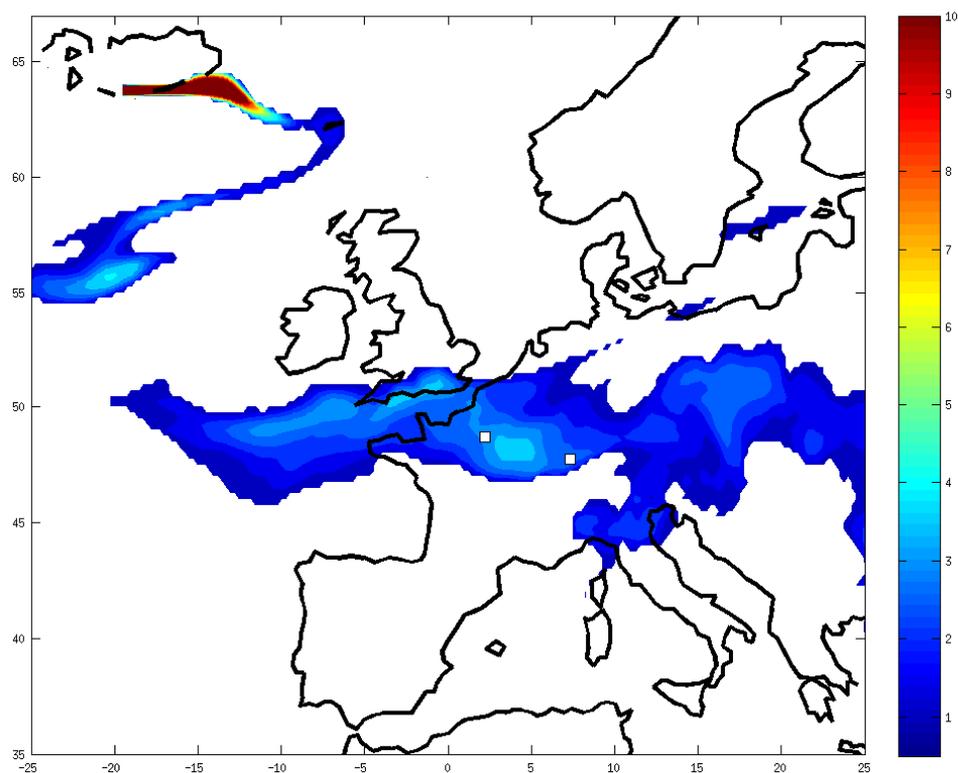


Figure 4: Concentration de traceurs volcaniques calculée à l'aide du modèle CHIMERE. Moyenne de concentration de traceur volcanique en dessous de 1000m d'altitude le 18 Avril 2010 à 22h00 UT

### **3.3 LA MISE EN ŒUVRE DES MESURES ET DES ANALYSES**

Sur la base des modélisations du panache ainsi que des mesures en continu des concentrations en PM, le rapatriement des filtres prélevés par les AASQA du dispositif CARA du nord de la France identifiées comme étant majoritairement impactées par le passage du panache dans la couche limite, a été déclenché dès le 16 avril, et organisé en urgence le 19 avril pour les filtres prélevés du 15 au 18 avril et dès le 21 pour les filtres prélevés le 19 et le 20 :

- Rouen - Haute Normandie – site urbain
- Revin – Champagne-Ardenne – site rural
- Jonville – Lorraine – site rural
- Mulhouse – Alsace – site urbain

Il a ainsi été possible d'apporter très rapidement, dès le 21 avril, des éléments de réponse sur la composition des particules pouvant potentiellement provenir du nuage de cendres et sa contribution aux niveaux de PM<sub>10</sub> mesurés.

Pour ce faire, les paramètres suivants ont été considérés au niveau de stations situées dans les régions précédemment citées et les analyses suivantes ont été réalisées sur les filtres :

- 1- Mesures automatiques en continu des concentrations en PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> non volatiles et SO<sub>2</sub> ;
- 2- Exercice de fermeture chimique : Analyses chimiques couramment réalisées dans le cadre de CARA (anions et cations, EC/OC) ;
- 3- Analyses supplémentaires, recherche de traceurs spécifiques : certains métaux (notamment Al, Fe et Ti), ainsi que l'acide fluorhydrique (HF). Ce dernier composé n'a cependant pas été retenu comme marqueur intéressant dans le cadre de cette étude car les analyses réalisées sur les premiers filtres reçus à l'INERIS (filtres échantillonnés à Rouen, Revin et Mulhouse du 16 au 19 avril) ont indiqué des concentrations globalement inférieures au seuil de détection (~160 µg/filtre).

## **4. RESULTATS**

### **4.1 MESURES AUTOMATIQUES**

De premières informations sur les zones potentiellement influencées par les émissions volcaniques ont pu être obtenues à l'aide des mesures automatiques réalisées par les AASQA sur l'ensemble du territoire. En particulier, les mesures de PM<sub>10</sub> non volatile (par TEOM non équipé de module FDMS) et de SO<sub>2</sub> sur les sites de fond se sont révélées être de bons indicateurs spatio-temporels. Comme indiqué par les figures ci-dessous, l'impact principal au sol du nuage de cendres volcaniques sur la qualité de l'air a été limité à la partie nord-est de la France et à la période comprise entre le 18 et le 20 avril.

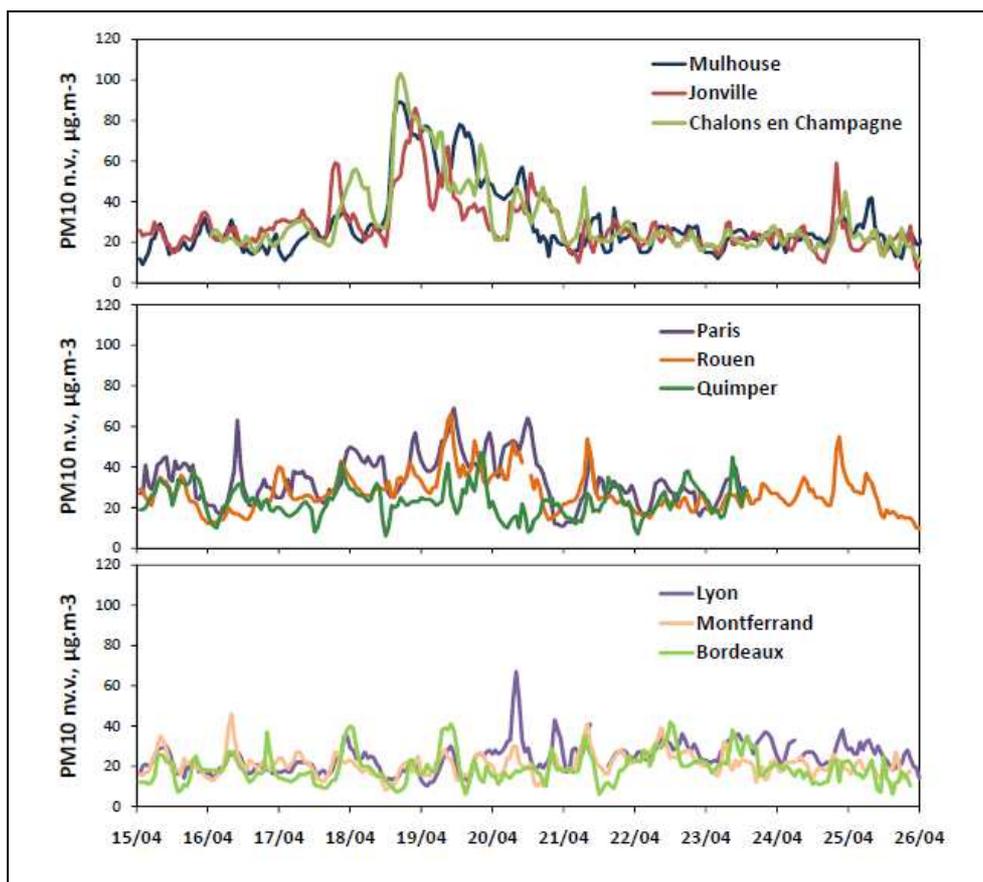


Figure 5: Evolution temporelle des concentrations de  $PM_{10}$  non volatile (données TEOM, moyennes horaires) sur 9 stations de fond françaises. L'augmentation significative de ces concentrations entre le 18 avril après-midi et le 20 avril suggère un impact non négligeable des émissions volcaniques (de nature essentiellement non volatiles) dans le quart nord-est. Une augmentation de moindre ampleur de ces concentrations est également à noter dans le quart nord-ouest. Données BDQA et AASQA.

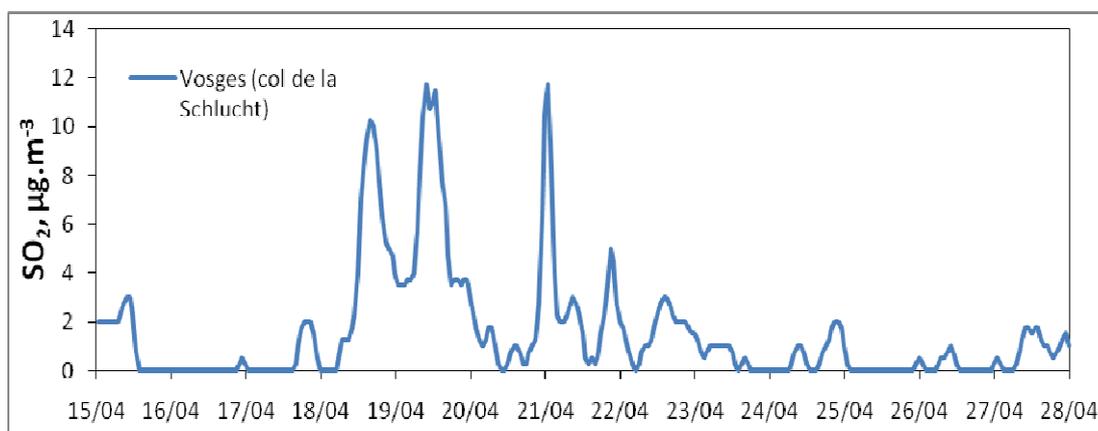


Figure 6 : Suivi des concentrations de  $SO_2$  sur la station du Col de la Schlucht (située à plus de 900m d'altitude). Les fortes concentrations mesurées entre le 18 et le 21 avril 2010 peuvent être attribuées au passage du panache volcanique. Données BDQA et AASQA.

Cette analyse a été confirmée *a posteriori* par un travail de cartographie réalisé à partir des données de PM<sub>10</sub> non volatiles obtenues sur l'ensemble des sites de fond français. Les résultats de cet exercice de cartographie pour la période du 17 au 20 avril 2010 sont présentés sur la Figure 7.

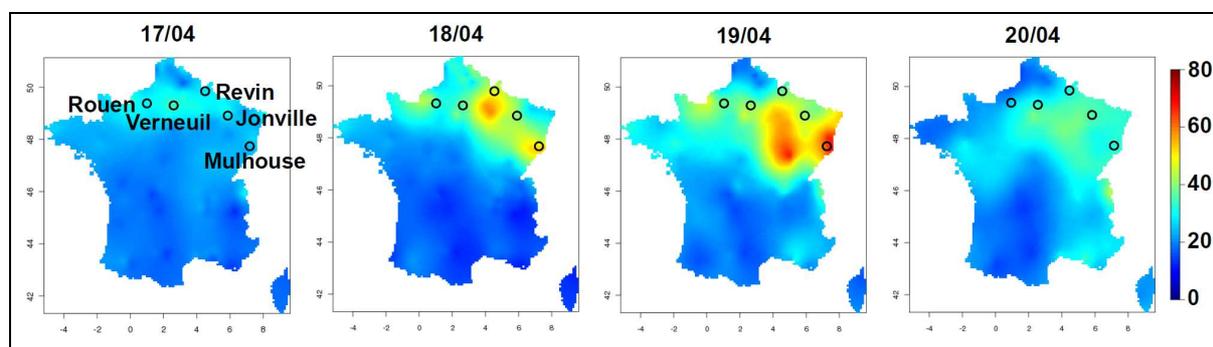


Figure 7: Cartographies des concentrations journalières en PM<sub>10</sub> non volatiles (en  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) entre le 17 et le 20 avril 2010, réalisées à partir des données TEOM obtenues sur plus de 150 stations de fond (rural et urbain). Cartographie INERIS à partir des données de la BDQA.

Une incertitude relativement importante est associée aux résultats obtenus pour la zone « Sud Champagne-Ardenne / Nord Bourgogne » en raison du faible nombre de points de mesure disponibles pour ces régions. A contrario, une plus grande confiance peut notamment être accordée aux résultats obtenus pour la zone « Bas-Rhin ». Les sites pour lesquels des résultats relatifs à la composition chimique des PM<sub>10</sub> étaient disponibles dès le 21 avril (4 sites appartenant au dispositif CARA et le site de l'INERIS à Verneuil en Halatte) sont présentés sur la carte correspondant au 17 avril.

Il est également à noter que les mesures de PM<sub>2.5</sub> réalisées en parallèle des mesures de PM<sub>10</sub> indiquent que cette composante non-volatile supplémentaire se trouve majoritairement dans la fraction grossière de la phase particulaire (cf. Annexe 1), tendant à confirmer un possible impact non négligeable des émissions volcaniques dans la partie nord-est de la France autour du 19 avril.

## 4.2 EXERCICES DE FERMETURE CHIMIQUE

Les analyses chimiques classiquement réalisées dans le cadre du dispositif CARA (détermination de EC, de OC et des principales espèces ioniques) permettent de réaliser un bilan de masse des concentrations totales en PM<sub>10</sub> mesurées par TEOM-FDMS et de déterminer leurs sources principales. Une comparaison des premiers résultats obtenus avec des épisodes de pollution observés au mois d'Avril 2009 est présentée pour les sites de Rouen et Mulhouse (Figure 8).

A Rouen, une augmentation de l'ordre de 10% de la part des espèces non volatiles (obtenue par différence entre mesures TEOM-FDMS et mesures TEOM, parties noires diagrammes de gauche) ainsi que de la part des espèces non carbonées et insolubles (parties blanches sur les diagrammes de droite) est observée pour l'épisode d'avril 2010 par rapport à celui de la même époque, l'année précédente (avril 2009). Pour Mulhouse cette augmentation s'élève à environ 30% en moyenne pour les 18 et 19 avril 2010.

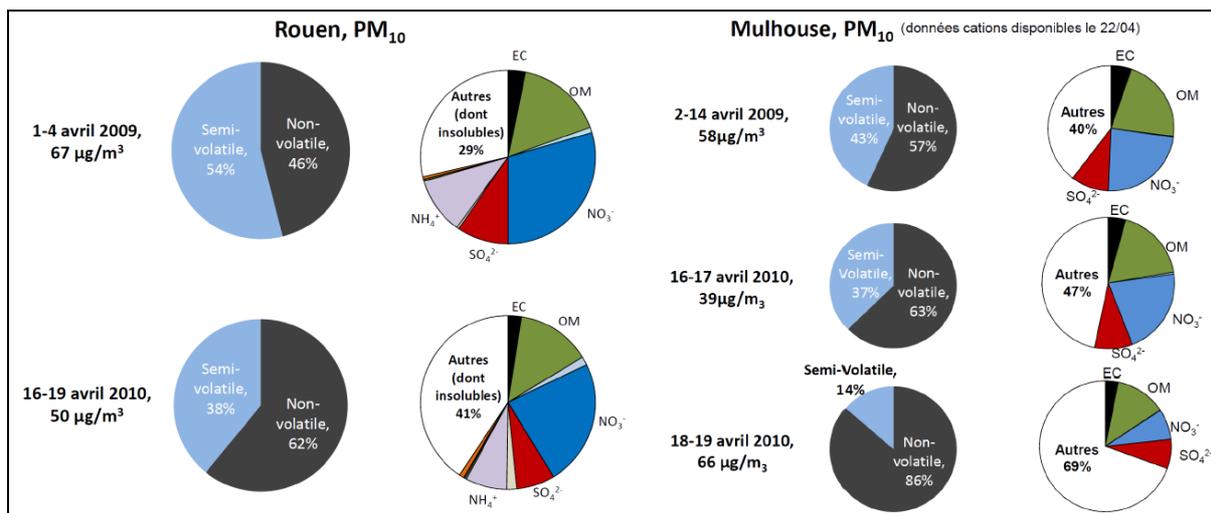


Figure 8 : Exercices de fermeture chimique à Rouen et Mulhouse au cours des mois d'avril 2009 et 2010.

Ces résultats indiquent la présence d'une part anormalement importante de la fraction non volatile, non carbonée et insoluble à la mi-avril 2010, en particulier à Mulhouse. Ils suggèrent ainsi une forte augmentation des concentrations de particules terrigènes, potentiellement d'origine volcanique, à Mulhouse. Cette hypothèse a été validée par les résultats obtenus par analyse de métaux (cf. paragraphe 4.3 ci-dessous) permettant une première estimation, dès le 21 avril, de la contribution des cendres volcaniques, de l'ordre de 10% des PM<sub>10</sub> à Rouen et de 30% des PM<sub>10</sub> à Mulhouse les 18 et 19 avril. Ces résultats ont été complétés et confirmés par la suite à l'aide des analyses réalisées sur les filtres collectés sur les autres sites et à des dates ultérieures, comme indiqué sur les Figure 9 et Figure 10.

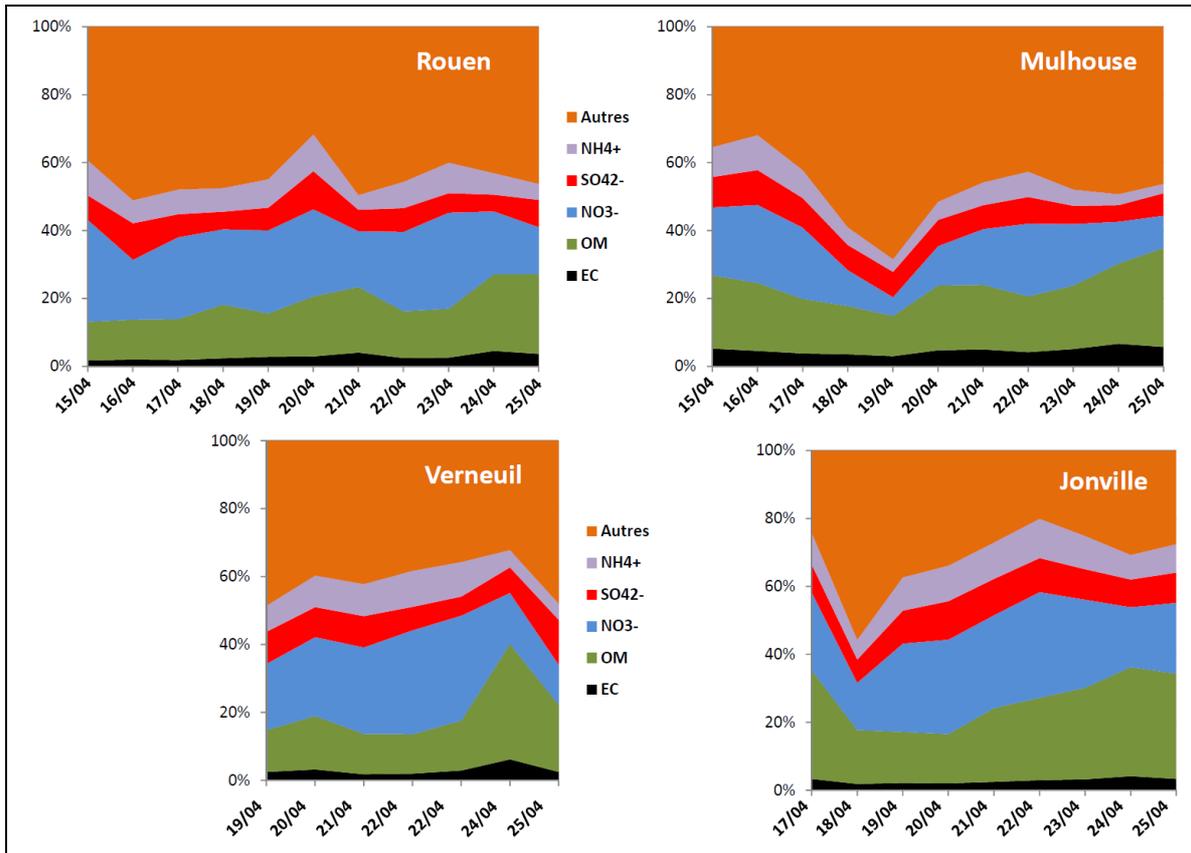


Figure 9 : Exercices de fermeture chimique des  $PM_{10}$  à Rouen, Mulhouse, Verneuil et Jonville au cours du mois d'avril 2010

Ces résultats confirment l'augmentation significative (environ 30%) de la part des espèces non carbonées et insolubles dans l'Est de la France (sites de Jonville et Mulhouse) les 18 et 19 avril. Des augmentations moins importantes sont observées à Verneuil (environ 15%) et Rouen (environ 10%). Un impact de faible ampleur (<10%) des émissions volcaniques sur les concentrations en  $PM_{10}$  est également à envisager les 24 et 25 avril 2010. En raison de souci technique sur le TEOM-FDMS, ce type d'exercice n'a pu être réalisé pour le site de Revin.

#### 4.3 ANALYSES SUPPLEMENTAIRES, RECHERCHE DE TRACEURS SPECIFIQUES (METAUX : AL, FE, TI ...)

Etant donné la nature minérale des cendres volcaniques, des analyses de métaux ont été réalisées sur les échantillons prélevés dans le cadre de cette étude. La Figure 10 présente les résultats obtenus pour l'aluminium, le fer et le titane, pour lesquels une augmentation significative a pu être observée entre le 18 et le 20 avril 2010.

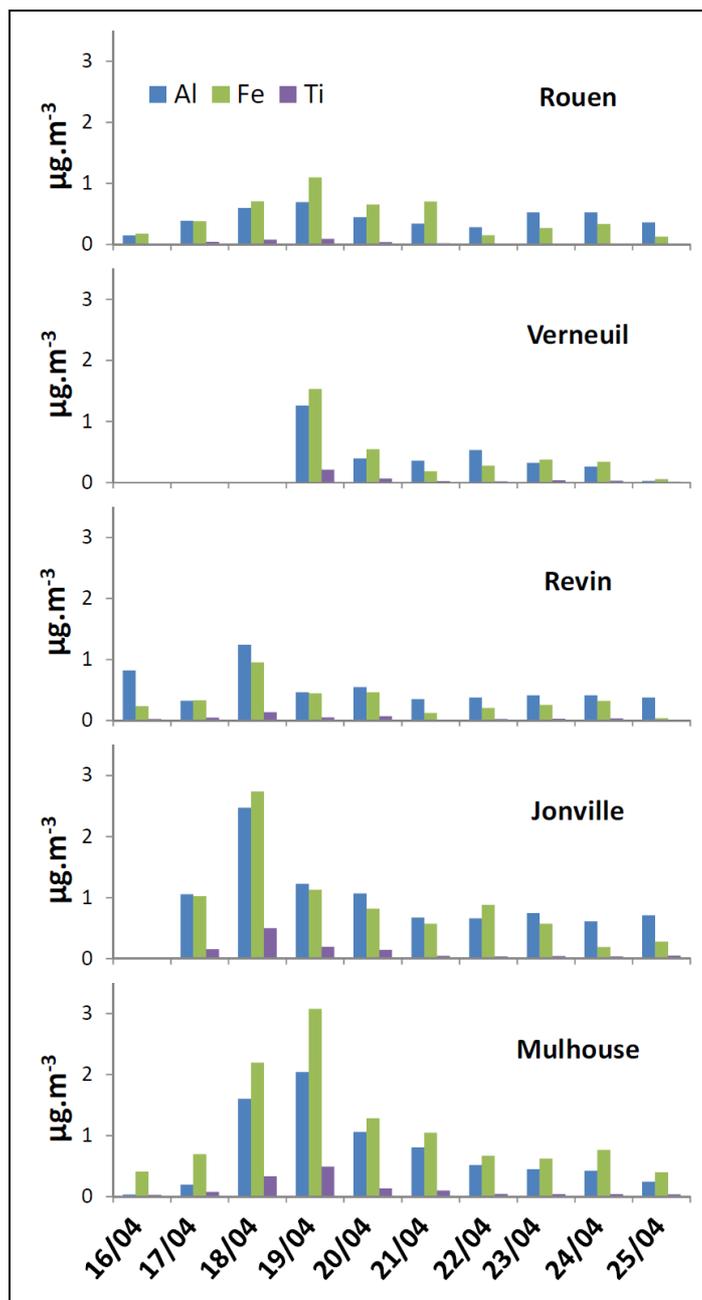


Figure 10: Suivi des concentrations en Aluminium (Al), Fer (Fe) et Titane (Ti) au cours de la deuxième quinzaine entre le 16 et le 25 Avril 210 sur les sites de Rouen, Verneuil, Revin, Jonville et Mulhouse.

Chacun des trois métaux étudiés ici sont présents dans les cendres volcaniques émises lors d'une éruption volcanique. Selon l'institut Islandais des sciences de la Terre<sup>5</sup> (*Icelandic Institute of Earth Sciences / Nordic Volcanic Center*), ils représentent respectivement 8,3%, 7,5% et 1,0% des émissions particulières du volcan Eyjafjallajökull autour du 15 avril 2010.

<sup>5</sup> N., 2010, Eruption in Eyjafjallajökull, Chemical composition, Icelandic Institute of Earth Sciences, Nordic Volcanological Center, <http://www2.norvol.hi.is/page/IES-EY-CEMCOM>

Il convient de souligner que ces analyses significatives de particules primaires naturelles d'origine crustale (croûte terrestre) auraient également pu provenir de transport à longue distance de poussières désertiques. De tels épisodes n'étant pas survenus pendant toute cette période (paragraphe 3.2), le profil de la charge particulaire peut donc être attribué à la seule présence de cendres volcaniques.

A partir de ces informations et de l'estimation des excédents de concentrations en Al, Fe et Ti pouvant être liés à la présence de cendres, il a été possible de réaliser une estimation de l'impact des émissions volcaniques sur les concentrations en PM<sub>10</sub> observées dans le nord de la France (avec une incertitude de l'ordre de 50%). Pour ce faire chacun des trois éléments a été considéré comme un traceur des particules volcaniques et une concentration globale de ces particules a été déterminée comme la moyenne des résultats obtenus à partir de ces trois éléments. L'impact moyen des émissions volcaniques pour les 18 et 19 avril a ainsi été estimé à environ :

- 5 µg.m<sup>-3</sup> en Haute-Normandie,
- 10 µg.m<sup>-3</sup> en Picardie et Champagne-Ardenne,
- 20 µg.m<sup>-3</sup> en Lorraine,
- et 25 µg.m<sup>-3</sup> en Alsace.

Ces concentrations sont en bon accord avec les résultats et interprétations scientifiques exposés dans les paragraphes 4.1 et 4.2.

Il est également à noter que des analyses supplémentaires indiquent des concentrations de cendres volcaniques de l'ordre de 5 µg.m<sup>-3</sup> à Lens les 18 et 19 avril, et à Lyon le 20 Avril..

## **5. POUR ALLER PLUS LOIN**

### **5.1 ETUDE DES RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES**

Afin de quantifier les éventuels dépôts atmosphériques secs (sédimentation des particules) et humides (lessivage par les précipitations) liés aux émissions du volcan, des jauges de collecte des retombées atmosphériques ont été placées en urgence en fin du mois d'avril par différentes AASQA et sur le site de l'INERIS. Ces jauges répondent aux normes NF X43-014 2003; NF EN 15841, 2010.

Ces jauges ont été analysées par l'INERIS (ICP-OES) afin de rechercher les métaux traceurs Al, Fe et Ti et évaluer ainsi les pertes par déposition et en particulier le lessivage du nuage de poussières volcaniques.

La majorité des jauges n'ont été exposées sur le terrain que quelques jours afin de récupérer uniquement les retombées atmosphériques potentiellement impactées par les poussières volcaniques.

Pour le site de Verneuil-en-Halatte, une première jauge a été retirée le 26 avril 2010 avant l'arrivée de précipitations afin d'évaluer les dépôts secs. Une seconde a été mise en place le vendredi 30 avril 2010 au matin, des précipitations étaient prévues pour la journée et la fin de semaine à venir. Elle a été retirée le 05 mai 2010 et représente donc le dépôt humide. Les deux dernières jauges sont restées sur le site de l'INERIS à Verneuil pendant un mois.

Le tableau ci-dessous présente les résultats d'analyses des métaux dans les retombées atmosphériques collectées en Champagne-Ardenne, Alsace, Normandie, Pays de la Loire et Picardie.

Tableau 1 : Flux de dépôt de métaux ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ ) – retombées atmosphériques collectées quelques jours après « l'épisode volcan »

Lieu / dates d'exposition	Al	Ba	Fe	S	Sr	Ti	Zr
ASPA 30/04- 03/05/10	184	<LD	155	1200	<LD	9	<LD
CA Reims 30/04- 03/05/10	206	22	337	2612	79	13	<LD
CA Bethenville 30/04- 03/05/10	639	60	664	2855	64	46	<LD
Sarthe 30/04- 02/05/10	1571	30	1685	5622	39	144	<LD
Sarthe 30/04- 02/05/10	1469	28	1583	2772	35	0	<LD
AN Rouen 30/04- 03/05/10	293	47	395	3192	16	0	<LD
Verneuil 20- 26/04/10 (dépôt sec)	137	<LD	98	62	<LD	7	<LD
Verneuil 30/04- 03/05/10	76	<LD	92	303	<LD	22	<LD
Verneuil 20/04- 21/05/10	6	<LD	5	12	<LD	1	<LD
Verneuil 20/04- 21/05/10	9	<LD	7	12	<LD	<LD	<LD

Pour ce qui est des retombées atmosphériques de métaux ici recherchés, aucune valeur de dépôts représentative du bruit de fond régional de ces métaux n'est

disponible. Il aurait été pertinent de mettre en place des jauges dès le début de l'épisode en prévision d'éventuelles précipitations.

Il est cependant possible de constater que les flux de métaux mesurés pendant quelques jours sont tous largement supérieures aux valeurs correspondant aux prélèvements d'un mois.

Ainsi, malgré le manque de précision de ces résultats, il semblerait qu'il y ait eu une augmentation ponctuelle des concentrations en métaux traceurs au cours des jours qui ont suivi l'arrivée du panache volcanique sur la France.

Même s'ils ne permettent pas de tirer de conclusions rigoureuses sur l'impact des poussières volcaniques sur les dépôts atmosphériques ayant suivi l'épisode, ce travail a permis d'éprouver ce type de méthode de mesure et de préparer d'éventuels futurs épisodes en les intégrant dans les moyens métrologiques à déployer pour répondre aux questionnements posés par ces situations de crise.

## 5.2 L'UTILISATION DU MEB

Dès l'annonce de l'arrivée du panache sur la France, non seulement le dispositif CARA a été déclenché, mais des mesures de PM ont également été réalisées sur le site de l'INERIS à Verneuil. Ainsi, des prélèvements ont pu être effectués sur les filtres en polycarbonates, analysables en Microscopie Electronique à Balayage, MEB, les filtres en Quartz du dispositif CARA n'étant pas adaptés.

Les diagrammes ternaires ci-dessous, positionnent l'intégralité des particules dans le triangle des trois composantes majoritaires des cendres volcaniques : Si/Al/Fe. et présentent les résultats d'analyse de deux filtres prélevés le jour du passage du panache de cendres dans la couche limite et quelques jours plus tard.

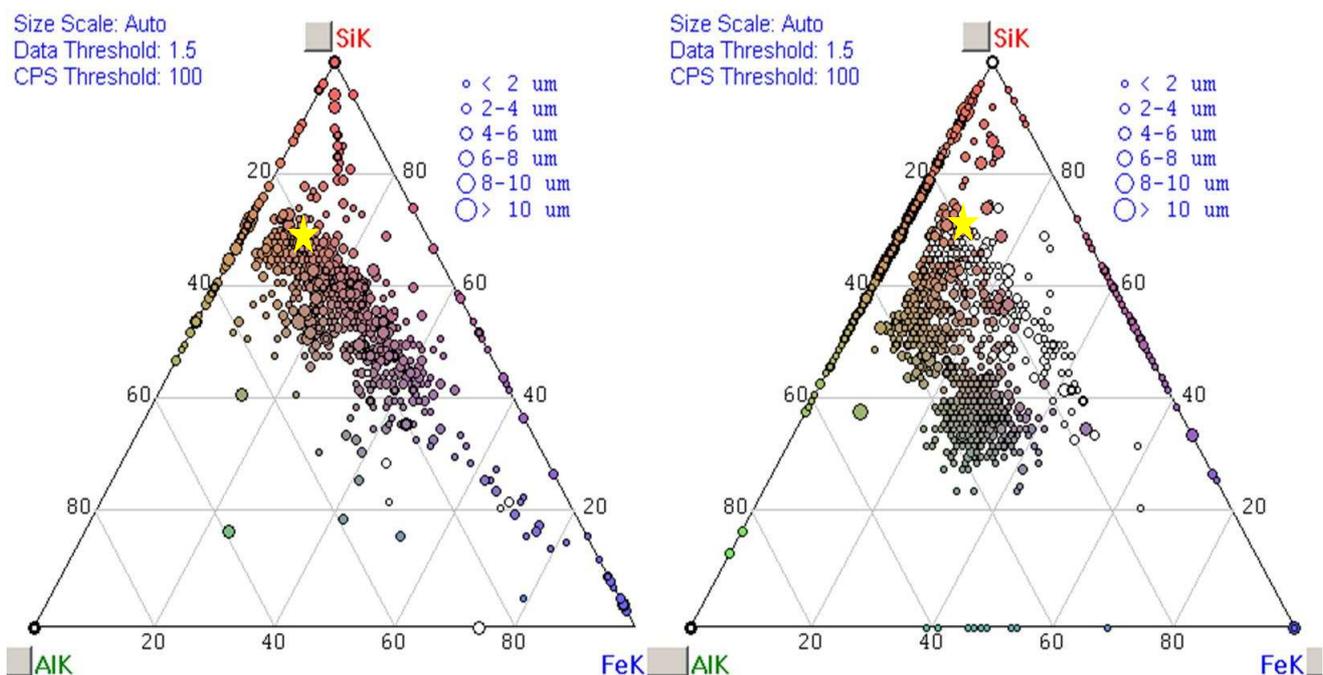


Figure 11 : Diagrammes ternaires Si-Fe-Al : le jour de l'impact (19/04/2010, à gauche, et après l'impact (21/04/2010, à droite) L'étoile jaune représente la composition théorique des cendres telle que mesurées à proximité du volcan

Le nombre de particules contenant une proportion significative ( $> 8\%$  atomiques) de silicium (élément majoritaire dans les cendres et scories) passe de  $77\%$  le 19/04/2010, à  $29\%$  le 21/04/10.

Le 19/04/10, ces particules ont une composition proche de celle des cendres et scories du volcan (représentée par une étoile jaune sur la figure), alors que le 21/04/10 elle s'en éloigne significativement (décroissance du fer, augmentation de l'aluminium : caractéristique de poussières telluriques).

Cette même technique de mesure a été mise en œuvre lors de mesures aéroportées.

### 5.3 DES MESURES AEROPORTEES

Un vol instrumenté sur l'avion ATR 42 de l'équipe SAFIRE a été organisé le 12/05/2010 au large de La Corogne (Espagne) afin de caractériser le panache (Figure 12).



Figure 12 : Vues extérieures et intérieure de l'ATR 42 SAFIRE

Des instruments de comptage optique des particules, de mesure de distribution granulométrique mais également de prélèvements sur filtres et sur grilles MET ont été embarqués à bord de l'avion et mis en œuvre par l'INERIS.

Les résultats d'analyse des particules au MEB sont présentés ci-dessous.

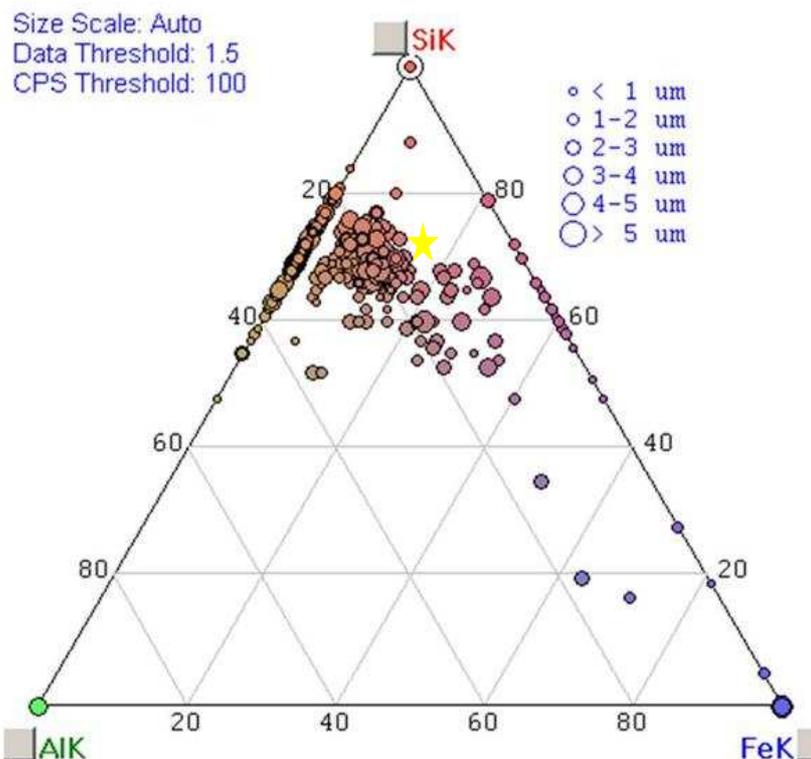
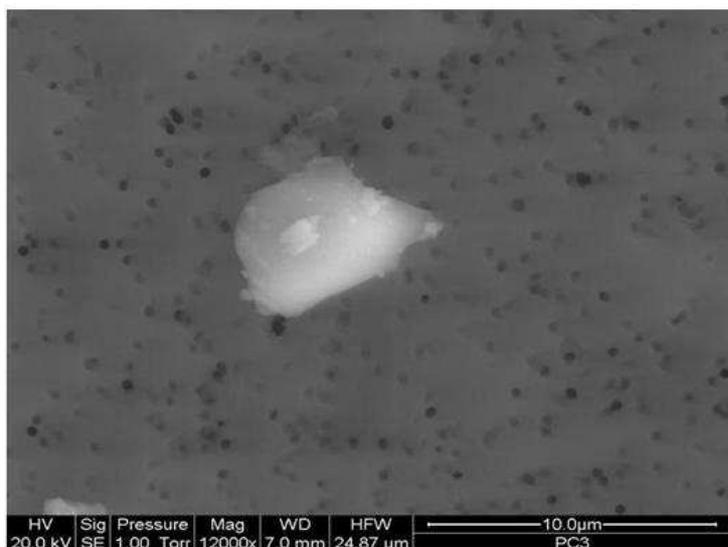


Figure 13 : Particule prélevée dans le panache (vue MEB) à gauche et diagramme ternaire Si-Fe-Al à l'intérieur du panache à droite. L'étoile jaune représente la composition théorique des cendres telle que mesurées à proximité du volcan

Il est ainsi possible de constater qu'une large majorité des particules possède une composition voisine de la composition des cendres volcaniques prélevées à proximité du volcan le 15/04/10 juste après le début de l'éruption. Cette composition est représentée par une étoile jaune sur la Figure 13 et la composition de la plupart des particules analysées gravite autour d'elle.

Par ailleurs, quelques clichés de particules ont été réalisés et leur morphologie évoque des fragments de verres amorphes, que l'on peut retrouver dans les cendres volcaniques.

Enfin, des lames de microscope sur lesquelles des pollens ont été récupérés par Atmo Champagne Ardenne, ont fait l'objet d'analyses MEB. En raison du traitement nécessaire aux analyses de pollens et du grand nombre de particules de nature diverse prélevé sur les lames, les images obtenues sont peu probantes.

## 5.4 BILAN

Dans le contexte de cet épisode, la mise en œuvre de ces moyens de mesure (déploiement de préleveurs supplémentaires sur le site de l'INERIS, mesures MEB, participation à des campagnes aéroportées, a permis d'apporter des éléments de réponse supplémentaires aux analyses des filtres fournis par le dispositif CARA, de consolider les bases de nos moyens techniques et humains et de ce fait d'améliorer notre capacité d'anticipation et de réaction à des épisodes exceptionnels nécessitant d'apporter rapidement des informations aux pouvoirs publics.

## 6. CONCLUSIONS

La survenue soudaine de cet épisode exceptionnel présentant des enjeux économiques et potentiellement sanitaires a nécessité d'apporter rapidement des réponses objectives aux pouvoirs publics sur l'impact du nuage de cendres sur les niveaux de PM en France. La réactivité de l'INERIS et sa capacité à mettre en œuvre de manière concertée un ensemble de moyens d'évaluation fiables et appropriés ont permis d'apporter ces réponses en temps quasi-réel pour le suivi de la crise. Il est ainsi important de noter l'efficacité du travail en réseau pour obtenir ces résultats. L'INERIS a logiquement travaillé en étroite collaboration avec les AASQA (notamment pour la récupération rapide des filtres de mesure PM) mais également avec les équipes scientifiques nationales (SIRTA, Météo France, SAFIRE) et internationales (NILU<sup>6</sup>, ECMWF<sup>7</sup>).

Les analyses combinées réalisées dans le cadre de la présente étude indiquent que l'impact des émissions particulaires volcaniques sur la qualité de l'air a été relativement limité dans l'espace (essentiellement nord-est de la France) et dans le temps (surtout 18 et 19 avril). Bien que non-négligeable localement, l'apport de cendres volcaniques n'a pas été à l'origine d'une augmentation exceptionnelle des niveaux de PM<sub>10</sub> dans l'air ambiant. Ceux-ci sont globalement restés en deçà de 70 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne journalière sur les stations de fond, alors qu'un épisode de pollution particulaire, lié notamment aux conditions climatiques et à la formation d'aérosols secondaires, était prévu.

Il est à noter que la présence de cendres volcaniques dans la couche limite semble même avoir eu pour conséquence de limiter localement la formation d'aérosols secondaires par le biais d'interactions avec la phase gazeuse. Cette dernière hypothèse reste néanmoins à vérifier au travers d'analyses complémentaires.

Au-delà de l'évaluation de l'apport du nuage de cendres sur la qualité de l'air ambiant, cet événement a démontré l'efficacité du centre ministériel de veille opérationnelle et d'alerte, la synergie des trois compétences, télédétection, modélisation et métrologie et leur capacité à jouer leur rôle d'outil de gestion des épisodes de pollution en apportant rapidement des éléments de compréhension lors d'une situation exceptionnelle. Par ailleurs, la gestion de cet épisode a également permis de consolider les bases de nos moyens techniques et humains afin de répondre encore plus rapidement et plus efficacement à d'éventuelles alertes exceptionnelles à venir.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

Bessagnet, B., L. Menut, G. Curci, A. Hodzic, B. Guillaume, C. Liousse, S. Moukhtar, B. Pun, C. Seigneur and M. Schulz (2008). "Regional modeling of carbonaceous aerosols over Europe—focus on secondary organic aerosols." Journal of Atmospheric Chemistry **61**(3): 175-202.

---

<sup>6</sup> NILU, Norwegian Institute for Air research, [http://www.nilu.no/index.cfm?lan\\_id=3](http://www.nilu.no/index.cfm?lan_id=3)

<sup>7</sup> ECMRWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, <http://www.ecmwf.int/>,

Colette, A., O. Favez, F. Meleux, L. Chiappini, M. Haeffelin, Y. Morille, L. Malherbe, A. Papin, B. Bessagnet, L. Menut, E. Leoz and L. Rouil "Assessing in near real time the impact of the April 2010 Eyjafjallajökull ash plume on air quality." Atmospheric Environment **In Press, Corrected Proof**.

Colette, A., O. Favez, F. Meleux, L. Chiappini, M. Haeffelin, Y. Morille, L. Malherbe, A. Papin, B. Bessagnet, L. Menut, E. Leoz and L. Rouil (in press). "Assessing in near real time the impact of the April 2010 Eyjafjallajökull ash plume on air quality." Atmospheric Environment **In Press, Accepted Manuscript**.

NF EN 15841 (2010). "Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour la détermination des dépôts d'arsenic, de cadmium, de nickel et de plomb." janvier 2010.

NF X43-014 (2003). "Qualité de l'air - Air ambiant - Détermination des retombées atmosphériques totales - Échantillonnage - Préparation des échantillons avant analyses." Novembre 2003.

#### Liste des annexes

<b>Repère</b>	<b>Désignation</b>	<b>Nombre de pages</b>
ANNEXE 1	Poster présenté à l'European Geophysical Union (Vienne, 2-7 mai 2010)	1
ANNEXE 2	Article paru dans la revue Atmospheric Environment	5

# Impact of the Eyjafjallajökull's eruption on surface air quality in France

A. Colette (1), N. Alsac (1), B. Bessagnet (1), H. Blaudet (1), L. Chiappini (1), O. Favez (1), E. Frejafon (1), F. Gautier (1), F. Godefroy (1), M. Haefelin (2), E. Leoz (1), L. Malherbe (1), F. Meleux (1), L. Menut (4), Y. Morille (3), A. Papin (1), C. Pietras (3), M. Ramel (1), B. Romand (2), L. Rouil (1)

(1) Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, France  
 (2) SIRTA, Institut Pierre-Simon Laplace, France  
 (3) SIRTA, Laboratoire de Météorologie Dynamique, Institut Pierre-Simon Laplace, France  
 (4) Laboratoire de Météorologie Dynamique, Institut Pierre-Simon Laplace, CNRS, France

augustin.colette@ineris.fr

## Fast Facts

- 24/7 lidars showed the continuous advection of a thin layer of volcanic material in altitude over the Paris area until its ultimate injection in the boundary layer. The following days several fractional layers were detected in the lowermost troposphere.
- Eulerian and Lagrangian transport models proved to be able to reproduce the timing of the event, estimate the extent of the footprint and provide a quantitative assessment of tracer concentration at the surface.
- Surface measurements showed a significant impact of the volcanic plume on particulate matter concentration in some Northern French regions and allowed to discriminate the respective contribution of local pollution and Eyjafjallajökull's emissions.

## Perspectives

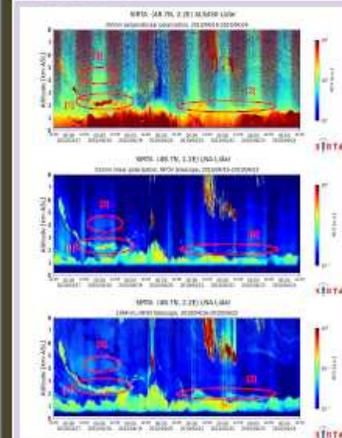
- In depth analysis of collected samples may provide insight into the chemical processes taking place in the plume
- Improvements of the deposition in the models will allow a more realistic representation of the decay
- Further processing of the all lidar signals will yield a wealth of information on optical characteristics of the the aerosols in the ash plume

## Remote Sensing

The Sirta observatory hosts several atmospheric remote sensing instruments in a suburban environment 20 km south of Paris including two lidars that were operated 24/7 during the episode:

- The clouds and aerosols (LNA) lidar operates between 0.1 km and 15 km. Two wavelengths are emitted (355 nm & 1064 nm) and the detection system is capable of measuring the signal at 532 nm (linear and cross-polarized), 3564 nm, and 607 nm from the Raman diffusion of N<sub>2</sub>.
- A commercial automated ALISAD lidar operating at 2500m between the surface and 12km and measuring the backscatter of the linear and cross-polarized signals.

Raw lidar backscattering ratios at 355, 532 and 1064nm measured continuously at the SIRTA observatory between the 15<sup>th</sup> and the 24<sup>th</sup> of April



- Several layers presenting a high aerosol load are advected above the observatory:
- The most outstanding event occurs between April 15<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> and terminates with the injection of a thin layer (labelled [1]) inside the planetary boundary layer.
  - During the same period, a deceler layer (labelled [2]) with a weaker backscatter at all wavelengths is observed at higher altitude.
  - The following days, the presence of several thin layers above the boundary layer could indicate the remains of the first layer of ash or residual planetary boundary layers.

## Acknowledgements

We are grateful to the technical teams for their dedication during the April 2010 episode particularly the SIRTA and the French air quality monitoring associations (ANISA which, as part of the GAMA network provided the PM samples and real time concentration data AIR NORMANDIE, AIR ANJOU, AIR ILE DE FRANCE Champagne et Savoie, AIR Nord-Pas de Calais, AIR Alsace, AIR PACA, AIR Centre Loire, Nord, Ardennes, Seine et Marne) as well as the assistance of the SIRTA model and technical assistance. We thank Olivier from Observatoire de Physique de la Glace de Clermont-Ferrand provided the altitude of source term through the Modeler Service. <http://www.observatoire-physique.fr/observatoire/observatoire.html>

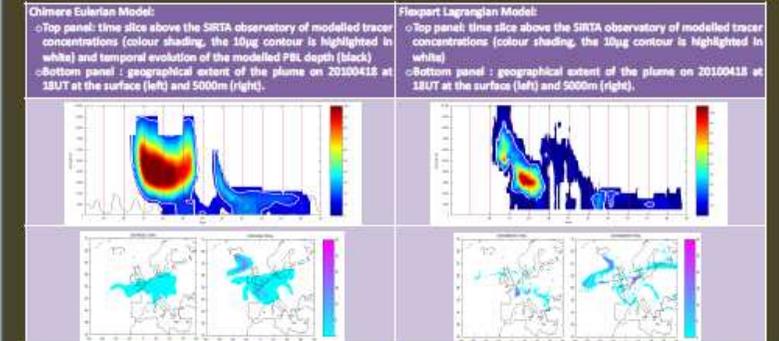
## Modelling the Eyjafjallajökull's plume

INERIS is responsible for air quality forecasts at the national level in France. In that context the Institute operates a suite of models in an operational forecasting mode. In the hours following the onset of the Eyjafjallajökull eruption an emergency forecasting strategy was developed to better anticipate any potential impact on air quality in France:

- The Chemistry and Transport Model Chimere was adapted to cover a larger domain and include instead as that a passive particulate tracer could be released at the location of the Volcano. The forecast are driven with ECMWF/IFS fields.
- The Lagrangian Particle Dispersion Model Partout was implemented in forecast mode driven by NCEP/IFS fields.

In both models the ash emissions of the Eyjafjallajökull were estimated on the basis of the Holistic Service's reports and the altitude of the plume was obtained from the scientific Institute of Earth Science - Nordic Volcanology Center.

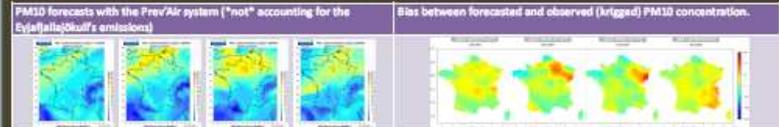
Source of volcanic ash	14/04	15/04	16/04	17/04	18/04	19/04	20/04	21/04 and beyond
Total mass (kt)	1.6	30	4	5.2	3.2	34	8	0.4
Altitude (km a.s.l)	4-8	4-8	3-7	3-6	3-6	3-5	2-4	2-4



- A number of features are captured similarly by both models even though they rely on very different modelling framework and distinct meteorological forcing:
- A layer of tracers arrives above the observation site on the 16<sup>th</sup> and is injected into the planetary boundary layer on the 18<sup>th</sup>.
  - This layer is much thicker than the feature labelled [1] on the lidar data. It could be related to the conjunction of layers [1] and [3] seen as a single event by the models.
  - General features appear on both models in the vicinity of the PBL the following days and could be related to the series of layers labelled [2] on the lidar. These layers could also be related to a spurious effect of the lack of deposition in the models yielding a too weak decay of the tracer.
  - The estimated concentrations at the surface are in-line with the order of magnitude derived from surface observations [right panel]: 10<sup>-3</sup> to 30µg/m<sup>3</sup>. Amongst the differences between the two models we can note that the higher vertical resolution in the Flexpart's results is inherent to the nature of the Lagrangian framework.

## Modelling the April 2010 nitrate pollution episode

INERIS provides daily operational air quality over France based on the PrevAir system (www.ineris.fr) that includes the Chimere CTM (amongst others). For the period covering 18-19<sup>th</sup> April a classical springtime pollution episode was forecasted in Northern France independently from the occurrence of the Eyjafjallajökull's eruption.



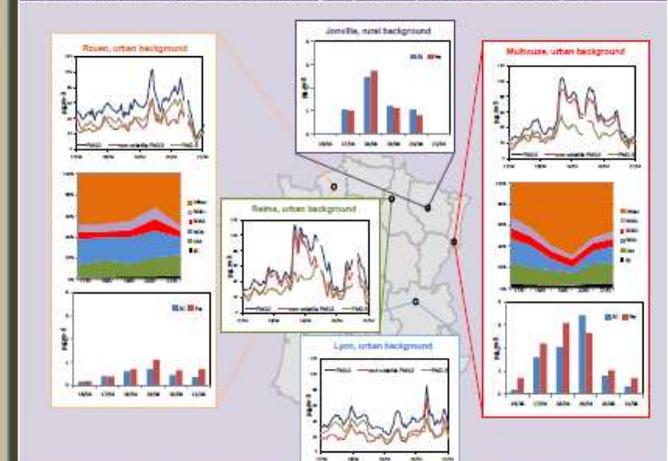
A PM10 pollution event was forecasted to occur on 18-19 April in Northern France as a result of a conjunction between an adverse meteorological context and spreading of nitrate-rich agricultural fertilizers leading to the formation of ammonium nitrate particulate matter.

An unusual bias was found between the forecast and optimum interpolation of real-time observations in North-Eastern France on the 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> of April as a result of injection of the boundary layer of volcanic material that was not included in the forecast - neither in the boundary conditions nor in the emission inventory.

## Surface Data

As part of the French reference laboratory for air quality monitoring (LCOQA), the INERIS has designed and implemented a comprehensive air quality assessment procedure (named GAMA) since 2007. The aim of the procedure is to sample and analyse airborne particles at several background sites in order to investigate important aerosol sources and chemical processes, particularly during heavily polluted episodes. Owing to the anticipated impacts of the eruption on air quality, the emergency mode of the GAMA procedure has been activated on April 18<sup>th</sup> 2010. Some preliminary results of on-going sample analyses are presented below.

Real-time PM measurements collected across France during the episode and speciation of the aerosol composition



- In a large part of France, real-time measurements showed an increase of PM10 concentrations during the April 18-19<sup>th</sup> episode, the main factor for this anomaly being related to anthropogenic sources (spreading of nitrate-rich fertilizers). However a detailed investigation allowed for the identification of an unambiguous signal in the North-Eastern part of France that can be attributed to the volcanic ash plume:
- unusual non-volatile and coarse PM fractions
  - dramatic increases of non-carbonaceous and insoluble materials
  - significant levels of aluminium, iron and titanium in PM10.
- The investigation of mineral dust constituents in Mulhouse suggests a contribution of volcanic emissions to total PM10 of about 30% the 19<sup>th</sup> of April.

