

TEMMAS : TELEDETECTION, MESURES IN-SITU ET MODELISATION DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES INDUSTRIELS

PLAN DE REALISATION DE CAMPAGNE DE MESURE DE
PROPRIETES DES AEROSOLS ATMOSPHERIQUES SUR ET AUX
ENVIRONS DU SITE DE LA RAFFINERIE DE LA MEDE REALISEE EN
FEVRIER 2016

Mai 2016

Projet réalisé par l'ONERA – Convention 1381C0054



Coordinateur du projet : Pierre-Yves Foucher – Département d'Optique Théorique et Appliqué – 2 Avenue Edouard Belin 31055 Toulouse – France.

Chargé du suivi technique à l'ADEME : Emmanuel FIANI – Service Entreprises et Ecotechnologies – Direction des Productions et Energies Durables – ADEME Angers



RAPPORT AVANCEMENT 2

En partenariat avec :



REMERCIEMENTS

Les partenaires scientifiques du projet TEMMAS souhaite remercier les membres du comité de pilotage et l'ensemble des personnes ayant permis le lancement du projet et le bon déroulement de cette deuxième campagne de mesure.

Emmanuel FIANI - ADEME
Delphine COTTET – ADEME
Chloé MASSOUBRE - ONERA
Myriam PLANTE - ONERA
Anthony DROUAIRE – ONERA
Sandra LAPEYRIE – Air PACA
Frédéric MARTY – Air PACA
Sébastien MATHIOT – Air PACA
Jonathan VIRGA – Air PACA
Alexandre ARMENGAUD – Air PACA
Sylvie MENGOZZI – TOTAL La Mède
François WIOLAND TOTAL La Mède
Georges FAUQUE – TOTAL La Mède
François BOURASSE TOTAL La Mède
Christine BERTRAND – TOTAL
Jean-Philippe HALLET – TOTAL
Catherine JUERY – TOTAL LQA
Guillemette COURTIER TOTAL LQA
Pierre MANGEON TOTAL LQA
Sarah LE PARMENTIER TOTAL LQA

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION – PROJET TEMMAS	5
1.1. Objectifs scientifiques du projet TEMMAS.....	5
1.2. Campagnes de mesures sur le site de la raffinerie de La Mède	5
2. LISTE DES INSTRUMENTS DEPLOYES.....	6
3. DESCRIPTIF DES ATELIERS.....	7
3.1. Cartes du site	7
3.2. Atelier 1 : Mesures au niveau des émissaires	8
3.2.1. Synthèse	8
3.2.2. Descriptions des moyens déployés.....	8
3.2.3. Mesures réalisées	9
3.3. Atelier 2 : Mesures optiques des panaches	13
3.3.1. Descriptif des moyens déployés	13
3.3.2. Mesures réalisées	14
3.4. Atelier 3 : Mesures en champs proche des propriétés des aérosols	15
3.4.1. Synthèse	15
3.4.2. Descriptif des moyens déployés	16
3.4.3. Synthèse des mesures	33
3.5. Atelier 4 : Mesures en bordure du site des propriétés des aérosols	34
3.5.1. Synthèse	34
3.5.2. Descriptif des moyens déployés	34
3.5.3. Mesures réalisées	37
3.6. Atelier 5 : Mesures atmosphériques	38
3.6.1. Synthèse	38
3.6.2. Descriptif des moyens déployés	39
3.6.3. Mesures réalisée	39
3.7. Atelier 6 : Mesures aéroportées	40
3.7.1. Synthèse	40
3.7.2. Caractéristiques des capteurs aéroportés embarqués.....	40
3.7.3. Mesures réalisées	42
4. CONCLUSIONS.....	43

Résumé

Le projet TEMMAS : Télédétection, Mesures in-situ et Modélisation des polluants atmosphériques industriels a pour objectif de mettre en synergie les techniques de caractérisation optiques par télédétection avec les mesures in situ d'analyses des propriétés microphysiques des rejets atmosphériques d'un site industriel afin d'améliorer la compréhension de l'évolution des aérosols dans l'environnement proche et la modélisation de la qualité de l'air à fine échelle.

Dans ce cadre, deux campagnes de mesures sont prévues sur le site de la raffinerie TOTAL de La Mède. La première campagne a eu lieu en Septembre 2015 sur une période de dix jours. Durant cette campagne, différents ateliers de mesures ont été déployés : (i) prélèvements d'aérosols sur filtres en sortie de l'émissaire principal ; (ii) mesures lidars scannants couvrant une grande partie du site ; (iii) prélèvement des particules atmosphériques sur filtres à différents points à l'intérieur du site ; (iv) prélèvement et mesures « on line » des propriétés microphysiques des aérosols et des concentrations de gaz traceurs des panaches à l'extérieur du site dans un rayon de quelques kilomètres ; (v) sondage par ballon sur 300m d'altitudes ; (vi) mesures optiques au sol des aérosols par héliophotomètre et (vi) mesures hyperspectrales aéroportées dans le domaine réflectif. Ce document correspond au second rapport d'avancement du projet TEMMAS, il décrit les ateliers de mesures au sol qui ont été réalisés pour la caractérisation des aérosols lors de la seconde campagne TEMMAS sur le site de la Raffinerie de Provence à La Mède en Février 2016.

Si l'ensemble de ces mesures sont toujours en cours d'analyse, les premiers résultats montrent de façon claire qu'il est possible de mettre en correspondance les propriétés microphysiques des aérosols avec les gaz traceurs de panache, qu'il est possible d'associer à chaque condition de vent une ou des sources principales (raffinerie, réseau routier, air maritime,...) pour les différents points de collecte.

1. INTRODUCTION – PROJET TEMMAS

1.1. Objectifs scientifiques du projet TEMMAS

Les objectifs scientifiques du projet sont doubles. Premièrement, nous cherchons à valider la synergie instrumentale entre mesures hyperspectrales aéroportées et mesures Lidar sol pour la cartographie fine échelle des particules dans l'atmosphère. Deuxièmement, nous utilisons cette information pour améliorer la compréhension et la modélisation des processus de la pollution atmosphérique par les particules afin d'évaluer la contribution des différentes sources à la qualité de l'air.

Afin d'obtenir des mesures couvrant simultanément tout un site industriel, deux types d'instrumentations de télédétection innovants seront déployés pour sonder l'atmosphère en 3D :

- **l'imagerie hyperspectrale aéroportée du domaine visible à l'infrarouge** qui fournit des données optiques adaptées aux signatures des aérosols et potentiellement de certains gaz précurseurs avec une résolution spatiale métrique sur une zone étendue.
- **Les mesures Lidar multi-longueurs d'ondes** qui fournissent des données optiques adaptées à la caractérisation des aérosols industriels (concentration, type, granulométrie) et de certains gaz, résolues en distance (Veselovskii et al., 2002).

Le couplage de ces techniques de télédétection avec des mesures « in-situ » par prélèvements ou analyses « online » des propriétés microphysique et chimique des aérosols correspond à un axe novateur dans le sens où cela permettrait d'ajouter une information spatiale grâce aux images aéroportées et une information sur la structure verticale des profils d'aérosols grâce aux mesures Lidar.

1.2. Campagnes de mesures sur le site de la raffinerie de La Mède

Dans le cadre du projet TEMMAS le site test choisi par les partenaires est le site de la raffinerie TOTAL à La Mède sur le sud de l'étang de Berre. Sur ce site deux campagnes de mesures ont été prévues, la première qui s'est déroulée en septembre 2015, la seconde en février 2016 dont nous présentons les mesures réalisées dans ce document. Ce site a été choisi car il permettait de réaliser de façon simultanée les différents ateliers prévus dans le projet : mesures à la source, mesures sur le site et mesures en proche périphérie. De plus les partenaires possèdent une expérience importante sur cette zone en termes de compréhension des mécanismes météorologiques et de prévision de la qualité de l'air. Dans ce document nous décrivons donc l'ensemble des ateliers de mesures qui ont été déployés durant la campagne de février 2016 et les premiers résultats.

2. LISTE DES INSTRUMENTS DEPLOYES

Le tableau ci-dessous répertorie les principaux instruments déployés sur les différents ateliers durant la campagne de Février autour du site de la raffinerie de La Mède.

Tableau 1: Liste des instruments déployés pour la campagne TEMMAS 2

Nom de l'instrument - Description	Opérateur	Nombre	Nomenclature
filtre sur sonde de prélèvement iso cinétique chauffée (NF EN 13284-1 et NF X 44-052)	LQA/TOTAL RC	1 instrument 1 à 3 cheminées	FTRC1-3
PARTISOL	LQA/TOTAL RC	6	PTRC1-6
Digitel	LQA/TOTAL RC	2	DTRC1-2
Ballon Sonde (Granulomètre, optique LOAC-sonde PTU – vent Vaisala)	LA/UPS	1	BLA
CIMEL	L'ONERA	1	CIO
Lidar Vent	L'ONERA	1	LWO
Lidar Aérosol UV 355nm (2 voies de polarisation)	L'ONERA	1	LUV0
Spectromètre	L'ONERA	1	ASD
Analyseurs automatiques (SO ₂), (NO ₂)	Air PACA	3	ANA1-5
Jauge radiométrique BAM 1020	Air PACA	3	BAM1-5
Collecteurs Digitel DA80	Air PACA	3	DA80-1-5
Camion laboratoire Massalya : AMS + SMPS+ PTRMS	LCE	1	MASS
Caméra hyperspectrale 0.4-2.5µm : (porteur SAFIRE : Piper Aztec) Altitude de vol comprise entre 1500m/2000m	L'ONERA	1	HYP

3. DESCRIPTIF DES ATELIERS

3.1. Cartes du site

La Figure 1 et la Figure 2 illustrent la position des différents ateliers de mesures par rapport à la raffinerie.

Camion laboratoire Air

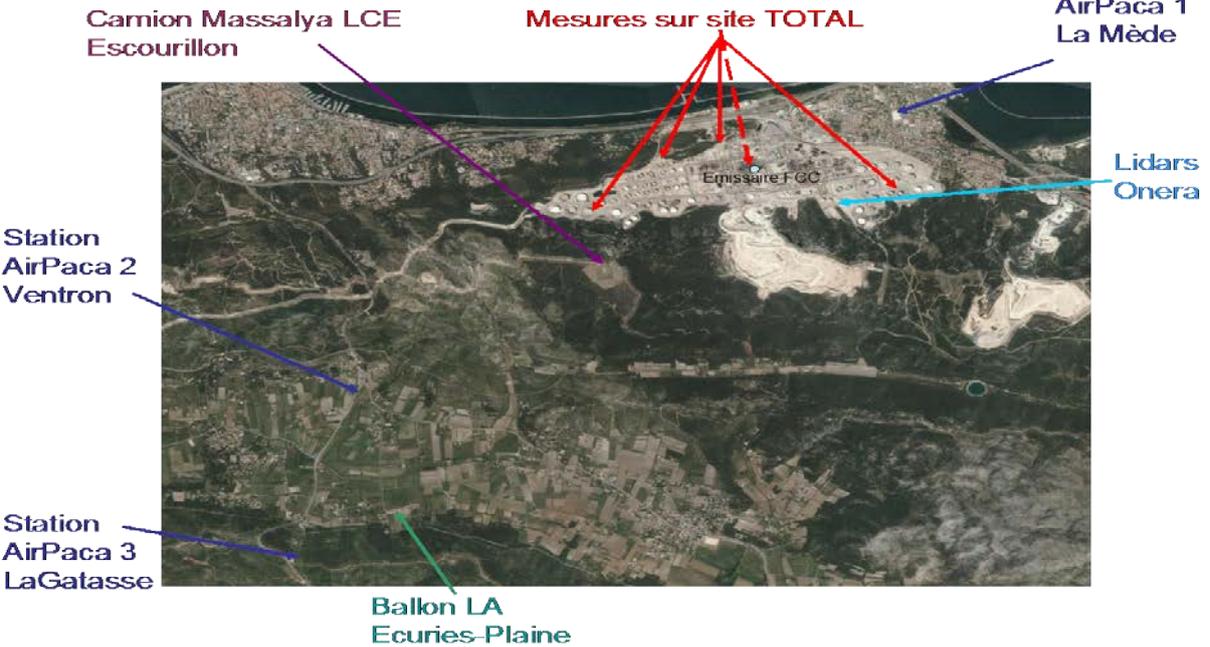


Figure 1 : Image aéroportée du site de la Mède avec position des ateliers de mesures sol

Camion laboratoire Air

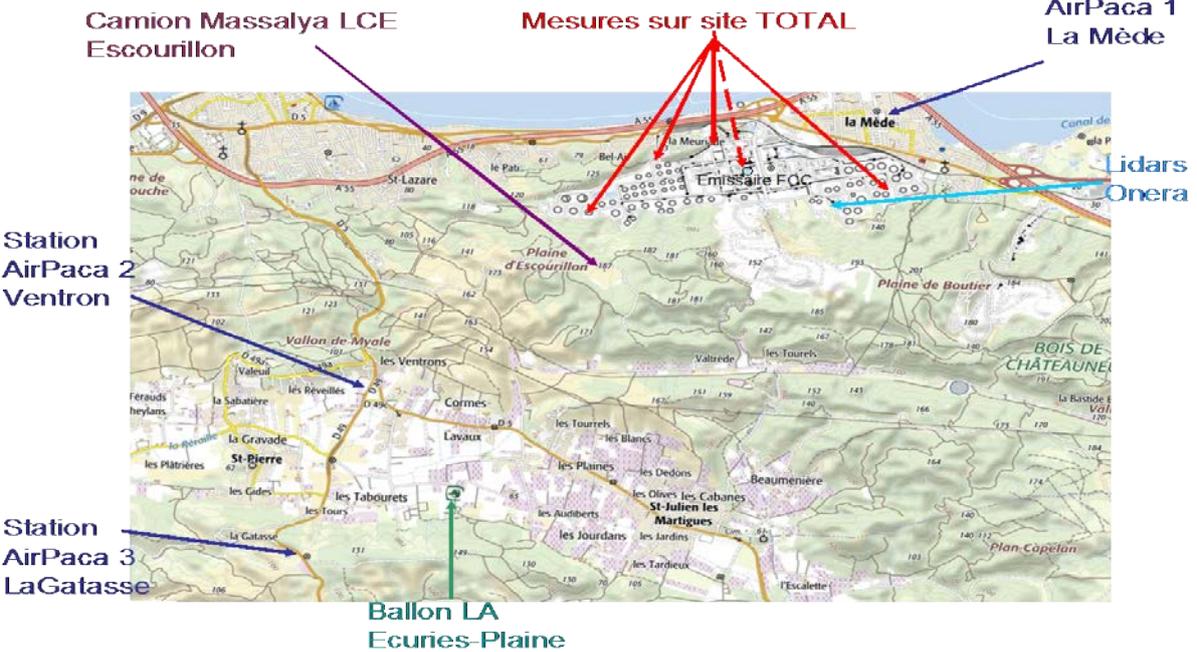


Figure 2 : Carte IGN du site de la Mède avec position des ateliers de mesures sol

3.2. Atelier 1 : Mesures au niveau des émissaires

3.2.1. Synthèse

Responsable : TOTAL RC

Opérateur : LQA

Objectif principal : Obtenir les propriétés des aérosols en sortie de cheminée.

Instruments déployés : FTRC

Grandeurs mesurées : Paramètres d'éjection (Vitesse, T° des fumées, ...)

Echantillons prélevés : Récolte de filtres (fréquence : 1 à 2 prélèvements/jour) à analyser.

Analyse des échantillons prélevés : Les échantillons d'intérêt seront analysés de façon parallèle par le LCE et un laboratoire Partie de TOTAL (Micropolluants Technologie SA & Labo d'Aérodologie)

Durée du déploiement : 12 jours

Personnel impliqué pendant la mesure : 3

3.2.2. Descriptions des moyens déployés

3.2.2.1. Localisation sur le site

Deux émissaires différents ont pu être étudiés :

- la chaudière 11, déjà étudiée en septembre 2015
- la chaudière 12, traitement de post-combustion du FCC (procédé à combustion partielle), émissaire principal de particules du site. Il est à noter que durant les prélèvements, le système d'abattement des particules était en mode dégradé (électro filtre à l'arrêt suite à un dysfonctionnement).

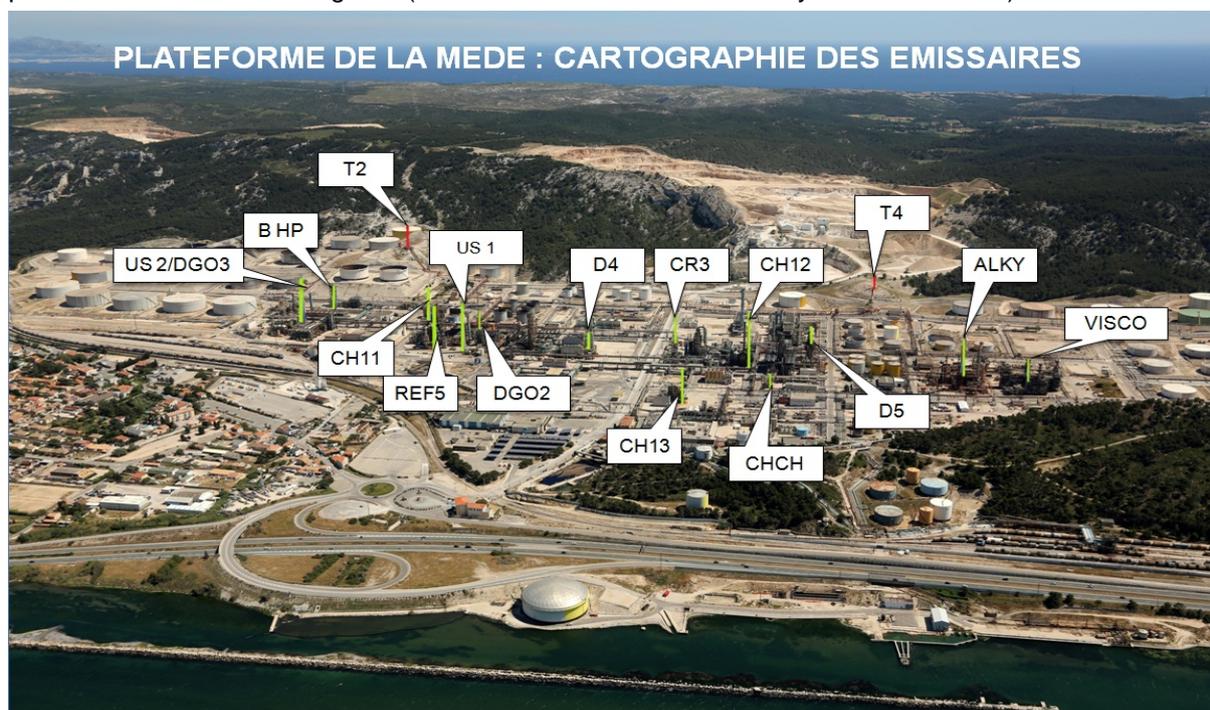


Figure 3: Vue d'ensemble des installations sur la plateforme de La Mede.

3.2.2.2. Caractéristiques des instruments déployés

La mesure des concentrations en poussières dans une veine gazeuse a été réalisée selon les principes des normes NF EN 13284-1 et NF X 44-052, à l'aide d'une sonde de prélèvement iso cinétique chauffée. Elle s'effectue à l'aide d'un prélèvement iso cinétique (vitesse des gaz à l'entrée de la buse de prélèvement égale à la vitesse des fumées dans la cheminée ajustée avec le débit d'aspiration des gaz en fonction du diamètre de buse choisie) d'un échantillon gazeux, sur une portion droite. Les poussières sont captées sur un filtre en fibre de quartz. La teneur en poussières est déterminée par pesée du filtre avant et après le prélèvement, ainsi que de la solution de rinçage, à l'aide d'une balance de précision. L'aspiration des gaz est assurée par une pompe (environ 1 Nm³/h) et le volume de gaz prélevé est déterminé après séchage des gaz sur adsorbant, par un compteur gaz de type sec. Le système de prélèvement est chauffé jusqu'à la sortie du porte filtre.

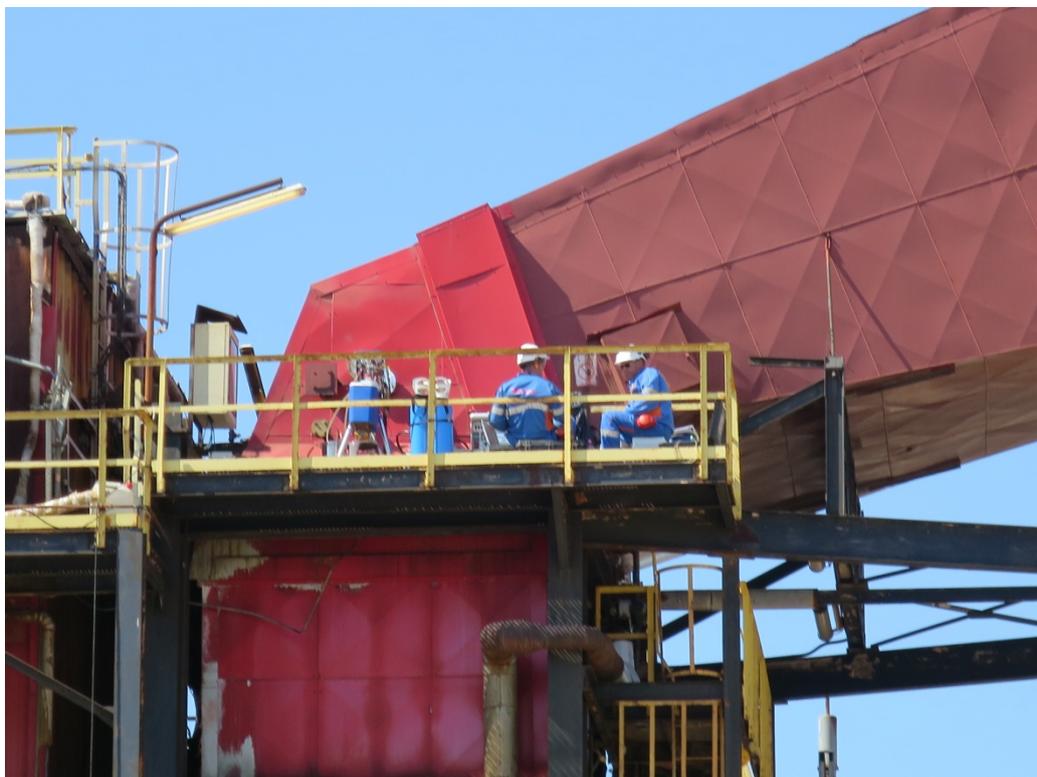


Figure 4 : Montage installé sur la CH11

3.2.3. Mesures réalisées

Calendrier de l'intervention

Judi 4 février : grutage chaudière 12
 Mercredi 11 février : Prélèvement particules filtrables chaudière 12
 Jeudi 12 février : Prélèvement particules filtrables chaudière 12
 Vendredi 13 février : grutages chaudière 12 et chaudière 11
 Lundi 15 février : Prélèvement particules filtrables Chaudière 11
 Mardi 16 février : Prélèvement particules filtrables chaudière 11
 Mercredi 17 février : Prélèvement particules filtrables chaudière 11

Principaux résultats :

	10/02/2016	11/02/2016	15/02/2016	16/02/2016	17/02/2016
Emissaire	Chaudière 12		Chaudière 11		
combustible FG (t/j)	40	43	146	145	158
combustible FO (t/j)	73	71	67	60	64
Allure (rendement direct/ rendement design)	87%	87%	87%	87%	87%
Horaires de prélèvement	11h40 à 13h19	10h19 à 11h58	16h22 à 18h20	10h08 à 12h08	9h55 à 11h55
Temps total de prélèvement	1h39	1h39	1h41	1h55	1h58
1er filtre (min)	30	30	38	32	58
2ème filtre (min)	30	30	30	83	60
3ème filtre (min)	30	30	33		

Pour les trames de calculs, on a considéré :

Chaudière 12	10/02/2016	11/02/2016
O2 (valeur instantanée analyseur en ligne du site)	2,25%	2,09%
CO2 (valeur par défaut)	10 %	10 %

Chaudière 11	15/02/2016	16/02/2016	17/02/2016
O2 (valeur instantanée analyseur en ligne du site)	2,2%	2,6%	2,9%
CO2 (valeur du rapport de contrôle 2015)	10 %	10 %	10%

Profil de vitesse et mesure d'humidité

Chaudière 12

Le profil de vitesse préliminaire recommandé par la norme NF X 44-052 n'a pas été réalisé en entier du fait de la présence d'un seul point de prélèvement. **Les conditions d'isocinétisme ont été vérifiées avant et durant chaque prélèvement.**

L'humidité a été mesurée au cours de la campagne, selon la norme NF EN 14790.

On a obtenu une valeur de 12,9% le 11 février. Cette valeur est légèrement inférieure à celle obtenue par SOCOTEC en septembre 2014 (13, 9% en moyenne). Elle reste cependant dans les teneurs habituellement constatées sur l'émissaire.

Chaudière 11

Le profil de vitesse préliminaire recommandé par la norme NF X 44-052 n'a pas été réalisé en entier du fait de la présence d'un seul point de prélèvement. **Les conditions d'isocinétisme ont été vérifiées avant et durant chaque prélèvement.**

L'humidité a été mesurée au cours de la campagne, selon la norme NF EN 14790.

On a obtenu une valeur de 12,7% le 15 février. Cette valeur est légèrement supérieure à celles obtenues par l'APAVE en mai 2015 (9,5% en moyenne). Elle reste cependant dans les teneurs habituellement constatées sur l'émissaire.

Analyse des supports

Les tableaux suivants donnent les résultats des pesées des filtres. Les résultats sont rendus dans les conditions normales de température et de pression, à une teneur en oxygène de référence de 3% et sur gaz secs. Les particules récupérées dans le rinçage de la canne de prélèvement sont incluses (conformément à la norme) sauf exception.

Chaudière 12

Mesure du 10/02/2016 (3 filtres n°1;2;3) Prélèvement de 11h40 à 13h19	
Volume prélevé (m3)	1,893
Vitesse moyenne de prélèvement (m/s)	24,28
Température moyenne des fumées (°C)	277,5

Mesure du 11/02/2016 (3 filtres n°6;5;7) Prélèvement de 10h19 à 11h58	
Volume prélevé (m3)	1,906
Vitesse moyenne de prélèvement (m/s)	23,99
Température moyenne des fumées (°C)	278,0

La valeur la plus récente retrouvée pour un prélèvement manuel date d'un contrôle inopiné de 2014 effectué par SOCOTEC : elle est de 123,3 mg/Nm3 (avec une teneur en oxygène mesurée à 1,5%)
 Pour rappel, le système était en mode dégradé durant la campagne TEMMAS d'hiver (dysfonctionnement électrofiltre), de fait il s'agira d'un panache particulièrement visible par les techniques optiques. Les valeurs serviront de test en aveugle pour valider avec les estimations obtenues par les mesures caméra.

Chaudière 11

Mesure du 15/02/2016 (3 filtres n° 9; 24; 15) - Prélèvements de 16h22 à 18h20	
Volume prélevé (m3)	1,088
Vitesse moyenne de prélèvement (m/s)	5,41
Température moyenne des fumées (°C)	220,0
Filtre (9) (en mg/Nm3 sec) 38 min de prélèvement	4,5
Filtre (24) (en mg/Nm3 sec) 30 min de prélèvement	15,8

Filtre (15) (en mg/Nm3 sec) 33 min de prélèvement	6,9
Moyenne Filtres (en mg/Nm3 sec)	9,1

Les particules recueillies en amont des filtres n'ont pas été comptabilisées, du fait de la perte du flacon de rinçage

On note une forte disparité entre les pesées de filtres du 15 février, sans qu'une explication puisse y être apportée.

Mesure du 16/02/2016 (2 filtres Filtrables n°8;10) Prélèvement de 10h08 à 12h08	
Volume prélevé (m3)	1,226
Vitesse moyenne de prélèvement (m/s)	4,77
Température moyenne des fumées (°C)	235,0
Filtre (8) (en mg/Nm3 sec) 32 min de prélèvement	5,1
Filtre (10) (en mg/Nm3 sec) 1h23 min de prélèvement	5,4
Moyenne Filtres (en mg/Nm3 sec)	5,3

Mesure du 17/02/2016 (2 filtres n°14;11) Prélèvement de 9h55 à 11h55	
Volume prélevé (m3)	1,240
Vitesse moyenne de prélèvement (m/s)	4,93
Température moyenne des fumées (°C)	230,0
Filtre (14) (en mg/Nm3 sec) 58 min de prélèvement	12,3
Filtre (11) (en mg/Nm3 sec) 1h de prélèvement	10,0
Moyenne Filtres (en mg/Nm3 sec)	11,2

La valeur de l'analyseur en continu est exprimée en % d'opacité, difficile à convertir en équivalent masse, c'est pourquoi elle n'est pas reprise ici.

La valeur la plus récente disponible pour un prélèvement manuel de particules date d'une intervention du 27 mai 2015 par l'APAVE : 1, 22 mg/Nm3 pour une alimentation à 7,3 t/ h de fuel gaz, bien moins émissif en poussières qu'un mélange Fuel Gaz / Fuel Oil comme c'est le cas pour notre étude.

Vérifications des blancs

Chaudière 12

Deux filtres blancs ont été réalisés. Ils ont été pesés avant / après la campagne et ont été emmenés sur le terrain (mais pas exposés) : on trouve un résultat de -0,2 mg.

Ces valeurs n'ont pas été soustraites aux valeurs des filtres.

3.3. Atelier 2 : Mesures optiques des panaches

Objectif principal : Obtenir la signature optique des aérosols des panaches.

Responsable : ONERA.

Instruments déployés : LWO, LUVO (Lidars).

Grandeurs mesurées : Signal rétrodiffusé par les aérosols du panache dans la gamme UV-SWIR. Champs de vent au niveau du site.

Durée du déploiement : Les instruments ont été déployés du jeudi 11 février au vendredi 19 février 2016

Personnel impliqué pendant la mesure : 4

3.3.1. Descriptif des moyens déployés

3.3.1.1. Localisation sur le site

Localisation des Lidars Onera

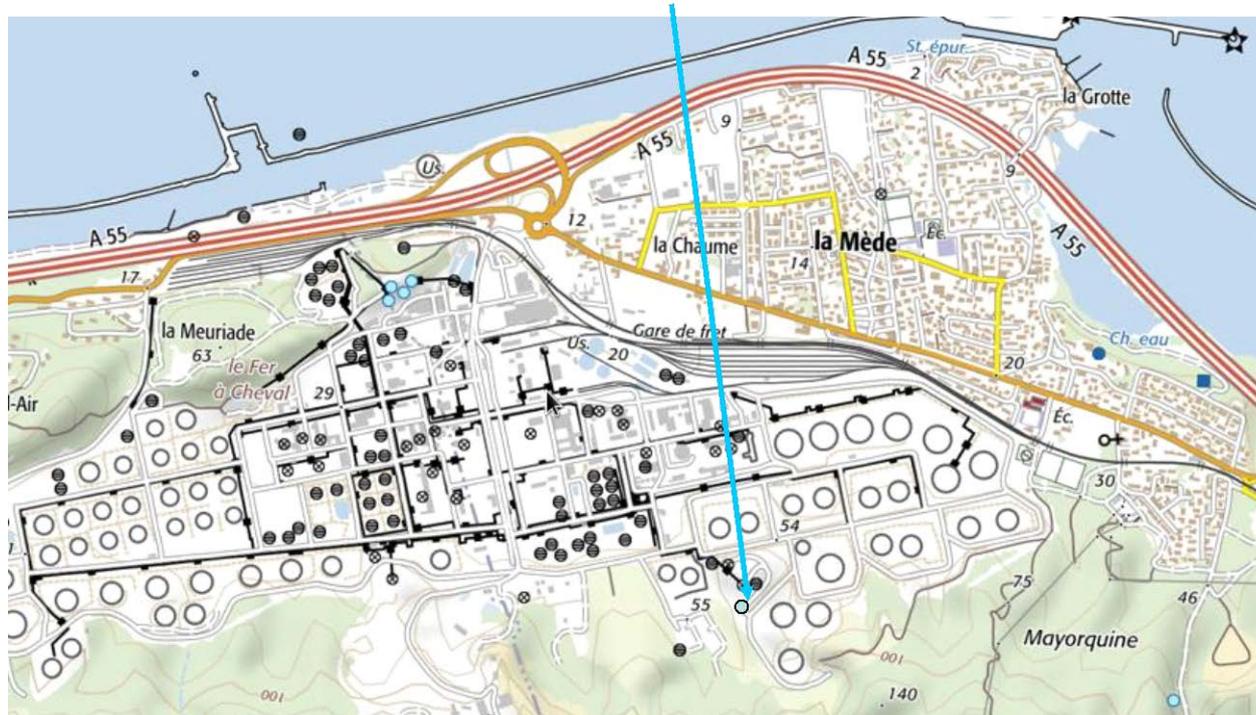


Figure 5 : Positionnement des Lidars à l'intérieur de la raffinerie.

3.3.1.2. Caractéristique des instruments déployés

Deux lidars ont été déployés : un lidar commercial WindCube de la société Léosphère et un prototype de lidar UV scannant.

Malheureusement suite à un problème technique sur le prototype juste quelques mesure de vérification de bon fonctionnement ont pu être acquise dans l'UV pour cette campagne. Le problème rencontré est inhérent à l'utilisation de prototypes qui n'ont pas la robustesse

d'instrument dit « commerciaux ». Le problème rencontré lors de la campagne de Septembre avait été réglé après plusieurs mois d'investigation par l'Onera. Cependant les intempéries durant la campagne n'ont pas permis de faire d'acquisition durant la seconde semaine de campagne.

3.3.2. Mesures réalisées

Des mesures de profils verticaux de vent et de CNR aérosols ont pu être réalisés pour les journées du 11, 17, 18 et 19 février. Les figures ci-dessous montrent différents exemples de résultats.

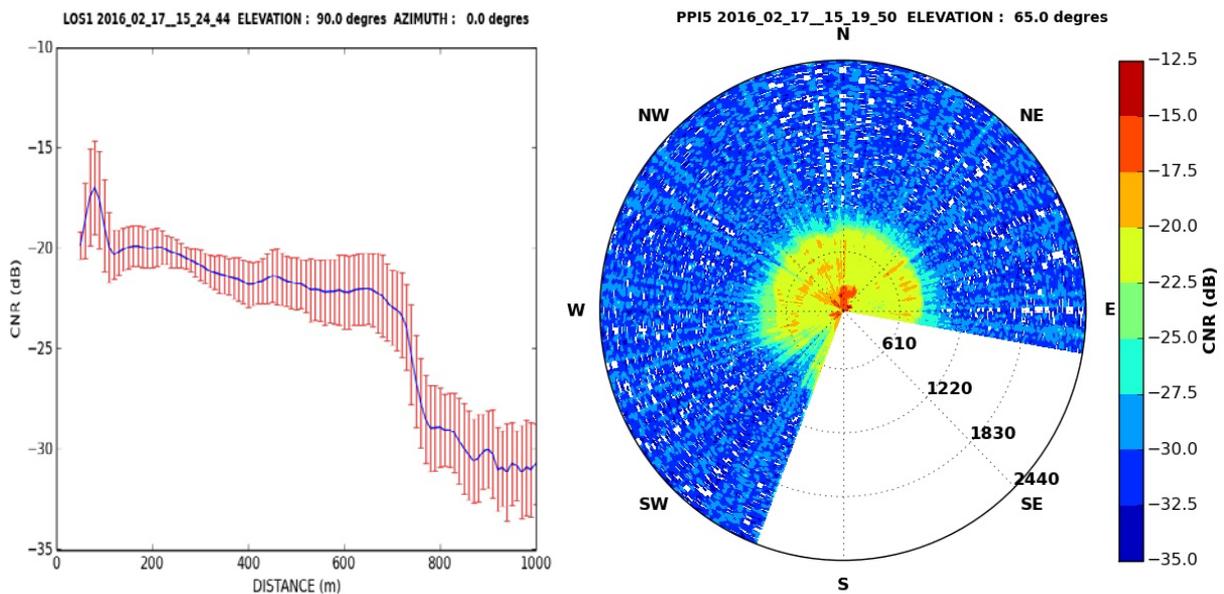


Figure 6 : Gauche, visualisation du CNR de rétrodiffusion aérosol pour une ligne de visée verticale du 17 février. Droite : Scan de CNR pour une élévation de 65°.

De façon générale, la couverture aérosol lors des journées du 17 au 19 février correspondait à une « cloche » assez homogène au niveau de la raffinerie et très peu d'aérosols de fond du fait des forts vents qui ont balayé la zone à cette période.

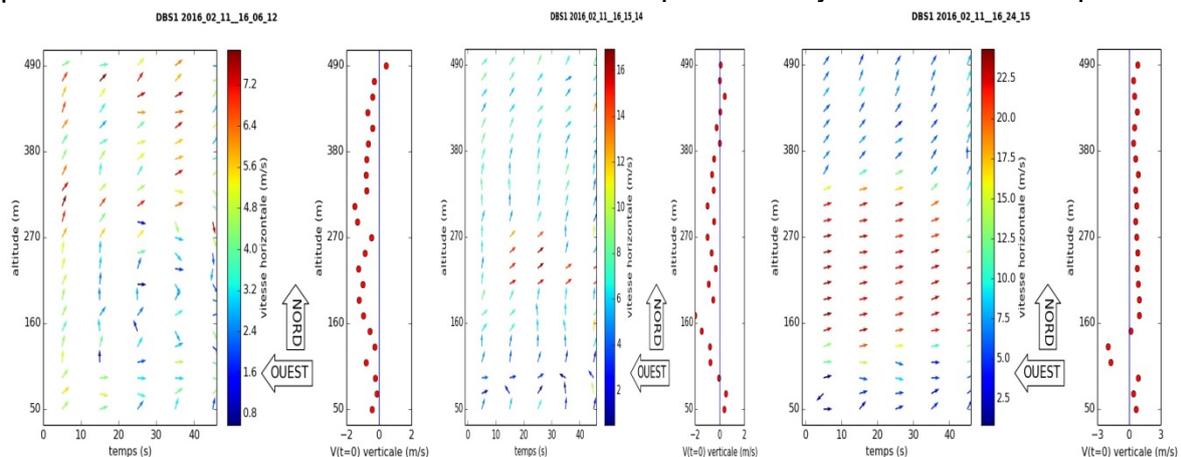


Figure 7 : Evolution du profil vertical de champs de vent du 11/02/2016 entre 16h et 16h30.

3.4. Atelier 3 : Mesures en champs proche des propriétés des aérosols

3.4.1. Synthèse

Objectif principal : Obtenir les propriétés des aérosols dans les champs proches (500m-3km).

Responsable : Air PACA-LCE

Instruments déployés : ANA, BAM, DA80 pour Air PACA
Camion Massalya : PTR-MS, AMS, SMPS, OPC, MAAP, Station météo pour le LCE

Grandeurs mesurées : Masse en PM2.5 (priorité 1), Masse en PM10 (priorité 2), Principales composantes chimiques de l'aérosol (sulfates, nitrates, ammonium, matière organique, black carbon), COV, SO₂, NO₂, NOx.

Echantillons prélevés : Récolte des filtres (1 prélèvement / jour /site)

Analyse des échantillons prélevés : Les échantillons seront analysés par le LCE

Temps de mise en place des installations : 3 journées

Durée du déploiement : 17 jours

Personnel impliqué pendant la mesure : 2

3.4.2. Descriptif des moyens déployés

3.4.2.1. Localisation sur le site

La plateforme mobile Massalya du LCE était positionnée au même endroit que lors de la première campagne qui s'était déroulée du 07/09/15 au 11/09/15, sur la plaine de l'Escourillon, au sud-ouest du site pétrochimique de TOTAL et à l'ouest de la carrière des Bouttiers. Le site est bordé au nord par l'autoroute A55 et est impacté par un trafic particulièrement dense et notamment constitué de poids-lourds.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**5 indique l'emplacement exact de la plateforme Massalya (coordonnées géographiques : 43.38696 N, 5.08638 E, altitude 180 m).

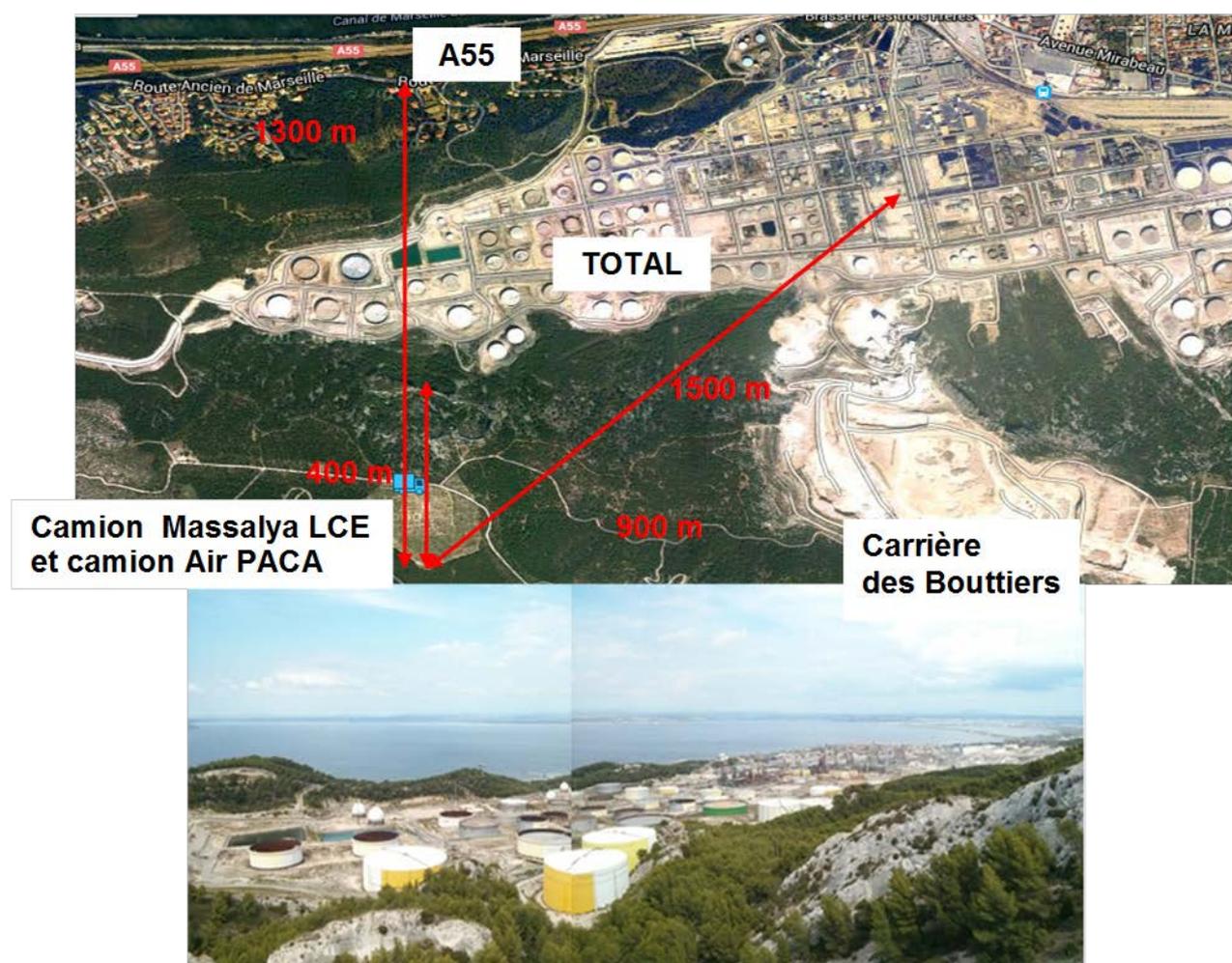


Figure 8 : Localisation du site de mesure - source Google Map (en haut)
Le site pétrochimique de TOTAL La Mède vu depuis la plaine de l'Escourillon (en bas)

3.4.2.2. Caractéristiques des instruments déployés

La plateforme mobile Massalya regroupe des équipements pour la mesure en ligne et en continu des aérosols et des COV dans l'atmosphère avec une résolution temporelle de l'ordre de la minute. De même que pour la campagne précédente, la totalité des instruments analytiques a été déployée, cela

comprend :

- Un SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) et un OPC (Optical Particle Counter) pour mesurer la distribution granulométrique de l'aérosol entre 0,015 et 34 µm.
- Un AMS (Aerosol Mass Spectrometer) associé à un MAAP (Multiple Angle Absorption Photometer) pour quantifier les principales composantes chimiques de la fraction PM1 de l'aérosol : matière organique, sulfates, nitrates, ammonium, chlorures et black carbon.
- Un PTR-ToF-MS (Proton Transfer Reaction Time of Flight Mass Spectrometry) pour la caractérisation qualitative et quantitative des COV.
- Une station météo pour prendre en compte localement les directions et vitesses des vents lors du traitement des données.

Les instruments étaient sur site pendant les quinze jours de la campagne (du 05/02/16 au 19/02/16). Cependant, l'absence de données SMPS, OPC et MAAP sur certaines périodes (moins de 16% du temps total) est à noter suite à des pertes de connexion entre les appareils et la station d'acquisition. L'ensemble du dispositif déployé par le LCE est récapitulé dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.2**.

Tableau 2 : Moyens mis en place par le LCE durant la campagne

Appareils	Mesure	Jours de fonctionnement	Fréquence
PTR-MS (TOF)	COV	Du 05/02/16 (12h00) au 19/02/16 (10h30) Suite à des problèmes informatiques pas de datas SMPS les : 09/02 3h35 -> 09/02 14h20 10/02 15h55 -> 11/02 9h50 18/02 2h45 -> 18/02 10h10 18/02 17h00-> 19/02 10h30 OPC le : 09/02 3h35 -> 09/02 14h20 Et MAAP les : 09/02 3h35 -> 09/02 14h20 11/02 17h45 -> 12/02 14h20	1 min
AMS	Principales fractions chimique de l'aérosol : sulfates, nitrates, ammonium, matière organique, chlorures jusqu'à 450 nm		2 min
SMPS	Nombre de particules/cm ³ en fonction de la granulométrie 106 classes de taille de 15 à 685 nm		5 min
OPC	Nombre de particules/cm ³ en fonction de la granulométrie 30 classes de taille de 0,265 µm à 34 µm		1 min
MAAP	Concentration en Black Carbon (Carbone suie)		1 min
Station météo	Direction et vitesse du vent Température et humidité relative		5 min

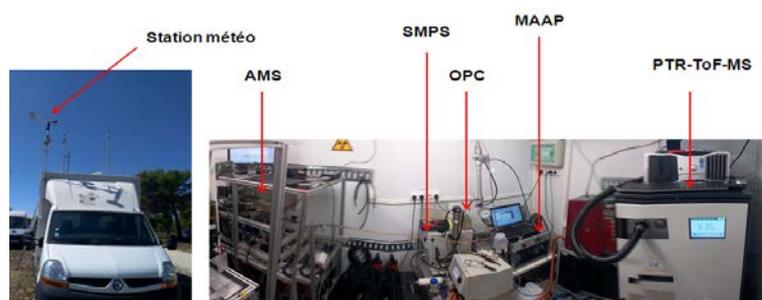


Figure 9 : La plateforme Massalya équipée des instruments de mesure du LCE

3.4.2.3. Mesures réalisées

a. Conditions météorologiques sur le site de mesure

Les directions et vitesses de vent mesurées au point de prélèvement par la girouette-anémomètre de la plateforme Massalya ont permis d'établir la rose des vents ci-dessous.

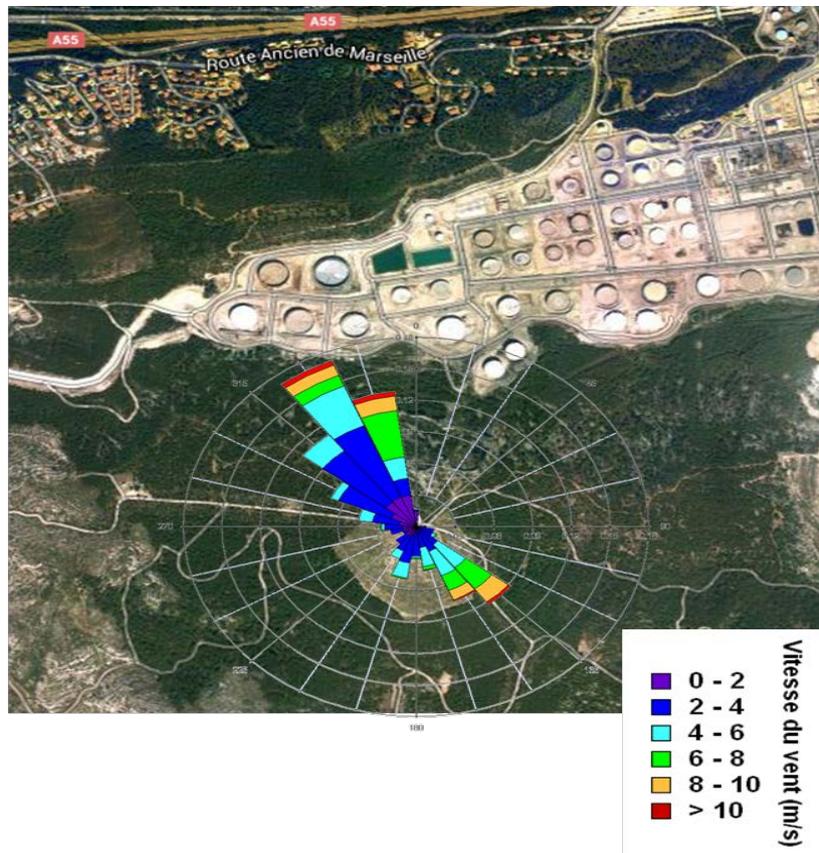


Figure 10 : Rose des vents sur le site de mesure

Les vents provenaient majoritairement du secteur nord-ouest et de façon moins fréquente du secteur sud-est.

Les vents les plus forts ont été relevés en début de campagne, entre le 05/02/16 et le 08/02/16, puis entre le 15/02/16 et le 17/02/16, avec des vitesses moyennes atteignant les 40 km/h.

Les vents en provenance du nord-est ont été peu présents ce qui témoigne de conditions peu favorables à la mesure du panache industriel de la raffinerie.

b. Mesure en ligne des particules :

• Nombre, masse et granulométrie des particules :

La complémentarité des données fournies par le SMPS avec celles fournies par l'OPC montre que les PM1 contribuent en très grande majorité au nombre total de particules relevé pendant la campagne (100% en nombre et 80% en masse en moyenne sur la gamme de diamètres compris entre 0,015 et 34 µm ; lors des épisodes industriels le pourcentage en masse est proche de 100%).

L'évolution du nombre total de particules PM1 et de leur granulométrie durant les quinze jours de mesure est représentée sur la figure ci-dessous.

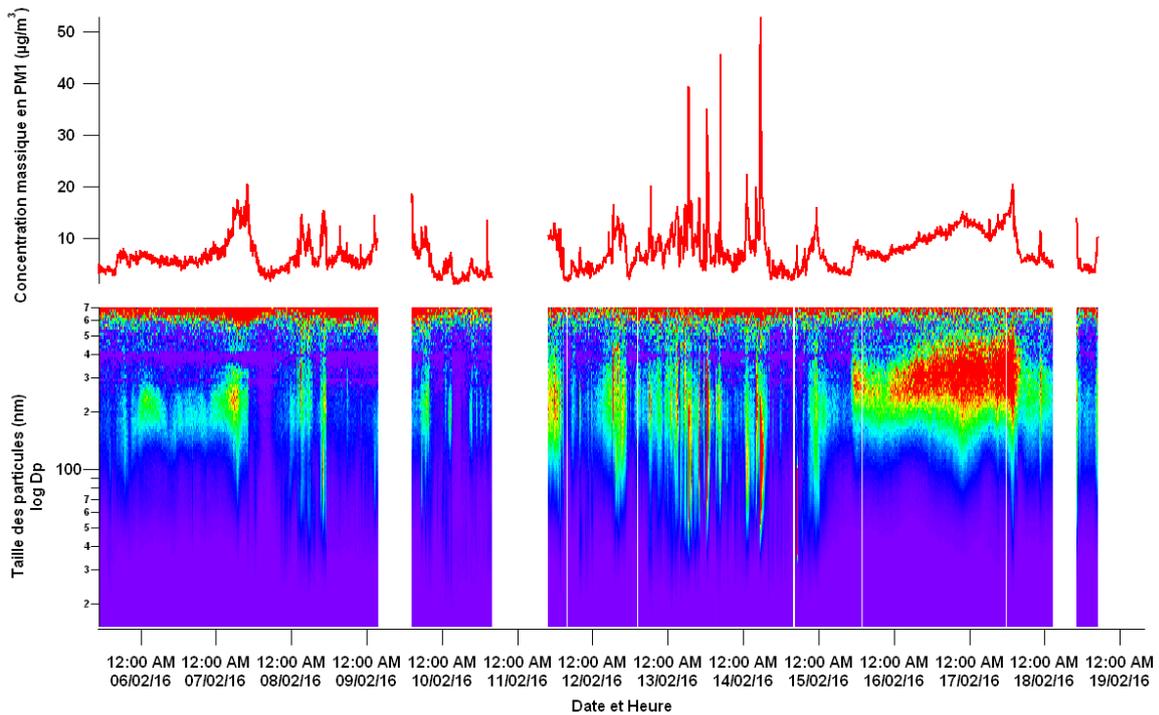


Figure 11 : Evolution temporelle de la concentration massique PM1 (haut) et de leur granulométrie (bas)

Les concentrations massiques en PM1 représentées sur la Figure 11 sont calculées à partir du nombre de particules mesurées par le SMPS et l'OPC pour chaque classe de granulométrie entre 15 nm et 1000 nm, en considérant que les particules sont sphériques et en utilisant une densité de l'aérosol estimée à partir des résultats de composition chimique fournis par l'AMS.

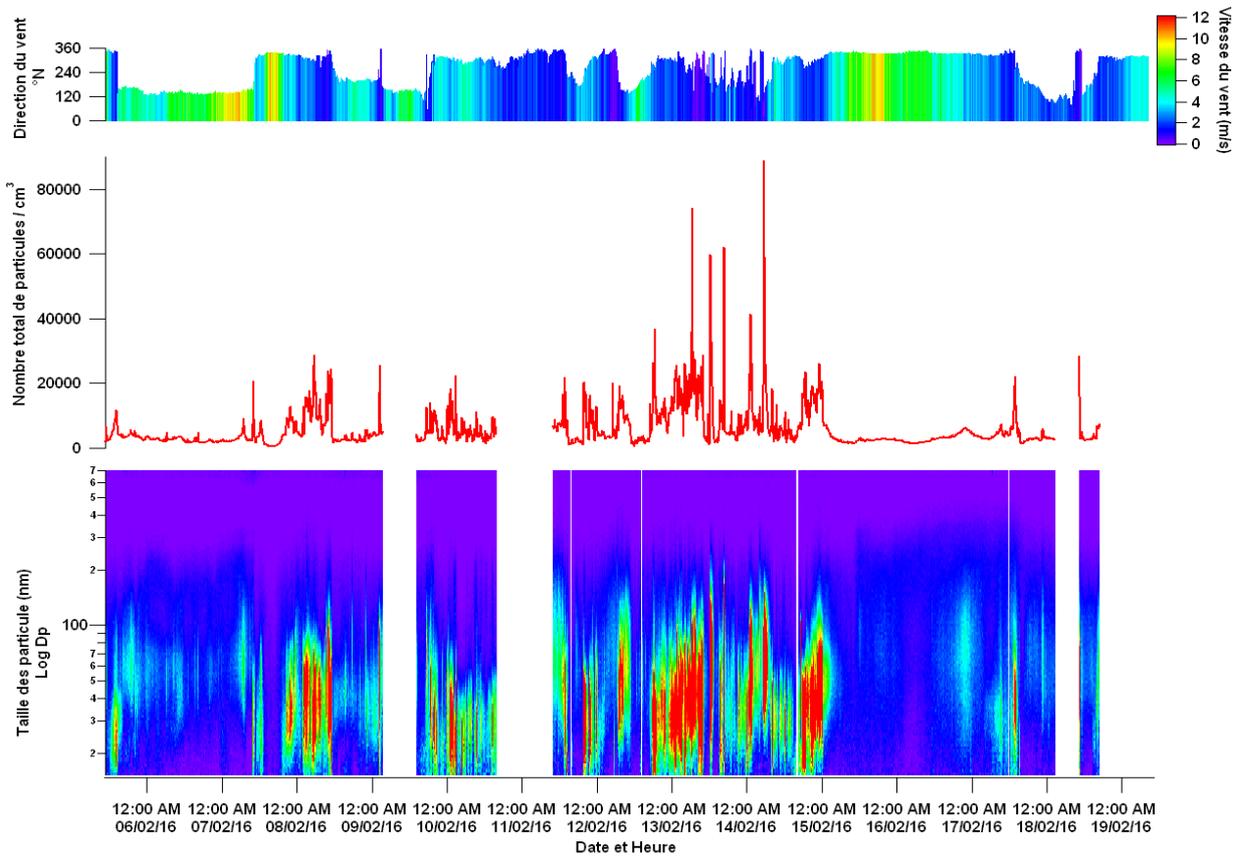


Figure 12 : Evolution temporelle du nombre total de particules PM1 (haut) et de leur granulométrie (bas)

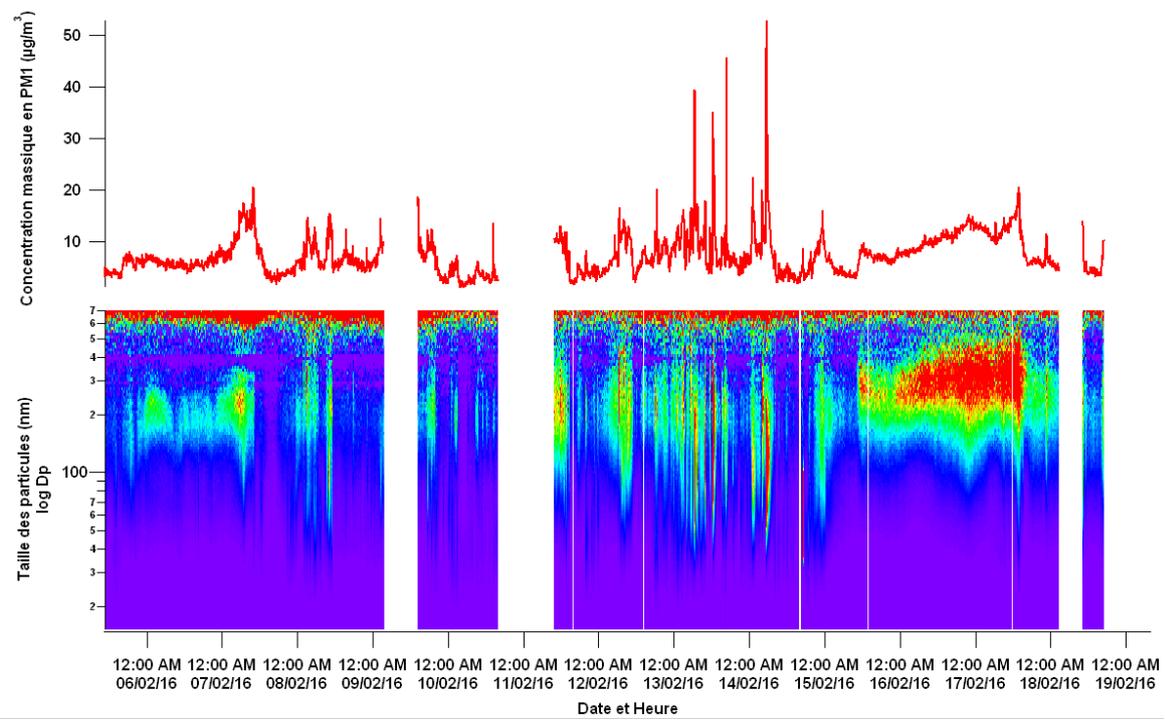


Figure 13 : Evolution temporelle de la concentration massique en PM1 (haut) et de leur granulométrie (bas)

Des valeurs journalières comprises entre 2500 particules/cm³ (le 06/02/16) et 12600 particules/cm³ (le 13/02/16) ont été mesurées lors de cette campagne.

L'évolution temporelle des PM1 (Figure 12) montre la présence de pics de particules, particulièrement entre le 12/02/16 et le 15/02/16 avec des valeurs dépassant les 60000 particules/cm³. Ces épisodes très brefs (de l'ordre de la dizaine de minutes) correspondent à des périodes où le vent ramenait le panache du site pétrochimique vers le site de mesure. Les particules détectées sont alors très fines, presque toujours de granulométrie inférieure à 150 nm et avec une distribution en nombre centrée autour de 50 nm.

En ce qui concerne les concentrations massiques de PM1 (Figure 13), les valeurs journalières calculées oscillent entre 3,5 µg/m³ (le 10/02/16) et 10,5 µg/m³ (les 16 et 17/02/16). Les périodes d'analyse du panache industriel sont clairement visibles entre le 12/02/16 et le 15/02/16 et les concentrations massiques déterminées par le SMPS dépassent alors ponctuellement 20 µg/m³.

Après le 15/02/2016, la campagne de mesure a été marquée par un régime de vent de Nord constant du 15/02/16, 3h jusqu'au 17/02/16, 14h. Bien que les nombres de particules soient comparables à ceux obtenus en début de campagne sous vent de Sud-est, cet épisode se distingue par la présence d'un mode « accumulation » dont le diamètre est centré vers 300 nm comme le montre la figure 9b (contre 200 nm sous vent de Sud-Est). Cette augmentation notable et progressive de la taille des particules se répercute directement sur la concentration massique en PM1 qui croît pendant toute la période, passant de 4 à plus de 20 µg/m³ (Figure 13). Le décalage vers une taille plus grande du mode accumulation associé au régime de vent indique que les aérosols qui impactent la zone ont alors déjà pu subir des processus de vieillissement et qu'ils proviennent probablement de sources plus lointaines. Il est à noter qu'une baisse importante de la visibilité sur l'ensemble de l'Etang de Berre a été constatée depuis le site pendant cette période. L'origine des masses d'air à plus grande échelle a été recherchée à partir du modèle *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPPLIT). En utilisant les données météorologiques du Global Data Assimilation System (GDAS), les rétro-trajectoires ont été calculées toutes les 2 heures entre le 15/02/16, 6h et le 16/02/16, 8h puis toutes les 4 heures entre le 16/02/16, 9h et le 17/02/16, 12h (cf. Figure 14).

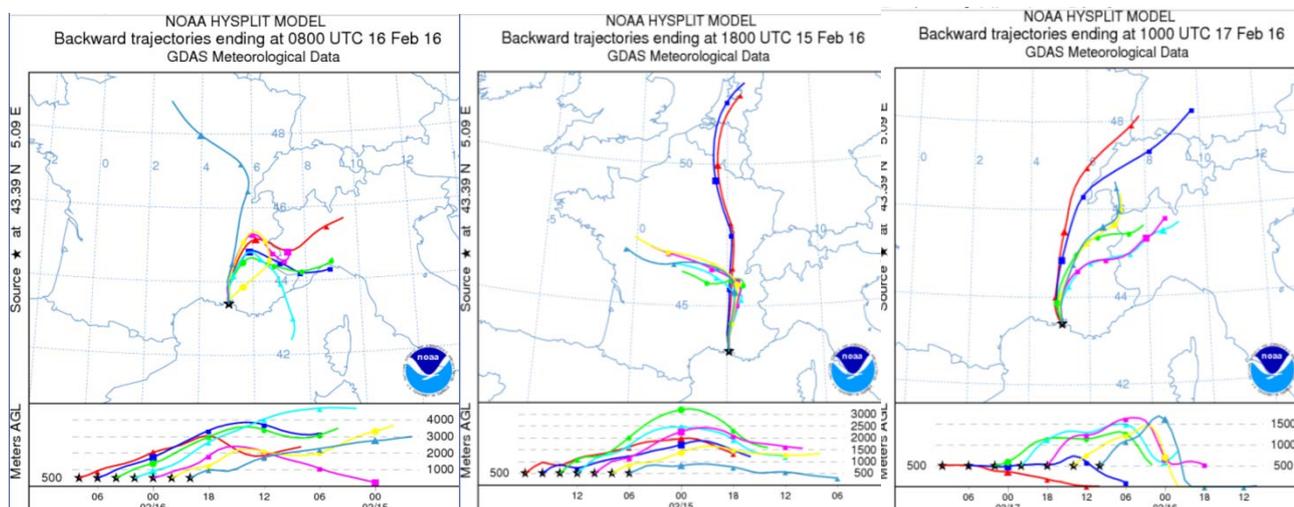


Figure 14 : Rétro-trajectoires calculées par le modèle HYSPLIT entre le 15/02/16, 6h et le 17/02/16, 12h

L'étude des rétro-trajectoires met en évidence les origines variées de l'aérosol pendant la période :

- Le 15/02/16 jusqu'à 15h : origine océanique,
- Le 15/02/16 entre 15h et 22h : origine continentale (Belgique, Pays-Bas) avec un passage par la vallée du Rhône,
- Le 15/02/16 à partir de 22h : origine méditerranéenne et Nord de l'Italie,
- Le 16/02/16 à partir de 9h : origine continentale (Nord de l'Italie, Suisse).

En complément des rétro-trajectoires, les cartes de pollution en PM2.5 fournies par la plateforme nationale de prévision de la qualité de l'air Prev'Air¹ ont été récupérées pour la période du 14/02/16 au 16/02/16 (Figure 15).

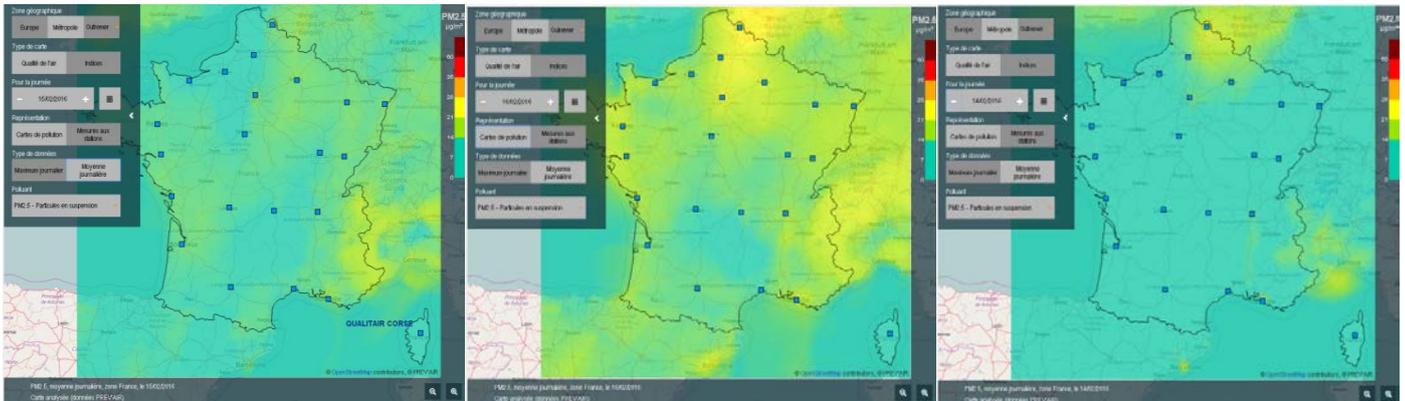


Figure 15 : Moyennes journalières en PM2,5 pour les journées du 14, 15 et 16/02 PREV'AIR

Ces cartes montrent que pour les journées du 15 et du 16/02/16 les concentrations les plus élevées en PM2.5 ont été mesurées au niveau de la frontière franco-italienne et au nord de l'Italie (entre 20 et 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cette région est connue pour être une source importante d'émissions anthropiques, en raison de la forte densité de population, une des plus importantes d'Europe et en raison des nombreuses activités agricoles et industrielles qui s'y sont développées.

D'après les données recueillies et au vu de la distribution granulométrique de l'aérosol sur cette période, un transport à longue distance des particules en provenance du nord de l'Italie peut expliquer cette augmentation progressive de la concentration massique en particules observée sur le site.

¹ <http://www2.prevoir.org/>

• Composition chimique des particules :

L'évolution temporelle des concentrations massiques des grandes fractions chimiques de l'aérosol PM1 déterminées par l'AMS est représentée sur la Figure 16. Trois périodes ont été mises en avant afin de représenter les différences entre les compositions du fond (1), du panache industriel (2) et de l'épisode d'aérosols vieillis (3).

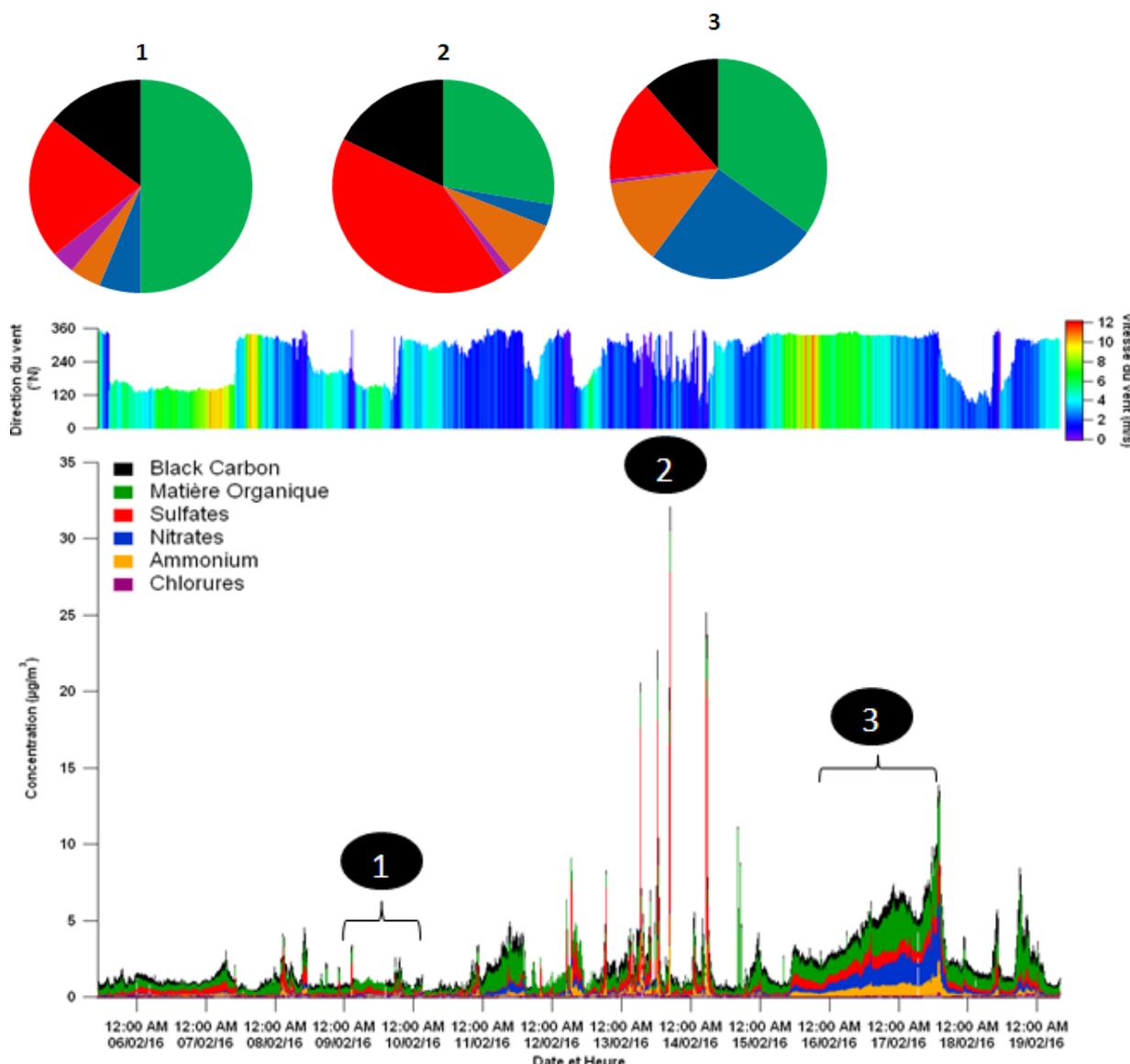


Figure 16 : Les principales fractions chimiques de l'aérosol mesurées avec l'AMS et le MAAP

Les pics de très fines particules observés avec le SMPS pendant la période (2), entre le 12/02/16 et le 15/02/16, se retrouvent dans les mesures AMS. Lors de ces épisodes, lorsque le vent ramenait le panache du site pétrochimique vers le site de mesure, des quantités importantes d'aérosols soufrés très faiblement neutralisés au regard des quantités en ammonium ont été systématiquement observées.

L'AMS apporte également des informations sur la composition chimique de l'aérosol vieilli (Période (3)) observé à partir du 15/02/16. Contrairement aux épisodes de la raffinerie où les sulfates étaient dominants, cette période se caractérise par une contribution importante des nitrates, de la matière organique et de l'ammonium conduisant à un aérosol neutralisé. Ces résultats suggèrent qu'il s'agit d'un aérosol d'origine anthropique à dominante secondaire qui a séjourné suffisamment longtemps dans l'atmosphère pour y subir des processus de vieillissement par conversion gaz/particule.

c. Mesure en ligne des COV :

Une cinquantaine de COV a été identifiée et quantifiée en temps réel avec le PTR-ToF-MS. Les familles chimiques représentées sont les hydrocarbures aliphatiques, les hydrocarbures aromatiques, les composés azotés, les composés oxygénés de type cétones, aldéhydes, acides carboxyliques, et alcools. Quelques traces de composés soufrés ont également pu être détectées. Le suivi temporel de ces COV regroupés par famille chimique est donné sur la Figure 17.

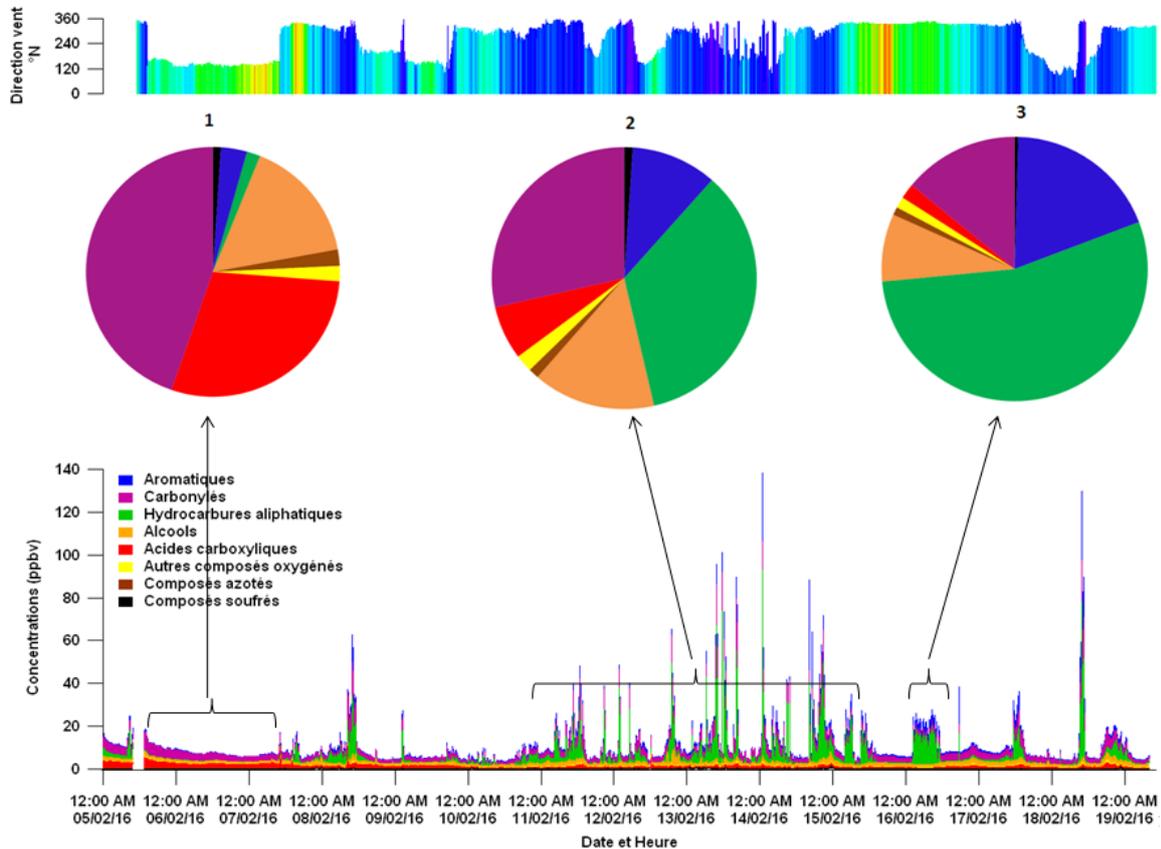


Figure 17 Suivi temporel des familles chimiques de COV (concentrations en ppbv)

Tableau 3 : COV majoritaires mesurés avec le PTR-MS

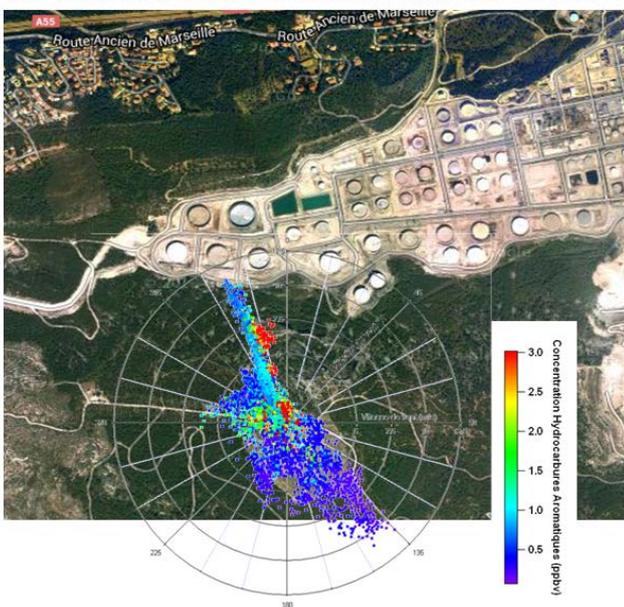
Familles chimiques	COV majoritaires
Hydrocarbures Aromatiques	C ₆ H ₆ C ₇ H ₈ C ₈ H ₁₀ C ₉ H ₁₂
Hydrocarbures Aliphatiques	C ₃ H ₄ C ₃ H ₆ C ₄ H ₈ C ₅ H ₁₀
Carbonylés	CH ₂ O C ₂ H ₄ O C ₂ H ₂ O C ₃ H ₆ O C ₄ H ₈ O
Alcools	CH ₄ O
Acides carboxyliques	CH ₂ OH C ₂ H ₄ O ₂
Composés soufrés	H ₂ S C ₂ H ₆ S

Les COV qui contribuent de façon majoritaire à l'aérosol sont précisés dans le Tableau 3

De même que pour les particules, plusieurs pics de COV ont été mesurés entre le 12/02/16 et le 15/02/16 (période (2)) avec des concentrations jusqu'à quinze fois plus élevées en COV_{totaux} par rapport aux concentrations de fond (période (1)). Ces événements caractérisés par des variations soudaines de concentrations sont généralement corrélés à des régimes de vents en provenance du secteur Nord-est, favorables au transport du panache industriel de la raffinerie vers le site de mesure. Les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques ont contribué majoritairement aux augmentations des COV_{totaux} .

Un épisode se démarque des autres par sa durée, il a eu lieu le 16/02/16 entre 2h15 et 10h05 et a été caractérisé par une augmentation modérée des concentrations en hydrocarbures aliphatiques et en aromatiques légers (benzène, toluène). Cet épisode coïncide avec un léger changement de direction de vent, de l'ordre de quelques degrés, passant de 337°N à 340-350°N. Comme le montre les roses de pollution de la Figure 18, cette direction de vent pointe vers les cuves de stockage situées sur la pointe Ouest de la raffinerie.

Rose de pollution associée aux concentrations en hydrocarbures aromatiques



Rose de pollution associée aux concentrations en hydrocarbures aliphatiques

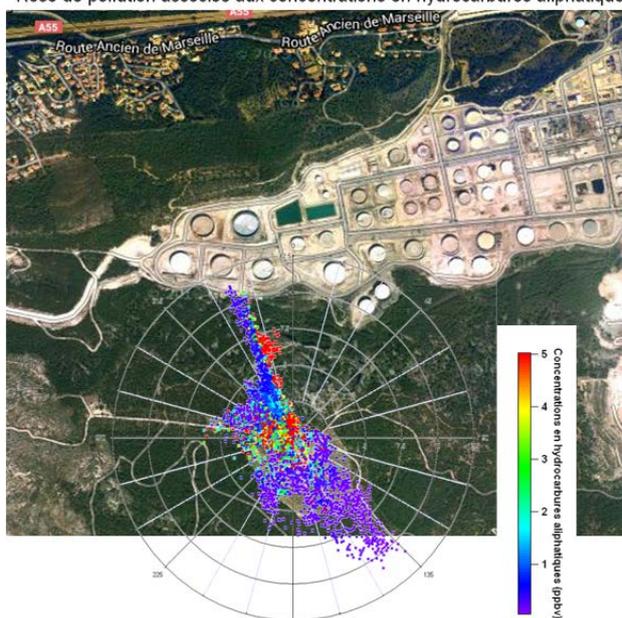


Figure 18 : Roses de pollution associées aux concentrations en hydrocarbures aromatiques (à gauche) et aliphatiques (à droite)

Les épisodes de particules industrielles étant caractérisés par des proportions élevées en sulfates, la possibilité d'une corrélation particules / gaz entre les sulfates et les COV soufrés a été évaluée.

La Figure 19 représente le suivi temporel des COV soufrés mesurés avec le PTR-MS, des sulfates mesurés avec l'AMS et du SO_2 relevé par Air PACA. Les périodes pendant lesquelles ont été détectés les COV soufrés ne concordent pas toujours avec les épisodes industriels chargés en sulfates et en SO_2 . L'absence de corrélation entre les COV soufrés et les sulfates (cf. Figure 20) peut être révélatrice d'un apport de COV soufrés par d'autres sources que celles identifiées jusqu'à présent. Les directions des vents associées aux périodes de détection des COV soufrés ne permettent pas de cibler une direction préférentielle et donc de se prononcer sur une origine possible.

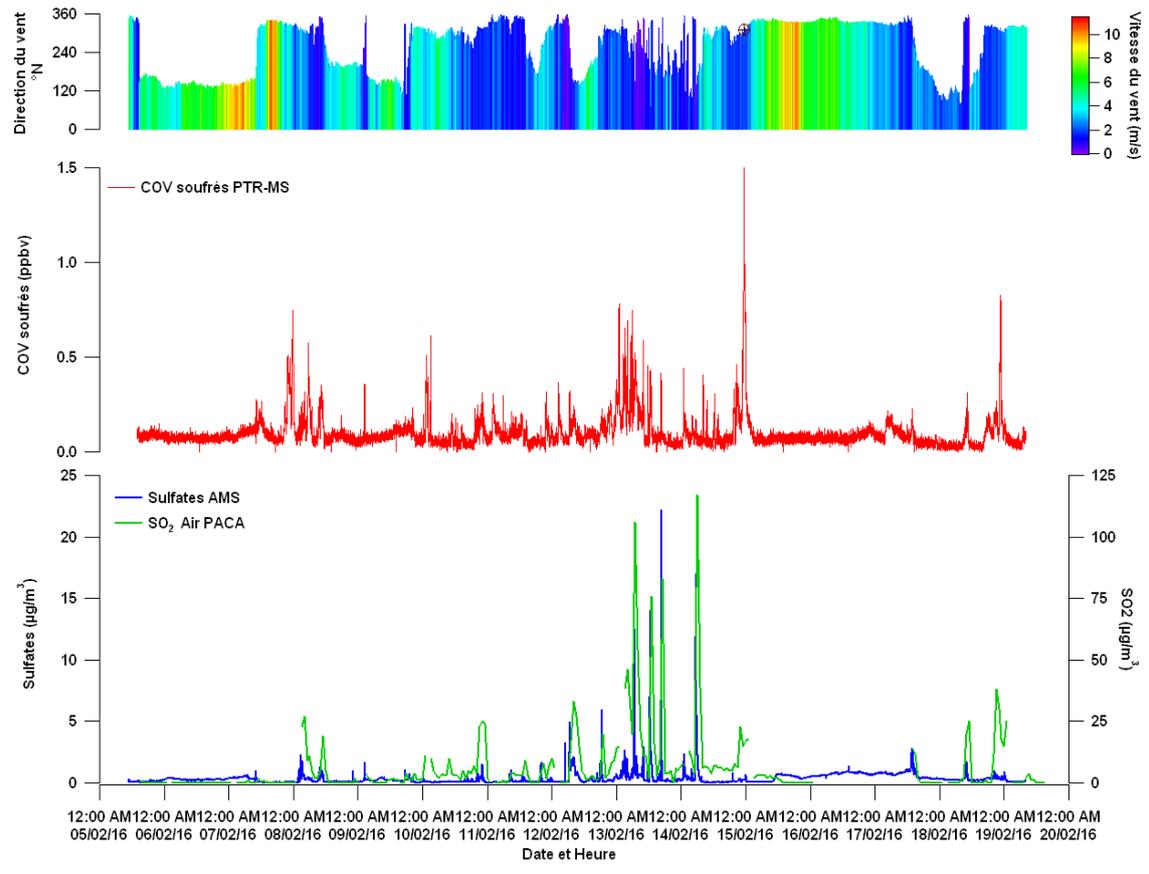


Figure 19 : Suivi temporel des composés sulfurés (COV, sulfates et SO₂)

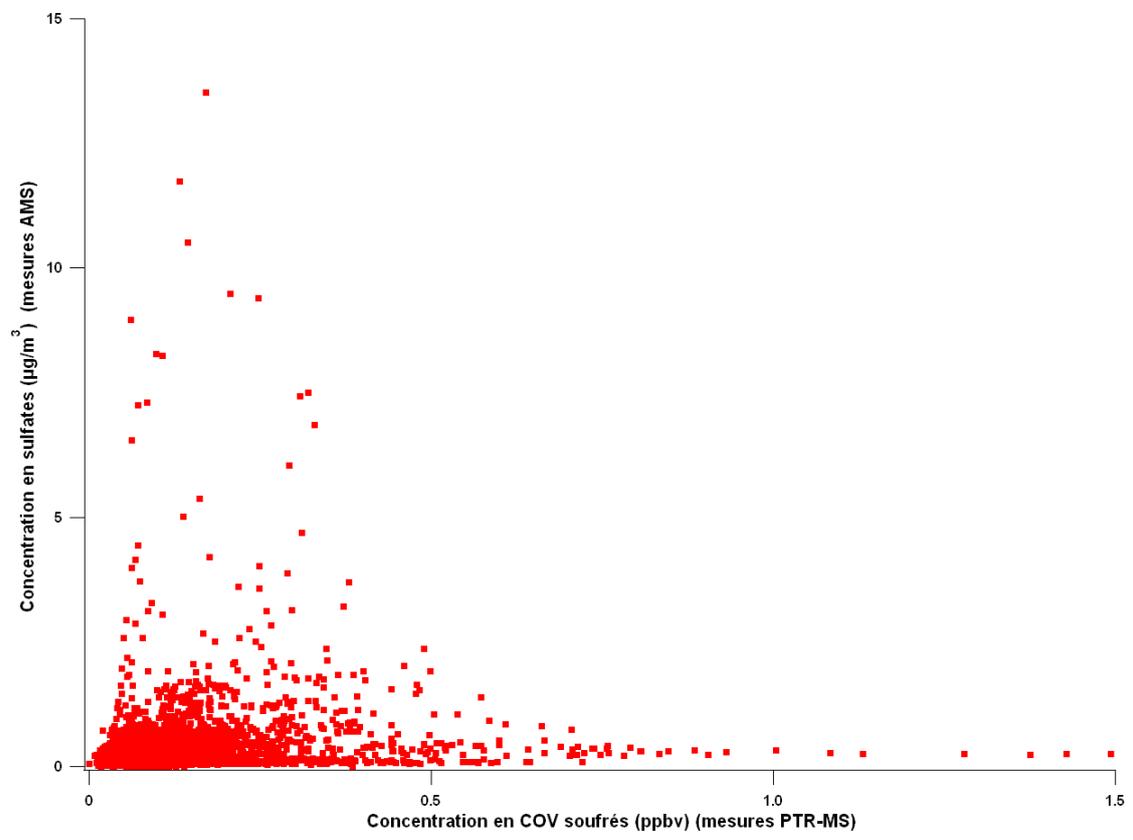


Figure 20 : Relation entre COV sulfurés (gaz) et sulfates (particules)

Les instruments d'Air PACA ont fonctionné en continu pendant les 15 jours de la campagne (du 05/02/16 au 19/02/16). Un récapitulatif du dispositif mis en place par Air PACA est donné ci-dessous :

Tableau 4 : Appareillage Air PACA pendant la campagne d'hiver

Périodes	Lieux	Matériels de mesures	Polluants / pas de temps
Du 05/02/16 au 19/02/16	La Gatasse	METEK API 100E	DV / VV quart horaire SO2 quart horaire
	La Mède	API 200E BAM 1020 AF 21 M DA80 (haut débit)	NOx/NO/NO ₂ quart horaire PM10 quart horaire SO2 quart horaire PM2,5 moyenne jour
	Les Ventrons	API 200E AF 22 M DA80 (haut débit) Partisol+ (bas débit)	NOx/NO/NO ₂ quart horaire SO2 quart horaire PM2,5 moyenne jour PM10 moyenne jour
	Site STNA	AC 31 M API 100E DA80 (haut débit) Partisol+ (bas débit)	NOx/NO/NO ₂ quart horaire SO2 quart horaire PM2,5 moyenne jour PM10 moyenne jour

Le tableau ci-dessous résume les concentrations observées pendant la campagne hivernale

Tableau 5 : Synthèse des concentrations maximales et moyennes des sites d'Air PACA

	NO ₂			NO			NOx		
	Mède	Ventrans	STNA	Mède	Ventrans	STNA	Mède	Ventrans	STNA
Moyenne campagne	23	8	13	9	2	0	37	10	14
Max horaire	75	58	51	77	33	8	184	108	64
	18-févr	08-févr	18-févr	08-févr	18-févr	08-févr	08-févr	08-févr	18-févr
Max journalier	39	20	19	19	5	1	61	28	20
	18-févr	13-févr	18-févr	08-févr	13-févr	11-févr	18-févr	13-févr	13-févr

	SO ₂					PM10
	Couronne	Mède	Gatasse	Ventrans	STNA	Mède
Moyenne campagne	2	6	2	1	6	17
Max horaire	23	170	20	17	117	46
	11-févr	08-févr	19-févr	10-févr	14-févr	17-févr
Max journalier	6	48	6	4	25	23
	19-févr	08-févr	13-févr	10-févr	13-févr	09-févr

Quelque soit le polluant mesuré, aucun seuil réglementaire n'a été atteint pendant la campagne. Une fenêtre météorologique peu propice aux observations du panache de la raffinerie de la Mède au niveau du site sommital de mesure du STNA et dans la vallée de St Julien et St Pierre les Martigues. Il a manqué la situation anticyclonique hivernale associée à des températures froides et à une stabilité atmosphérique, situation qui n'est quasiment jamais apparue cet hiver.

SO₂ : Les concentrations restent faibles en comparaison du seuil d'information et de recommandation (300 µg/m³/heure). Le maximum enregistré concerne **le site de la Mède** le 8 février ; 184 µg/m³ ont été enregistrés par vent de Sud-Ouest sous le vent de la raffinerie de Total. A noter que le site STNA et la station des Ventrons n'enregistrent aucune augmentation parallèle au même instant.

Le **site du STNA** enregistre pendant la période 2 décrite précédemment plusieurs augmentations brèves de SO_2 les 12, 13 et 14 février lors d'épisodes brefs de vents faibles de secteur Nord Est. Ces **pics de SO_2 s'observent en en même temps que les augmentations de COVs soufrés et celles de sulfates (figure 15 et figure 17).**

Par ailleurs quelques poussées modérées en SO_2 sont observées par vent de secteur Ouest, Nord-Ouest notamment les 7, 9 et 10 février probablement liées aux rejets industriels de la plateforme de Lavéra.

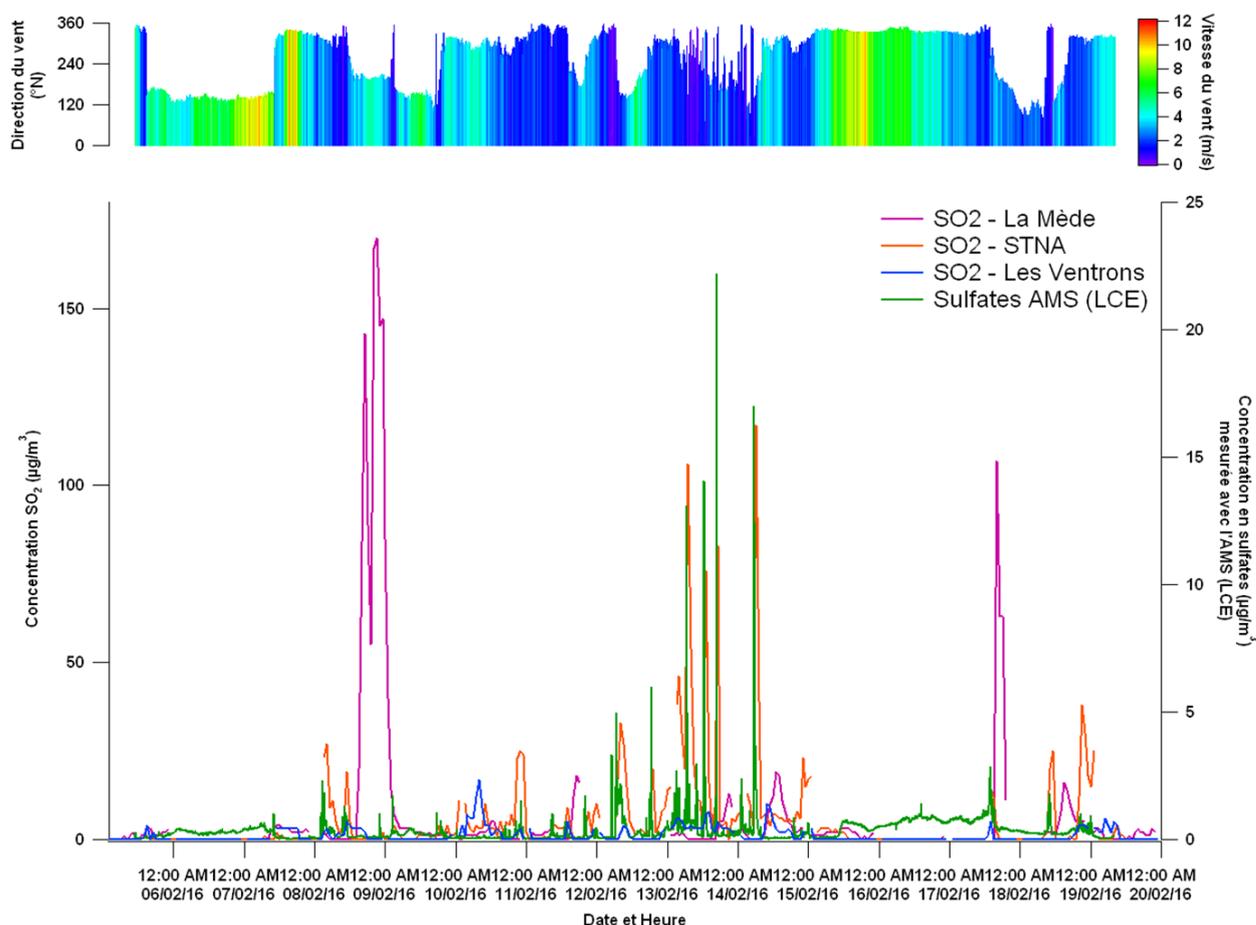


Figure 21 : Concentrations en SO_2 relevées sur les sites d'Air PACA

NO₂, NO, NO_x :

Les concentrations en NO_2 enregistrées à la Mède et au STNA ne dépassent pas $75 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$. Elles restent faibles en comparaison du seuil d'information et de recommandation ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{heure}$).

PM₁₀ :

Les concentrations en PM_{10} pendant cette période hivernale sont plutôt faibles. Le maximum horaire de la **station de la Mède** atteint $46 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ le 17 février. Le maximum journalier $23 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{jour}$ est enregistré le 9 février dans cette même station. Les mesures OPC du site STNA sont également très modérées. L'augmentation des concentrations observée du 15 au 17 février est également visible dans d'autres stations du réseau d'Air PACA dans le département des Bouches du Rhône et de la région. Cela corrobore l'hypothèse d'un transport de particules exogène à la zone (cf Figure 14 et Figure 23).

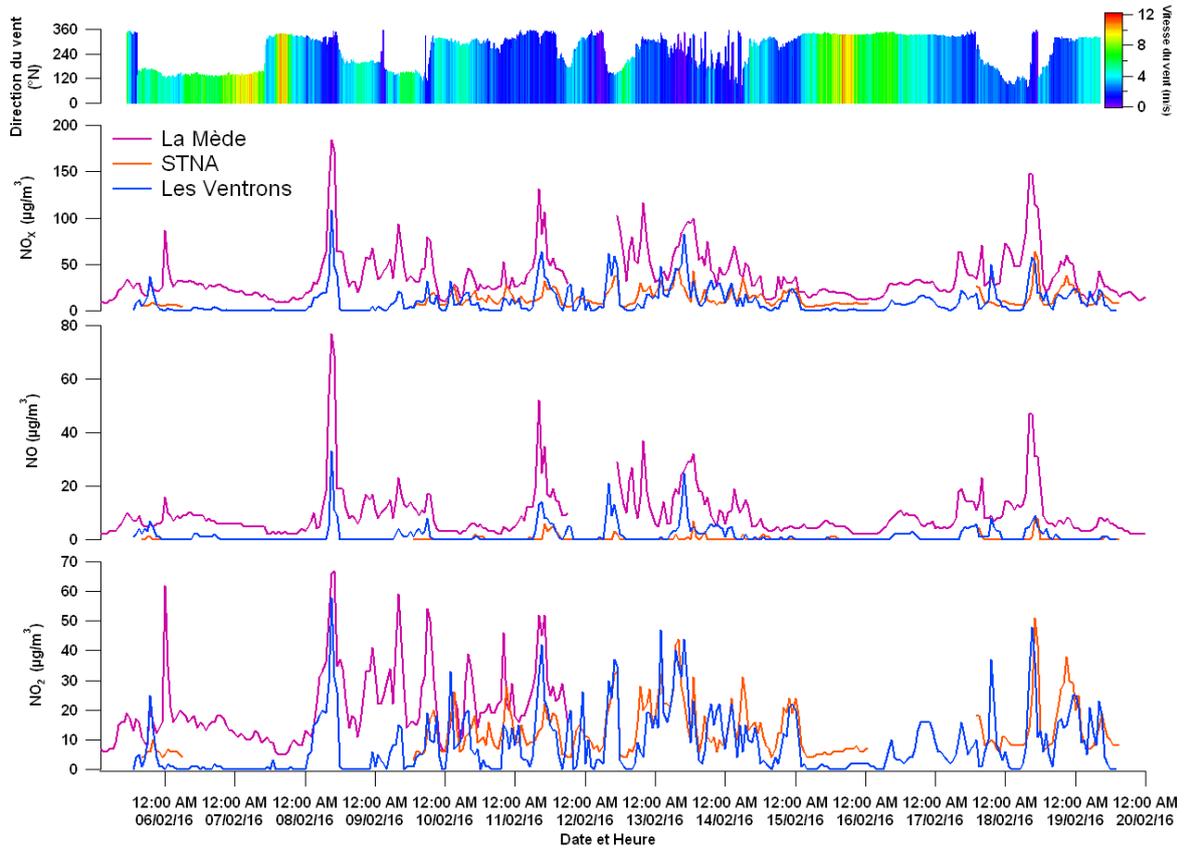


Figure 22 : Concentrations en NO, NOx, NO₂ relevées sur les sites d'Air PACA

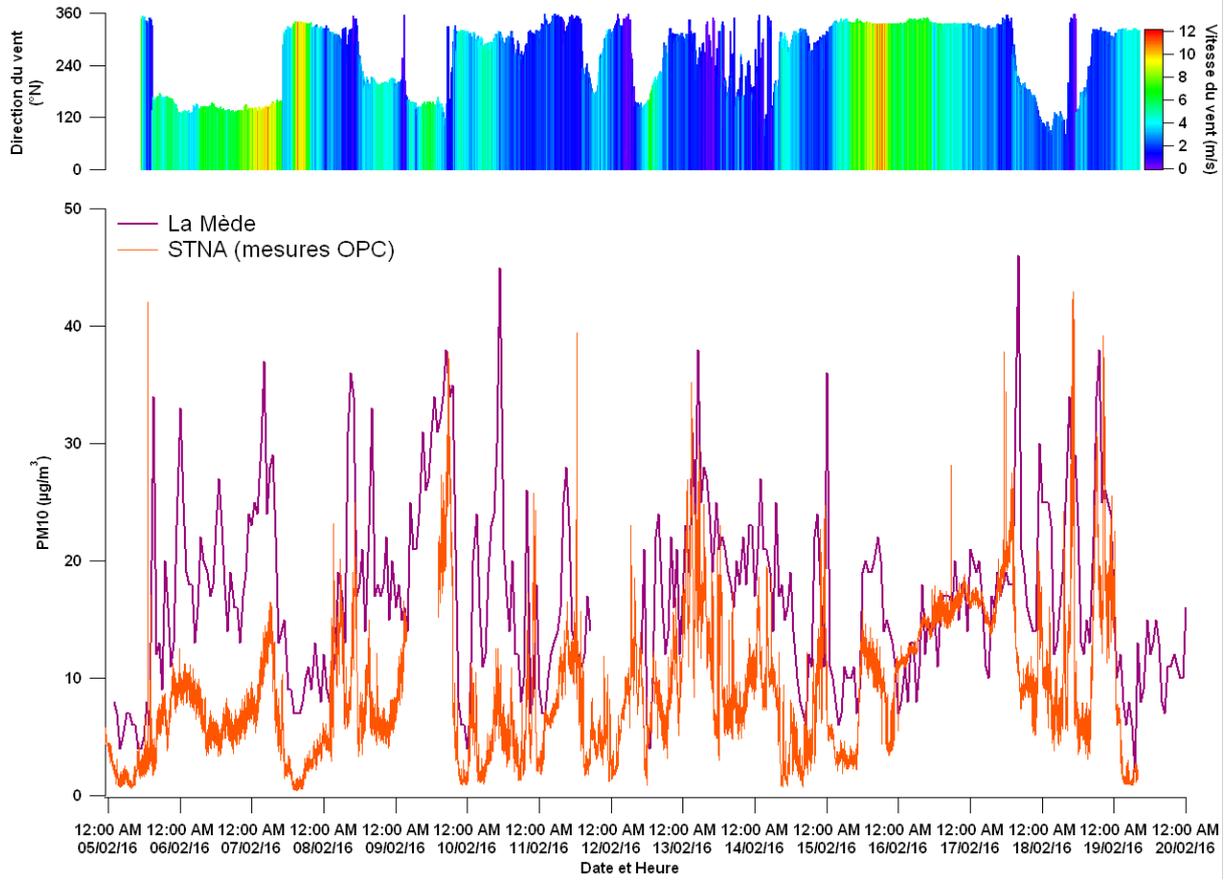


Figure 23 : Concentrations en PM10 relevées sur les sites d’Air PACA

Tableau 6 : Synthèse des filtres PM2.5 sélectionnés et dédiés à l'analyse chimique

	Numérotation Labo	Numérotation Terrain	Localisation	Date de début de prélèvement	Date de fin de prélèvement	Volume (m ³)	Masse collectée (µg)	Concentration (µg/m ³)
TOTAL Prélèvements atmosphériques	1	TO-Labo-B-XXXXXX					3340	
	2	TO-PTRC1-B-110216		11/2/16 09:30	BLANC TERRAIN		2960	
	3	TO-DGRC1-P-100216	DGRC1	10/2/16 10:44	11/2/16 09:37	659	12560	19.1
	4	TO-DGRC1-P-160216	DGRC1	16/2/16 10:04	17/2/16 10:10	731	13410	18.3
	5	TO-DGRC1-P-090216	DGRC1	9/2/16 09:24	10/2/16 10:31	303	19690	64.9
	8	TO-DGRC1-P-080216	DGRC1	8/2/16 16:17	9/2/16 09:19	522	28820	55.2
	9	TO-DGRC1-P-150216	DGRC1	15/2/16 15:08	16/2/16 10:00	573	7870	13.7
	58	TO-DGRC1-P-170216	DGRC1	17/2/16 10:14	18/2/16 10:03	721	11000	15.2
	63	TO-DGRC1-P-110216	DGRC1	11/2/16 09:39	15/2/16 15:04	3122	34300	11.0
	6	TO-PTRC1-P-080216	PTRC1	8/2/16 15:20	9/2/16 08:57	527	23290	44.2
	7	TO-PTRC1-P-090216	PTRC1	9/2/16 09:03	10/2/16 09:47	741	24200	32.7
	10	TO-PTRC1-P-100216	PTRC1	10/2/16 09:54	11/2/16 08:58	688	11230	16.3
	59	TO-PTRC1-P-150216	PTRC1	15/2/16 14:45	16/2/16 09:25	550	4700	8.5
	60	TO-PTRC1-P-110216	PTRC1	11/2/16 09:06	15/2/16 14:40	3043	24640	8.1
61	TO-PTRC1-P-160216	PTRC1	16/2/16 08:28	17/2/16 09:22	703	9020	12.8	
62	TO-PTRC1-P-170216	PTRC1	17/2/16 09:35	18/2/16 09:12	696	7740	11.1	
TOTAL Prélèvements en cheminée		RV1034						
		RV1017			BLANC TERRAIN			
		RV1005	CH12					
		RV1004	CH12					
		RV1023	CH11					
	RV1022	CH11						
AIR PACA	11	AP-02029-B-040216	La Mède	4/2/16 00:00	BLANC TERRAIN	0	4230	
	12	AP-02034-B-040216	Les Ventrons	4/2/16 00:00	BLANC TERRAIN	0	4140	
	13	AP-STNA-B-040216	STNA	4/2/16 00:00	BLANC TERRAIN	0	3820	
	49						4060	
	50						4280	
	14	AP-02029-P-050216	La Mède	5/2/16 11:00	6/2/16 11:00	708	11130	15.7
	15	AP-02029-P-060216	La Mède	6/2/16 11:00	7/2/16 11:00	708	18720	26.4
	16	AP-02029-P-070216	La Mède	7/2/16 11:00	8/2/16 11:00	706	9010	12.8
	17	AP-02029-P-080216	La Mède	8/2/16 11:00	9/2/16 11:00	710	13500	19.0
	18	AP-02029-P-090216	La Mède	9/2/16 11:00	10/2/16 11:00	711	12420	17.5
	19	AP-02029-P-100216	La Mède	10/2/16 11:00	11/2/16 11:00	705	11130	15.8
	20	AP-02029-P-110216	La Mède	11/2/16 11:00	12/2/16 11:00	296	9360	31.6
	21	AP-02029-P-120216	La Mède	12/2/16 11:00	13/2/16 11:00	711	18360	25.8
	22	AP-02029-P-130216	La Mède	13/2/16 11:00	14/2/16 11:00	715	12910	18.1
	23	AP-02029-P-140216	La Mède	14/2/16 11:00	15/2/16 11:00	712	10880	15.3
	24	AP-02029-P-150216	La Mède	15/2/16 11:00	16/2/16 11:00	703	11440	16.3
	25	AP-02029-P-160216	La Mède	16/2/16 11:00	17/2/16 11:00	701	13820	19.7
	26	AP-02029-P-170216	La Mède	17/2/16 11:00	18/2/16 11:00	703	14160	20.1
	27	AP-02029-P-180216	La Mède	18/2/16 11:00	19/2/16 11:00	703	10920	15.5
	28	AP-02034-P-050216	Les Ventrons	5/2/16 11:00	6/2/16 11:00	710	8320	11.7
	29	AP-02034-P-060216	Les Ventrons	6/2/16 11:00	7/2/16 11:00	590	20920	35.5
	30	AP-02034-P-070216	Les Ventrons	7/2/16 11:00	8/2/16 11:00	707	11510	16.3
	31	AP-02034-P-080216	Les Ventrons	8/2/16 11:00	9/2/16 11:00	711	7460	10.5
	32	AP-02034-P-090216	Les Ventrons	9/2/16 11:00	10/2/16 11:00	712	8360	11.7
	33	AP-02034-P-100216	Les Ventrons	10/2/16 11:00	11/2/16 11:00	709	9180	13.0
	34	AP-02034-P-110216	Les Ventrons	11/2/16 11:00	12/2/16 11:00	710	9150	12.9
	35	AP-02034-P-120216	Les Ventrons	12/2/16 11:00	13/2/16 11:00	715	9930	13.9
	36	AP-02034-P-130216	Les Ventrons	13/2/16 11:00	14/2/16 11:00	716	9640	13.5
	37	AP-02034-P-140216	Les Ventrons	14/2/16 11:00	15/2/16 11:00	716	9600	13.4
	38	AP-02034-P-150216	Les Ventrons	15/2/16 11:00	16/2/16 11:00	707	10400	14.7
	39	AP-02034-P-160216	Les Ventrons	16/2/16 11:00	17/2/16 11:00	704	12410	17.6
	40	AP-02034-P-170216	Les Ventrons	17/2/16 11:00	18/2/16 11:00	707	10620	15.0
	41	AP-02034-P-180216	Les Ventrons	18/2/16 11:00	19/2/16 11:00	706	12670	17.9
	42	AP-STNA-P-050216	STNA	5/2/16 11:00	6/2/16 11:00	712	7940	11.2
	43	AP-STNA-P-060216	STNA	6/2/16 11:00	7/2/16 11:00	722	7210	10.0
	44	AP-STNA-P-070216	STNA	7/2/16 11:00	8/2/16 11:00	709	9240	13.0
	45	AP-STNA-P-080216	STNA	8/2/16 11:00	9/2/16 11:00	722	6100	8.5
46	AP-STNA-P-090216	STNA	9/2/16 11:00	10/2/16 11:00	713	7040	9.9	
47	AP-STNA-P-100216	STNA	10/2/16 11:00	11/2/16 11:00	709	8370	11.8	
48	AP-STNA-P-110216	STNA	11/2/16 11:00	12/2/16 11:00	716	8300	11.6	
51	AP-STNA-P-120216	STNA	12/2/16 11:00	13/2/16 11:00	718	8570	11.9	
52	AP-STNA-P-130216	STNA	13/2/16 11:00	14/2/16 11:00	722	6380	8.8	
53	AP-STNA-P-140216	STNA	14/2/16 11:00	15/2/16 11:00	714	7880	11.0	
54	AP-STNA-P-150216	STNA	15/2/16 11:00	16/2/16 11:00	704	8890	12.6	
55	AP-STNA-P-160216	STNA	16/2/16 11:00	17/2/16 11:00	706	11220	15.9	
56	AP-STNA-P-170216	STNA	17/2/16 11:00	18/2/16 11:00	710	7710	10.9	
57	AP-STNA-P-180216	STNA	18/2/16 11:00	19/2/16 11:00	706	7040	10.0	

Filtres sélectionnés et analysés

3.4.3. Synthèse des mesures

Une synthèse des observations faites pendant les quinze jours de la campagne est proposée dans le Tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7 : Synthèse des mesures LCE de la campagne d'hiver

Périodes	Conditions météorologiques	Observations
Du 05/02/16 au 10/02/16	<p>Conditions peu favorables : Vents forts de secteur SE</p> <p>Quelques heures favorables le 08/02/16 entre minuit et 10h (Vent NO faible)</p>	<p>- Peu de particules : légères augmentations le 08/02/16 à 2h45 et à 10h.</p> <p>- Un pic de COV le 08/02/16 à 10h.</p>
Du 11/02/16 au 15/02/16	<p>Vents faibles majoritairement de secteur NO</p> <p>Vents faibles de secteur NE sur des périodes très courtes (quelques minutes)</p>	<p>Plusieurs pics de particules très fines (mode centré sur 50-60 nm), dépassant les 60000 particules/cm³, composés majoritairement de sulfates.</p> <p>Plusieurs pics de COV (hydrocarbures aliphatiques et aromatiques majoritaires, détection de composés soufrés).</p> <p><i>Ces pics de particules et de COV correspondent à des périodes courtes où le vent ramenait le panache de la raffinerie vers le site de mesure.</i></p>
Du 15/02/16 au 17/02/16	<p>Vents forts de secteur NO les 15 et 16/02/16</p> <p>Vents modérés de secteur NO le 17/02/16 jusqu'à 14h puis passage en vents de secteur SE</p>	<p>Du 15/02/16, 10h30 au 17/02/16, 14h : nombre de particules fines faible mais augmentation significative des particules entre 200 et 500 nm avec une répercussion sur la masse.</p> <p>Augmentation progressive de la concentration en nitrates, en matière organique et en ammonium à partir du 15/02/16, 22h30.</p> <p><i>Caractéristique d'un aérosol vieilli : origine plus lointaine que la raffinerie.</i></p> <p>Le 16/02/16 entre 2h15 et 10h05 : Augmentation de la concentration des COV de type hydrocarbures aliphatiques et aromatiques suite à un changement de quelques degrés dans la direction du vent</p> <p><i>Les cuves de stockage de la raffinerie sont une source possible</i></p>
Du 18/02/16 au 19/02/16	Vents faibles majoritairement de secteur SE et NO	Légères augmentations du nombre de particules et des COV le 18/02/16 à 9h50 et à 18h.

3.5. Atelier 4 : Mesures en bordure du site des propriétés des aérosols

3.5.1. Synthèse

Objectif principal : Obtenir les propriétés des aérosols en bordure du site.

Responsable : TOTAL RC

Instruments déployés : PTRC (2 par site), DTRC

Grandeurs mesurées : Masse en PM2.5 (priorité 1), Masse en PM10 (priorité 2)

Echantillons prélevés : Récolte des filtres (1 par jour (moyenne 24h) au minimum)

Analyse des échantillons prélevés : les échantillons sont analysés par le LCE et un laboratoire Partie de TOTAL (Micropolluants Technologies SA & LA). Les propriétés recherchées dans ces analyses sont :

- composés ioniques
 - composé métalliques
 - carbone élémentaire/ carbone organique
- Sauf mention contraire, les filtres analysés sont des filtres PM 2.5.

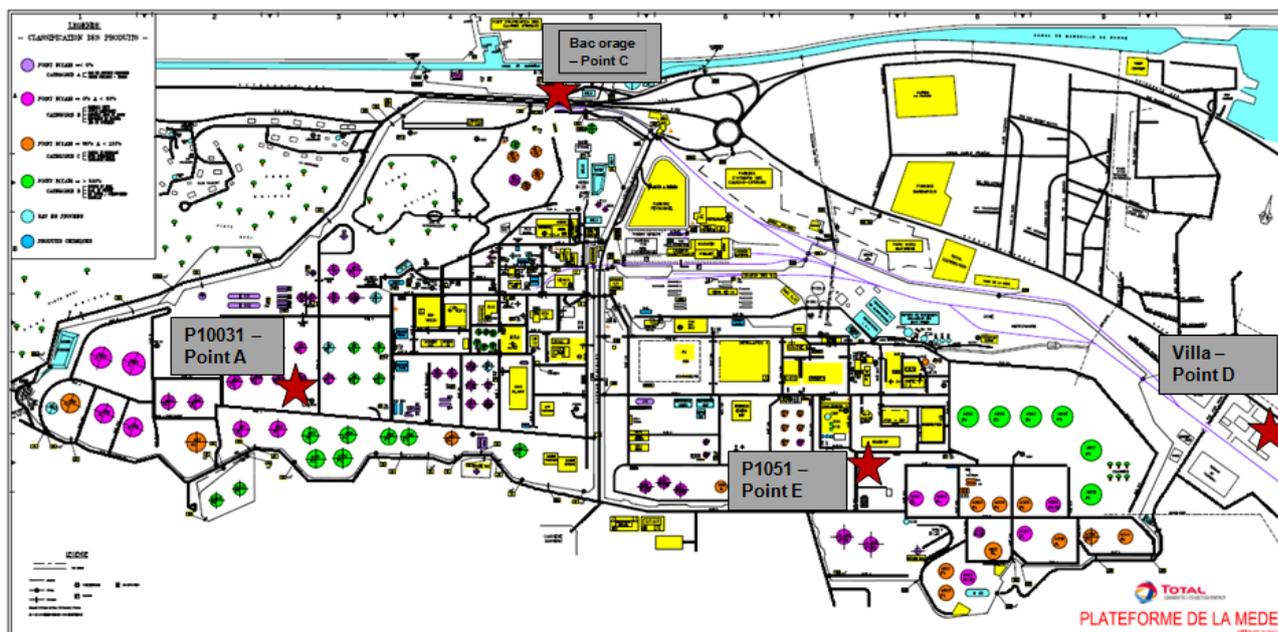
Durée du déploiement : 14 jours.

Personnel impliqué pendant la mesure : 1 personne

3.5.2. Descriptif des moyens déployés

3.5.2.1. Localisation sur le site

Les 4 localisations retenues sont identiques à la campagne de 2015.



3.5.2.2. Caractéristiques des instruments déployés

Deux types de préleveurs ont été utilisés :

- 6 systèmes PARTISOL préleveurs de petit débit (16,7 l/min, 1 m³/h)
- 2 systèmes DIGITEL préleveurs de grand débit (500 l/min, 30 m³/h)

Les préleveurs ont tous été placés en dehors des zones ATEX, et, dans la plupart des cas, en des points proches d'une précédente campagne de mesure des concentrations en particules sur la raffinerie, en 2007 (à l'occasion d'une étude de l'impact environnemental du site par le Laboratoire Qualité de l'Air) permettant de disposer d'une alimentation électrique et restant accessibles. Ils appartiennent tous au LQA.

Les préconisations de la norme NF EN 12341 « Air ambiant Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP10 ou MP2.5 de matière particulaire en suspension » ont été suivies.

Des filtres Teflon, fournis, conditionnés et pesés par AIRPACA ont été utilisés.

Les modes opératoires internes au LQA CRES/R/MO/37/PARTISOL et CRES/R/MO/42/DIGITEL ont été suivis.

Il s'agit de préleveurs d'air ambiant équipés de têtes de coupure à 10 ou 2.5µm permettant d'éliminer les particules de taille supérieures à respectivement 10 et 2.5µm. Les particules se déposent sur un filtre pesé avant et après le prélèvement. La masse de particules collectée est rapportée au volume d'air prélevé sur la période.

Conformément aux préconisations de la norme, le volume d'air est exprimé en mètres cubes et non en normo-mètres cubes, le volume d'air étant celui dans les conditions ambiantes à proximité de la tête de prélèvement pendant le prélèvement.



Figure 24: système de prélèvement Partisol



Figure 25: système de prélèvement Digital - DA 77

3.5.3. Mesures réalisées

Calendrier de l'intervention

Campagne Hiver 2016 – TEMMAS II

Semaine 5 (1^{er} février 2016) : Installations des appareils

Semaines 6 et 7 : Prélèvements à raison d'un prélèvement d'environ 24 h(+/-) chaque jour, 48h hors jours ouvrés puis rangement

Résultats :

Les tableaux suivants reportent les valeurs en PM10, PM2.5 et le ratio PM2.5/PM10, bon indicateur de la validité des mesures.

De fait, quelques points aberrants (notés en rouge) ont été retirés lors du calcul des indicateurs globaux du fait d'une masse PM2.5 > PM10. On ne peut pas évoquer un problème ponctuel sur un appareil ou sur un filtre puisque c'est plusieurs jours d'affilée et plusieurs points qui sont concernés. L'origine n'a pas été déterminée.

L'analyse spécifique des filtres est encore en cours d'interprétation.

Période de prélèvement		Concentrations PM 10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		P10031 - point A	bac orage - point C	Villa - point D	P1051 - point E
08/02/16	09/02/16	21,8	25,5	22,1	26
09/02/16	10/02/16	25,9	28,1	23	27,5
10/02/16	11/02/16	13,2	15,2	16	28,2
11/02/16	15/02/16	19,5	21,8	16,1	26,6
15/02/16	16/02/16	12,3	23,7	12,2	13,2
16/02/16	17/02/16	15,4	19,0	16,9	18,5
17/02/16	18/02/16	17,4	22,5	18,8	26,5
Moyenne		17,93	22,26	17,87	23,79
<i>Ecart-type</i>		<i>2,57</i>	<i>4,23</i>	<i>3,76</i>	<i>5,68</i>

Figure 26: PM 10 - Campagne Hiver

Période de prélèvement		Concentrations PM 2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		P10031 - point A	bac orage - point C	Villa - point D	P1051 - point E
08/02/16	09/02/16	44,20	55,20	6,60	7,50

09/02/16	10/02/16	32,70	64,90	9,20	11,80
10/02/16	11/02/16	16,30	19,10	9,60	13,40
11/02/16	15/02/16	8,10	11,00	9,90	12,00
15/02/16	16/02/16	8,5	13,7	8,7	7,9
16/02/16	17/02/16	12,8	18,3	13,7	13,6
17/02/16	18/02/16	11,1	15,2	9,2	10,5
<i>Moyenne (sans les points aberrants)</i>		10,13	15,46	9,56	10,96
<i>Ecart-type (sans les points aberrants)</i>		2,22	3,33	2,12	2,46

Figure 27: PM2.5 - Campagne Hiver

Période de prélèvement		ratio PM _{2,5} /PM ₁₀			
		P10031 - point A	bac orage - point C	Villa - point D	P1051 - point E
08/02/16	09/02/16	203%	216%	30%	29%
09/02/16	10/02/16	126%	231%	40%	43%
10/02/16	11/02/16	123%	126%	60%	48%
11/02/16	15/02/16	42%	50%	61%	45%
15/02/16	16/02/16	69%	58%	71%	60%
16/02/16	17/02/16	83%	96%	81%	74%
17/02/16	18/02/16	64%	68%	49%	40%
<i>Moyenne (sans les ratios aberrants)</i>		64%	68%	56%	48%
<i>Ecart-type (sans les ratios aberrants)</i>		17%	20%	18%	15%

Figure 28: ratio PM2.5/PM10 - Campagne Hiver

3.6. Atelier 5 : Mesures atmosphériques

3.6.1. Synthèse

Objectif principal : Obtenir des informations météorologiques et de granulométrie PM2.5 dans les premières couches atmosphériques

Responsable : LA/CNRS

Instruments déployés : Ballon sonde + instruments

Grandeurs mesurées : Profils de vents, humidité, température et de granulométrie PM2.5.

Durée du déploiement :

Personnel impliqué pendant la mesure :

Localisation sur le site : Localisation sur la Plaine (zone d'écurie).

3.6.2. Descriptif des moyens déployés

Le ballon captif est un ballon de 7m³ de type Vaisala TTB327 d'un emport maximal de 3.6 kg au niveau de la mer. Il est relié à un treuil électrique par une ligne de vie de 1000 m maximale. La Figure 29 montre le ballon en opération sur le site de Martigues.

Le ballon est équipé avec des sondes Vaisala TTS111 qui permettent la mesure de la pression, température, intensité et direction du vent. Le ballon peut accueillir 5 sondes au maximum. Le ballon a également été instrumenté avec un compteur optique de particules LOAC (Light Optical Aerosol Counter) de MeteoModem. Ce compteur a la possibilité de mesurer la granulométrie des particules dans 19 classes de taille entre 0.2 et 50 µm.



Figure 29 : Ballon captif Vaisala TTB327 au niveau du sol.

3.6.3. Mesures réalisées

Malheureusement le ballon a été endommagé durant le stockage dans la tente durant la nuit lors du premier jour d'installation du fait des grands vents qui ont eu lieu sur la zone à cette période. Aucune mesure n'a pu être réalisée. Néanmoins certains capteurs ont été redéployés sur le site de l'Escourillon et sur la raffinerie.

3.7. Atelier 6 : Mesures aéroportées

3.7.1. Synthèse

Objectif principal : Cartographier les spectres optiques des panaches

Responsable : L'ONERA

Durée du déploiement : Nominale, 2 séquences de vols sont prévus par instrument durant la semaine de campagne

Instruments déployés : Caméra hyperspectrale 0.4-2.5 μ m à bord du Piper Astec de SAFIRE

Grandeurs mesurées : Luminance spectrale du panache

Contraintes et Risques :

Les conditions météo doivent être favorables pour assurer les mesures aéroportées : ciel clair.

3.7.2. Caractéristiques des capteurs aéroportés embarqués

Les capteurs proposés sont les deux caméras hyperspectrales HySpex VNIR et SWIR et la caméra panchromatique CamV2 haute résolution. L'ensemble constitué des capteurs, d'une centrale inertielle, du laboratoire dédié à leur étalonnage et des logiciels de correction, constitue une plateforme appelé PELICAN-HYPER (Plateforme d'Étalonnage et Logiciels dédiés à l'Imagerie de Caméras Aéroportées Numériques HYPERspectrales).

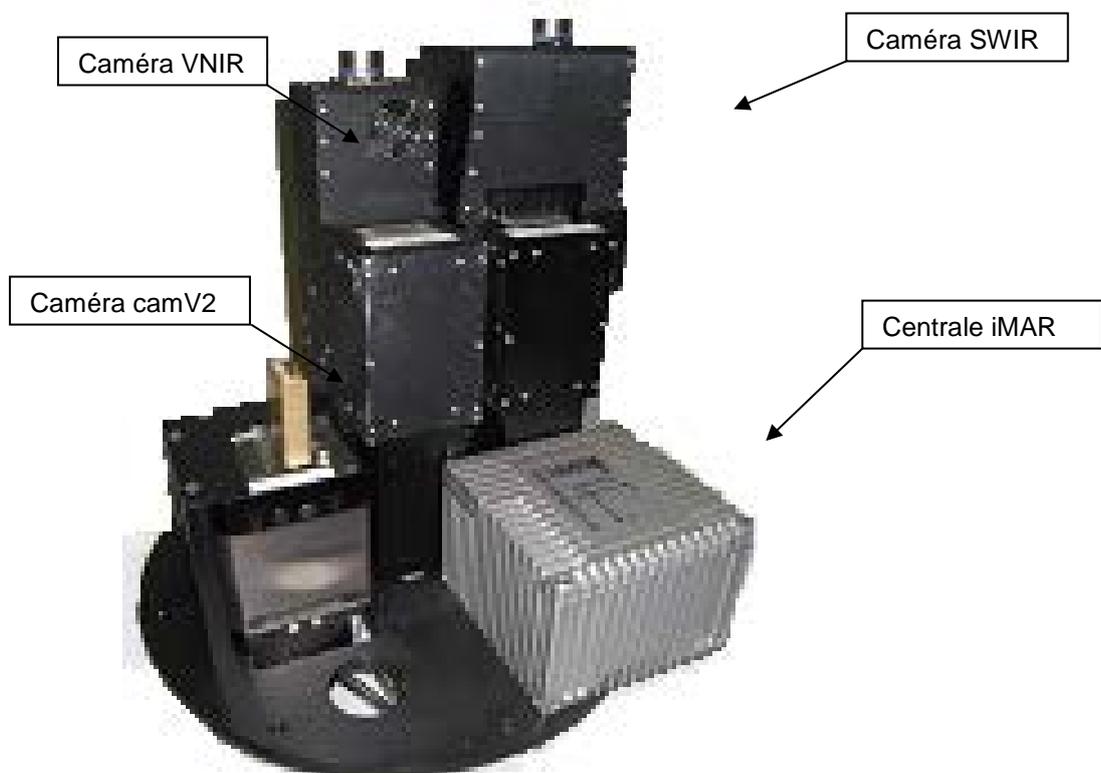


Figure 30 : Capteurs PELICAN-HYPER sur une plaque d'interface

Les principales caractéristiques des capteurs sont décrites dans le tableau suivant.

Tableau 8: Caractéristiques des capteurs de PELICAN-HYPER

Caractéristiques	HySpex VNIR	Hypesx VNIR + Fov exp	HySpex SWIR	CamV2
Type d'acquisition	Push-broom	Push-broom	Push-broom	Snapshot
Nombre de pixels	1600	1600	320	7256 × 5462
Champ de vue	17°	34°	14°	27°
Intervalle spectral	0,4-1 µm	0,4-1 µm	1-2,5 µm	0,4-0,8 µm
Nombre de bandes spectrales	160	160	256	Panchro
Largeur de bandes	3,7 nm	3,7 nm	6 nm	400 nm
Pas au sol (@ 2667m) perpendiculaire au sens du vol	0,50 m	1,00 m	2,00 m	0,17 m
Pas au sol (@ 2667m) parallèle au sens du vol	1,00 m	2,00 m	2,00 m	0,17 m
Fauchée à 2667m (hauteur/sol)	800 m	1600 m	640m	1280 m

L'objectif permettant de multiplier le champ de vue par deux (FOV-expand) est utilisé dans le cas particulier où le porteur vole à une vitesse trop importante par rapport à l'altitude requise pour un GSD fixé ou contraint par le plan de vol. Cet objectif est également intéressant pour des prises de vue avec la caméra VNIR seule sur de grande zone puisqu'il permet de réduire le nombre de ligne de vol et réduire la durée d'acquisition.

3.7.3. Mesures réalisées

Le tableau ci-dessous synthétise les acquisitions réalisées lors des deux jours de vol, le premier vol du 11 février n'a pas permis d'avoir d'acquisition exploitable. Des données sont disponibles uniquement pour la journée du 17 février.

Tableau 9 : Synthèse des lignes de vols réalisées lors de la campagne de février 2016.

VOL	commentaire général	Nom image brute HYPER	PANCHRO	AXE	commentaire image	Date et heure	Nb bandes	Nb lignes
SAFIRE-TEMMA2_2016-02								
TEMMA2-1 11/02/2016	Pixel 1m VNIR et 2m SWIR, Vsol = 90 m/s, Alt = 8800 ft Abandon suite à couverture nuageuse basse altitude	lamf60211a_01_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	lamf60211_1	NE2	NOK, pb navigation en fin de bande	2016-02-11T100048	160	8181
		lamf60211a_01_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	lamf60211_1	NE2	NOK, pb navigation en fin de bande	2016-02-11T100048	256	4090
		lamf60211a_02_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	lamf60211_2	NE2	NOK nuages bas + cirrus	2016-02-11T102218	160	7393
		lamf60211a_02_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	lamf60211_2	NE2	NOK nuages bas + cirrus	2016-02-11T102218	256	3696
TEMMA2-2 17/02/2016 matin	Pixel 1m VNIR et 2m SWIR, Vsol = 90 m/s, Alt = 8800 ft. Météo OK	lamf60217a_01_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	lamf60217_1	NE2	Pas de dérive OK	2016-02-17T101240	160	11422
		lamf60217a_01_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	lamf60217_1	NE2	Pas de dérive OK	2016-02-17T101240	256	5710
		lamf60217a_02_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	2	NO1	OK	2016-02-17T101957	160	6536
		lamf60217a_02_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	2	NO1	OK	2016-02-17T101957	256	3267
		lamf60217a_03_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	3	NO2	OK	2016-02-17T102827	160	6619
		lamf60217a_03_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	3	NO2	OK	2016-02-17T102827	256	3309
		lamf60217a_04_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	4	NO3	OK	2016-02-17T103622	160	6951
		lamf60217a_04_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	4	NO3	OK	2016-02-17T103622	256	3475
TEMMA2-3 17/02/2016 après-midi	Pixel 1m VNIR et 2m SWIR, Vsol = 90 m/s, Alt = 8800 ft. Météo OK	lamf60217b_01_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	lamf60217_5	NE2	OK avec quelques saturations	2016-02-17T122137	160	9468
		lamf60217b_01_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	lamf60217_5	NE2	OK avec quelques saturations	2016-02-17T122137	256	4734
		lamf60217b_02_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	6	NO1	OK	2016-02-17T122920	160	6601
		lamf60217b_02_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	6	NO1	OK	2016-02-17T122920	256	3300
		lamf60217b_03_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	7	O1	OK changement de vent	2016-02-17T124123	160	6509
		lamf60217b_03_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	7	O1	OK changement de vent	2016-02-17T124123	256	3254
		lamf60217b_04_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	8	O2	OK	2016-02-17T124853	160	6598
		lamf60217b_04_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	8	O2	OK	2016-02-17T124853	256	3299
		lamf60217b_05_VNIR_1600_SN0012_raw.hyspex	9	O3	OK	2016-02-17T125719	160	6363
		lamf60217b_05_SWIR_320m_SN3502_raw.hyspex	9	O3	OK	2016-02-17T125719	256	3181

Les plans de vols prévus étaient similaires à la première campagne avec une couverture globale du site et un axe de vol passant de Château Neuf les Martigues à Lagatasse/

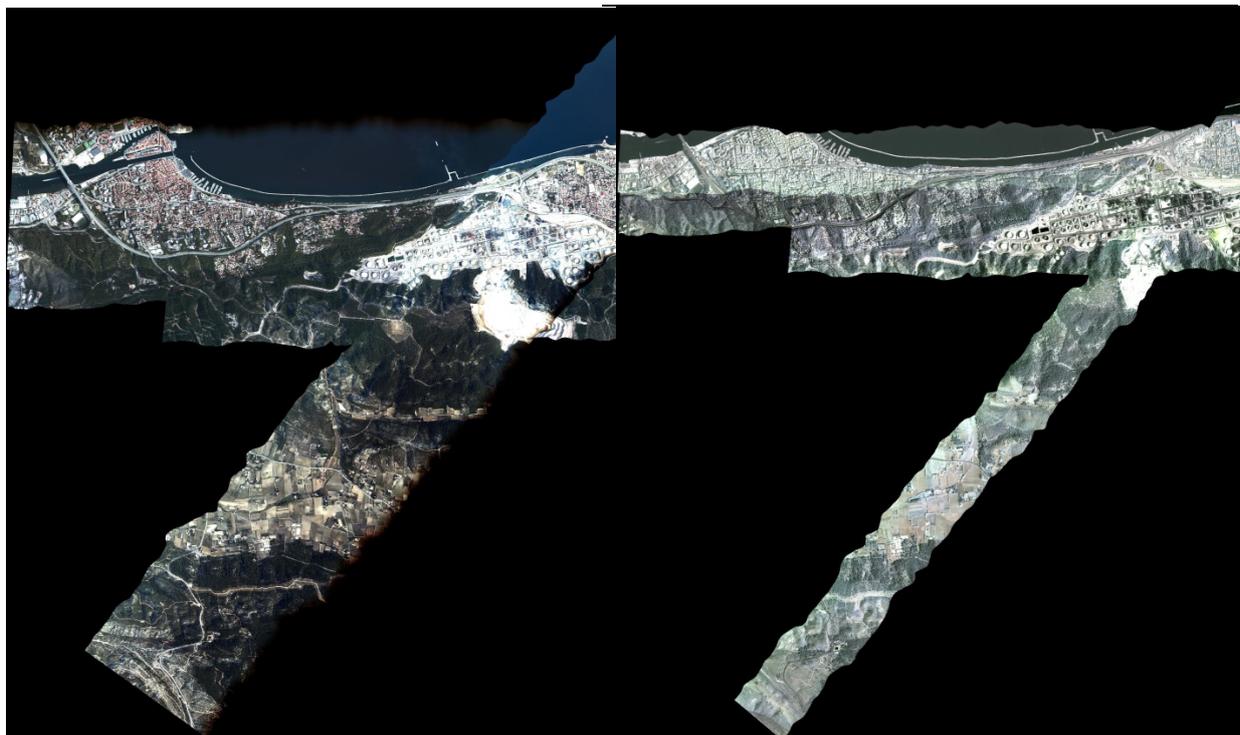


Figure 31 : Mosaïque VNIR et SWIR Lignes de vol EST et NE (quick look)

4. CONCLUSIONS

Cette seconde campagne TEMMAS s'est déroulée du 8 au 19 février 2016 dans des conditions météorologiques assez défavorables : vents de Nord important et passage orageux en fin de première semaine. Ces conditions météorologiques n'ont pas permis comme initialement prévu de pouvoir observer une période caractéristique hivernale sur le site étudié. De plus ceci a entraîné un dysfonctionnement du Lidar UV dédié aux aérosols et de la casse matériel pour la ballon-sonde qui n'a pas pu fournir non plus de données.

Néanmoins les autres ateliers de mesures sol ont fonctionnés nominalement, les analyses et le dépouillement des résultats a été initié. L'inter-comparaison des données et les travaux de modélisation va de même pouvoir être initiés

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr