



JUIL.  
2017

---

## PROJET TEMMAS

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

---

Application au cas de la raffinerie de  
Provence

---

**SYNTHESE**

**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

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 des campagnes 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  
Damien PIGA – 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 Raffinage  
Jean-Philippe HALLET – TOTAL Raffinage  
Catherine JUERY – TOTAL LQA  
Guillemette COURTIER - TOTAL LQA  
Pierre MANGEON - TOTAL LQA  
Sarah LE PARMENTIER - TOTAL LQA  
Christian SEIGNEUR – CEREAL  
Laurent HESPEL – ONERA  
Romain CEOLATO – ONERA  
Thibault DARTIGALONGUE – ONERA  
Christian CHATELARD – ONERA  
Jean-Michel Martin – LA

## CITATION DE CE RAPPORT

Pierre-Yves FOUCHER , Alexandre ARMENGAUD , Guillemette COURTIER , Philippe DELIOT , Olivier DUCLAUX, Amandine DURAND , Michel FRACES , Thierry HUET , Catherine JUERY , Sandra LAPEYRIE , Carole LEGORGEU , Jean-François LEON , Frederic MARTY , Damien PIGA , Valentin RAFFORT, Yelva ROUSTAN, Claire SARRAT, Brice TEMIME-ROUSSEL, Henri WORTHAM. 2017. PROJET TEMMAS : Télédétection, Mesures in-situ et Modélisation des polluants atmosphériques industriels. Application au cas d'une raffinerie industrielle.

Cet ouvrage est disponible en ligne [www.ademe.fr/mediatheque](http://www.ademe.fr/mediatheque)

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 le 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.

**Ce document est diffusé par l'ADEME**

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

Numéro de contrat : 1381C0054

Projet de recherche coordonné par : Pierre-Yves FOUCHER (ONERA)  
Appel à projets de recherche : CORTEA, édition 2013

Coordination technique - ADEME : FIANI Emmanuel  
Direction/Service : Direction Productions et Energies Durables, Service  
Entreprises et Eco-technologies

## Rapport Final

En partenariat avec :



## TABLE DES MATIERES

Résumé .....	5
1. Cartes du site .....	5
2. SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS .....	6
Prélèvement au niveau des émissaires .....	6
Bilan des analyses des prélèvements d'aérosols intégrés sur 24 heures .....	7
Bilan des mesures « on line » sur le site du STNA .....	7
Bilan des mesures aéroportées hyperspectrales .....	9
Bilan de la comparaison modélisation / mesures au sol .....	11
Bilan de la comparaison modélisation / mesures avion .....	14
3. CONCLUSIONS –PERSPECTIVES - RECOMMANDATIONS .....	15
4. PUBLICATIONS DES RESULTATS .....	16

## Résumé

Le projet TEMMAS : Télédétection, Mesures in-situ et Modélisation des polluants atmosphériques industriels a pour objectif d'améliorer la compréhension de l'évolution des aérosols et de la modélisation de la qualité de l'air dans l'environnement proche d'un site industriel. L'approche novatrice est la mise en œuvre de synergies entre les techniques de caractérisation optiques par télédétection avec les mesures in situ d'analyses des propriétés microphysiques des rejets atmosphériques d'un site industriel.

Dans ce cadre, deux campagnes de mesures, d'une durée de 10 jours chacune ont été réalisées sur le site de la raffinerie TOTAL de La Mède en septembre 2015 (campagne Eté) et février 2016 (campagne Hiver) Durant ces campagnes, différents ateliers de mesures ont été déployés, en particulier : (i) prélèvements d'aérosols sur filtres en sortie des émissaires principaux, à l'intérieur et à l'extérieur du site ; (ii) mesures « on line » des propriétés microphysiques des aérosols et des concentrations de gaz traceurs des panaches à l'extérieur du site; (ii) mesures hyperspectrales aéroportées dans le domaine réflectif.

Les résultats de mesures obtenus montrent de façon claire qu'il est possible de mettre en correspondance les propriétés microphysiques des aérosols avec les gaz traceurs de panache à partir de mesures sol et 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 au sol. Si la cartographie des aérosols par Lidar n'a pu être réalisée suite à différents problèmes techniques lors des campagnes, les acquisitions d'images hyperspectrales ont montré la possibilité de localiser les sources d'aérosols et d'identifier le type et l'épaisseur optique en bonne adéquation avec les données sol. Enfin l'exercice de modélisation fine échelle réalisé a montré qu'il était possible de reproduire la dispersion des panaches industriels avec une très bonne résolution spatiale avec des résultats en bonne cohérence avec les mesures sols.

### 1. Cartes du site

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustre la position des différents ateliers de mesures par rapport à la raffinerie.

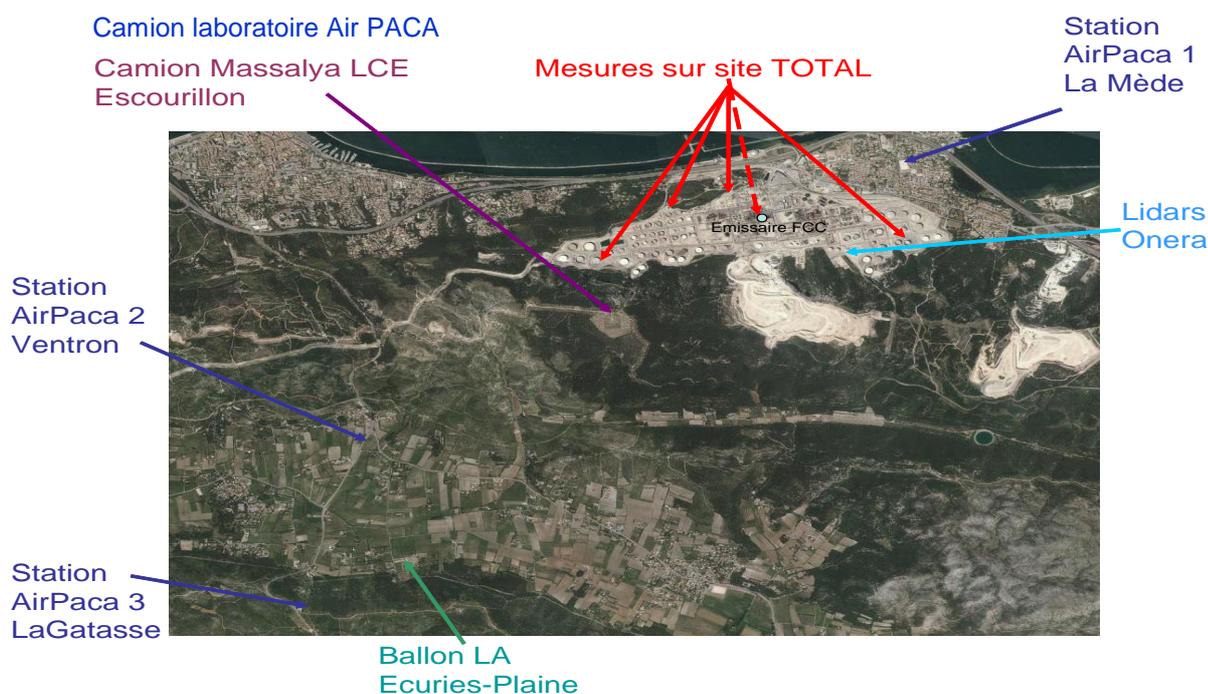


Figure 1 : Image aéroportée du site de la Mède avec position des ateliers de mesures sol

## 2. SYNTHÈSE DES RESULTATS OBTENUS

### Prélèvement au niveau des émissaires

Sur l'ensemble des deux campagnes, deux émissaires différents ont pu être étudiés :

- En Septembre 2015 et février 2016 pour la chaudière 11, unité à fonctionnement mixte (combustion de fuel liquide et de gaz de raffinerie)
- En février 2016 pour la chaudière 12 : traitement de post-combustion du FCC (procédé à combustion partielle), émissaire principal de particules du site et non fonctionnelle en Septembre 2015. 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). Il en résulte une émission de poussière de catalyseur sous forme de particules grossières. Comme ces particules grossières n'influence pas les mesures en environnement axées sur les tailles plus fines (PM10 ; PM2.5 et ultrafine), leur contribution a été soustraite.

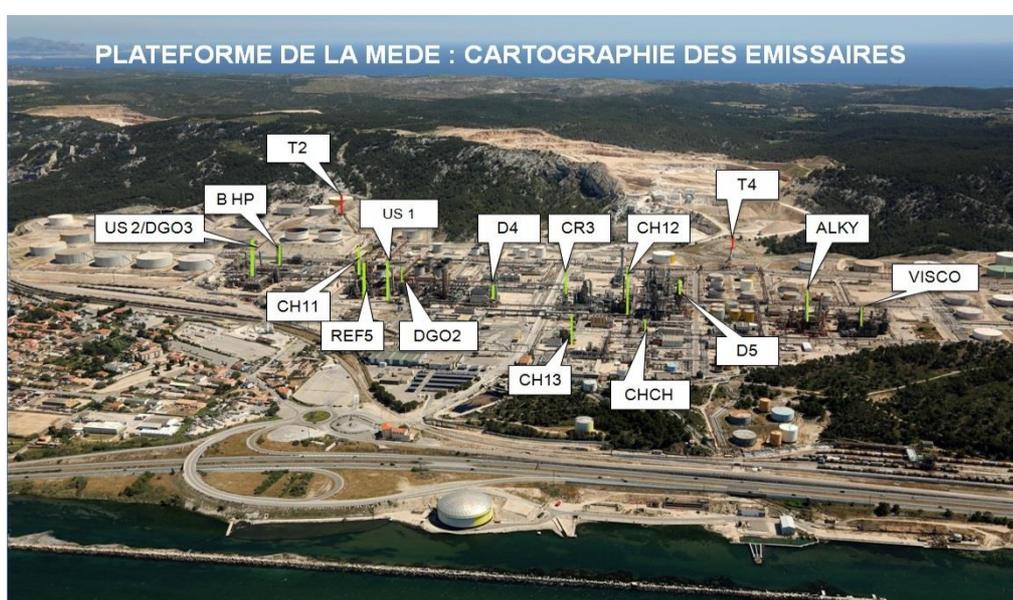


Figure 2: Vue d'ensemble des installations sur la plateforme de La Mède.

D'après les prélèvements normalisés réalisés en cheminées :

- la Chaudière 11 émet de l'ordre de 39 kg/jour de Particules filtrables. La déclaration du site pour cet émissaire à partir de facteur d'émission spécifique aux combustibles est de l'ordre du double, soit 76 kg/j. Les analyses de compositions des prélèvements à la source montrent une prédominance d'aérosols sulfatés avec une proportion de suie de l'ordre de 5 à 10%.

Pour la chaudière 12, l'émission de particule déterminée par les prélèvements en cheminée est de l'ordre de 110 kg/j hors fine de catalyseur. La déclaration du site est de l'ordre de 230 kg/j.

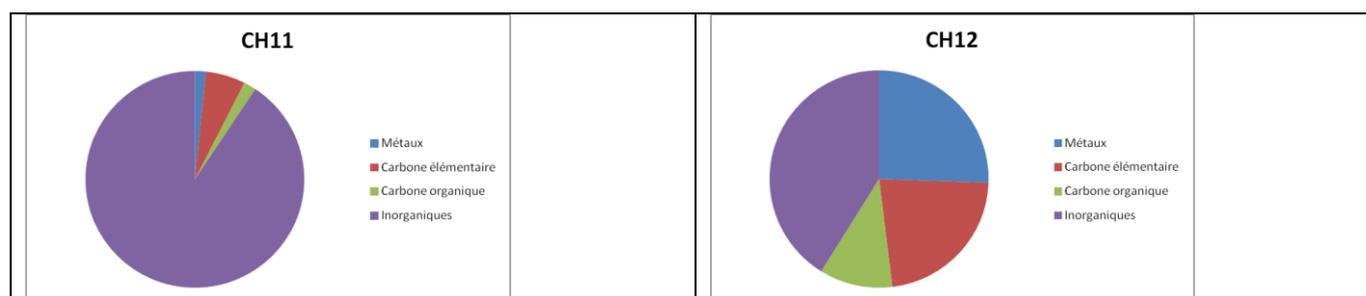


Figure 3: composition des particules prélevées sur les différents émissaires hors fines de catalyseur et composés non analysés.

## Bilan des analyses des prélèvements d'aérosols intégrés sur 24 heures

L'ensemble des filtres analysés a montré une contribution majoritaire de la matière organique et des sulfates à la masse de l'aérosol identifiée, le carbone élémentaire, les autres ions majeurs (ammonium et nitrates) et les métaux étant présents en plus faibles proportions. La variabilité saisonnière du carbone organique a pu être observée avec des valeurs maximales en hiver lorsque la combustion de biomasse est une source significative.

La spéciation de la matière organique et l'analyse des métaux n'a toutefois pas clairement fait ressortir de marqueur ou une signature chimique pouvant être attribué aux émissions de la raffinerie. Du fait du caractère ponctuel des épisodes propices à l'observation des panaches venant de la raffinerie ainsi que du caractère ultrafin des particules qui apportent peu de poids sur la concentration massique totale, le prélèvement des particules PM2.5 sur une plage horaire de 24 heures s'est révélé peu adapté à cet objectif.

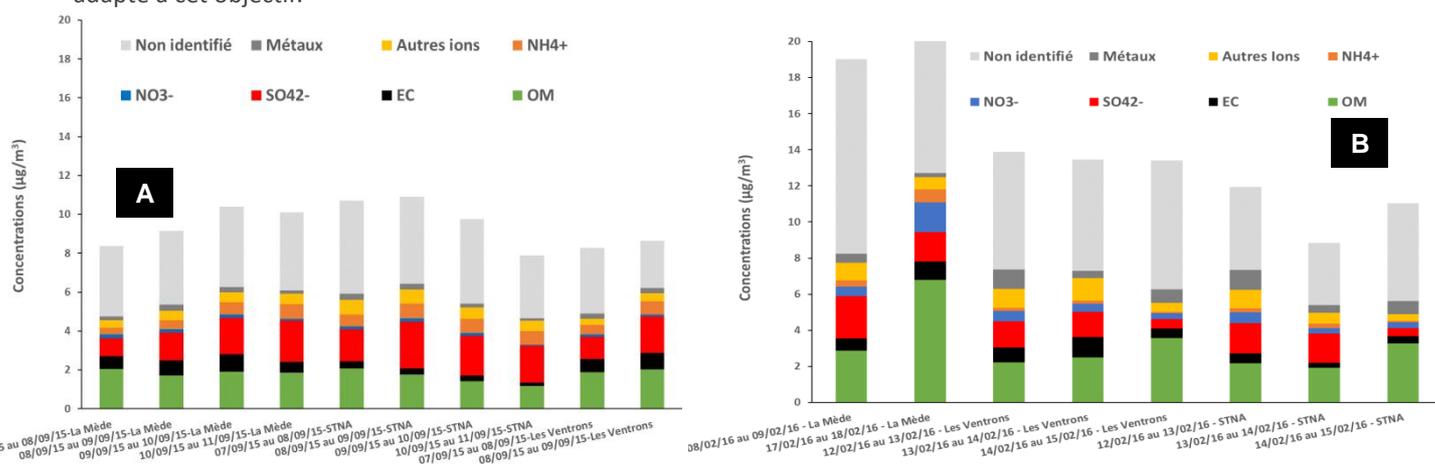


Figure 4: Concentrations des principales fractions de l'aérosol (matière organique OM, carbone élémentaire EC, sulfates  $\text{SO}_4^{2-}$ , nitrates  $\text{NO}_3^-$ , ammonium  $\text{NH}_4^+$ , autres ions incluant les ions chlorures, sodium, potassium, magnésium et métaux) mesurées durant la campagne estivale (graphique A) et la campagne hivernale (graphique B) sur les stations situées autour de la raffinerie

## Bilan des mesures « on line » sur le site du STNA

En ce qui concerne les mesures en ligne, tous les instruments de la plateforme Massalya ont été opérationnels durant les deux campagnes. L'analyse de l'aérosol avec un pas de mesure de l'ordre de la minute a permis de capter ponctuellement les panaches provenant du site industriel lorsque les conditions de vent étaient favorables. Ces mesures à haute résolution temporelle sont parfaitement adaptées à l'échelle de temps des phénomènes physiques (conditions météorologiques, dynamique atmosphérique) et pour ce type d'environnement où les sources d'émission sont multiples.

Les panaches en provenance de la raffinerie sont caractérisés par :

- des pics ponctuels de particules atteignant un nombre total de  $80\,000\text{ particules}/\text{cm}^3$  (campagne de septembre 2015) et de  $60\,000\text{ particules}/\text{cm}^3$  (campagne de février 2016) alors que la concentration moyenne du fond était en moyenne de  $5\,000\text{ particules}/\text{cm}^3$ .
- un diamètre inférieur à 150 nm, avec une distribution granulométrie centrée autour de 50 nm, correspondant à des particules ultrafines.

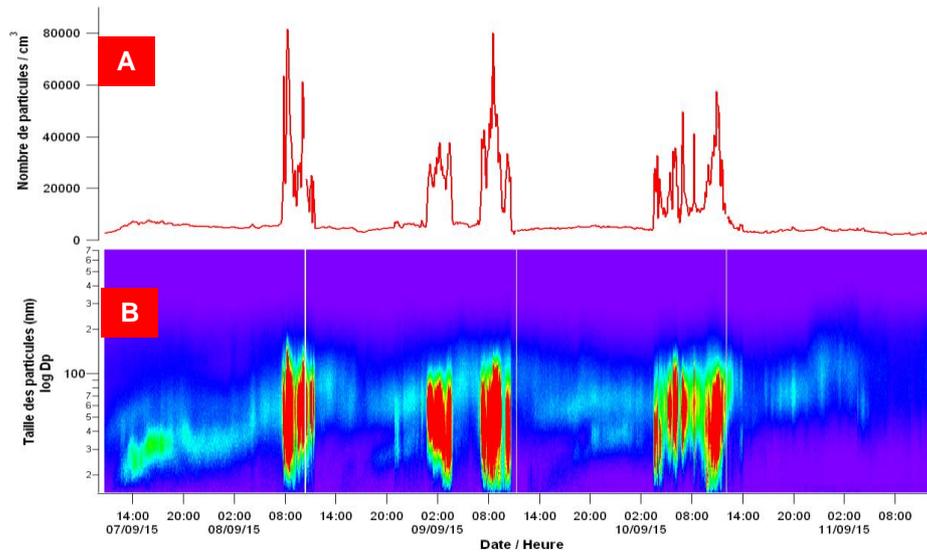


Figure 5: Evolution temporelle du nombre de particules fines PM1 (graphique A) et de leur granulométrie (graphique B) pour la campagne estivale. Les particules détectées pendant les épisodes de pollution étaient de granulométrie comprise entre 15 et 150 nm avec un mode centré autour de 50 nm.

-une composition chimique chargée en sulfates dont la neutralisation par l'ammonium n'est que partielle.

-des concentrations massiques en PM1 comprises entre 20 et 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  lors des pics de particules.

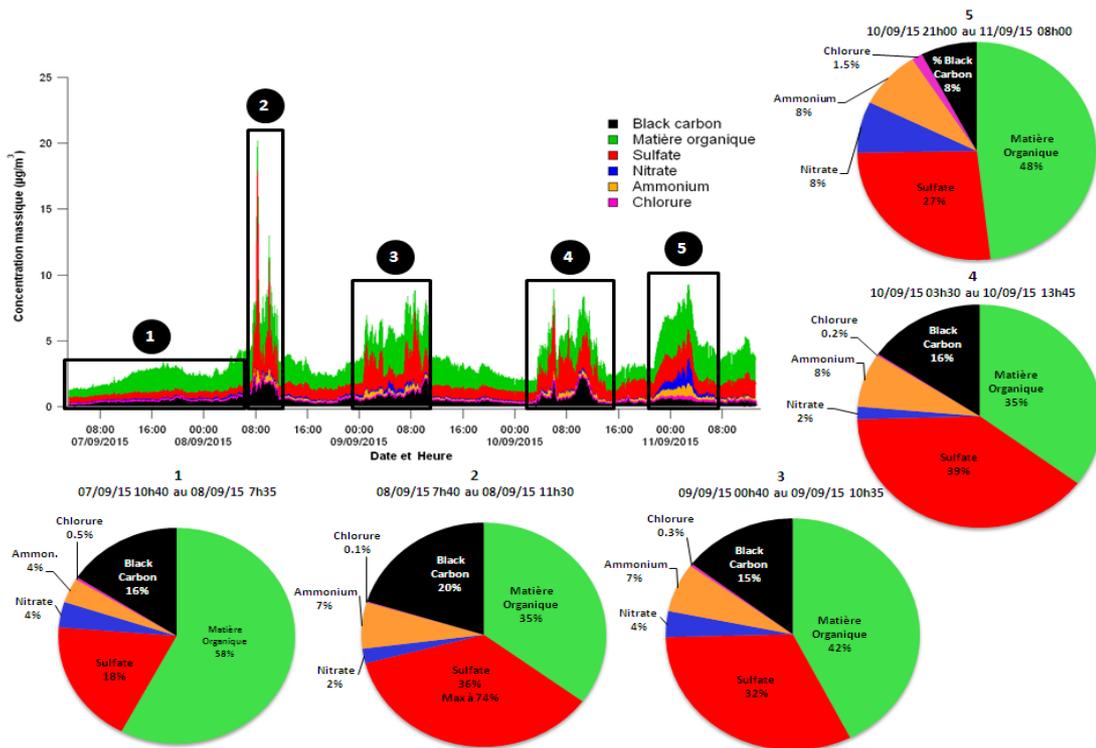


Figure 6: Evolution temporelle des concentrations massiques des principales fractions chimiques de l'aérosol PM1 (matière organique, carbone élémentaire, sulfates, nitrates, ammonium, chlorures) mesurées sur le site STNA avec l'AMS et le MAAP pendant la campagne de septembre 2015. Les périodes représentatives des concentrations de fond (n°1), des épisodes de pollution d'origine industrielle riches en sulfates (n°2, 3, 4), et de l'aérosol âgé (n°5) ont été moyennées et représentées sous forme de diagramme circulaire.

-des COV composés majoritairement d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques dont les roses de vent suggèrent une provenance des cuves de stockage de la raffinerie.

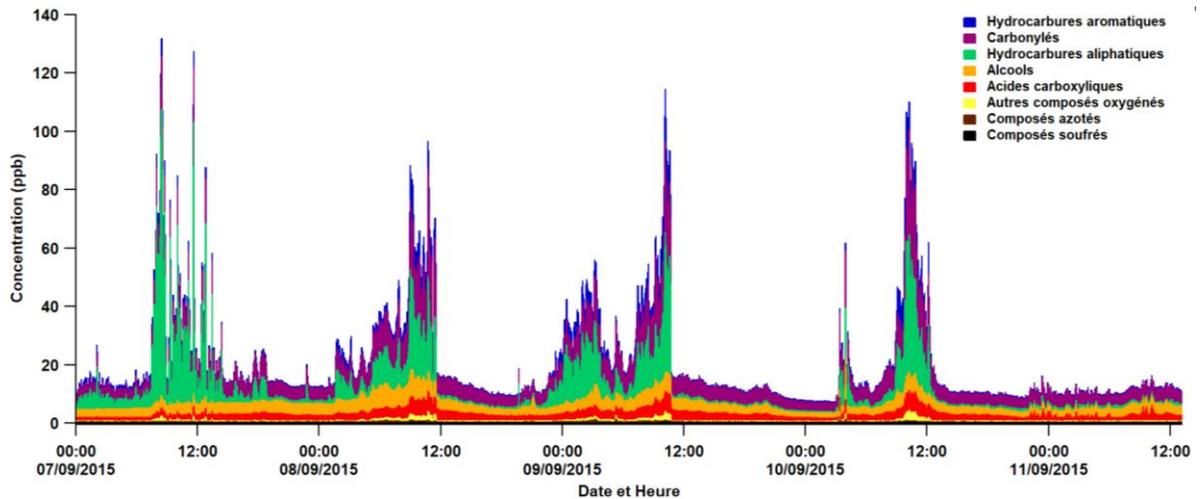


Figure 7: Suivi temporel des concentrations en COV classés par famille chimique durant la campagne de septembre 2015

En plus de ces épisodes d'origine industrielle, le site de mesure du STNA a été impacté durant les deux campagnes par des arrivées de masses d'air plus lointaines, caractérisées par des particules de granulométrie plus grosses (autour de 300-400 nm) et associées à des concentrations plus élevées en nitrates et en matière organique, suggérant qu'il s'agissait d'un aérosol ayant déjà subi des processus de vieillissement.

### Bilan des mesures aéroportées hyperspectrales

Les panaches étudiés étaient peu chargés en aérosols comme cela a été mesuré sur les différents sites de prélèvement soit du fait des forts vents (campagne hivernale) ou du fonctionnement partiel du site en phase de redémarrage (campagne estivale), néanmoins les panaches des différents émissaires ont pu être identifiés et caractérisés.



Figure 8 : Mosaïque SWIR des prises de vues aéroportées hyperspectrales.

Les panaches étudiés ici sont des panaches correspondant à des faibles épaisseurs optiques et sont difficilement détectables de façon automatique en imagerie hyperspectrale aéroportée. L'étendue spatiale observable des panaches est comprise entre 30 et 100m de la source en moyenne et parfois plus dans le cas de la Torchère. Néanmoins par analyse multi-temporelles des acquisitions aéroportées, l'empreinte des panaches avant dispersion dans le fond a pu être mise en évidence pour la cheminée 11. L'analyse spectrale de ces aérosols a permis d'estimer la composition du panache en sortie de cheminée et une estimation de l'ordre de grandeur du débit en s'appuyant sur les données de champs de vent. Les résultats obtenus pour la cheminée 11 indiquent une granulométrie sur un mode très fin (50nm) avec pour principal composé des aérosols sulfaté (90%) et en minorité de la suie (10%). L'analyse des panaches de l'unité FCC 12 a permis d'obtenir des résultats de caractérisation assez proche avec une granulométrie comprise entre 50 et 100nm et une teneur en suie comprise entre 10 et 20%. Ces éléments sont en cohérence avec les mesures au sol on-line réalisés sur le site STNA.

Les signatures spectrales en sortie de cheminée ont montré une présence majoritaire d'aérosols diffusants (sulfates) mais aussi de façon non négligeable la présence de suie avec un pourcentage de l'ordre de 10% pour la chaudière 11. Le mode ultrafin a été confirmé par la signature optique, avec une distribution granulométrique centrée autour de 50nm.

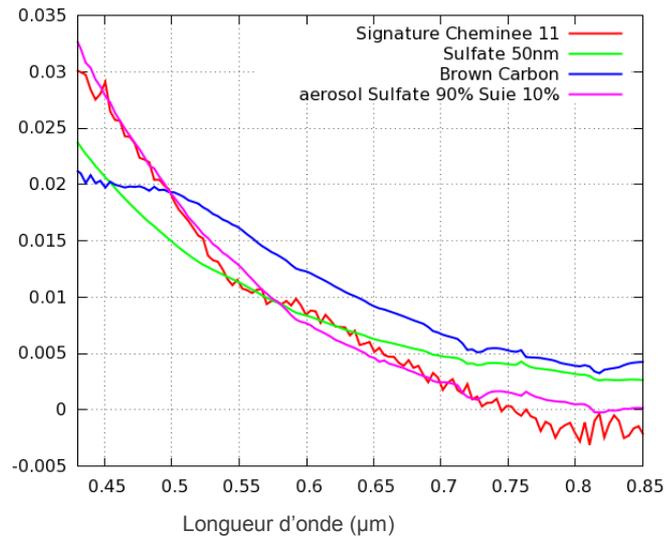


Figure 9 : Signature spectrale observée pour le panache de la cheminée 11. La courbe en rouge correspond à la signature mesurée à partir des observations hyperspectrales aéroportées et les courbes verte, bleue, et violette correspondent aux calculs théoriques de signatures attendues pour respectivement un panache composé exclusivement de particules fines de sulfate, pour un panache fin de particules de type « Brown Carbon » et pour un panache composé à 90% de sulfates fin (mode 50 nm) et de 10% de Carbone Suie (Black Carbon mode 50 nm).

Par méthode différentielle il a de plus été possible de quantifier spatialement l'impact des panaches et d'initier des estimations de débits massiques de façon cohérente avec les mesures par prélèvement réalisées, à savoir de l'ordre de 50kg/j pour la cheminée de la chaudière 11.

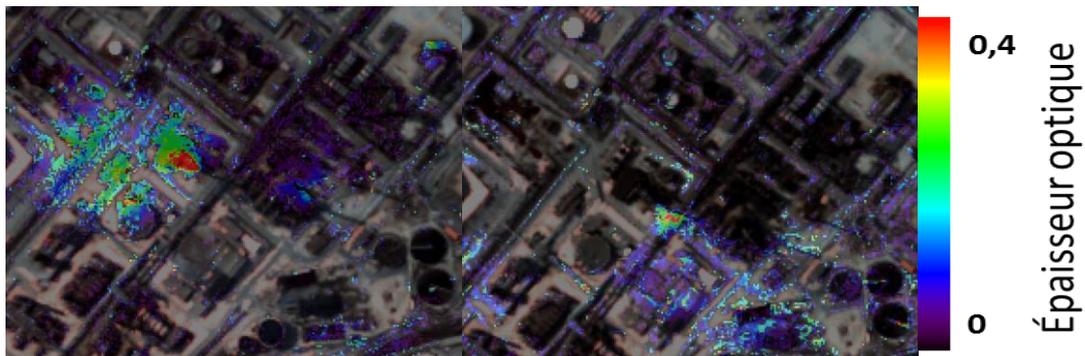


Figure 10 : Zoom sur la bascule de vent de 12h au dessus de la cheminée 11. Les épaisseurs optiques ont été exprimées en valeurs absolue et nous avons séparé le panache ayant disparu (gauche) et celui étant apparu (droite) du faite d'un changement radical du sens du vent et de son intensité.

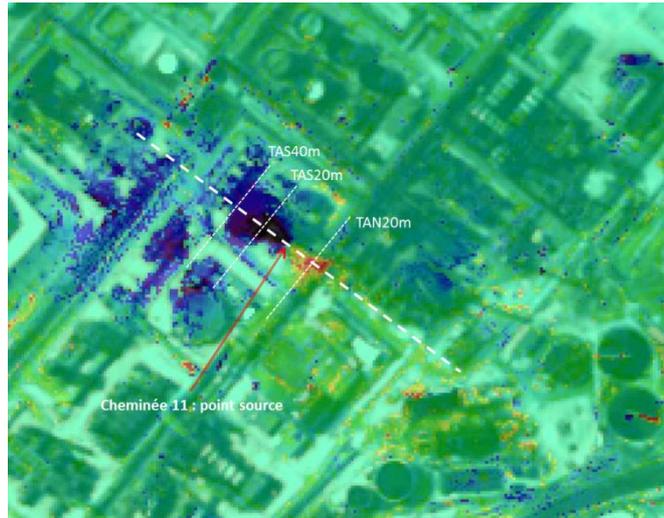


Figure 11 : Complément de la figure précédente en conservant le signe de la variation en épaisseur optique autour de la cheminée 11 indiquant les axes utilisés pour l'étude quantitative : Pointillés gras blanc : axe longitudinal de la bascule de vent, Pointillés blanc fins : axe transverse Sud à 20m de la source (TAS20m), axe transverse Nord à 20m de la source (TAN20m).

L'analyse quantitative sur le panache identifié de la cheminée 11 a permis d'estimer un débit autour de 50kg/j ce qui est cohérent avec les mesures in-situ réalisées. Pour le FCC le panache n'a pu être quantifié de façon homogène, mais à partir de l'analyse de différents points et par analogie avec la mesure de la cheminée 11 nous estimons que le débit est plus important d'un facteur de l'ordre de 2.

### Bilan de la comparaison modélisation / mesures au sol

Dans le cadre du projet TEMMAS les modèles eulérien et Plume-in-Grid de Polyphemus ont été appliqués à l'échelle des Bouches-du-Rhône, dans le but d'évaluer leur aptitude à représenter les concentrations et la composition chimique des particules, et d'améliorer la représentation des panaches de la raffinerie dans la modélisation. À l'échelle du département, les deux modèles présentent des performances statistiques similaires, en comparaison aux mesures d'AirPACA. Pour la campagne d'été, les mesures de Lidar vent et des stations météorologiques ont été utilisées pour forcer les simulations WRF, permettant une amélioration des performances statistiques (en particulier de la corrélation temporelle), en comparaison à la simulation de la campagne d'hiver, basée sur des simulations météorologiques non assimilées.

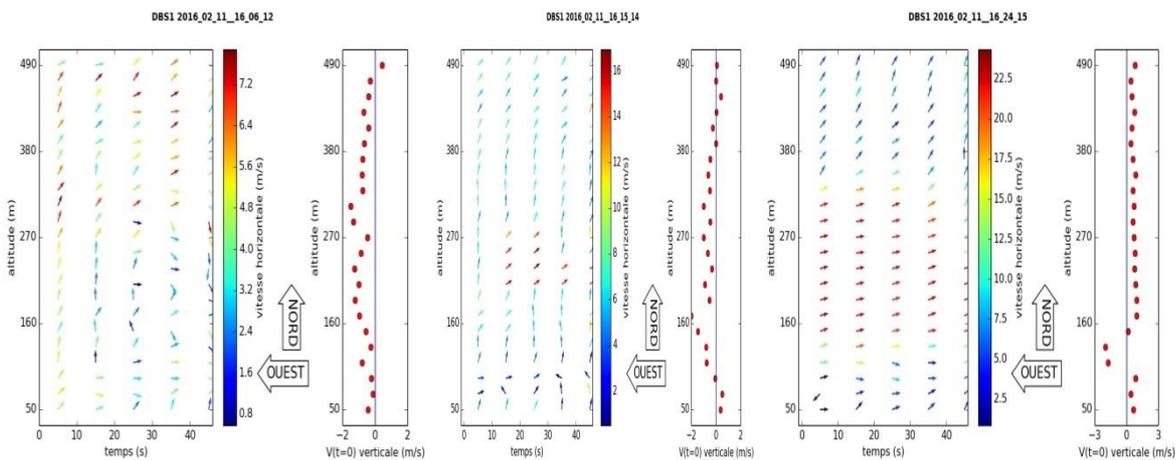


Figure 12 : Evolution du profil vertical de champs de vent du 11/02/2016 entre 16h et 16h30.



Figure 13 : Ballon captif Vaisala TTB327 au niveau du sol.

À l'échelle locale, la modélisation « PinG » permet une représentation plus précise des panaches de la raffinerie. Aux stations de la Mède et STNA, les pics de concentrations attribuables aux émissions de la raffinerie sont ainsi bien représentés par le modèle « PinG », et non représentés par le modèle eulérien.

Les résultats de la campagne d'été ont été comparés aux mesures de PM<sub>1</sub> réalisées par le LCE. La contribution de la raffinerie aux différentes fractions chimiques des PM<sub>1</sub> apparaît bien représentée par le modèle « PinG ». Le suivi du nombre de particules, en parallèle de la concentration massique, a été ajouté au modèle « PinG », et évalué en comparaison aux mesures de l'OPC et du SMPS. Les deux modèles présentent de bonnes performances pour la modélisation du nombre de particules de la pollution régionale. Dans le cas des particules fines, l'approche « PinG » permet à nouveau une représentation améliorée des pics de particules fines attribuables à la raffinerie, non représentés dans le modèle eulérien du fait de la dilution trop importante des panaches.

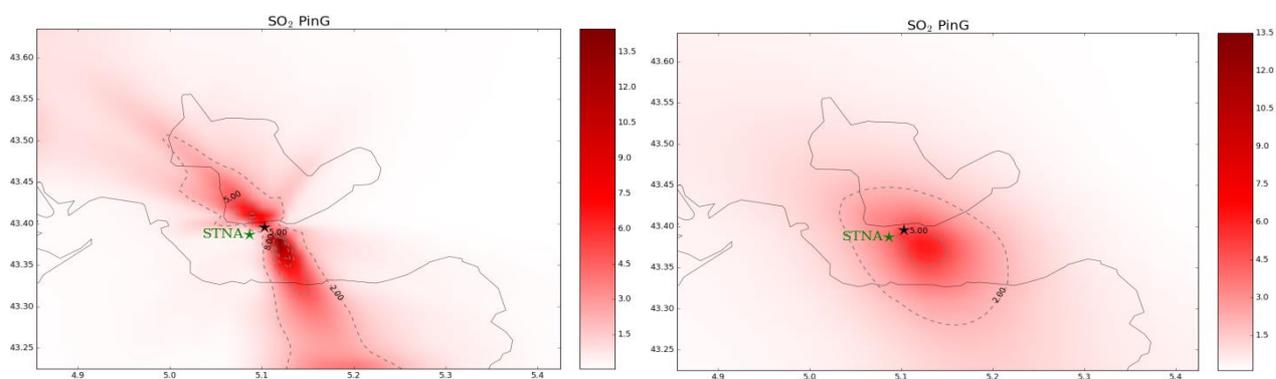


Figure 14. Contribution de la raffinerie à la concentration de SO<sub>2</sub> (µg m<sup>-3</sup>), évaluée par le modèle « PinG » (gauche) et par le modèle eulérien (droite). Le marqueur noir indique l'emplacement de la raffinerie de la Mède, et le marqueur vert l'emplacement du site de mesures STNA.

Les comparaisons aux mesures des deux campagnes TEMMAS permettent de déterminer les points d'améliorations suivants :

- Sous-estimations des NO<sub>x</sub> et PM<sub>10</sub> du trafic : liées aux inventaires d'émissions. La représentation des PM<sub>10</sub> peut être améliorée en incluant la resuspension des poussières par le vent et par le trafic.
- Composition des PM<sub>1</sub> : les fractions de BC et OM en période de pics sont sous-estimées. Ces sous-estimations sont en partie liées à la spéciation chimique appliquée aux émissions de la raffinerie, issue de l'inventaire d'AirPACA. La proportion de BC émise est faible, et la spéciation ne comprend pas d'OM. Cette spéciation pourra probablement être améliorée avec les mesures réalisées aux cheminées de la raffinerie.

- Le modèle CTM nécessite une modélisation météorologique eulérienne qui génèrent des biais sur la l'interprétation, en effet malgré le forçage par les mesures Lidar vent, les directions simulées présentent un biais significatifs. De fait, les cheminées de la raffinerie qui impactent dans la simulation Polair Ping ne sont pas toujours les bonnes.
- Sous-estimation du nombre de particules fines, lors de l'observation du panache de panache au STNA plusieurs hypothèses sont en cours d'investigation :
  - Le biais sur la direction du vent du modèle Polair qui ne simule pas l'impact des bons émissaires à cet endroit
  - une distribution en taille des PM à l'émission, centrée sur des classes de tailles trop grosses.

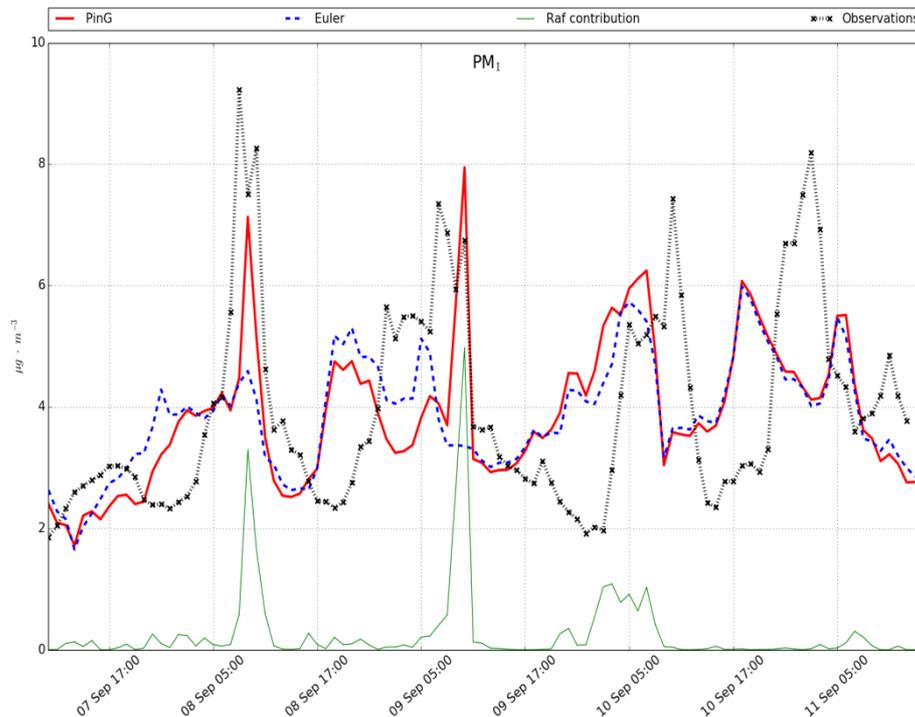


Figure 15. Résultats des simulations « PinG » et eulérienne pour la modélisation des PM<sub>1</sub>, en comparaison aux mesures de l'AMS (µg m<sup>-3</sup>).

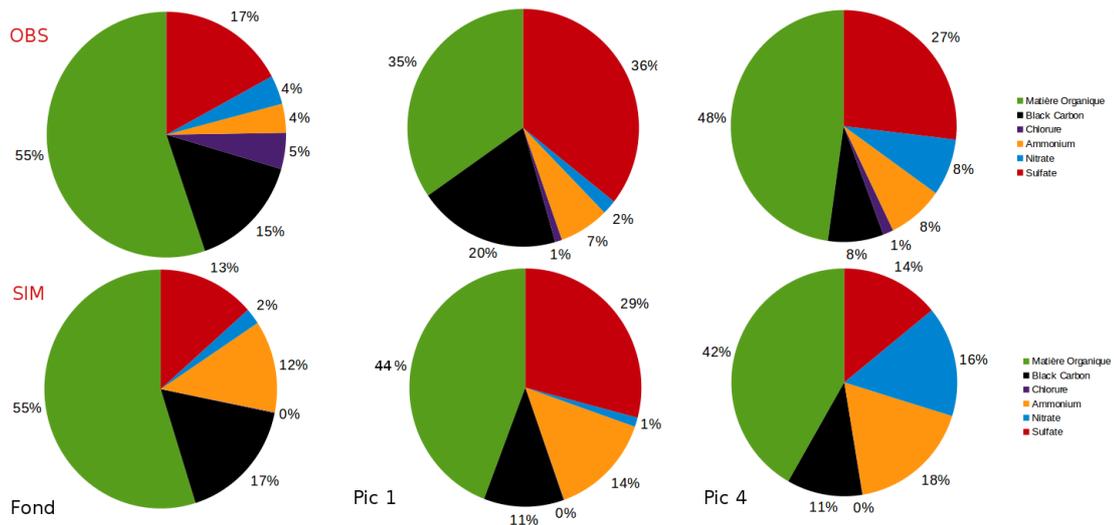


Figure 16. Comparaisons de la composition chimique des PM<sub>1</sub> modélisée par le modèle « PinG » (figures du bas) aux mesures de l'AMS (figures du haut).

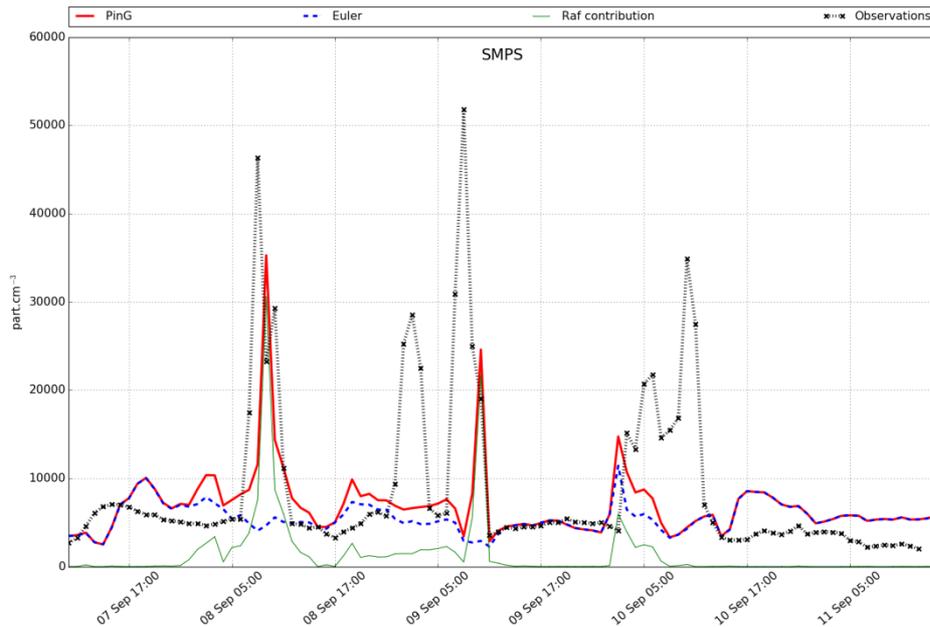


Figure 17. Concentrations en nombre des particules de diamètre compris entre 15 et 685nm modélisées par les modèles « PinG » et eulérien, en comparaison aux mesures du SMPS (part cm<sup>-3</sup>).

## Bilan de la comparaison modélisation / mesures avion

L'évolution des concentrations dans le panache de la chaudière 11 a été simulée avec le PinG de Polyphemus, et confronté avec la mesure avion. On obtient une quantité de particule simulée deux fois supérieure à l'estimation par avion proche de l'émissaire, et alors que la simulation continue à accroître la masse de particules formée, la mesure hyperspectrale décroît en fonction de la distance de la source.

Compte tenu de la faible distance sur laquelle la caméra embarquée est capable de suivre les panaches, des modélisations à échelle locale ont été conduites pour mieux reproduire le comportement du panache à la source. Pour représenter la complexité du site industriel et du relief escarpé, le choix du modèle de dispersion s'est orienté vers un modèle 3D Lagrangien SLAM (Safety Lagrangian Atmospheric Model) prenant en compte la turbulence dans les écoulements d'air sur le site d'étude.

La raffinerie a été simulée avec un maillage de l'ordre du mètre à la dizaine de mètres pour être à la résolution des mesures caméra. La dispersion des particules primaires avec SLAM permet d'affiner l'évaluation de l'estimation du flux d'émission à partir des mesures hyperspectrales obtenues par vol avion. Les améliorations apportées par la modélisation lagrangienne sont :

- Une estimation de l'emprise tridimensionnelle du panache.
- La vitesse du vent à l'altitude et à la localisation du panache observé.
- La fraction du panache pris en compte par la mesure caméra

Pour la CH11, la correction par les calculs SLAM de l'estimation des débits d'émissions par caméra conduit à une évolution plus cohérente avec l'ordre de grandeur des simulations Polyphemus.

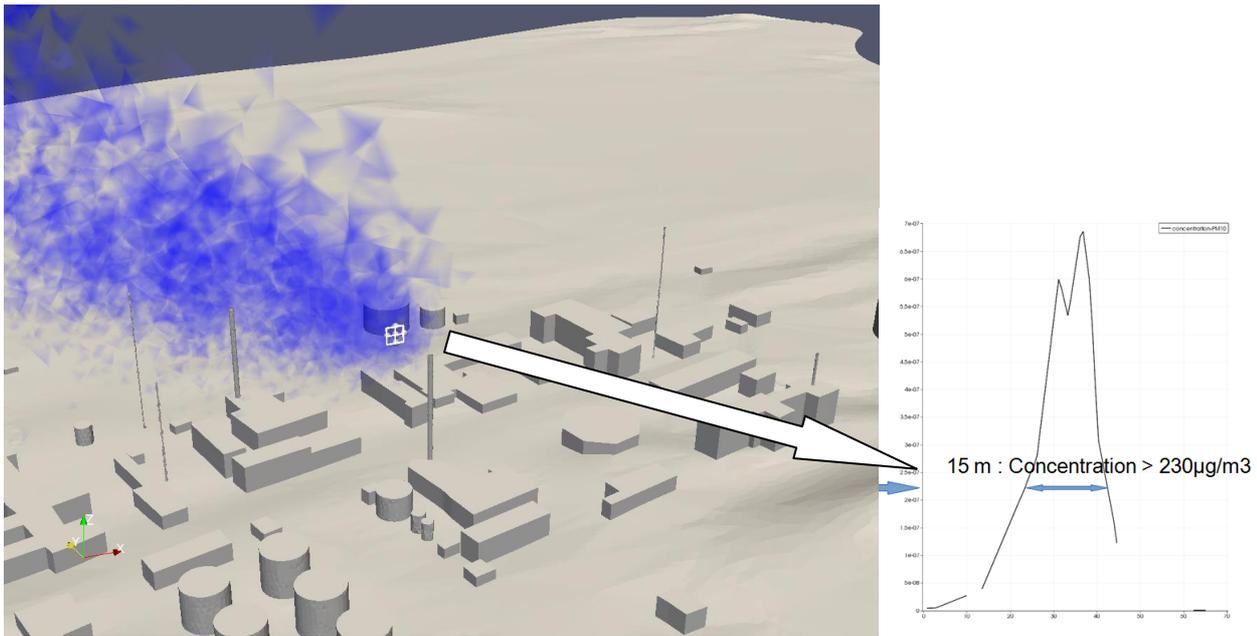


Figure 18 : simulation de la dispersion des particules de la CH11 au moment de la prise de l'image avion 20 N. La variation de concentration dans la box est reportée sur le graph de droite, la largeur du panache vue par la caméra n'est que de 15 mètres, donc ne représente qu'une fraction du panache.

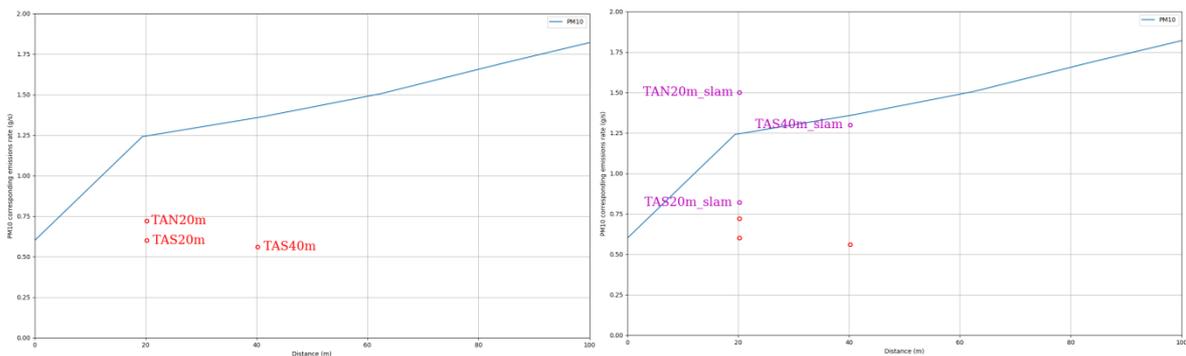


Figure 19 : Evolution des particules de la CH11 en fonction de la distance à la source. A : simulation polyphemus Ping par rapport aux mesures caméra Hyperspectrale ONERA ; B corrections des débits estimés par caméra hyperspectrale ONERA par l'emprise du panache simulé avec SLAM.

### 3. CONCLUSIONS –PERSPECTIVES - RECOMMANDATIONS

Le projet TEMMAS a permis de réaliser deux campagnes de mesures à l'intérieur et dans la périphérie du site de la raffinerie TOTAL de La Mède en Septembre 2015 et Février 2016. Ces mesures in-situ et de télédétection ont permis de mettre en avant les émissions propres de la raffinerie par rapport au fond d'aérosol dans la zone de l'étang de Berre, à savoir des particules ultrafines (distribution granulométrique centrée sur 50nm) composées majoritairement de sulfates et en proportion moindre de carbone élémentaire (suie). Les concentrations relevées sur les différents sites de prélèvement ont montré que durant les deux campagnes les seuils réglementaires n'ont pas été dépassés, l'influence de la raffinerie dans le premier kilomètre se traduisant par une augmentation maximum de l'ordre  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  lors des deux campagnes.

Les prélèvements à l'intérieur et à l'extérieur de la raffinerie sont très cohérents en termes de types d'aérosols et aucune modification notable n'a pu être mise en évidence entre la raffinerie et son environnement proche.

Les mesures de télédétection hyperspectrales au niveau des émissaires principaux ont montré qu'effectivement les panaches étaient peu denses à l'émission et ont permis de montrer que la distribution granulométrique et le rapport sulfate/suie était très similaires aux mesures réalisées dans l'environnement proche. La quantification des principaux émissaires a été possible grâce à un traitement temporel des images hyperspectrales et les estimations d'émissions réalisées sont cohérentes avec les ordres de grandeurs des simulations en intégrant des corrections

Les nouveaux outils de modélisation fine échelle ont montré que leur utilisation permettait de bien rendre compte des mesures réalisées en bordure du site, ce qui constitue un réel apport en terme de modélisation d'impact et de prévision de la qualité de l'air à l'échelle locale.

Enfin les partenaires sont unanimes sur le fait que ce type d'étude nécessite de pouvoir réaliser des campagnes de mesures sur un temps plus long afin de s'assurer de rencontrer des conditions climatiques favorables (absence de pluie, vent modéré et inversion thermique pour la campagne hivernale en particulier) et de pouvoir palier à des problèmes instrumentaux (absence de mesures Lidars aérosols et de profils verticaux d'aérosols en particulier pour cette campagne suite à des aléas techniques).

Il pourrait donc s'avérer pertinent dans le cadre de futurs projets de prévoir un suivi temporel plus régulier sur les sites étudiés et d'identifier des installations industrielles ayant un impact environnemental plus conséquent, ce qui permettrait de consolider les comparaisons entre les mesures aéropartées, la modélisation et les mesures sols ainsi que la procédure d'estimation de débits massique par imagerie hyperspectrale. En effet. La figure ci-dessous illustre bien le potentiel de l'imagerie hyperspectrale comme moyen de spatialiser les panaches sur des distances kilométriques et donc de réaliser des comparaisons pertinentes avec la modélisation fine échelle.

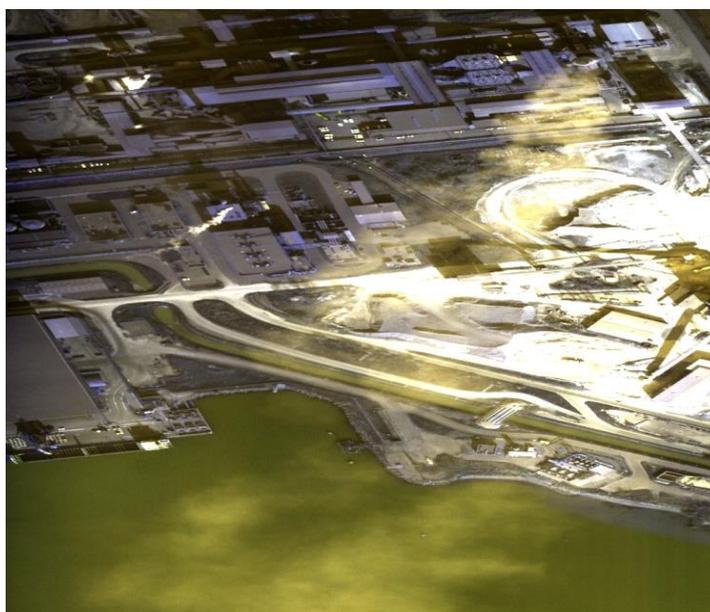


Figure 20 : Visualisation d'un panache sur le site de Fos (Industrie Métallurgique). Composition colorée obtenue à partir d'une image hyperspectrale acquise dans les mêmes conditions que les mesures TEMMAS.

#### 4. PUBLICATIONS DES RESULTATS

Foucher, P-Y., Armengaud, A., Courtier, G., Deliot, P., Duclaux, O., Durand, A., Fraces, M., Huet, T., Juery, C., Lapeyrie, S., Legorgeu, C., Leon, J.-F., Piga, D., Raffort, V., Roustan, Y., Sarrat, C., Temime, B., Wortham, H. The TEMMAS project: Teledetection, Measure, Modeling of Atmospheric pollutants on industrial sites, International Conference on Aerosol Cycle, 2017.

V.Raffort, Foucher P-Y., Armengaud, A., Courtier, G., Deliot, P., Duclaux, O., Durand, A., Fraces, M., Huet, T., Juery, C., Lapeyrie, S., Legorgeu, C., Leon, J.-F., Piga, D., Roustan, Y., Sarrat, C., Temime, B., Wortham, H. Evaluation of a plume in grid modeling approach at an industrial site in southeastern France , International Conference on Aerosol Cycle, 2017.

O. Duclaux, Raffort. V, Roustan Y., Lemus J., Foucher P-Y., Armengaud, A., Juery, Wortham, H., The TEMMAS project "Teledetection, Measure, Modeling of Atmospheric pollutants on industrial Sites" : Confrontation of PM analysis with dispersion models (non reactive Lagrangian model and Plume in Grid model with chemical mechanism), AWMA 2017 Air Quality Measurement Methods and Technology Conference, November 7-9, 2017, Long Beach, CA.

## 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. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence 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'Environnement, de l'Energie et de la Mer et du ministère de l'Education nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### ILS L'ONT FAIT

*L'ADEME catalyseur* : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

*L'ADEME expert* : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



#### FAITS ET CHIFFRES

*L'ADEME référent* : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

*L'ADEME facilitateur* : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



#### HORIZONS

*L'ADEME tournée vers l'avenir* : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



# PROJET TEMMAS

## 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 ont été réalisées sur le site de la raffinerie TOTAL de La Mède.

Les résultats obtenus montrent de façon claire qu'il est possible de mettre en correspondance les propriétés microphysiques des aérosols avec les gaz traceurs de panache à partir de mesures sol et 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 au sol. Si la cartographie des aérosols par Lidar n'a pu être réalisée suite à différents problèmes techniques lors des campagnes, les acquisitions d'images hyperspectrales ont montré la possibilité de localiser les sources d'aérosols et d'identifier le type et l'épaisseur optique en bonne adéquation avec les données sol. Enfin l'exercice de modélisation fine échelle réalisé a montré qu'il était possible de reproduire la dispersion du panache avec une très bonne résolution spatiale avec des résultats en bonne cohérence avec les mesures sols.

ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

