

## Fiche “ Valorisation des résultats des campagnes aéroportées ” Campagne d'évaluation 2017

### Nom de la campagne : TEMMAS- HYSPEX

Projet / Programme de rattachement : TEMMAS (Projet ADEME)

Domaine scientifique : Télédétection – Analyse émissions canalisées d'aérosols

Avion : ATR42 / Piper Aztec

Dates de la campagne : Septembre 2015 et Février 2016

Nombre de jours scientifiques : 5

Nombre d'heures de vols :25

Aéroport(s) :

PI (Principal Investigator), Nom, prénom et organisme : Pierre-Yves Foucher - ONERA

Nombre de chercheurs et d'enseignants-chercheurs : 6

Nombre d'ingénieurs et de techniciens : 3

Nombre d'étudiants :2

Fiche remplie par : Pierre-Yves Foucher

Date de rédaction ou d'actualisation de la fiche : Mai 2019

Adresse :Avenue Edouard Belin 31055 Toulouse CEDEX

Email : pierre-yves-foucher@onera.fr

Tel :0562252619

Résumé (20 lignes maximum) :

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. La première campagne a eu lieu en Septembre 2015 sur une période de dix jours et la seconde s'est déroulée en février 2016 sur dix jours également. Durant ces campagnes, différents ateliers de mesures ont été déployés, en particulier : (i) prélèvements d'aérosols sur filtres en sortie de l'émissaire principal, à l'intérieur et à l'extérieur du site ; (ii) prélèvement et 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.

### Résultats majeurs obtenus

#### 1 – Contexte scientifique et programmatique de la campagne

Aujourd'hui il existe très peu de données d'observations permettant de suivre l'évolution spatio-temporelle des émissions en champ proche sur site industriel et donc de valider la modélisation numérique des processus de chimie-transport mis en jeu à petite échelle en particulier pour les aérosols les plus fins. En effet, même s'il existe des données d'inventaire des émissions canalisées par les industriels et des estimations des flux diffus, les rejets atmosphériques interagissent avec leur environnement et ainsi se transforment. Par conséquent, les particules émises ne sont pas nécessairement celles inhalées à 1km de là. La compréhension des mécanismes de dispersion et de modification physico-chimique des particules dans l'atmosphère entre les différentes sources de polluants industriels ou non et la mesure de la qualité de l'air en zone proche est un problème majeur si l'on veut pouvoir disposer de modèle de qualité de l'air fiable à l'échelle locale et pouvoir définir les actions spécifiques à la source à entreprendre pour son amélioration.

Ce projet s'inscrit très clairement dans la problématique de la caractérisation de l'évolution de la granulométrie et des propriétés des aérosols depuis la source d'émission à la formation d'aérosols secondaires afin de pouvoir faire le lien entre

les données à l'émission et leur exploitation in fine au titre de l'amélioration de la qualité de l'air. Ce projet de recherche en connaissances nouvelles est ainsi centré sur la mesure par télédétection à haute résolution spatiale par moyens aéroportés et depuis le sol des polluants atmosphériques proches des émissions industrielles et lors de la dilution du panache dans son environnement immédiat afin d'améliorer la modélisation locale et régionale de leurs impacts sanitaires. Ce projet apportera ainsi sa contribution aux actions permettant de mieux cibler localement les actions futures à réaliser pour respecter les seuils réglementaires d'exposition aux particules les plus fines en particulier.

## 2 – Rappel des objectifs

Ce projet se positionne sur la thématique de « l'Amélioration des connaissances des caractéristiques des composés émis et de leur évolution dans le champ proche de la source » en se concentrant sur la thématique des émissions industrielles de particules fines. Les polluants visés sont prioritairement les particules PM10, PM2.5, PM1, leurs teneurs en matière organique, carbone-suie, sels inorganiques et métaux. Un effort particulier sera réalisé pour l'analyse des liens entre particules et précurseurs : COV, NOx, SO2.

La méthodologie proposée, basée sur des outils de télédétection à haute résolution spatiale depuis le sol et par avion, est totalement originale, elle devrait permettre d'améliorer nos connaissances sur les émissions de particules et leur devenir en champ proche. A partir de ces outils de télédétection, nous cherchons à caractériser les principales propriétés physico-chimiques de l'aérosol sur une zone géographique (quelques km2) incluant différentes sources ponctuelles ou diffuses à l'intérieur de la zone régionale incluant la zone de l'étang de Berre (Gros et al., 2004).

## 3 – Données acquises - analyses effectuées – Principaux résultats obtenus

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.



*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. 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 principale du site. 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 principale 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 de mesures au sol en zone proche de la raffinerie.

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.

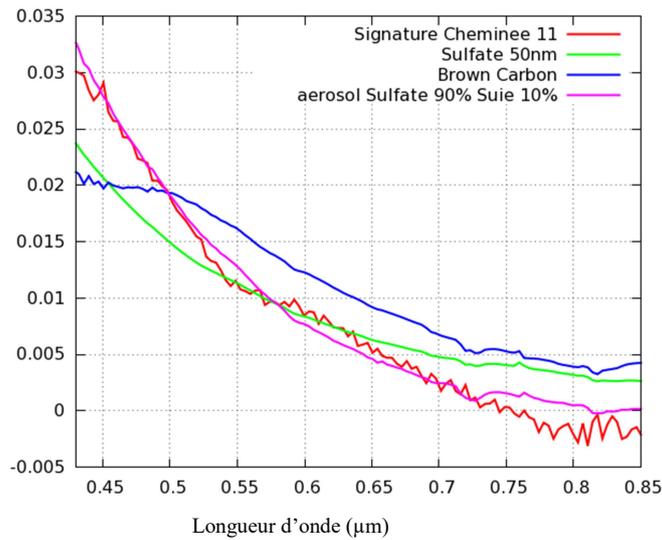


Figure 1 : Signature spectrale observée pour le panache de la cheminée 11. La courbe en rouge correspond à la signature mesurée à partir des observations hyperspectrales aéroportées et les courbes verte, bleue, et violette correspondent aux calculs théoriques de signatures attendues pour respectivement 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 principale.

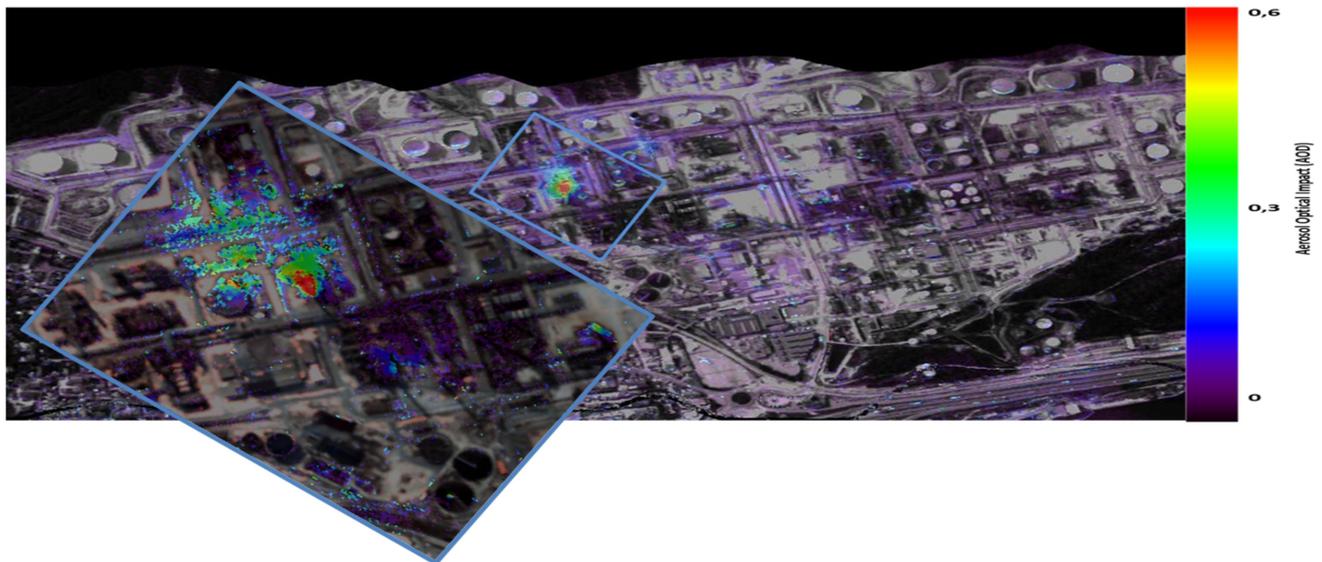


Figure 2 : Image en épaisseur optique d'aérosol obtenue sur le site de la Mède par imagerie hyperspectrale aérosol

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.

### Tableau récapitulatif

		Nombre
1	Publications d'articles originaux dans des revues avec comité de lecture référencées dans <b>JCR</b> ( <i>Journal Citation Reports</i> ) (ajouter des lignes si nécessaire)	
	Année n+1 :	
	Année n+2 :	
	Année n+3 : 2019	1
	Année n+4 :	
	Année n+5 :	
	Année n+6 :	
	Année n+7 :	
	<b>Total</b>	1
2	Publications dans d'autres revues ou ouvrages scientifiques faisant référence dans le domaine	
3	Publications sous forme de rapports techniques	2
4	Articles dans des revues ou journaux « grand public »	
5	Communications dans des colloques internationaux	5
6	Documents vidéo-films	1
7	DEA ou MASTER 2 ayant utilisé les données de la campagne	2
8	Thèses ayant utilisé les données de la campagne	1 (2)
9	Transmission à une banque de données	Non
11	Lien vers la banque de données	
12	Considérez-vous la publication des résultats terminée ? Si en cours, préciser et donner les échéances	en cours : des publications pour articles dans des revues à comité de lecture sont en préparation : 2

## Références

**R1 - Références des publications d'articles originaux dans des revues avec comité de lecture référencées dans JCR** (vérifier dans la base « Journal Citation Reports » via « ISI Web of Knowledge » si les revues sont bien référencées) et **résumés des principales publications**, (Les classer par années croissantes), en précisant les DOI.

**P.Y. Foucher**, P. Déliot, L. Poutier, O. Duclaux, V. Raffort, Y. Roustan, B. Temime-Roussel, A. Durand and H. Wortham, "Aerosol Plume Characterization From Multi temporal Hyperspectral Analysis," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. doi: 10.1109/JSTARS.2019.2905052, April 2019.

Ce papier propose une méthodologie de caractérisation des PM (Particulate Matter) proches des sources industrielles par imagerie hyperspectrale aéroportée. Il s'appuie sur deux campagnes de mesures réalisées autour d'une raffinerie dans le sud de la France en Septembre 2015 et Février 2016. Différents protocoles de mesures in-situ des PM ont été réalisées dans ce cadre, mesures au niveau de l'émissaire principal (débit et analyse chimique) et mesures on-line au voisinage de la raffinerie (distribution en taille, concentration et analyse chimique). Une méthodologie multi-temporelle dédiée à l'inversion des types d'aérosols présents dans le panache permettant de fournir une carte en concentration d'aérosols et d'estimer le débit est décrite dans ce papier. Appliquée à ce cas d'étude, les résultats hyperspectraux ont permis d'estimer un rapport suie/sulfate de 10/90 en masse dans le panache avec une distribution en taille inférieure à 100nm. Ces résultats sont en bon accord avec les mesures in-situ. Les cartes en concentration obtenue à une résolution métrique permettent d'estimer un débit de l'ordre de 1g/s en bon accord avec les mesures in-situ au niveau de l'émissaire et avec les résultats de modélisation de dispersion des aérosols.

**R2 – Références des publications parues dans d'autres revues ou des ouvrages scientifiques faisant référence dans la discipline.** (Les classer par année).

**R3 – Références des rapports techniques.** (Les classer par année).

Les rapports fournis pour l'ADEME et une video du projet sont accessibles sur ce lien :

<http://www.airpaca.org/fiche-etude/temmas-teledetection-mesures-situ-et-modelisation-des-polluants-atmospheriques-sur-site>

**R4 – Références des articles parus dans des revues ou des journaux « grand public ».** (Les classer par année).

Une présentation de synthèse du projet a été faite pour l'atelier de restitution grand public du programme CORTEA de l'ADEME qui a eu lieu en Novembre 2017.

**R5 – Références des communications dans des colloques internationaux.** (Les classer par années croissantes).

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.

P.Y.. Foucher, P. Déliot, L. Poutier, O. Duclaux, V. Raffort, Y. Roustan, B. Temime-Roussel, A. Durand and H. Wortham, "Aerosol Plume Characterization From Multi temporal Hyperspectral Analysis," IEEE - IGARSS Conference, July 2018.

O. Duclaux, Raffort. V, Roustan Y., Lemus J., Foucher P-Y., Armengaud, A., Juery, Wortham, H., "Complementarity of models (CTM-PinG and Lagrangian) to reproduce full chemistry in Refinerie plumes", AWMA 2019 Air Quality Measurement Methods and Technology Conference, March 19-21, 2019 Durham, NC.

**R6 – Liste des documents vidéo-films. (Les classer par année).**

3 rapports pour l'ADEME et une video du projet accessibles sur ce lien :

<http://www.airpaca.org/fiche-etude/temmas-teledection-mesures-situ-et-modelisation-des-polluants-atmospheriques-sur-site>

**R7 – DEA ou MASTER 2 ayant utilisé les données de la campagne (Nom et Prénom de l'étudiant, Laboratoire d'accueil. Sujet du DEA ou MASTER, Date de soutenance)**

Baptiste Hueber / ONERA-DOTA / Master 2 OSAE Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace  
« Analyse de données optiques pour la caractérisation de panaches d'aérosols à haute résolution spatiale » soutenue en Aout 2016.

Nicolas Nesme / ONERA-DOTA / Master 2 TSI Techniques Spatiales et Instrumentation  
« QUALITE DE L'AIR ET SUIVI DES AEROSOLS PAR TELEDETECTION HYPERSPECTRALE » soutenance prévue en Septembre 2019.

**R8 – Thèses ayant utilisé les données de la campagne (Nom et Prénom de l'étudiant, Laboratoire d'accueil. Sujet de la thèse, Date de soutenance)**

Valentin Raffort / CEREA / Modélisation des particules : Participation à Eurodelta et étude au voisinage d'une raffinerie. Soutenue le 27/06/2017 .

Gabriel Calassou / ONERA/CNES / Télédétection par imagerie hyperspectrale pour la cartographie des émissions de particules d'aérosols dans l'atmosphère Début prévu en Octobre 2019

**R10 – Liste des données transmises (Préciser les destinataires, SEDOO, autres banques de données, équipes scientifiques ...)**

**R11 – Liste des résultats restant à publier – échéance**

- Apport des données hyperspectrales pour l'amélioration de la modélisation des panaches (2020)
- Apport des futures missions spatiales hyperspectrales pour la caractérisation des panaches industriels (2020)