



Nov.
2018

ANALYSEUR COMBINÉ DES PARTICULES À L'ÉMISSION

Projet ACOPEM

SYNTHÈSE

ADEME



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

En partenariat avec :



**UNIVERSITÉ DE
FRANCHE-COMTÉ**

REMERCIEMENTS

Emmanuel Fiani (ADEME)
Pierre Kerdoncuff (ADEME)
Denis Vermaut (ADEME)

Rony Akiki (ENVEA)
Alexandre Bescond (ENVEA)
Claire Thaury (ENVEA)
Thierry Tonnelier (ENVEA)

Yannick Bailly (Université de Franche-Comté - FEMTO-ST)
François Guermeur (Université de Franche-Comté - FEMTO-ST)

CITATION DE CE RAPPORT

THAURY Claire, ENVEA. 2018. Analyseur combiné des particules à l'émission – Projet ACOPEM. Synthèse. 9 pages.

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 : 1581C0025

Projet de recherche coordonné par : Rony Akiki et Yannick Bailly
Appel à projet de recherche : CORTEA 2015

Coordination technique - ADEME : KERDONCUFF Pierre
Direction Productions et Energies Durables / Service Industrie



SOMMAIRE

1. Généralités	4
1.1. Contexte du projet	4
1.2. Objectifs du projet	4
1.3. Présentation des partenaires du projet	5
1.3.1. ENVEA	5
1.3.2. Equipe THERMIE / Département ENERGIE de l'Institut FEMTO-ST / Université de Franche-Comté	5
2. Principales réalisations du projet	6
2.1. Gestion du projet	6
2.2. Elaboration du cahier des charges	6
2.3. Modélisation numérique	6
2.4. Conception	6
2.5. Essais en laboratoire	7
2.6. Réalisation d'un démonstrateur et essais sur site	7
2.7. Dissémination et valorisation	7
3. Conclusion	7



1. Généralités

1.1. Contexte du projet

La stratégie thématique sur l'air de la Commission européenne (Communication COM(2005) 446 du 21 septembre 2005) indique que les niveaux ambiants de PM 2,5 sont responsables d'une baisse de l'espérance de vie de près d'une année en moyenne sur le territoire de l'Union européenne. Plus récemment, cet effet sur l'espérance de vie a été confirmé par l'étude Aphekom. Ce constat a servi de base au renforcement de la législation européenne sur la qualité de l'air ambiant en matière de PM_{2.5} (directive 2008/50/CE). Par ailleurs, l'avis de l'Anses sur les particules fines du 23 mars 2009 conclut qu'on ne peut trouver de seuil de pollution au-dessous duquel il n'y aurait pas d'impact sanitaire et que les expositions fréquentes à des niveaux modérés de pollution ont plus d'impact sanitaire que les pics, en France. L'Anses recommande donc de donner la priorité à la réduction à la source.

Selon l'inventaire du CITEPA d'avril 2014 (données 2012), les trois secteurs qui contribuent le plus aux émissions primaires de PM_{2.5} à l'échelle de la France sont : le résidentiel tertiaire (48 %), l'industrie manufacturière (22 %) et les transports (17 %).

Sur le plan métrologique, les appareils de mesure de poussières totales à l'émission sont disponibles sur le marché depuis plusieurs décennies. Ceux permettant la mesure de fractions fines, en particulier PM₁₀ et PM_{2.5}, ont émergé depuis une quinzaine d'années et ont été développés ou testés dans le cadre de conventions ADEME (par exemple la convention 0774C0079). La normalisation de ce type d'appareil fait l'objet de travaux dans le cadre de l'ISO/TC 146/GT 20.

1.2. Objectifs du projet

L'objectif du projet ACOPEM est de développer un nouveau système de mesure permettant de déterminer les fractions massiques PM_{2.5} et PM₁₀ issues de la combustion de la biomasse dans les effluents gazeux.

Ce dispositif sera constitué de deux cellules de mesure :

- un granulomètre optique capable de déterminer la taille et le nombre de particules,
- un système de mesure de la concentration massique totale des particules.

La combinaison de ces deux cellules de mesure doit permettre d'accéder, d'une part à la mesure des poussières totales conformément aux normes EN 15267-3 et EN 14181 dans une gamme de 0 - 15 mg/m³ et avec une limite de détection de 0,05 mg/ m³, et d'autre part aux fractions massiques PM_{2.5} et PM₁₀ suivant les mêmes limites de détection (0,05 mg/ m³).

La figure 1 illustre le schéma de principe du dispositif envisagé. Ce dispositif est composé du granulomètre optique conçu dans le cadre du projet ACOPEM, et d'un système certifié (QUAL181 WS) développé et produit par le groupe ENVEA. La résolution et la dérive de zéro du QUAL181 WS sont optimisées de façon à obtenir une mesure précise sur toute la gamme certifiée (0-15 mg/ m³). La technique ProScatterTM utilisée, recueille le cône de lumière diffusée vers l'avant par les particules présentes dans le volume de mesure et traversant un faisceau laser. En utilisant un volume de mesure supérieur aux autres technologies existantes, l'appareil offre des performances plus élevées en termes de limite de détection (0,05 mg/ m³) et de résolution, et réduit l'effet du changement de la taille des particules sur la mesure. Cependant cette technique de mesure globale d'un nuage de particules ne permet pas de mesurer le spectre granulométrique des particules pour déterminer les fractions massiques PM_{2.5} et PM₁₀.

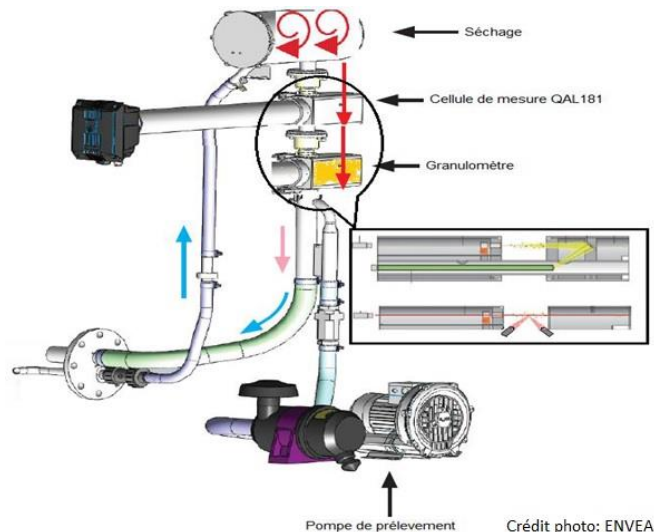


Figure 1 : Schéma de principe du dispositif envisagé

1.3. Présentation des partenaires du projet

1.3.1. ENVEA

ENVEA (ex. Environnement S.A) est l'une des toutes premières entreprises internationales d'instrumentation d'analyse et de mesure pour l'environnement et les procédés industriels.

Depuis son origine, l'activité principale du groupe est la conception, le développement, la fabrication et la commercialisation d'une gamme avancée d'analyseurs de gaz et de particules, de micro-capteurs et de systèmes de prélèvement pour l'analyse de la qualité de l'air et le contrôle des émissions.

D'autres départements ont été progressivement rattachés : mesure des gaz moteurs ; surveillance des radionucléides ; pollution des eaux... La société possède un important savoir-faire en réalisation de systèmes complets installés clés en mains : laboratoires mobiles, réseaux de surveillance, baies d'analyse des gaz, etc. Ces ensembles permettent au groupe de répondre aux exigences réglementaires locales et internationales, aux objectifs de réduction des impacts environnementaux et plus récemment, via ses filiales, à l'optimisation des procédés industriels.

Ces différentes gammes de produits, sont complétées par des systèmes d'acquisition de données et logiciels dédiés développés par les équipes d'Iseo, filiale du groupe et spécialiste des systèmes d'informations environnementales.

1.3.2. Equipe THERMIE / Département ENERGIE de l'Institut FEMTO-ST / Université de Franche-Comté

L'institut FEMTO-ST (Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique – Sciences et Technologies, UMR 6174), est une unité mixte de recherche, placée sous la quadruple tutelle de l'Université de Franche-Comté (UFC), du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques (ENSMM) et de l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard (UTBM).

Le département ÉNERGIE de l'institut focalise ses activités de recherche sur la conversion et la gestion de l'énergie. L'ensemble des travaux menés par le département s'appuie sur des approches théoriques (modélisations, simulations) et expérimentales en lien avec des systèmes énergétiques multi-physiques (électriques, thermiques, mécaniques, fluidiques), souvent dans le cadre de partenariats industriels et académiques nationaux et internationaux.

Le département est organisé en 2 équipes de recherche dont l'équipe THERMIE qui mène des activités de recherche dans les domaines de la thermique et de la mécanique des fluides. Ces recherches liées à l'efficacité énergétique des systèmes de conversion d'énergie mettent en œuvre des compétences liées à la compréhension des phénomènes physiques énergétiques, au développement de capteurs et de méthodes de diagnostics dans les écoulements, à la modélisation, la conception et la réalisation de machines thermiques. L'équipe possède par ailleurs de fortes compétences en matière de modélisation numérique de la lumière diffusée par des particules individuelles ou groupées.



2. Principales réalisations du projet

Ce projet était structuré en sept lots.

2.1. Gestion du projet

Plusieurs réunions d'avancement du comité de pilotage ont été organisées (réunion de lancement le 3 juillet 2015, réunions d'avancement le 8 juin 2016 et le 30 juin 2017, réunion de clôture le 13 novembre 2018). Plusieurs réunions techniques ont également été organisées entre les équipes d'ENVEA et de FEMTO-ST.

Trois rapports ont par ailleurs été transmis à l'ADEME, comme convenu dans la convention 15-81-C0025 et son avenant 1, afin de décrire les travaux réalisés et l'état d'avancement du projet.

2.2. Elaboration du cahier des charges

Le lot 2 avait pour objectif d'identifier les applications industrielles, l'état de l'art et les réglementations en cours pour la mesure des fractions $PM_{2.5}$ et PM_{10} dans les applications industrielles et notamment la combustion de la biomasse. Une note synthétisant tous ces sujets a été produite et diffusée en début de projet.

Ce lot incluait également la rédaction d'un cahier des charges qui n'a finalement pas été réalisé puisque le concept proposé dans le cadre de ce projet était très novateur et susceptible d'évoluer à plusieurs reprises au cours du projet. Un cahier des charges fixé en début de projet aurait ainsi contraint et limité les possibilités d'évolution du concept avant même sa validation. Le projet ACOPEM se termine donc sans cahier des charges puisque le démonstrateur complet n'a pu être validé (combinaison de deux systèmes de mesure pour la détermination des fractions massiques $PM_{2.5}$ et PM_{10} issues de la combustion de la biomasse dans les effluents gazeux).

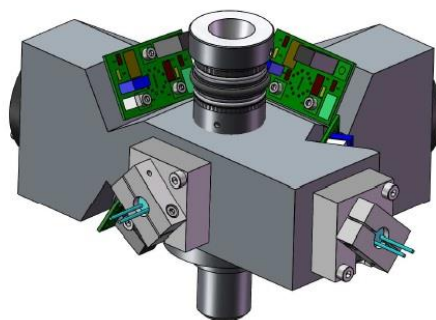
2.3. Modélisation numérique

Le lot 3 était attribué à l'équipe de FEMTO-ST et visait à concevoir un nouveau concept de granulomètre optique à partir de calculs numériques de diffusion de la lumière par des particules susceptibles d'être rencontrées dans des applications de combustion de la biomasse.

Ces calculs ont permis de proposer un concept novateur de détection de la lumière diffusée par les particules et d'identification de leur taille par reconnaissance à partir d'une base de données numérique. L'ensemble des tâches de ce lot a été réalisé.

2.4. Conception

Le lot 4 était attribué à l'équipe d'ENVEA et visait à concevoir et mettre en œuvre deux maquettes du granulomètre optique suivant le concept développé dans le cadre du lot 3. L'ensemble des tâches de ce lot a été réalisé.



Crédit photo: ENVEA

Figure 2: Vue 3D de la maquette du granulomètre

2.5. Essais en laboratoire

Le lot 5 avait pour objectif de réaliser des essais en laboratoire afin de valider le fonctionnement des maquettes et tester leurs performances métrologiques. Des premiers tests ont été réalisés par l'équipe d'ENVEA et ont permis de mettre en évidence des limitations techniques majeures liées à la qualité du profil spatial des lasers et au rapport signal sur bruit des détecteurs. La réalisation du lot 5 a donc été retardée et un prolongement de la convention a été accordé par l'ADEME (avenant 1) afin de permettre de lever ces verrous technologiques. Des travaux ont donc pu être menés afin d'améliorer la qualité des profils spatiaux des sources laser et réduire le bruit de détection du système de mesure.

Cependant, l'ensemble des tâches du lot 5 n'a pu être réalisé avant la fin de la convention. En effet, les essais de validation et d'ajustement du modèle numérique sont toujours en cours de réalisation par l'équipe de FEMTO-ST.

Les tests de validation en laboratoire externe (AEROLAB) ne pourront donc être menés avant l'issue de ces essais. Ces tests visaient à effectuer une validation finale des performances du granulomètre au sein d'un laboratoire équipé de moyens certifiés pour générer des particules calibrées et des analyseurs de référence pour mesurer leur granulométrie. La validation du lot 5 était conditionnée par les résultats de ces tests et représentait un jalon de type GO / NO GO pour le démarrage du lot 6.

2.6. Réalisation d'un démonstrateur et essais sur site

Le lot 6 avait pour objectif le développement d'un démonstrateur (combinaison d'un granulomètre optique avec un système de mesure de la concentration massique totale des particules) et la réalisation d'essais sur site. L'ensemble des tâches de ce lot n'a pu être réalisé, étant donné l'absence de validation du lot 5.

2.7. Dissémination et valorisation

Le lot 7 concerne la dissémination et valorisation des résultats obtenus. Le nouveau concept de granulomètre développé dans le cadre de ce projet étant susceptible d'être breveté, aucun résultat scientifique n'a encore été publié. Le dépôt de brevet sera réalisé lorsque les tâches du lot 5 seront entièrement validées.

3. Conclusion

Ce projet a permis de développer un nouveau concept de granulomètre optique. Les premiers tests de validation réalisés en laboratoire ont donné des résultats très encourageants mais doivent être complétés, à court terme, par une caractérisation des performances obtenues par injections de particules calibrées en taille. Une fois validé, ce nouveau concept de granulomètre optique fera l'objet d'un dépôt de brevet.

Malheureusement, les objectifs visés initialement n'ont pu être atteints en totalité. Ainsi, le démonstrateur et les essais sur un site de combustion de biomasse ne pourront être réalisés avant la fin de la convention de financement. Néanmoins, si la faisabilité du concept est démontrée, ENVEA poursuivra ce projet sur fonds propres.



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, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

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 un 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.



ANALYSEUR COMBINÉ DES PARTICULES À L'ÉMISSION – PROJET ACOPEM

Le projet ACOPEM, financé par l'ADEME, est le fruit d'une collaboration entre l'équipe de recherche et développement du groupe ENVEA et celle de Yannick Bailly de l'institut FEMTO-ST.

Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet ont conduit au développement d'un granulomètre optique basé sur un concept innovant.

Deux maquettes du granulomètre optique ont été fabriquées afin de pouvoir mettre en œuvre et valider expérimentalement ce nouveau concept. Plusieurs essais en laboratoire ont ensuite été réalisés sur ces maquettes pour tester leurs performances métrologiques.

Associé à un système de mesure certifié de la concentration massique totale des particules, le dispositif sera, à moyen terme, appliqué à l'analyse des effluents gazeux issus de la combustion de la biomasse et permettra de mesurer:

- la concentration massique totale, conformément aux normes EN 15267-3 et EN 14181 pour une gamme de 0 - 15 mg / m³ et avec une limite de détection de 0,05 mg / m³,
- la mesure des fractions massiques PM_{2.5} et PM₁₀ avec la même limite de détection (0,05 mg / m³).

Mesures combinées de la concentration massique totale et des fractions PM₁₀ et PM_{2.5} dans les effluents gazeux issus de la combustion de biomasse.

Développement d'un nouveau concept de détection optique associé à un système de mesure certifié.

