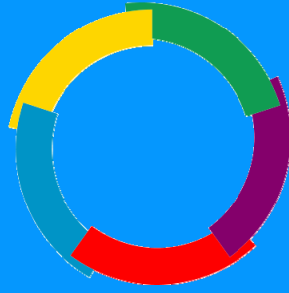


Colloque francophone

● COMbustion et POLlution Atmosphérique ●



<https://pixabay.com/fr/protection-de-l-environnement-886669/>

**COMPOLA @2024**

**2 ~ 4 octobre**

**Ben Guerir – Maroc**

<http://compola2024.sciencesconf.org/>





# Avant-propos

Après Agadir en 2011, Tanger en 2014, Saïdia en 2016, et Ouarzazate en 2018, la cinquième édition du Colloque francophone COMPOLA (Combustion et Pollution Atmosphérique) a lieu à Ben Guerir en 2024 (2-4 octobre). Il est organisé par l'Université Mohammed VI Polytechnique et le laboratoire ICARE-CNRS (Orléans-France).

Le colloque vise à rassembler les organismes et les industriels qui souhaitent échanger sur ces problématiques de combustion et de pollution atmosphérique. La rencontre de chercheurs et d'industriels issus de secteurs d'activité différents ainsi que la confrontation des méthodologies employées est de nature à favoriser les collaborations et l'innovation. Ces journées rassemblent aussi les spécialistes de différents domaines et les étudiants chercheurs ou jeunes diplômés. Le choix des présentations lors du colloque reflète un large domaine d'applications.





# Comité scientifique

- Wahid Mellouki (UM6P, Ben Guerir - Maroc)
- Véronique Daële (ICARE-CNRS, Orléans - France)
- Rajaâ Cherkaoui El Moursli (Université Mohammed V, Rabat - Maroc)
- Lahcen ElMaimouni (Université Ibn Zohr, Agadir - Maroc)
- Benjamin Hanoune (PC2A-CNRS, Lille - France)
- Christian George (IRCELYON-CNRS-Université Lyon 1, Lyon - France)
- Mohamed Bouhria (Université Hassan II Mohammedia, Casablanca - Maroc)
- Eric Villenave (EPOC-Université Bordeaux 1 - France)



# Comité d'organisation

- Nada Moummade (UM6P, Ben Guerir - Maroc)
- Wahid Mellouki (UM6P, Ben Guerir - Maroc)
- Véronique Daële (ICARE-CNRS, Orléans - France)
- Abdelghani Koukouch (UM6P, Ben Guerir - Maroc)
- Hicham Mastouri (UM6P, Ben Guerir - Maroc)
- Hicham Bahi (UM6P, Ben Guerir - Maroc)
- Benjamin Hanoune (PC2A-CNRS, Lille - France)

# Comité local d'organisation

- Nada MOUMMADE
- Alaa HOUWAYJI
- Nongma KABORE
- Clement KEHINDE AJANI
- Anass MALAH
- Anas SABRI



# Programme

## Mardi 1<sup>er</sup> Octobre

Arrivée des participants  
16h - Inscription

## Mercredi 2 Octobre

9h00 – 9h15	Accueil / Introduction
9h15 – 9h45	<b>Conférence 1 : K. Khomsi</b> (Service de la qualité de l'air à la Direction de la Météorologie Nationale DMN, Maroc) <i>Climat et Qualité de l'Air en Afrique : Défi et opportunités</i>
9h45 – 10h30	Pause / Séance posters
10h30 – 11h00	<b>Conférence 2 : B. Hanoune</b> (CNRS-PC2A, France) <i>Méto, labo, dodo : l'air que nous respirons</i>
11h00 – 11h20	<i>P. Coll et al "Impact de la Pollution de l'Air sur la santé, notamment en zones urbaines et périurbaines et sur les populations vulnérables : développement et résultats de la plateforme PolluRisk"</i>
11h20 – 11h40	<i>H. Jebeniani et al "Développement d'un Multidétecteur Portable pour la Surveillance de la Qualité de l'Air Intérieur et Extérieur"</i>
11h40 – 12h00	<i>L. Ezzaamari "Valorisation des déchets plastiques au Maroc: Entre faisabilité économique et enjeux atmosphériques"</i>
12h00 – 12h30	Présentation des Posters « 1 Slide ↔ 1 minute »
12h30 – 14h30	Déjeuner
14h30 – 15h00	<b>Conférence 3 : S. Bekki</b> (CNRS-LATMOS, France) <i>On the use of isotopes in air quality research</i>
15h00 – 15h20	<i>T. Boushaki et al "Effects of ammonia addition on non-premixed methane-air combustion in a swirl burner: flame stability and pollutant emissions"</i>
15h20 – 15h40	<i>H. Messaoudi et al "Impact of Airflow Rate and Co-Combustion on the Combustion Efficiency of Sewage Sludge"</i>
15h40 – 16h00	<i>R. Masrour "Magnetocaloric effect, electronic and thermoelectric properties of transition metal-based perovskite oxides: Experimental, DFT calculation and Monte Carlo simulations"</i>
16h00 – 16h30	Pause / Séance posters



16h30 – 17h00	<b>Conférence 8 : H. Bahi (UM6P-ARC_Air, Maroc)</b> <i>« L'impact de l'urbanisation et du cycle saisonnier sur la variation des ilots de chaleur »</i>
17h00 – 17h20	<i>M.G. Alossaily et al "Heterogeneous Kinetic Study of Ozonolysis of Ketolimonene and Myrtenal on Quartz Plates"</i>
17h20 – 17h40	<i>N. Chirinda et al " Contributing towards building national capacity to monitor, report and verify N<sub>2</sub>O emissions"</i>
19h00	<b>Dîner</b>

## Jeudi 3 Octobre

9h00 – 9h30	<b>Conférence 5 : F. Laggoun (CNRS-ISTO, France)</b> <i>Les tourbières... un hotspot du stock du carbone des surfaces continentales</i>
9h30 – 9h50	<i>A. Koukouch "Le séchage de la biomasse: Clé d'une valorisation optimale"</i>
9h50 – 10h10	<i>Z. Bouali et al "Modélisation de la combustion de la particule de fer"</i>
10h10 – 10h30	<i>Z. Benmouhoub et al "New approach to real-time analysis of multi-site Volatile Organic Compound (VOC) observation data from an industrial zone in the South of France"</i>
10h30 – 11h00	<b>Pause / Séance posters</b>
11h00 – 11h30	<b>Conférence 6 : S. Sauvage (Directeur ACTRIS-France – Professeur invité à l'OSUG/UGA, France)</b> <i>Infrastructure d'observation et d'exploration : Quels apports pour l'étude de la pollution atmosphérique ?</i>
11h30 – 11h50	<i>El Moussaoui et al "Qualité de l'air multi-échelle au Maroc à l'aide des modèles WRF/CHIMERE et amélioration des prévisions locales par l'intelligence artificielle"</i>
11h50 – 12h10	<i>F. Karouach "La technologie de Biogaz : Une Solution Durable pour la Transition Energétique et la lutte contre la pollution atmosphérique"</i>
12h10 – 12h30	<i>S. Idlahcen "Métrologie optique femtoseconde pour la mécanique des fluides : Imagerie et sources lasers"</i>
12h30 – 14h00	<b>Déjeuner</b>
14h 00 – 18h00	<b>Visite libre de Marrakech</b>
19h00	<b>Dîner Spectacle</b>

## Vendredi 4 Octobre

- 9h00 – 9h30 **Conférence 7 : K. Law** (CNRS-LATMOS, France)  
*Winter air pollution*
- 9h30 – 9h50 *E. Roth et al "Retombées atmosphériques liées aux activités minières à ciel ouvert dans la mine de Thio (Nouvelle Calédonie) et sources de PM10 en centre de Thio"*
- 9h50 – 10h10 *C.K. Ajani et al "Numerical Modelling of PM2.5 Impactor Design for Atmospheric Particulate Matter Sampling: A Parametric Study"*
- 10h10 – 10h30 *A. Tomas "Gas and particle emissions from representative railway braking systems: A comprehensive study at two scales"*
- 10h30 – 10h50 **Pause / Séance posters**
- 10h50 – 11h20 **Conférence 8 : B. Loubet** (INRAE-AgroParisTech - EcoSys, France)  
*Mesure des émissions d'ammoniac par l'agriculture et modélisation de sa dispersion en champ proche*
- 11h20 – 11h50 **Conférence 9 : M. Aouine** (Université Lyon 1 – CNRS - IRCELYON, France)  
*Nanocatalyseurs en action dans un microscope électronique à transmission environnemental*
- 11h50 – 12h20 **Conférence 10 : S. Tazi** (Head of Omac, IAS steering committee, President's office member Maroc)  
*A la Trace*
- 12h20 **Conclusions / fin du colloque**



# Présentations orales



---

# Climat et qualité de l'air en Afrique : Défi et opportunités

Kenza Khomsi\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Direction Générale de la Météorologie (DGM) – Maroc

## Résumé

L'Afrique, étant l'une des régions les plus vulnérables aux impacts du changement climatique et de la pollution de l'air, est confrontée à des défis majeurs pour concilier durabilité environnementale et développement socio-économique. L'« Évaluation intégrée de la pollution de l'air et du changement climatique pour le développement durable en Afrique », publiée en novembre 2022 par la Coalition pour le Climat et l'Air Pur (CCAC), le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) et l'Union Africaine, met en lumière ces défis pressants.

En s'appuyant sur des modèles de simulation, l'évaluation identifie 37 mesures prioritaires dans cinq secteurs critiques : transport, résidentiel, énergie, agriculture et gestion des déchets. Leur mise en œuvre pourrait permettre d'éviter 200 000 décès prématurés par an d'ici 2030, et jusqu'à 880 000 d'ici 2063. Par ailleurs, elle souligne que ces actions pourraient entraîner une réduction de 55 % des émissions de dioxyde de carbone et de 74 % des émissions de méthane d'ici 2063, contribuant ainsi aux efforts mondiaux pour limiter le réchauffement climatique à moins de 1,5°C. L'évaluation met également en avant l'opportunité d'améliorer la sécurité alimentaire grâce à la réduction de la désertification et à l'augmentation des rendements des cultures de base telles que le riz, le maïs, le soja et le blé.

Cette évaluation fournit un cadre stratégique exhaustif, offrant aux dirigeants africains les outils nécessaires pour agir rapidement dans les secteurs susmentionnés afin de lutter contre le changement climatique, réduire la pollution atmosphérique et protéger la santé publique.

**Mots-Clés:** Afrique, Changement climatique, Pollution de l'air, Développement durable, Sécurité alimentaire, Santé publique, Émissions de gaz à effet de serre.

---

\*Intervenant

---

# Métro, labo, dodo : l'air que nous respirons

Benjamin Hanoune\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Physicochimie des Processus de Combustion et de l'Atmosphère - UMR 8522 (PC2A) – CNRS, Université de Lille – Cité Scientifique - Bâtiment C11 - 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

## Résumé

Quand on interroge les gens sur la " pollution de l'air ", la quasi-totalité des personnes pensent uniquement à l'air extérieur, et principalement aux polluants émis par les voitures ou les usines. En parallèle, les réglementations nationales et internationales ont elles aussi principalement visé la réduction des émissions en air extérieur. Les recherches scientifiques également se sont longtemps focalisées sur les processus chimiques en air extérieur, que ce soit pour la problématique de la qualité de l'air ou pour celle du dérèglement climatique. Et pourtant, le temps que nous passons dans les environnements extérieurs est très faible comparé au temps passé dans les environnements intérieurs, à commencer par nos habitations, mais aussi les lieux de travail, d'études, de loisirs, les transports...

La typologie des polluants dans ces divers microenvironnements, leurs niveaux de concentration, les processus physicochimiques menant à leur formation ou à leur disparition, sont beaucoup moins bien caractérisés. D'une part, la reconnaissance de cette problématique par la communauté scientifique, les pouvoirs publics, et le grand public, est très récente, à peine quelques dizaines d'années, avec un pic marqué lors de la crise sanitaire COVID-19, mais dont les enseignements sont déjà en partie oubliés. D'autre part, de nombreux freins existent qui limitent notre connaissance de l'air intérieur, et par conséquent la mise en œuvre d'actions de remédiation efficaces et durables. Parmi ces freins on peut citer notamment (i) le peu de normes, de législations, leur applicabilité restreinte à quelques types d'espaces publics ou professionnels, ce qui exclut la sphère privée, (ii) la grande diversité des environnements à étudier et des activités qui y sont menées, en lien avec l'usage final, les habitudes socioculturelles, les moyens économiques mobilisables, et (iii) la nécessité de disposer d'instruments de mesure pouvant être utilisés en présence des occupants, avec donc des contraintes en termes d'encombrement, de bruit, de vibration, de robustesse..., avec les méthodologies de campagnes de mesure et d'analyse des données associées.

Je présenterai ici les résultats récemment obtenus au PC2A sur l'étude de l'exposition des personnes aux polluants de l'air dans les différents microenvironnements qu'elles fréquentent chaque jour, en intérieur comme en extérieur, en utilisant notamment une démarche de science participative où des volontaires sont équipés de capteurs miniatures de polluants développés au laboratoire.

**Mots-Clés:** qualité de l'air, air extérieur, air intérieur, microenvironnements, exposition individuelle

---

\*Intervenant

---

# Impact de la Pollution de l’Air sur la santé, notamment en zones urbaine et périurbaine et sur les populations vulnérables : développement et résultats de la plateforme PolluRisk

Patrice Coll\*<sup>1</sup> and Ambre Delater\*<sup>†1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA) – Université Paris Cité, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (UPEC), CNRS – 61 avenue du Général de Gaulle - 94010 Créteil Cedex, France

## Résumé

**Patrice COLL1, Ambre DELATER1, Sophie LANONE2 and the PolluRisk team.**

*1 Université Paris Cité and Univ Paris Est Creteil, CNRS, LISA, F-75013 Paris, France*

*2 Univ. Paris Est Creteil and INSERM, IMRB, F-94000 Créteil, France*

La plateforme PolluRisk, née d’un partenariat entre le LISA (UMR CNRS 7583) et une unité INSERM (INSERM 955), est une plateforme de recherche ouverte aux communautés académique et socio-économique. Elle vise à étudier les liens entre les composantes de l’exposome (en premier lieu la pollution atmosphérique) et la santé. À cette fin elle permet d’exposer à des exposomes réalistes (simulés en laboratoire) des modèles précliniques et des cellules, sur des durées allant jusqu’à plusieurs jours.

Son objectif principal est d’exposer des modèles précliniques, des cellules et des organoïdes à une pollution atmosphérique simulée réaliste (chambre ou combinaison de chambres de simulation atmosphérique), afin d’étudier ses impacts sur la santé. En outre, nous pouvons étudier les impacts de l’exposome en mettant en œuvre d’autres composantes de l’exposome : le bruit, le stress, l’activité physique, en tenant compte du sexe, etc.

Dans cet communication, nous proposons d’illustrer comment une simulation complexe de l’exposome externe en laboratoire permettra d’obtenir des résultats nouveaux/clairs concernant les liens entre les composants de la pollution atmosphérique et les impacts sur les poumons, le cerveau, le cœur, les reins, le système digestif, la régénération musculaire, etc., et soutenant donc directement les recherches dans le domaine biomédical.

En conclusion, nous partagerons avec la communauté de Compola l’important potentiel de la plateforme PolluRisk, en illustrant également les intérêts liés aux études en lien direct avec la qualité de l’air (évaluation de mesures de réduction, nouveaux indicateurs de toxicité...). L’implémentation de nouveaux dispositifs in vitro sera pour ces études un atout important.

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: ambre.delater@lisa.ipsl.fr

En effet les études in vivo sont destinées à établir les liens entre les composants de l'exposome et les effets sur la santé, tandis que les études in vitro contribueront à identifier la nature de ces liens.

*Cette présentation sera opérée à 2 voix, à savoir les 2 premiers co-auteurs.*

Une vue de la plateforme PolluRisk => <https://plateformes.u-paris.fr/wp-content/uploads/sites/21/2023/02/PolluRisk-1920x1080.jpg>

**Mots-Clés:** Pollution atmosphérique Urbaine, chambre de simulation, environnement/santé, aérosols, modèles précliniques, combustion de biomasse



---

# Développement d'un Multidétecteur Portable pour la Surveillance de la Qualité de l'Air Intérieur et Extérieur

Hamza Jebeniani<sup>\*1</sup>, André Canosa<sup>†2</sup>, Amina Meslem<sup>‡3</sup>, and Gisèle El Dib<sup>§4</sup>

<sup>1</sup>Université de Rennes (LGCGM-IPR) – CNRS-Université de Rennes1 – France

<sup>2</sup>INSTITUT DE PHYSIQUE DE RENNES (UMR 6251) – CNRS : UMR6251, CNRS-Université de Rennes1 – 263 AVENUE GENERAL LECLERC, 35000 RENNES, France

<sup>3</sup>Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique (LGCGM) – Université de Rennes I – 20, Avenue des Buttes de Coësmes CS 14315 F - 35043 Rennes Cedex, France

<sup>4</sup>INSTITUT DE PHYSIQUE DE RENNES (UMR 6251) – CNRS : UMR6251 – 263 AVENUE GENERAL LECLERC, 35000 RENNES, France

## Résumé

Maintenir une qualité de l'air saine dans les écoles est primordial pour la santé et le bien-être des élèves et du personnel. Sur la base des valeurs guides de la qualité de l'air intérieur (QAI) proposées par l'ANSES, l'OMS et le ministère de la Santé, nous avons conçu un système multi-détecteur capable de surveiller en continu divers polluants : le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), les composés organiques volatils (COV), les particules fines (PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>), l'ozone et le formaldéhyde. Le système repose sur l'utilisation de capteurs à bas coût, couplés à une technologie LoRaWAN pour la transmission locale des données à une passerelle. Cette passerelle, connectée à Internet, met à jour une base de données tampon qui alimente une application web via un Google Sheet pour l'analyse et le diagnostic des données.

Nous avons commencé par sélectionner des capteurs à faible coût, déjà étudiés et approuvés par de nombreux chercheurs, ainsi que des équipements de référence dotés de technologies sophistiquées et bénéficiant d'une réputation solide dans le domaine scientifique. Ensuite, nous avons mis en place un protocole de transmission de données qui facilite le transfert des informations depuis n'importe quel endroit vers une base de données dans le cloud. Enfin, en partenariat avec l'Académie de Rennes, nous avons initié une collaboration avec des établissements d'enseignement, autres que notre propre université et nos laboratoires, pour valider le système avant de le déployer dans l'ensemble du département d'Ille-et-Vilaine.

Cette méthode de création d'un multi-détecteur avec des capteurs économiques et de la gestion des données via un microcontrôleur Arduino offre une alternative viable et avantageuse aux machines sophistiquées traditionnellement utilisées pour la surveillance de la qualité de l'air. Non seulement ce système est de petite taille et facile à déployer, mais il est également bien plus abordable en termes de coût et permet un suivi continu des différents

---

\*Intervenant

†Auteur correspondant: andre.canosa@univ-rennes1.fr

‡Auteur correspondant: amina.meslem@univ-rennes1.fr

§Auteur correspondant: gisele.eldib@univ-rennes1.fr

paramètres physiques dans le temps. La fiabilité des mesures est assurée par une calibration régulière avec des équipements de référence.

En comparaison, les équipements sophistiqués sont souvent plus précis mais aussi bien plus chers et encombrants, rendant leur déploiement difficile, surtout dans un environnement scolaire. De plus, ces équipements fournissent généralement des données moyennes sur une période de temps ou échantillonnées à un instant précis, ce qui peut éventuellement empêcher d'identifier des événements particuliers. En revanche, le système proposé, grâce à son faible coût et sa facilité de mise en place, permet une surveillance continue de la qualité de l'air dans les salles de classe sans pour autant sacrifier la précision.

Enfin, après avoir effectué les mesures, nous analyserons les sources potentiels des polluants afin de recommander des actions spécifiques dans les salles concernées, ou proposer des évolutions au niveau des exigences réglementaires.

Le prototype de multi-capteur sera présenté lors de la conférence ainsi que des mesures préliminaires obtenues récemment.

**Mots-Clés:** Qualité de l'air, Multidétecteur, Ozone, Formaldéhyde, COVs, Particules fines, CO2, Capteurs de gaz, Santé publique, Ventilation intérieure, Pollution urbaine, IoT, Surveillance en temps réel.

---

# Valorisation des déchets plastiques au Maroc: Entre faisabilité économique et enjeux atmosphériques.

Laila Ezzaamari\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Ingénierie Financière, Gouvernance et Développement (IFGOD) – ENCG Casablanca, Maroc

## Résumé

La gestion des déchets plastiques représente un défi majeur au Maroc, avec des impacts environnementaux et économiques significatifs. Cette recherche explore la valorisation des déchets plastiques en carburant comme solution potentielle pour répondre à ce problème. Elle se concentre sur deux aspects clés : la faisabilité économique de cette valorisation et les enjeux atmosphériques qui en découlent.

D'un point de vue économique, l'étude évalue les coûts de collecte, de tri, et de conversion des plastiques en carburant, ainsi que les bénéfices potentiels en termes de réduction des importations de carburants fossiles et de création d'emplois. Une analyse des incitations gouvernementales, des politiques publiques, et des investissements nécessaires pour soutenir cette filière est également présentée, afin de déterminer si cette approche peut être viable et compétitive par rapport aux sources d'énergie traditionnelles.

Sur le plan atmosphérique, l'étude examine les effets de la combustion des carburants issus des plastiques sur la qualité de l'air. Elle évalue les émissions de gaz à effet de serre, de particules fines, et d'autres polluants potentiels générés par différents procédés de conversion (pyrolyse, gazéification, etc.). Une comparaison est réalisée entre l'impact atmosphérique de ces carburants alternatifs et celui des combustibles fossiles classiques.

Les résultats de cette recherche suggèrent que la valorisation des déchets plastiques en carburant peut offrir des avantages économiques au Maroc, notamment en réduisant la dépendance énergétique et en favorisant une économie circulaire. Toutefois, les défis liés aux émissions atmosphériques doivent être soigneusement gérés pour éviter des conséquences environnementales et sanitaires potentiellement négatives. La recherche conclut sur des recommandations politiques et techniques pour optimiser l'équilibre entre faisabilité économique et impact atmosphérique.

**Mots-Clés:** Déchets plastiques, Valorisation, carburant, impact atmosphérique, faisabilité économique.

---

\*Intervenant

---

# On the use of isotopes in air quality research

Slimane Bekki\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNRS (CNRS) – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ) – France

## Résumé

Stable isotopes can help trace sources of pollutants/precursors and their physicochemical transformations in the atmosphere. Multi-isotopic composition measurements are now widely used in air quality research, notably in source apportionment studies. I will discuss the general concepts and methodology for exploiting these measurements. Then, I will present a couple of multi-isotopic air quality studies, notably on the atmospheric nitrogen reactive cycle. The results will show how valuable these measurements can be in identifying major emission sources and dominant individual oxidation pathways. Uncertainties and limitations will be highlighted.

**Mots-Clés:** isotopes air quality pollution

---

\*Intervenant

---

# Effects of ammonia addition on non-premixed methane-air combustion in a swirl burner: flame stability and pollutant emissions

Toufik Boushaki<sup>\*†1</sup>, Zhiyong Guo<sup>1</sup>, Antoine Morel<sup>1</sup>, and Mariem Hassene<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE) – CNRS – 1C, avenue de la Recherche Scientifique, 45071 - Orléans Cedex 2, France

## Résumé

The utilization of methane (CH<sub>4</sub>) as a cleaner fuel has received consistent attention, but the growing concern of global warming caused by carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions requires ever more stringent greenhouse gas reduction regulations. Ammonia substitution (NH<sub>3</sub>) is frequently employed to facilitate combustion decarbonization. However, its elevated ignition energy and increased NO<sub>x</sub> emissions are detrimental to both flame stability and pollutant control. Swirling flames are commonly utilized to stabilize non-premixed flames in industrial applications, such as gas turbines and furnaces. The configuration of the burner geometry and fuel injector play essential roles in both stabilization and swirling flame structure. Research of NH<sub>3</sub>-CH<sub>4</sub> co-fire in a non-premixed swirl burner, with respect to the effect of fuel injection strategy, are very limited. In this work, the effect of three fuel injections, swirl intensity and equivalence ratio were investigated focusing on pollutant emissions and flame stability of NH<sub>3</sub>-CH<sub>4</sub>-air non-premixed flames. The burner consists of 2 concentric tubes, the central tube supplies the fuel flow and the periphery one supplies the air flow. For three fuel injectors, the central tube of the radial injection ends with eight radial holes; while in the axial configuration, the fuel is injected axially through the inner pipe; In the center rod injection, a metal rod is fixed in the central of inner pipe. Different operating conditions were also studied such as: the fractions of NH<sub>3</sub> in the fuel mixture, the swirl number, the flame power, the global equivalence ratio. The NH<sub>3</sub> fraction varies from 0 to 100%, the swirl number from 0.8 to 1.4, the flame power from 6kW to 9kW and the equivalence ratio from 0.6 to 1.2. Combustion products such as NO<sub>x</sub>, CO and CO<sub>2</sub> were measured using a multi-gas analyzer. Results indicate that NO<sub>x</sub> and CO emissions initially rise as NH<sub>3</sub> substitution increases and then drop, and in the NH<sub>3</sub>-dominant fuel mixture, NO<sub>x</sub> production is curiously lower than pure CH<sub>4</sub> combustion. Radial injection fosters stable combustion of pure ammonia, despite yielding the least favorable NO<sub>x</sub> and CO emission owing to its unique fuel-air mixing pattern. Enhanced swirl intensity hardly changes the NO<sub>x</sub> formation, but stabilizes the flame. Elevated equivalence promotes the production of NO<sub>x</sub> and inhibits CO formation.

**Mots-Clés:** Pollutant emissions, Fuel injection, Ammonia, Swirling flow, Non, premixed flame

---

<sup>\*</sup>Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: [toufik.boushaki@cnrs-orleans.fr](mailto:toufik.boushaki@cnrs-orleans.fr)

---

# Impact of Airflow Rate and Co-Combustion on the Combustion Efficiency of Sewage Sludge

Hanane Messaoudi\*<sup>†1</sup>, Toufik Boushaki<sup>2</sup>, Abdelghani Koukouch<sup>3</sup>, Mariem Hassene<sup>2</sup>, and Mohamed Asbik<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Mohammed V University (Rabat) (ERTE) – Maroc

<sup>2</sup>Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE) – ICARE (Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement) – CNRS (UPR 3021) – France

<sup>3</sup>GREEN ENERGY PARK (GEP) – Maroc

<sup>4</sup>Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Mohammed V University (Rabat) (ERTE) – Maroc

## Résumé

The combustion of sewage sludge from wastewater treatment plants in Marrakech was carried out at the ICARE laboratory (Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement) under varying airflow rates (8, 24, and 56 m<sup>3</sup>/h). Additionally, co-combustion of the sludge with wood pellets was performed at an airflow rate of 24 m<sup>3</sup>/h. The combustion took place in a counter-current fixed-bed boiler. Temperature profiles were monitored using thermocouples (T1, T2, T3, T4, T5, and T6) positioned at different heights above the fixed bed (125, 195, 335, 455, 595, and 735 mm from the grid). These thermocouples were connected to a data logger to record temperatures every minute from ignition to flame extinction. A gas analyzer was also used to measure the emission rates of various gases, as well as the flue gas temperature. The results demonstrate the significant impact of airflow rate and co-combustion on sewage sludge combustion. For example, at an airflow rate of 56 m<sup>3</sup>/h, the maximum temperature reached approximately 770°C near the grid, compared to 670°C at 8 m<sup>3</sup>/h. Higher airflow rates resulted in more intense combustion, while the co-combustion of sludge with wood pellets improved overall combustion efficiency. Emission levels of CO and NO<sub>x</sub> were consistent with typical combustion processes, with co-combustion further enhancing stability and efficiency. These findings suggest that co-combustion of sewage sludge with other biomass types could improve combustion completeness and uniformity, thus enhancing overall energy recovery efficiency.

**Mots-Clés:** Sewage sludge, Combustion, Counter current Fixed bed, Co combustion

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: hananemessaoudi6@gmail.com

---

# Magnetocaloric effect, electronic and thermoelectric properties of transition metal-based perovskite oxides: Experimental, DFT calculation and Monte Carlo simulations

Rachid Masrour\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University (FSDM-USMBA) – BP 1796, Fez, Morocco, Maroc

## Résumé

We investigated the magnetocaloric effect, electronic, structural, and thermoelectric properties of transition metal-based perovskite oxides using a combination of experimental techniques, density functional theory, and Monte Carlo simulations. Our findings reveal that the ground state exhibits half-metallic character and show a ferromagnetic behavior. Additionally, our analysis indicates p-type behavior with dominant holes as the primary carriers, reflected in the system's thermoelectric properties. Furthermore, we observe a ferromagnetic-paramagnetic transition. We successfully determined various properties such as magnetization, specific heat, variation of specific heat, magnetic entropy changes, relative cooling power, and the magnetic hysteresis cycle. The maximum values of magnetic entropy changes and relative cooling power increase with higher magnetic field strength, showcasing the promising potential of this system for magnetic refrigeration. Finally, we investigated thermoelectric properties including the Seebeck coefficient, electrical conductivity, thermal conductivity, and figure of merit.

**Mots-Clés:** Magnetocaloric effect, RCP and Magnetic entropy changes, Hysteresis cycle and specific heat, Thermoelectric.

---

\*Intervenant

---

# L'impact de l'urbanisation et du cycle saisonnier sur la variation des îlots de chaleur

Hicham Bahi\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>African Research Center on Air Quality and Climate (Arc-Air) – Maroc

## Résumé

La ville de Casablanca, en tant que principale métropole du Maroc, est considérée comme la ville la plus peuplée du pays accompagnée d'un développement urbain important. La combinaison de la croissance urbaine et de la propagation des activités industrielles et commerciales dans cette région rend la ville de Casablanca vulnérable au réchauffement climatique et au changement climatique. Ces deux phénomènes accentuent un autre problème qui existe déjà dans les zones urbaines qui est l'îlot de chaleur urbain (ICU) qui est considéré comme la différence de température entre la zone urbaine et la zone rurale. Cependant, les mesures in situ de la Direction Nationale de la Météorologie (DNM) ne fournissent pas de données sur la Température de Surface du Sol (LST) qui est utile pour l'ICU de surface. De plus, la température de l'air fournie par la DNM ne décrit pas une information précise sur sa distribution spatiale et surtout dans les zones rurales. Par conséquent, récupérer des informations détaillées sur la distribution spatiale de l'ICU de surface/atmosphérique au niveau micro-échelle devient un véritable défi.

Mon intervention s'intéresse à relever ce défi à travers trois objectifs principaux basés sur des observations thermiques terrestres (télédétection thermique). Le premier objectif consiste à récupérer les LST des produits Landsat, afin d'étudier l'effet de l'urbanisation et du cycle saisonnier sur la répartition de l'UHI de surface. Le second vise à établir une analyse statistique entre les observations LST diurnes/nocturnes MODIS et les mesures quotidiennes de température minimale/moyenne/maximale de l'air afin d'avoir une vue d'ensemble de la distribution spatiale de l'UHI atmosphérique. Le dernier objectif concerne le développement d'une nouvelle méthode de fusion entre les produits Landsat et Sentinel-2 afin de réduire la résolution spatiale du LST à 10 m et d'étudier l'environnement thermique à l'échelle microscopique.

**Mots-Clés:** îlot de chaleur urbain, micro, climat urbain, technologie spatiale

---

\*Intervenant



---

# Heterogeneous Kinetic Study of Ozonolysis of Ketolimonene and Myrtenal on Quartz Plates

Mohamad Ghaleb Alossaily<sup>\*1</sup>, Abdelkhaleq Chakir<sup>2</sup>, and Estelle Roth<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Alossaily (Mohamad Ghaleb) – Université de Reims Champagne-Ardenne, France – mohamad-ghaleb.alossaily@univ-reims.fr, France

<sup>2</sup>Chakir (Abdelkhaleq) – Université de Reims Champagne-Ardenne, France – abdelkhaleq.chakir@univ-reims.f, France

<sup>3</sup>Roth (Estelle) – Université de Reims - Champagne Ardenne – estelle.roth@univ-reims.fr, France

## Résumé

Monoterpenes, a diverse group of organic compounds found in nature, are known for their wide range of biological effects and utilization in various industries. The atmospheric oxidation of these compounds affects atmospheric radical chemistry and the oxidizing capacity of the atmosphere through their impact on the HOx balance, ozone production and ability to form secondary organic aerosols (SOA). Therefore, these compounds have caught great interest among atmospheric scientists, where great number of studies reported their reaction with tropospheric oxidants in gas phase. However, there is a notable gap regarding their reactions in particle phase. Ketolimonene and myrtenal, two compounds among this group respectively, have caught significant attention due to their distinct chemical characteristics and various uses in pharmaceuticals, fragrances, flavoring agents, and other industries. This study aims to determine the rate constant of ozonolysis of these two carbonyl monoterpenes in heterogeneous phase and more specifically on quartz plates. In fact, silica represents a large proportion of atmospheric particles.

Experiments were performed using a photooxidation reactor connected to ozonizer, UV-light, CCD camera and GC-MS to monitor the reaction progress were utilized. All Experiments were performed within the following range of initial conditions: temperature 298 K, pressure 545-600 Torr. The concentrations of species were (in molecule. cm<sup>-3</sup>): (O<sub>3</sub>) = (8.49-47.8)×10<sup>14</sup>; (COV)= (1.4-0.6) μg. The kinetic coefficients were calculated using both Langmuir-Rideal and Langmuir-Hinshelwood models. Results of LR-model indicated that ketolimonene and myrtenal exhibited distinct reactivity profile with ozone, with myrtenal reacting at a significant faster rate. Whereas the ozone-partitioning coefficient between the gas and the surface K<sub>O3</sub> and the maximum rate constant k<sub>max</sub> determined by LH-model were in the same order for both compounds. However, an overview of the calculated lifetime with respect to the ozone using the two models shows that both ketolimonene and myrtenal are relatively persistent in the atmosphere.

The findings provide important insights to the atmospheric chemistry of monoterpenes highlighting the influence of the surface-mediated reactions to the atmosphere as it is the first to report the reactivity of these compounds with ozone in gas-solid phase. These results can improve atmospheric models and pave the way to more understanding of the environmental impact of volatile organic compounds and their fate in the atmosphere.

Detailed kinetic results will be presented and discussed in terms of the surface impact on the atmospheric oxidation of the compounds investigated.

---

\*Intervenant

**Mots-Clés:** VOC, monoterpenes, atmosphere, ozone, kinetics, atmospheric lifetime.

---

# Contributing towards building national capacity to monitor, report and verify N<sub>2</sub>O emissions

Ngonidzashe Chirinda<sup>\*1</sup>, Mohamed Louay Metougui<sup>\*1</sup>, Mohamed Boullouz<sup>\*†1</sup>, and Nabil El Khatri<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Agricultural Innovation and Technology Transfer Center (AITTC) – Maroc

## Résumé

Agricultural soils are sources and sinks of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), a potent greenhouse gas with a global warming potential close to 300 times that of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). Yet, despite its importance and potency, most African countries still primarily rely on the highly uncertain Tier 1 N<sub>2</sub>O emission factors to quantify their national soil N<sub>2</sub>O emissions due to a limited number of local studies. This implies that African countries may be over- or under-estimating their N<sub>2</sub>O emissions. Due to socio-economic challenges and poor fertilizer distribution systems, African farmers do not apply ample fertilizer. However, Africa must increase its fertilizer inputs to meet the burgeoning food demands, consequently increasing N<sub>2</sub>O emissions. The research community must focus on technological and management options to decouple increased fertilizer inputs and N<sub>2</sub>O emissions. A concrete first step towards conducting such research is to invest in analytical infrastructure for N<sub>2</sub>O emission monitoring. To this effect, UM6P has invested in developing static chambers and establishing a greenhouse gas laboratory to collect and quantify greenhouse gas emissions. Findings from studies conducted by the new laboratory demonstrate variability in N<sub>2</sub>O emissions between dry and wet regions of Morocco and potential emission reductions associated with mitigation options such as slow-release fertilizers.

**Mots-Clés:** N<sub>2</sub>O emissions, greenhouse gas

---

\*Intervenant

†Auteur correspondant: mohamed.boullouz@um6p.ma

---

# Les tourbières... un hotspot du stock de carbone des surfaces continentales

Fatima Laggoun\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO) – CNRS, Université d'Orléans, BRGM – Rue de la Férollerie, 45000 Orléans, France

## Résumé

A l'échelle globale, les tourbières sont parmi les écosystèmes les plus efficaces pour le stockage du carbone (C) participant ainsi à la régulation du climat de la planète. En effet, bien que ne couvrant que 3 à 5% des surfaces continentales, les tourbières à sphaignes de l'hémisphère Nord renferment à elles seules 30% du stock de C des sols mondiaux, avec un réservoir estimé à 455 Gt. Ce fort potentiel d'accumulation est contrôlé par l'engorgement permanent du sol, la température et l'oxygène qui deviennent des facteurs limitants de l'activité des microorganismes. Cependant, cette fonction de " puits " de C est fortement modifiée par les perturbations d'origine anthropique (drainage, apports de nutriments, extraction de tourbe...), ou plus globalement par les changements climatiques.

Aussi, afin de comprendre les processus impliqués et d'évaluer le bilan de C de ces écosystèmes, il est nécessaire d'acquérir sur le long terme des données fiables et à haute résolution spatio-temporelle dans des sites de référence instrumentés pérennes et dotés, le cas échéant, de dispositifs expérimentaux.

C'est dans ce contexte que le Service National d'Observation (SNO) Tourbières composé d'un réseau de 4 sites instrumentés présentant un gradient bioclimatique a été mis en place. Quatre groupes de variables y sont mesurées avec les mêmes protocoles : (i) météorologie (air et sol), (ii) hydrologie et hydrochimie, (iii) biogéochimie des eaux et du sol, (iv) flux de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, COD (C organique dissous) et (v) biodiversité végétale. L'objectif de ce suivi est (i) d'observer et de modéliser les flux et les bilans de C (gazeux, dissous et particulaire) de ces systèmes et (ii) d'identifier le type de rétroactions engendrées par les changements globaux (naturels ou simulés) ; le but ultime étant d'évaluer et de prédire le fonctionnement en source ou en puits de C des tourbières de manière à pouvoir prendre en compte leur contribution dans les modèles climatiques globaux (de type Orchidée).

Le site de La Guette (Plateforme PESAt), soutenu dans cadre par le programme JUNON (projet JANUSS) fait partie du SNO Tourbières.

**Mots-Clés:** Zones humides, émissions de GES, bilan de carbone, observatoires

---

\*Intervenant

---

# Le séchage de la biomasse : Clé d'une valorisation énergétique optimale

Abdelghani Koukouch\*<sup>†1</sup> and Hanane Messaoudi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Green Energy Park (GEP) – Route Régionale R206, Benguerir, 43150,, Maroc

<sup>2</sup>Green Energy Park (GEP) – Route Régionale Kelaa Km 2 R206, Benguerir, Maroc

## Résumé

Le séchage est un procédé essentiel dans la valorisation énergétique de la biomasse, car il améliore son efficacité en tant que source d'énergie renouvelable. Ce processus consiste à éliminer l'eau présente dans les matériaux organiques, réduisant ainsi leur taux d'humidité. Il peut être appliqué en amont pour optimiser des procédés tels que la combustion, la gazéification et la pyrolyse, ou en aval pour le cas de la carbonisation hydrothermale. Le séchage joue un rôle crucial en raison de plusieurs aspects essentiels : il améliore la qualité du combustible en augmentant la densité énergétique de la biomasse, réduit le coût de transport et accroît l'efficacité énergétique des procédés thermo-chimiques. De plus, un séchage efficace permet de limiter les pertes de masse pendant le stockage, causées par la dégradation de la matière première sous l'effet des micro-organismes, souvent responsables de l'émission des gaz à effet de serre.

Cependant, bien que le séchage présente de nombreux avantages, il nécessite une quantité importante d'énergie, ce qui accroît les coûts du prétraitement. Dans ce contexte, l'énergie solaire apparaît comme une solution prometteuse et durable, capable de répondre aux besoins énergétiques du séchage tout en fournissant une source d'énergie propre et renouvelable. De nombreuses études scientifiques ont démontré les bénéfices de l'utilisation de l'énergie solaire thermique dans le processus de séchage. Néanmoins, l'intégration de cette technologie reste limitée et se restreint souvent à des applications simples, telles que le séchage à l'air libre ou dans des serres solaires, comme c'est le cas pour les résidus agricoles et les boues issues des stations d'épuration des eaux usées.

Cette présentation vise à mettre en lumière les avantages du séchage de la biomasse, ainsi que les obstacles techniques et économiques qui freinent son adoption à grande échelle. Elle abordera également les solutions permettant de surmonter ces obstacles, favorisant ainsi une transition vers des procédés plus durables et économiquement viables.

**Mots-Clés:** Séchage, biomasse, valorisation énergétique, énergie solaire.

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: abdelghanikoukouch@gmail.com

---

# Modélisation de la combustion de particules de fer

Zakaria Bouali\*<sup>†1</sup> and Marcel Kuhmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Structures de flammes et combustion [Institut Pprime] (CT) – Institut Pprime, CNRS, ISAE-ENSMA, Université de Poitiers – Institut PPRIME - Téléport 2, 11 Boulevard Marie et Pierre Curie - BP 30179 - F86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex, France

## Résumé

Les sources d'énergie fossile représentent encore aujourd'hui plus de 80 % de la production énergétique mondiale. Le caractère non durable de ces sources, ainsi que leur impact sur le climat et la qualité de l'air, plaident en faveur d'une transition urgente vers des sources d'énergie plus durables et à faibles émissions de gaz à effet de serre.

L'énergie nucléaire, ou idéalement les énergies renouvelables, peuvent se substituer aux énergies fossiles, à condition que des vecteurs énergétiques permettant une utilisation décalée dans le temps et dans l'espace – via le stockage et le transport – soient disponibles. Actuellement, deux vecteurs attirent l'attention : l'hydrogène décarboné et les batteries. Bien que ces vecteurs présentent un intérêt certain, leur faible densité énergétique reste un frein majeur à leur généralisation.

Pour pallier cette limitation, les métaux représentent une option complémentaire et prometteuse en raison de leur grande densité énergétique et de leur facilité de stockage et de distribution. Parmi ces combustibles, le fer (Fe) constitue une option particulièrement intéressante, car sa combustion génère des produits décarbonés et recyclables à l'aide d'énergies décarbonées, avec des technologies existantes.

Toutefois, pour que l'utilisation de ce vecteur puisse se généraliser de manière efficace et sûre, il est nécessaire de bien comprendre les processus physiques élémentaires qui ont lieu au sein d'une flamme de particules de fer à différentes échelles. À l'échelle de la particule, les processus d'oxydation, de changement de phase et de diffusion des ions du combustible et de l'oxydant jouent un rôle crucial dans la modélisation des temps caractéristiques de combustion. Ensuite, à l'échelle du spray, les interactions entre l'écoulement turbulent et celles entre les particules elles-mêmes sont primordiales pour la stabilité de la flamme et le contrôle de la production des NOx et des particules fines.

A l'occasion de notre participation au Compola2024, nous mettrons non seulement en avant l'intérêt du fer comme vecteur énergétique, mais nous présenterons également une approche détaillée pour la modélisation de la combustion d'une particule de fer ainsi que les phénomènes physiques associés. Le développement et l'évaluation de ce modèle s'appuient sur des données expérimentales issues de la littérature. Nous aborderons aussi les perspectives d'intégration de ce modèle dans des solveurs CFD.

**Mots-Clés:** Combustion du fer, combustion des métaux, combustion décarbonée, oxydation, changement de phase, modélisation

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: zakaria.bouali@ensma.fr

---

# New approach to real-time analysis of multi-site Volatile Organic Compound (VOC) observation data from an industrial zone in the South of France

Zahra Benmouhoub<sup>\*1,2</sup>, Gregory Gille<sup>2</sup>, Liselotte Tinel<sup>†1</sup>, Céline Cancedda<sup>2</sup>, Stéphane Sauvage<sup>3</sup>, and Nadine Locoge<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centre d'Enseignement, de Recherche et d'Innovation Énergie Environnement (CERI EE) – IMT Nord Europe – 941 rue Charles Bourseul 59500 Douai, France

<sup>2</sup>AtmoSud (AtmoSud) – LCSQA – Le Noilly Paradis, 146 rue Paradis 13006 Marseille, France

<sup>3</sup>Centre d'Enseignement, de Recherche et d'Innovation Énergie Environnement (CERI EE) – IMT Nord Europe – 941 Charles Bourseul 59500 Douai, France

<sup>4</sup>Institut Mines Télécom Lille Douai (IMT Lille Douai) – Institut Mines Telecom (IMT) : LilleDouai, Université de Lille - Sciences et Technologies – 941 rue Charles Bourseul CS10838 59508 DOUAI Cedex, France

## Résumé

### New approach to real-time analysis of multi-site Volatile Organic Compound (VOC) observation data from an industrial zone in the South of France

Zahra BENMOUHOU<sup>B1,2</sup> Gregory GILLE<sup>2</sup> Liselotte TINEL<sup>1</sup> Céline CANCEDDA<sup>2</sup> Stéphane SAUVAGE<sup>1</sup> Nadine LOCOGE<sup>1</sup>

1 IMT Nord Europe, Institut Mines-Télécom, University de Lille, Centre for Energy and Environnement, 59500 Douai, France

2 AtmoSud, Le Noilly Paradis, 146 rue Paradis, 13006 Marseille, France

*Keywords:* Volatile organic compounds (VOCs), Industrial site, real-time data processing, QA/QC, uncertainty, Incert'R tool

#### Context:

A variety of atmospheric pollutants undergo complex processes that alter their concentrations. Notably, volatile organic compounds (VOCs) from industrial sources are crucial as they actively participate in the formation of ozone and particulate matter (PM), impacting health, climate, and ecosystems. Further, they can be directly harmful, such as vinyl chloride monomer (chloroethene), benzene or 1-3-butadiene, that are carcinogenic. The southern region of France exceeded the French thresholds for ozone (240  $\mu\text{g m}^3$  hourly) on 144 days and for PM<sub>2.5</sub> (10  $\mu\text{g m}^3$  annual) on 28 days in 2017-2018, as evidenced by a

---

\*Intervenant

†Auteur correspondant: liselotte.tinel@imt-nord-europe.fr

2018 study.<sup>2</sup> These exceedances contributed to over 1,800 hospitalizations in the region from 2010 to 2019.<sup>3</sup> To better understand the drivers behind these exceedances and anticipate the population's exposure, a detailed study in an impacted industrial area is conducted.

### **Materials and methods:**

1-Site presentation: The study area is located in the south of France, more precisely in the Provence-Alpes-Côte d'Azur region, around a brackish lake called the Étang de Berre, where major metallurgical and petrochemical industries are located. This area includes three major industrial complexes (Berre l'Étang, Martigues Lavéra and Port-de-Bouc) known to be high emitters of VOCs (Fig. 1). Among these large industrial platforms, the Kem One plant in Lavéra is particularly noteworthy, as it produces 25% of France's chlorine and 40% of its vinyl chloride monomer (VCM). Observation stations were installed on three strategic locations close to the 3 industrial complexes, and nearby a school (A) and stadium (B) and in a residential area (C) and are monitoring continuously VOC concentrations since January 2022.

**Mots-Clés:** Volatile organic compounds (VOCs), Industrial site, real, time data processing, QA/QC, uncertainty, Incert'R tool



---

# ACTRIS : Infrastructure d'observation et d'exploration : Quels apports pour l'étude de la pollution atmosphérique ?

Stéphane Sauvage\*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut Mines Télécom Lille Douai (IMT Lille Douai) – Institut Mines Telecom (IMT) : LilleDouai, Université de Lille - Sciences et Technologies – 941 rue Charles Bourseul CS10838 59508 DOUAI Cedex, France

<sup>2</sup>Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) – Institut de recherche pour le développement [IRD], Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – UGA - IGECS 4070038 058 Grenoble Cedex 9, France

## Résumé

ACTRIS (Aerosol, Cloud, Trace gases Research InfraStructure) est une infrastructure de recherche européenne distribuée pour la provision de données d'observation long terme sur la variabilité 4-D des espèces à temps de vie court, issues de plateformes d'observation et d'exploration. Cette structuration vise à combiner les expertises et optimiser les moyens pour mieux caractériser les forçages climatiques (gaz réactifs, aérosols, vapeur d'eau) ; surveiller leurs évolutions ; évaluer l'efficacité des scénarios de réduction. Il s'agit de mieux comprendre les réponses du système climatique, étudier les processus atmosphériques et les rétroactions. La combinaison des différentes composantes permet de développer des approches intégrées sur la colonne atmosphérique en traitant les interactions entre variables physiques et chimiques et entre échelles spatiales et temporelles pour des apports complémentaires aux réseaux opérationnels. En s'appuyant sur une sélection d'études, cette présentation mettra en avant les apports d'ACTRIS en support à la communauté scientifique comme le développement de méthodologies et de recommandations pour des observations robustes ; la constitution sur le long terme de bases de données ouvertes, essentielles pour étudier les déterminants la variabilité des constituants atmosphériques ; ou encore les complémentarités instrumentales, entre télédétection et mesure in-situ, pour caractériser les événements extrêmes et leurs impacts (feux, éruptions volcaniques, crise sanitaire).

**Mots-Clés:** Infrastructre de recherche, observations, impacts des feux, source apportionment

---

\*Intervenant

---

# Qualité de l'air multi-échelle au Maroc à l'aide des modèles WRF/CHIMERE et amélioration des prévisions locales par l'intelligence artificielle

Tawfik El Moussaoui\*<sup>†1</sup>, Mouad Arrad<sup>2</sup>, Khalid El Ass<sup>1</sup>, Youssef Chelhaoui<sup>1</sup>, Ines Makni<sup>3</sup>, Fanny Velay<sup>3</sup>, and Albergel Armand\*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>École Nationale Supérieure des Mines de Rabat (MINES RABAT (ENSMR)) – Ave Hadj Ahmed Cherkaoui, Agdal, BP 753, Rabat, Maroc

<sup>2</sup>École Nationale Supérieure des Mines de Rabat (MINES RABAT (ENSMR)) – Ave Hadj Ahmed Cherkaoui, Agdal, BP 753, Rabat, Maroc

<sup>3</sup>SUEZ ARIA Technologies (SUEZ ARIA Technologies) – SUEZ ARIA TECHNOLOGIES – Parc de l'Île, Nanterre, France

## Résumé

### Introduction

La modélisation de la qualité de l'air est essentielle pour anticiper et gérer les impacts des polluants atmosphériques sur la santé et l'environnement, notamment dans des contextes géographiques variés comme celui du Maroc. Ce travail présente la mise en place d'une chaîne complète de calcul utilisant le modèle chimique de transport (CTM) WRF/CHIMERE pour modéliser la qualité de l'air à l'échelle régionale et locale. En complément, des techniques d'intelligence artificielle (IA) sont intégrées pour affiner les prévisions locales.

Figure 1: Domaines Imbriqués WRF-CHIMERE : Continental, National, Régional

Figure 2: Isosurfaces Concentrations de NO<sub>2</sub> (> 1 ppb et > 5 ppb) et de PM<sub>10</sub> (> 100 µg/m<sup>3</sup> et > 500 µg/m<sup>3</sup>) au 1er Juillet 2017

### Mise en place de la chaîne de calcul

La chaîne de calcul est un élément central de ce travail, nécessitant une infrastructure robuste et une méthodologie rigoureuse pour assurer la précision des simulations.

- **Architecture de la Chaîne de Calcul** : La chaîne de calcul est structurée autour de l'intégration du modèle WRF (Weather Research and Forecasting) et du modèle CHIMERE. WRF est responsable de fournir les données météorologiques de haute résolution, nécessaires à la simulation des processus atmosphériques par CHIMERE. La configuration multiéchelle permet d'adapter la résolution des simulations aux particularités géographiques et météorologiques du Maroc, incluant des zones urbaines denses et des régions rurales.

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: elmoussaoui@enim.ac.ma

- **Collecte et Prétraitement des Données** : La qualité des données d'entrée est cruciale pour la précision des simulations. Les données météorologiques sont obtenues à partir de sources globales (comme les réanalyses météorologiques) et régionales, tandis que les émissions de polluants proviennent de bases de données spécifiques au contexte marocain. Un prétraitement rigoureux est effectué pour harmoniser ces données et réduire les incertitudes.
- **Couplage WRF/CHIMERE** : Le couplage entre WRF et CHIMERE est configuré pour capturer efficacement les processus de transport atmosphérique et de transformation chimique. Cette étape implique des paramètres spécifiques pour tenir compte des particularités locales, comme la topographie complexe et les régimes de vent variés du Maroc.
- **Simulation et Post-Traitement** : Une fois la chaîne de calcul opérationnelle, des simulations à long terme sont effectuées pour produire des prévisions à différentes échelles temporelles. Le post-traitement des données simulées permet de comparer les résultats aux observations in situ et satellitaires, fournissant ainsi une évaluation critique de la performance du modèle.

### **Amélioration des Prévisions Locales avec l'IA**

Malgré la robustesse de la chaîne de calcul, des biais peuvent subsister dans les prévisions locales en raison de processus locaux mal résolus. Pour pallier ces limitations, l'intelligence artificielle est intégrée dans le processus de post-traitement pour affiner les prévisions. Ces modèles sont entraînés sur des données historiques et exploitent divers algorithmes (réseaux de neurones, forêts aléatoires) pour identifier les patterns locaux non captés par les modèles. L'IA est utilisée pour ajuster dynamiquement les sorties de la chaîne de calcul, améliorant ainsi la fiabilité des prévisions locales en temps réel. Cette approche hybride permet d'obtenir des prévisions plus précises, particulièrement dans les environnements urbains complexes.

### **Résultats et Discussions**

La chaîne de calcul WRF/CHIMERE, renforcée par l'IA, a permis de produire des prévisions multi-échelles de la qualité de l'air avec une précision améliorée au Maroc. Les simulations montrent une bonne concordance avec les observations, et l'intégration de l'IA permet de réduire significativement les erreurs de prévision, en particulier dans les zones urbaines où les modèles classiques échouent souvent.

Les résultats démontrent la capacité de cette chaîne de calcul à répondre aux besoins spécifiques du Maroc, offrant potentiellement un outil performant pour la gestion de la qualité de l'air. L'approche peut être adaptée à d'autres contextes géographiques avec des ajustements appropriés.

### **Conclusion**

La mise en place d'une chaîne de calcul performante, couplant WRF/CHIMERE avec des techniques d'intelligence artificielle, constitue une avancée significative pour la modélisation de la qualité de l'air au Maroc. Cette méthodologie hybride améliore les prévisions locales et offre un potentiel d'application élargi, contribuant ainsi à une meilleure gestion environnementale et sanitaire.

Les perspectives incluent l'intégration de nouvelles sources de données, comme un nouvel inventaire des émissions, les observations satellitaires en temps réel, et l'optimisation continue des algorithmes d'IA pour affiner encore davantage la précision des prévisions.

**Mots-Clés:** Qualité de l'air, WRF/CHIMERE, IA

---

# La technologie de Biogaz : Une Solution Durable pour la Transition Énergétique et la lutte contre la pollution atmosphérique

Fadoua Karouach\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Mohammed VI Polytechnique [Ben Guerir] (UM6P) – Mohammed VI Polytechnic University  
University of Mohamed VI Polytechnic Lot 660, Hay Moulay Rachid Ben Guerir, 43150, Maroc

## Résumé

La production de biogaz à partir de déchets organiques constitue une solution clé pour atténuer les effets du changement climatique et améliorer la qualité de l'air. En capturant le méthane, un puissant gaz à effet de serre, cette technologie contribue à réduire les émissions globales et à limiter le réchauffement climatique. De plus, en remplaçant les énergies fossiles, le biogaz diminue la pollution atmosphérique liée aux oxydes d'azote et de soufre. En valorisant les déchets organiques, cette approche favorise une économie circulaire, réduit la production de méthane en décharge et améliore la gestion globale des déchets. Le biogaz peut être intégré dans des systèmes énergétiques plus vastes, en combinant la production d'électricité avec la chaleur ou la production de biométhane pour les transports.

**Mots-Clés:** Biogas, déchets organique, changement climatique

---

\*Intervenant

---

# Métrologie optique femtoseconde pour la mécanique des fluides : Imagerie et sources lasers

Said Idlahcen<sup>\*1</sup>, Alexandre Robcis<sup>1</sup>, Alexis Vandel<sup>1</sup>, Carole Gobin<sup>1</sup>, Florian Lespinasse<sup>1</sup>, Franck Lefebvre<sup>1</sup>, Gilles Godard<sup>1</sup>, and Guillaume Lesage<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Complexe de recherche interprofessionnel en aérothermochimie (CORIA) – Normandie Univ, INSA Rouen, UNIROUEN, CNRS, CORIA – Site Universitaire du Madrillet, BP 12, 76801 St Etienne du Rouvray Cedex, France

## Résumé

Le laboratoire CORIA consacre une partie importante de ses activités scientifiques au développement de lasers et de diagnostics laser, qui sont appliqués à l'étude de la mécanique des fluides, en particulier la combustion, l'atomisation et les polluants émis lors de ce processus. Il a mis en place une plateforme d'expérimentation scientifique appelée RENADIAG, qui met à disposition des installations expérimentales, des outils de diagnostic et du personnel pour soutenir les chercheurs de l'unité. Cette plateforme est utilisée en interne, mais également ouverte aux collaborations académiques et industrielles, ainsi qu'à la réalisation de prestations. Une partie de cette plateforme est spécifiquement dédiée au développement et à la mise en œuvre de diagnostics laser novateurs, qui ont connu des avancées importantes ces dernières années grâce aux lasers femtoseconde et à l'optique non linéaire. En effet, de nombreux phénomènes physiques, chimiques ou biologiques se produisent à des échelles de temps et d'espace très courtes, qui sont pertinentes pour la microscopie. Cela rend leur observation impossible avec les technologies conventionnelles telles que les caméras rapides, limitées par les temps de réponse relativement longs de l'électronique. Lors de ce colloque, je présenterai les travaux innovants menés par le laboratoire CORIA en Normandie, qui soulignent nos progrès dans le domaine de l'imagerie (1-2) pour surmonter ces limites technologiques. Je présenterai également les dernières avancées dans le domaine des nouvelles sources lasers couvrant le spectre moyen infrarouge (3-5). Ces sources constituent une alternative intéressante aux sources thermiques à faible intensité traditionnellement utilisées dans les systèmes de spectroscopie infrarouge (FTIR).

(1) M. Touil, S. Idlahcen, R. Becheker, D. Lebrun, C. Rozé, A. Hideur, T. Godin, Acousto-optically driven lensless single-shot ultrafast optical imaging. *Light Sci. Appl.*11, 66 (2022).

(2) Chetankumar Vegad, Said Idlahcen, Longxiang Huang, Gilles Cabot, Bruno Renou, Benjamin Duret, Julien Reveillon, Francois-Xavier Demoulin "Planar two-photon fluorescence imaging of dense spray to estimate spray characteristics: application in pressure-swirl atomizers" *Atomization and Sprays*, Volume 34, Issue 7, (2024).

(3) Normani, S., Idlahcen, S., Loiko, P., Hatim, S., Hanzard, P.-H., De Paula, A.R., Guillemot, L., Godin, T., Berthelot, T., Cozic, S., Poulain, S., Koivusalo, E., Guina, M., Camy, P., Hideur, A. "2.8- $\mu\text{m}$  polarization-maintaining Er fiber laser mode-locked by a GaSb-based SESAM". *Opt. Express* 32, 15106, (2024).

---

\*Intervenant

- (4) Becheker, R., Bailly, M., Idrhacen, S., Godin, T., Gerard, B., Delahaye, H., Granger, G., Février, S., Grisard, A., Lallier, E., Hideur, A. "Optical parametric generation in OP-GaAs waveguides pumped by a femtosecond fluoride fiber laser". *Opt. Lett.* 47, 886, (2022).
- (5) Granger, G., Bailly, M., Delahaye, H., Jimenez, C., Tiliouine, I., Leventoux, Y., Orlianges, J.-C., Couderc, V., Gérard, B., Becheker, R., Idrhacen, S., Godin, T., Hideur, A., Grisard, A., Lallier, E., Février, S. "GaAs-chip-based mid-infrared supercontinuum generation". *Light Sci Appl* 12, 252, (2023).

**Mots-Clés:** Diagnostics laser, Imagerie, Laser ultra rapide, plateforme RENADIAG.

---

# Winter Air Pollution

Kathy Law<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>LATMOS (CNRS) – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – Sorbonne Université,  
Paris, France

## Résumé

Wintertime air pollution is linked to enhanced emissions during the cold season, the dynamics of the boundary layer and, in some cases, orography. Such pollution episodes have a major impact on human health due to particulate and trace gas emissions of particles, and their transformation into secondary pollutants. However, there are considerable uncertainties surrounding wintertime emissions, and mechanisms leading to the formation of secondary aerosols, such as sulphate and organic aerosols, as well as modelling wintertime air pollution and its effects. In order to simulate pollutants, such as nitrogen dioxide, sulphur dioxide or particulate matter (PM<sub>2.5</sub>), chemistry-aerosol models must have a good representation of surface and elevated sources, boundary layer meteorology, chemical processes, and deposition. These issues will be illustrated with studies, based on analysis of observations and modelling, in different regions such as the Arctic, China, Europe and Morocco. Similarities and differences will be explored.

**Mots-Clés:** Winter, Air Pollution

---

\*Intervenant

---

# Retombées atmosphériques liées aux activités minières à ciel ouvert dans la mine de Thio (Nouvelle Calédonie) et sources de PM10 en centre de Thio

France Pattier<sup>1</sup>, Sylvie Russet<sup>1</sup>, Maximilien Mathian<sup>2</sup>, Abdelkhaleq Chakir<sup>3</sup>, Peggy Gunkel-Grillon<sup>1</sup>, and Estelle Roth<sup>\*†4</sup>

<sup>1</sup>Université de la Nouvelle-Calédonie (UNC, Institut des Sciences Exactes et Appliquées) – Université de la Nouvelle-Calédonie, Campus de Nouville, BP R4 98851 Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie

<sup>2</sup>Université de la Nouvelle-Calédonie (UNC, Institut des Sciences Exactes et Appliquées) – Université de la Nouvelle-Calédonie, Campus de Nouville, BP R4 98851 Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie

<sup>3</sup>Groupe de Spectrométrie Moléculaire Atmosphérique (GSMA) – Université de Reims - Champagne Ardenne, CNRS – URCA UFR Sciences Chemin des rousiers 51687 REIMS, France

<sup>4</sup>Groupe de Spectrométrie Moléculaire Atmosphérique (GSMA) – Université de Reims Champagne-Ardenne, France, CNRS – URCA UFR Sciences Chemin des rousiers 51687 REIMS, France

## Résumé

La Nouvelle Calédonie possède un sol riche en Ni, Cr, Co, Mn, Fe sur 1/3 de sa superficie et a développé l'exploitation minière du nickel à ciel ouvert. Les activités minières ont été identifiées parmi les activités anthropiques à plus fort potentiel d'émission de particules avec des concentrations potentiellement élevées en métaux et métalloïdes présentant un risque important pour la santé. Cette étude propose pour la première fois un diagnostic environnemental dans le périmètre minier et résidentiel de la mine de Thio à partir de la mesure des retombées atmosphériques et de PM10. Les retombées atmosphériques ont été collectées pendant un an par 30 jauges Owen sur des durées de 2 à 4 semaines à proximité des principales opérations minières (roulage, tri, verse et quai maritime) ainsi que dans le village et la vallée de Thio et analysées en termes de distribution granulométrique. Au centre du village, les PM10 collectées hebdomadairement sur 19 semaines à l'aide d'un Partisol ont été analysées en carbone organique, carbone élémentaire, saccharides anhydrides (lévoglucosan, mannosan, galactosan), polyols (arabitol, sorbitol, mannitol), glucose, 18 éléments et 10 ions solubles afin de procéder à une étude de recherche de source par factorisation matricielle positive.

Les retombées atmosphériques journalières ne dépassent que très ponctuellement le seuil maximal de 350 mg/m<sup>2</sup>/j recommandé sur mine. Dans la vallée et au village, ce seuil est loin d'être atteint. C'est l'activité de roulage qui présente des niveaux médians les plus élevés même si, ponctuellement, les quantités inhalables atteignent des valeurs élevées à proximité des autres opérations et particulièrement au niveau du tri. Les médianes des retombées atmosphériques sont 10 fois plus faibles dans le village de Thio et sa vallée que sur mine avec des valeurs médianes respectives de l'ordre de grandeur de 3 et 30 mg/m<sup>2</sup>/j. L'analyse granulométrique des retombées atmosphériques a permis d'isoler la fraction inférieure à 10 μm

---

\*Intervenant

†Auteur correspondant: estelle.roth@univ-reims.fr



qui représente la fraction trachéobronchique et alvéolaire de ces retombées. Cette fraction représente 51% des poussières au niveau de la mine où les retombées sont importantes et 35% dans le village et la vallée où les retombées sont beaucoup plus faibles. Cette fraction trachéobronchique et alvéolaire est donc bien supérieure à proximité des opérations minières.

Les PM10, qui représentent la fraction inhalable trachéobronchique et alvéolaire de l'aérosol atmosphérique, ont été mesurées au centre du village de Thio. Elles sont peu concentrées avec une moyenne de  $7.5 \pm 2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et ne présentent aucun dépassement de l'objectif de qualité sur la moyenne annuelle qui est de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les recommandations relatives à la qualité de l'air concernant les teneurs de Ni, Pb et As dans les PM10 ne sont pas non plus dépassées. Les concentrations sont du même ordre de grandeur que le seuil recommandé pour Ni sans toutefois l'atteindre et 10 à 100 fois inférieures pour As et Pb. La recherche de source effectuée par factorisation matricielle positive révèle un aérosol assez peu anthropisé avec peu d'influence du transport, de la combustion et des industries. Il est composé à  $20 \pm 9\%$  d'aérosol biogénique, à  $17 \pm 6\%$  de particules issues de la combustion, à  $16 \pm 6\%$  d'aérosol marin, à  $16 \pm 6\%$  de poussières de route remobilisées, à  $15 \pm 7\%$  de poussières de signature latéritique et à  $15 \pm 6\%$  de sulfates secondaires. Le Ni provient essentiellement des poussières latéritiques, des poussières mobilisées par le trafic routier et, en moindre mesure, de la combustion de ressources fossiles.

Les opérations minières sont donc des sources de poussières, mais elles ne peuvent expliquer à elles seules ni les retombées atmosphériques mesurées dans la vallée ou le village, ni les PM10.

**Mots-Clés:** poussières, retombées atmosphérique, PM10, factorisation matricielle positive, activités minières

---

# Numerical Modelling of PM<sub>2.5</sub> Impactor Design for Atmospheric Particulate Matter Sampling: A Parametric Study

Clement Kehinde Ajani<sup>\*1</sup>, Khanneh Wadinga Fomba<sup>2,3</sup>, and Abdelwahid Mellouki<sup>†2,4</sup>

<sup>1</sup>African Research Centre on Air Quality and Climate, University Mohammed VI Polytechnic, Lot 660, Hay Moulay Rachid Ben Guerir, 43150, Morocco (ARCAQC, UM6P) – Lot 660, Hay Moulay Rachid Ben Guerir, 43150, Morocco, Maroc

<sup>2</sup>African Research Centre on Air Quality and Climate, University Mohammed VI Polytechnic, Lot 660, Hay Moulay Rachid Ben Guerir, 43150, Morocco (ARCAQC, UM6P) – Lot 660, Hay Moulay Rachid Ben Guerir, 43150, Morocco, Maroc

<sup>3</sup>Leibniz Institute for Tropospheric Research (TROPOS), Atmospheric Chemistry Department (ACD), Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, Germany (TROPOS) – Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, Germany, Allemagne

<sup>4</sup>Institut de Combustion Aérothermique, Réactivité et Environnement, Centre National de la Recherche Scientifique (ICARE-CNRS), Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre (OSUC), CS 50060, 45071 Orléans cedex02, France. (ICARE-CNRS) – CNRS ICARE, Avenue de la Recherche Scientifique, 45071 Orléans Cedex 2, France – CS 50060, 45071 Orléans cedex02, France., France

## Résumé

### Abstract

Numerical modeling of an impactor was conducted using computer-aided design. The flow field and particle transport models were used to evaluate the effects of inlet flow rate and nozzle diameter on the efficiency. Initial results revealed that the case with a flow rate of about 30 L/min and a nozzle diameter of 5 mm, with an efficiency of 30.2%, was the best among the case studies considered although the efficiency was less than 50%. As such, further numerical studies of the other parameters such as the nozzle throat length, nozzle inlet geometry, nozzle outlet to plate distance, and topology and shape optimizations, will be conducted to improve the current design.

### 1. Introduction

Atmospheric particulate matter (PM) have adverse effects on the ecosystem, climate, and human health. Moreover, some research have revealed that fine particles such as PM<sub>2.5</sub> and below pose a greater risk to human health than coarse particles, hence, an increasing need for PM<sub>2.5</sub> sampling (Dong et al., 2017). Inertial impactors, broadly classified as real or virtual impactors, are widely used techniques for active sampling of PM from forest fires, engine combustion, industrial pollution, outdoor and indoor air pollution, etc., and are based on the inertial separation principle (Romay & Garcia-Ruiz, 2023). However, design challenges

---

\*Intervenant

†Auteur correspondant: wahid.mellouki@um6p.ma

including particle loss, particle retention, particle bounce, and pressure drop, among others, have limited their performance and collection efficiencies. As such, experimental and numerical techniques have been used to address some of these challenges and to understand and optimize current impaction-based air sampling systems (Romay & García-Ruiz, 2023). Particularly, numerical modeling has been used to effectively understand and reduce some of these impactor's design challenges (Dong et al., 2017; Romay & García-Ruiz, 2023). Therefore, the current study aimed at using numerical modeling to understand the fluid flow and particulate transport in the impactor for optimal design before manufacturing. Specifically, a round nozzle impactor for atmospheric particle matter with a cut-off diameter of  $2.5 \mu\text{m}$  was designed. The laminar flow field pattern and particle trajectories in the design were then numerically modeled to evaluate its efficiency. The final optimized design is used for 3D printing of the impactor and coupled into the air sampling system for subsequent experimental PM sampling.

## 2. Description of PM2.5 air sampling system design

The computer-aided design (CAD) of the air sampler is presented in Fig.1. The system draws in ambient air using the vacuum pump and fractionates the airborne particulate matter inside the impactor which is collected on a filter for subsequent analysis.

## 3. Numerical model modeling and implementation

The entire geometry and the sectioned computational domain are presented in Fig 2a and 2b. The fluid velocity and pressure were solved using the Laminar Flow and Stationary study, after which the Particle Tracing for the Fluid Flow module was used to solve the particle trajectories in a transient study. The model was solved using COMSOL Multiphysics V. 6.2.

## 4. Results and Discussion

Table 1 shows the results of inlet flow rate effects on the impactor efficiency. At 40 L/min the lowest efficiency was 27%, which might be due to the increased Re affecting the laminar flow and the particle deposition (Dong et al., 2017). Fig. 3a and 3b, reveal the variation in the velocity field and pressure drop, respectively, along the impactor. The current study carried out an optimal case at a nozzle diameter of 5 mm and 30 L/min flow rate. This reveals that there is a particular nozzle diameter at which an optimal particle cut-off can be obtained. Hence, further evaluation of the nozzle diameter as well as other parameters will be required to improve the current design. As shown in Fig. 4, PM2.5 (PM 2.5 ) were mostly separated from the entire particle sizes ranging from 1 to 10 introduced at the inlet indicating an efficient PM2.5 cut-off.

## 5. Conclusion

A parametric study was used to evaluate the effects of varying inlet flow rates and different nozzle sizes on the range and efficiency of aerosol particle sizes sampled. The optimal case for sampling at 30 L/min had an efficiency of 30.2%. Hence, the evaluation of other geometrical and flow properties as well as topology optimization are needed to improve the current design.

## References

- Dong, M., Iervolino, E., Santagata, F., Zhang, G., & Zhang, G. (2017). Integrated virtual impactor enabled PM2.5 sensor. *IEEE Sensors Journal* , 17 (9), 2814–2821.
- Romay, F.J., & García-Ruiz, E. (2023). Design of Round-Nozzle Inertial Impactors Review with Updated Design Parameters. *Aerosol and Air Quality Research* , 23 (3).

**Mots-Clés:** Particulate matter (PM), PM2.5 impactor, numerical modelling, design optimization.

---

# Gas and particle emissions from representative railway braking systems: A comprehensive study at two scales

Raafa Al Kaderi<sup>1,2</sup>, Asma Grira<sup>2</sup>, Joseph Frangieh<sup>2</sup>, Marina Jamar<sup>1</sup>, Bruno Malet<sup>1</sup>, Laurent Alleman<sup>1</sup>, Esperanza Perdrix<sup>\*1</sup>, Alexandre Mege-Revil<sup>2</sup>, Guillaume Funck<sup>3</sup>, Ruddy Mann<sup>4</sup>, Karine Pajot<sup>5</sup>, Yannick Desplanques<sup>2</sup>, and Alexandre Tomas<sup>†‡1</sup>

<sup>1</sup>Centre for Energy and Environment (CERI EE - IMT Nord Europe) – IMT Nord Europe – Cité Scientifique, Rue Guglielmo Marconi BP 20145 VILLENEUVE D'ASCQ, France

<sup>2</sup>Laboratoire de Mécanique, Multiphysique, Multiéchelle - UMR 9013 (LaMcube) – Ecole Centrale de Lille, CNRS, Lille Université – Bâtiment Esprit, avenue Paul Langevin - 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

<sup>3</sup>ALSTOM Flertex (ALSTOM) – Alstom Flertex SA – 41 rue Jean Jaurès – 92230 GENNEVILLIERS, France

<sup>4</sup>Alstom (Alstom) – ALSTOM Le Creusot – 105, Allée Albert Einstein – BP 90042 - 71202 Le Creusot Cedex, France

<sup>5</sup>Alstom (Alstom) – Alstom, F-93482 Saint-Ouen-sur-Seine, France – 48, rue Albert Dhalenne – 93482 Saint-Ouen-sur-Seine Cedex, France

## Résumé

Air quality is a major public health concern worldwide. Rail transportation is rightly recognized as one of the greener and CO<sub>2</sub>-efficient mobility solutions. However, many studies have evidenced poor air quality in enclosed railway stations, raising significant concerns about non-exhaust emissions particles (Querol *et al*, 2012; Martins *et al*, 2015). The aim of this work is to present findings on braking gas and particle emissions observed at two scales: a full-scale bench and a reduced-scale bench. An 8-hour long pathway was considered to simulate a commuting train. This program was performed with two different braking energies, which represent normal and heavy axle loads, and a model train pathway that involves repeated braking events selected from the normal pathway.

The two experimental benches were instrumented to monitor and control braking parameters, and to measure gas and particle emissions both online and offline. Particle characterization instruments included an online Fast Mobility Particle Sizer (FMPS) with a range of 5.6 to 560 nm, and an Optical Particle Sizer (OPS) with a range of 0.3 to 10  $\mu\text{m}$ , both measuring number size distributions at 1 Hz. For offline mass and chemical analysis, sampling was conducted using filter holders and impactors (3-stage and 15-stage). The filters were then weighed, and the samples were analyzed using ICP-MS and ICP-AES to determine metallic elements, as well as major and minor constituents. Volatile organic compounds (VOCs) were analysed by GC-MS/FID after sampling on Tenax cartridges and by HPLC-UV after

---

\*Auteur correspondant: [esperanza.perdrix@imt-nord-europe.fr](mailto:esperanza.perdrix@imt-nord-europe.fr)

†Intervenant

‡Auteur correspondant: [alexandre.tomas@imt-lille-douai.fr](mailto:alexandre.tomas@imt-lille-douai.fr)

sampling on DNPH cartridges. For some experiments, on-line PTR-ToF-MS measurements were carried out, allowing high dynamic time-resolution (1 Hz).

The presentation will first focus on the particle size distributions observed under the normal and heavy load pathways together with the chemical composition of Particulate Matter (PM). The potential origins of PM, including brake pads and discs, will be explored using an original multi-variable mass balance model.

The influence of various parameters, including wear history, material temperature, and air humidity, will be characterized using a model train pathway under clean and reproducible conditions at a reduced scale, and subsequently verified at full scale. Finally, the emissions of VOCs will be presented and discussed in relation with braking parameters.

This work is conducted within the framework of the BREAQ project, funded by the French government as part of the PIA (Invest for the Future Plan), which is now integrated into France 2030. The project is operated by ADEME, the French ecological transition agency.

Martins, V., Moreno, T., Minguillón, M. C., Amato, F., de Miguel, E., Capdevila, M., Querol, X. (2015) *Sci. Tot. Environ.* **511**, 711–722.

Querol, X., T. Moreno, T., A. Karanasiou, A., C. Reche, C., Alastuey, A., Viana, M., Font, O., Gil, J., De Miguel, E., Capdevila, M. (2012) *Atmos. Chem. Phys.* **12**, 5055-5076.

**Mots-Clés:** Emissions, Freinage, COV, particules

---

# Mesure des émissions d'ammoniac par l'agriculture et modélisation de sa dispersion en champ proche

Benjamin Loubet\*<sup>†1,2</sup>

<sup>1</sup>Ecologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes (ECOSYS) – INRAE – 22 place de l'Agronomie CS 20040 91123 Palaiseau cedex, France

<sup>2</sup>Ecologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes (ECOSYS) – INRAE – 22 place de l'Agronomie CS 20040 91123 Palaiseau cedex, France

## Résumé

L'ammoniac (NH<sub>3</sub>) est un composé troposphérique majeur : c'est le principal composé alcalin dans l'atmosphère qui réagit avec les acides présents pour former des aérosols. Il est très soluble et se dépose sur les écosystèmes par voie humide ou sèche. Il est principalement émis par les activités agricoles de fertilisation et d'élevage, impacte les zones environnantes par dépôt sec et se transporte à longue distance sous forme d'aérosols pour impacter les espaces semi-naturels. Son dépôt entraîne l'acidification et l'eutrophisation, et la perte de biodiversité des milieux. Il participe aux pics de pollutions atmosphériques aux particules surtout pendant les phases d'épandages au printemps. La mesure des émissions d'ammoniac et de son dépôt est donc un enjeu pour la santé environnementale et humaine. Dans cet exposé je brosse un panorama des techniques de mesure de la concentration en ammoniac dans la troposphère et de celles pour mesurer les flux d'émission ou de dépôt. L'exposé aborde ensuite le dépôt de l'ammoniac à proximité des sources et les méthodes possibles pour recapturer une partie de l'ammoniac émis par les sources les plus intenses. L'exposé conclut sur les perspectives concernant la mesure de l'ammoniac et les futures sources d'ammoniac au niveau global.

**Mots-Clés:** ammoniac, mesure, émissions agricoles

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: Benjamin.Loubet@inrae.fr

---

# Nanocatalyseurs en action dans un microscope électronique à transmission environnemental

Mimoun Aouine<sup>\*1</sup>, Thierry Epicier<sup>†2</sup>, Christian George<sup>‡3</sup>, and Francisco J. Cadete Santos Aires<sup>§2</sup>

<sup>1</sup>IRCELYON-Microscopie (MICROSCOPIE) – Univ Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, IRCELYON, UMR5256, 2 avenue Albert Einstein 69626 Villeurbanne Cédex, France – 2 Av. Albert Einstein, 69626 Villeurbanne, France

<sup>2</sup>IRCELYON-Méthodologies En Microscopie Environnementale (MEME) – Univ Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, IRCELYON, UMR5256, 2 avenue Albert Einstein 69626 Villeurbanne Cédex, France – 2 Av. Albert Einstein, 69626 Villeurbanne, France

<sup>3</sup>IRCELYON-Catalytic and Atmospheric Reactivity for the Environment (CARE) – Univ Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, IRCELYON, UMR5256, 2 avenue Albert Einstein 69626 Villeurbanne Cédex, France – 2 Av. Albert Einstein, 69626 Villeurbanne, France

## Résumé

Les réactions catalytiques ont lieu à la surface de la phase active des catalyseurs ; de façon à augmenter le nombre de sites actifs tout en diminuant considérablement le prix du matériau catalytique, il est alors normal d'augmenter le rapport surface/volume et donc de travailler avec des phases actives de catalyseurs de taille nanométrique souvent supportées sur des matériaux microniques ou sub-microniques. Dans le même ordre d'idées, les aérosols d'intérêt pour la chimie atmosphérique sont souvent également de taille micronique ou nanométrique.

Observer et étudier des objets (minéraux ou biologiques) de petite taille dans leur milieu de fonctionnement, i.e. une atmosphère gaz ou liquide, a été envisagé dès les débuts de la microscopie électronique à transmission (TEM – Transmission Electron Microscopy) (1) et tout au long de la deuxième moitié du 20ème siècle (2). C'est cependant l'avènement des TEM corrigés, au début du 21ème siècle, qui a donné une nouvelle impulsion aux TEMs dits 'environnementaux' (ETEMs) (3). Dans un ETEM on peut introduire une pression de gaz (souvent  $\leq 20$  mbar), au niveau des échantillons à observer, tout en gardant des pressions très faibles dans la colonne ( $\sim 10^{-7}/10^{-8}$  mbar) et au niveau du canon (à électrons) à émission de champ de type Schottky ( $\sim 10^{-9}$  mbar) grâce à un système performant de pompage différentiel.

Le Ly-EtTEM (Lyon Environmental & tomographic Transmission Electron Microscope) du CLYM ([www.clym.fr](http://www.clym.fr) : Consortium Lyon St-Etienne de Microscopie) (Fig. 1) fonctionne sur ce principe. Ce microscope, corrigé des aberrations de la lentille objectif, permet des

---

\*Intervenant

†Auteur correspondant: [thierry.epicier@ircelyon.univ-lyon1.fr](mailto:thierry.epicier@ircelyon.univ-lyon1.fr)

‡Auteur correspondant: [christian.george@ircelyon.univ-lyon1.fr](mailto:christian.george@ircelyon.univ-lyon1.fr)

§Auteur correspondant: [francisco.aires@ircelyon.univ-lyon1.fr](mailto:francisco.aires@ircelyon.univ-lyon1.fr)

études en imagerie haute résolution classique ( $\sim 0.09$  nm en présence de gaz). Des détecteurs spécifiques permettent également de faire, avec une très bonne résolution ( $< 0.15$  nm ; détection d'atomes/ions isolés), de l'imagerie " chimique " ou (HA)ADF ((High) Annular Dark Field). L'analyse chimique locale peut être faite soit par EDX (Energy-Dispersive X-ray spectroscopy) soit par EELS (Electron Energy-Loss Spectroscopy) ; cette dernière pouvant également fournir des informations sur le degré d'oxydation éléments des espèces caractérisées. L'instrument est également équipé d'une caméra rapide (permettant des acquisitions d'images 2kx2k à 100 fps). Avec des porte-échantillons adéquats on peut alors travailler en température variable (chauffer jusqu'à  $\sim 1100^\circ\text{C}$  ou refroidir jusqu'à  $\sim -170^\circ\text{C}$ ). Ce microscope permet ainsi d'étudier des catalyseurs dans des conditions quasi-réalistes de fonctionnement en utilisant l'ensemble de ces méthodes. Il est alors possible d'obtenir des informations en haute résolution spatiale et en temps réel de l'évolution des catalyseurs et de leur support (morphologie, structure, phases chimiques, empoisonnement/régénération, mobilité/dispersion) en présence d'environnements gazeux contrôlés et/ou en cours de réaction dans des conditions de pression et température variables ; ceci dans le but de les corrélérer avec leurs performances catalytiques (activité, sélectivité, stabilité), afin, d'une part, de mieux comprendre les mécanismes à l'œuvre pendant l'acte catalytique et, d'autre part, d'améliorer la conception de catalyseurs à propriétés spécifiques et/ou modulables.

En travaillant à des températures en-dessous (mais autour) de l'ambiante, tout en restant dans la gamme de pression disponible ( $\leq 20$  mbar), on peut contrôler l'humidité relative (RH) et étudier ainsi les propriétés hygroscopiques d'aérosols et leurs variations en fonction de leur nature chimique et de leur taille (du micron au nanomètre). L'utilisation de températures négatives plus importantes permet d'accéder à la formation de glace sur des aérosols.

Nous illustrons les potentialités du Ly-ETEM à travers des exemples choisis dans les domaines de la catalyse hétérogène et de la chimie atmosphérique :

(i) Identification structurale et chimique des sites actifs dans la phase M1 de l'oxyde  $\text{MoVTeNbO}$ , actif dans plusieurs réactions d'oxydation d'hydrocarbures d'intérêt industriel, par imagerie HAADF (contraste de numéro atomique) en haute résolution (Fig. 2) (4).

(ii) Observation en haute résolution et en temps réel de l'influence de l'environnement sur la mobilité atomique de surface de nanocubes de cérium ( $\text{CeO}_2$ ): sous UHV, la réduction de la surface des cristaux par le faisceau électronique induit une grande mobilité des atomes terminaux de cérium ; dès l'introduction d'oxygène, même à très faible pression ( $< 10^{-2}$  mbar), la surface se stabilise et une terminaison O est observée ; finalement, en présence de  $\text{CO}_2$  la surface est très stable et un contraste asymétrique terminal apparaît pouvant être attribué à la formation de carbonates de surface (5).

(iii) Etude dynamique en haute résolution de la formation de phases actives à base de Ni obtenues par exsolution (sous hydrogène à haute température) dès les premiers stades (germes sub-nanométriques) jusqu'à la formation de cristallites nanométriques ancrés sur la surface (6).

(iv) Contrôle et modulation de la phase active (taille/forme, nature chimique) par des cycles d'oxydation/réduction de catalyseurs Pt/ $\text{CeO}_2$  pour oxydation des suies diesel (7) et du CO (8).

(v) Observation dynamique de l'oxydation de suies sur des catalyseurs  $\text{CeO}_2/\text{ZrO}_2$  (9) et approche 3D in situ en tomographie ultra rapide (10)

(vi) Etude dynamique des propriétés hygroscopiques (déliquescence/efflorescence) du NaCl (aérosol modèle) sur des particules sub-microniques et nanométriques dans l'ETEM avec des porte-échantillons refroidissants : un modèle commercial refroidi par azote liquide et un autre basé sur un micro-dispositif thermoélectrique (effet Peltier) fait maison (11, 12).



(vii) Formation de glace dans l'ETEM sur des aérosols issus des réacteurs d'avion dans le but de comprendre la formation de glace trainées de condensation en altitude (12).

#### *Références*

- (1) L. Marton, Bull. Acad. Roy. Belg. Cl. Sci. 21 (1935) 553.
- (2) R.T.K. Baker et al., J. Catal. 26 (1972) 51.
- (3) J.B. Wagner et al, Micron 43 (2012) 1169.
- (4) M. Aouine et al., ACS Catalysis 6 (2016) 1775.
- (5) M. Bugnet et al., Nano Lett. 17 (2017) 7652; M. Bugnet et al., Microsc. Microanal. 24 (S1) (2018) 1940.
- (6) D. Neagu et al., ACS Nano 13 (2019) 12996; D.J. Deka et al., Appl. Catal. B-Environ. 286 (2021) 119917; J. Kim et al., J. Mater. Chem. A 10 (2022) 2483.
- (7) A.M. Gänzler et al., Angew. Chem. Int. Ed. 56 (2107) 13078.
- (8) G. Ferré et al., Catal. Sci. Technol. 10 (2020) 3904.
- (9) A. Serve et al., Appl. Catal. A-Gen. 504 (2015) 74; E. Aneggi et al., Chem. Commun. 55 (2019) 3876;
- (10) H. Banjak et al., Ultramicroscopy, 189, (2018), 109-123.
- (11) J. Vas et al., Microsc. Microanal. 28 (S1) (2022) 818.
- (12) T Epicier et al., Rapport final du PRC WATEM n°ANR-20-CE42-0008, 2024, <https://hal.science/hal-04663342>

**Mots-Clés:** Microscopie électronique à transmission environnemental, Catalyse, in\_situ

---

# A la trace

Saad Tazi\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Art Lab (Art Lab) – Maroc

## Résumé

This communication explores the concept of the trace through an interdisciplinary lens, bridging anthropological and various perspectives. Drawing from the works of Jacques Derrida, Ali Harb, Walter Benjamin, Tim Ingold, Paul Virilio, and Jean Baudrillard, we argue that every action leaves a trace, which may be material or immaterial, visible or invisible, and often persists beyond the initial event. The trace, as examined by Derrida, is neither fully present nor absent, existing within a continuum of deferred meaning. Harb's notion of the multiplicity of traces underscores the coexisting layers of impact, while Benjamin situates the trace as a carrier of memory. Ingold's view of the trace as a dynamic process emphasizes its evolving nature, Virilio highlights the speed at which traces may vanish, and Baudrillard warns of the simulation of traces in contemporary society.

Based on these perspectives, we propose a classification of traces-material, immaterial, active, and passive-while distinguishing between the concepts of trace, imprint, and memory. The trace, inherently mutable, reflects the socio-historical context and technological advances of the time, thus calling for caution in its interpretation. This reflection is particularly pertinent for climatology, where the cumulative and often overlapping traces of environmental events (both natural and anthropogenic) must be studied with a careful understanding of their evolving meanings and implications.

We conclude that a critical, interdisciplinary approach to the concept of trace offers valuable insights for climate science, particularly in evaluating long-term environmental impacts and understanding the complexities of both the physical and symbolic traces left by climate phenomena and man's actions.

Benjamin Walter (*L'oeuvre d'art à l'époque de sa reproductibilité technique*), Derrida Jacques (*De la grammatologie*), Harb, Ali (*Le jeu du sens*), Ingold, Tim (*Lines : a brief history*), Virilio, Paul (*Vitesse*), Baudrillard, Jean (*Le Système des objets*)

**Mots-Clés:** Trace, imprint, memory.

---

\*Intervenant



# Posters



---

# Ceramic membranes made from Moroccan geo-materials for liquid and gas separation

Amine Ezzahi\*<sup>1</sup>, Mohamed Bouhria<sup>1</sup>, and Saad Alami Younssi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of materials membranes and environment (L2ME), Faculty of Sciences and Techniques of Mohammedia. Hassan II university of Casablanca. (UH2C) – Maroc

## Résumé

Ceramic products are extremely interesting in the field of membranes because of their great chemical and mechanical stability. Their use is mainly limited by their fragility. As the use of a material is linked to its manufacturing cost, it is necessary to direct the current research towards the exploitation of low cost materials such as clays.

Ceramic membranes also could be used to separate single gases from gas mixtures or in membrane reactors. Ceramic membrane reactors (CMR) offer the possibility of directly coupling separation processes with chemical reactions, leading to process intensification and thus increased efficiency.

Its ability to achieve very specific separations, without phase change, at low or ambient temperatures makes membrane filtration a much more cost effective solution than conventional methods in many applications.

This aims of this project is the realization of composite ceramic membranes PDMS coated based on Moroccan red clay. Both raw clay and PDMS coated supports were characterized in terms of chemical composition (XRF), mineralogical composition (XRD), Thermal analysis (TGA), spectroscopic analysis (FTIR) and SEM.

The water absorption, the porosity and the contact angle shows that PDMS makes a notable modification of the surface that can explained by a decrease in pore size and a better densification.

**Mots-Clés:** Red Clay, PDMS, membrane, nanofiltration, effluent.

---

\*Intervenant

---

# Chimie nocturne de composés furaniques : dépendance en température des cinétiques avec NO<sub>3</sub> et mécanismes réactionnels

Fatima Al Ali<sup>1,2</sup>, Vincent Gaudion<sup>1</sup>, Nicolas Houzel<sup>2</sup>, Cécile Coeur<sup>2</sup>, Alexandre Tomas<sup>\*1</sup>,  
and Manolis Romanias<sup>†1</sup>

<sup>1</sup>Centre for Energy and Environment (CERI EE - IMT Nord Europe) – IMT Nord Europe – Cité  
Scientifique, Rue Guglielmo Marconi BP 20145 VILLENEUVE D'ASCQ, France

<sup>2</sup>Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère (LPCA) – Université du Littoral Côte d'Opale  
(ULCO) – Maison de la Recherche en Environnement Industriel 2 (MREI2) 189A, Avenue Maurice  
Schumann, 59140 Dunkerque, France

## Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié les réactions entre le radical NO<sub>3</sub> et 3 composés furaniques : le furane (Fn), le 2-méthyl-furane (2-MF) et le 2,5-diméthyl-furane (2,5-DMF), en utilisant la méthode de cinétique relative et une chambre de simulation atmosphérique régulée en température (THALAMOS). Les furanes sont des composés organiques volatils majeurs dans les émissions de feux de biomasse. Les cinétiques ont été investiguées entre 263 K (-10°C) et 373 K (100°C), à pression atmosphérique dans de l'air zéro. Les espèces chimiques – réactifs et produits organiques – ont été mesurées en temps réel par SIFT-MS (Selected Ion Flow Tube Mass Spectrometry).

Les dépendances en température des cinétiques seront présentées sous la forme de relations basées sur la loi d'Arrhenius. Dans le cas du furane et du 2,5-DMF, les produits majoritaires ont été identifiés et quantifiés, permettant de proposer les mécanismes réactionnels associés, notamment la contribution des voies d'addition et d'abstraction d'hydrogène. Ce travail montre que l'oxydation des furanes par NO<sub>3</sub> constitue le principal puits de ces composés dans la troposphère durant la nuit, mais également de façon non négligeable en journée.

Cette étude fait partie du programme de recherche CaPPA financé par l'ANR au travers du contrat ANR-11-LABX-0005-01, et du CPER ECRIN, financé par la Région Hauts-de-France. Ce travail est également supporté par le programme national LEFE (Les Enveloppes Fluides et l'Environnement) dans le cadre du projet FiLL.

**Mots-Clés:** Freinage, émissions, COV, particules, train

---

\*Intervenant

†Auteur correspondant: emmanouil.romanias@imt-nord-europe.fr

---

# CO<sub>2</sub> emissions reduction through the development of low-carbon cement integrating industrial byproducts

Alain Tèebwaoga Sina\*<sup>†1</sup>, Jamal Ait Brahim<sup>1</sup>, Brahim Achiou<sup>1,2</sup>, and Redouane Beniazza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Mohammed VI Polytechnique (UM6P) – Benguerir, Maroc

<sup>2</sup>Hassan II University of Casablanca (UH2C) – Mohammedia, Maroc

## Résumé

The world's population growth is leading to an increase in demand for electricity and heating. Worldwide, the most commonly used source for electricity production is coal combustion in thermal power plants. Various coal combustion by-products are generated during the process, such as fly ash, bottom ash, and boiler slag. In 2019, between 600 and 800 million tons of fly ash were produced globally (1). This is supported by the fact that global coal consumption was approximately 3,856.65 Mt in 2022 (2).

In Morocco, coal consumption is about 5.4 Mt/year to meet 40% of the country's electricity demand. This contributes to the generation of over 510,000 tons of coal ash per year (3). Thereby, inadequate storage of such amount of waste can pose serious environmental risks through the leaching of toxic elements. Moreover, the coal emission factor is about 2,332.49 kg CO<sub>2</sub> per ton of coal (4). With this CO<sub>2</sub> emission factor, CO<sub>2</sub> production through coal consumption could be estimated at over 12.6 Mt CO<sub>2</sub>/year in Morocco.

This work aims to use fly ash with other industrial waste such as phosphogypsum in portland cement to substitute clinker as a setting retarder, workability improver, and to optimize mechanical properties. Using a clinker-to-cement ratio of 0.82, a coal-to-cement ratio of 0.09 and a phosphogypsum-to-cement ratio of 0.09, compressive and flexural strengths are + 96% and + 32% at 28 days compared to the control, respectively. Moreover, based on the work of Jamora *et al.*, with the same ratios, the annual potential greenhouse gas emissions reduction could be estimated to about 0.5 Mt CO<sub>2</sub>/year (4). Therefore, the association of these byproducts can lead to reduce CO<sub>2</sub> emissions in cement industry and contribute to a circular economy and environmental benefits in thermal power plants as well as in the fertilizer industry.

## References :

(1) M. Rafeizonooz, E. Khankhaje, S. Rezaia, *Assessment of environmental and chemical properties of coal ashes including fly ash and bottom ash, and coal ash concrete*, *Journal of Building Engineering* 49 (2022) 104040. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104040>.

(2) *Energy Institute, Statistical Review of World Energy, 2023*. [https://www.energyinst.org/\\_data/assets/pdf\\_file/0](https://www.energyinst.org/_data/assets/pdf_file/0)

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: Alain.SINA@um6p.ma

(3) S. El Moudni El Alami, R. Moussaoui, M. Monkade, K. Lahlou, N. Hasheminejad, A. Margaritis, W. Van Den Bergh, C. Vuye, *Lime Treatment of Coal Bottom Ash for Use in Road Pavements: Application to El Jadida Zone in Morocco*, *Materials* 12 (2019) 2674. <https://doi.org/10.3390/ma12172674>.

(4) J.B. Jamora, S.E.L. Gudia, A.W. Go, M.B. Giduquio, M.E. Loretero, *Potential CO<sub>2</sub> reduction and cost evaluation in use and transport of coal ash as cement replacement: A case in the Philippines*, *Waste Management* 103 (2020) 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.026>.

**Mots-Clés:** Fly ash, Combustion, CO<sub>2</sub> emission, Cement, Phosphogypsum, Circular economy.



---

# Combustion des grignons d'olive dans une chaudière à lit fixe

Mariem Hassene\*<sup>1</sup>, Brahim Sarh†<sup>2</sup>, Hassan El Bari‡<sup>3</sup>, and Toufik Boushaki§<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE) – ICARE (Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement) – CNRS (UPR 3021) – 1C, avenue de la Recherche Scientifique, CS 50060, 45071 - Orléans Cedex 2, France

<sup>2</sup>Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE) – ICARE (Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement) – CNRS (UPR 3021) – 1C, avenue de la Recherche Scientifique, CS 50060, 45071 - Orléans Cedex 2, France

<sup>3</sup>Université Ibn Tofaïl (UIT) – B.P 242, Kénitra, Maroc

<sup>4</sup>Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE) – Université d'Orléans, Centre National de la Recherche Scientifique : UPR3021 – 1C, avenue de la Recherche Scientifique , CS 50060 , 45071 - Orléans Cedex 2, France

## Résumé

La présente étude fait partie du projet Valormac (JRP CNRS-Africa) et concerne la caractérisation de la combustion des grignons d'olives dans une chaudière à biomasse à lit fixe. Dans le contexte énergétique actuel, il est crucial de rechercher de nouvelles sources d'énergie qui minimisent les émissions des gaz à effet de serre, afin de contribuer à la transition énergétique et écologique. C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet Valormac qui a pour but de valoriser les déchets d'extraction de l'huile d'olive pour la production d'énergie. Au cours de cette étude, la combustion de cette biomasse est étudiée en s'intéressant au comportement des flammes, aux émissions des polluants et les températures de flamme et les gaz tout au long de la chambre de combustion. L'effet de certains paramètres (taux d'aération, granulométrie de la biomasse) sur la combustion est analysé. L'expérience se déroule dans une chambre de combustion cylindrique à lit fixe de puissance nominale 50kW (voir Figure 1). La matière solide est introduite dans la chambre à biomasse partir du réservoir via une vise sans fin. L'air est introduit par un système de ventilation contrôlé et injecté à travers une grille située en bas de la chaudière. Au cours de la combustion, les données sur la température sont obtenues par les thermocouples placés dans plusieurs niveaux de la chaudière. Les concentrations des gaz de combustion comme CO, NOx, CO2 et O2 sont mesurées à l'aide d'un analyseur multi gaz. Les températures peuvent atteindre 800°C au niveau des fumées lorsque le régime de combustion est établi. Ces résultats montrent que les grignons d'olive sont une source prometteuse pour la production de la chaleur pour le chauffage domestique ou même pour des applications industrielles comme la cogénération. Les températures des gaz et les émissions de CO, NOx et suies sont très sensibles au taux d'aération et à la granulométrie de la biomasse. Les résultats montrent clairement la réduction des émissions

---

\*Intervenant

†Auteur correspondant: brahim.sarh@univ-orleans.fr

‡Auteur correspondant: elbari.hassan@uit.ac.ma

§Auteur correspondant: toufik.boushaki@cnrs-orleans.fr

polluantes avec l'augmentation d'aération en air. En revanche la température des flammes et des gaz diminue avec la croissance du taux d'aération, mais reste relativement élevée pour les besoins en chaleur et éventuellement en électricité à travers des micro-turbines.

**Mots-Clés:** Combustion, lit fixe, grignon d'olives, polluants, température de la flamme

---

# Combustion des grignons d'olives dans une chaudière à lit fixe

Mariem Hassene\*<sup>1</sup>, Brahim Sarh<sup>2</sup>, Hassan El Bari<sup>3</sup>, and Toufik Boushaki<sup>†4</sup>

<sup>1</sup>Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE) – ICARE (Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement) – CNRS (UPR 3021) – 1C, avenue de la Recherche Scientifique, CS 50060, 45071 - Orléans Cedex 2, France

<sup>2</sup>Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE) – Université d'Orléans, Centre National de la Recherche Scientifique : UPR3021 – 1C, avenue de la Recherche Scientifique, CS 50060, 45071 - Orléans Cedex 2, France

<sup>3</sup>Université Ibn Tofaïl (UIT) – B.P 242, Kénitra, Maroc

<sup>4</sup>Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE) – Université d'Orléans, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes - CNRS Ingénierie – 1C, avenue de la Recherche Scientifique, CS 50060, 45071 - Orléans Cedex 2, France

## Résumé

La présente étude fait partie du projet Valormac (JRP CNRS-Africa) et concerne la caractérisation de la combustion des grignons d'olives dans une chaudière biomasse à lit fixe. Dans le contexte énergétique actuel, il est crucial de rechercher de nouvelles sources d'énergie qui minimisent les émissions des gaz à effet de serre, afin de contribuer à la transition énergétique et écologique. C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet Valormac qui a pour but de valoriser les déchets d'extraction de l'huile d'olive pour la production d'énergie. Dans ce travail, la combustion de la biomasse est étudiée en s'intéressant au comportement des flammes, aux émissions polluantes et aux températures de flamme et de gaz tout au long de la chambre de combustion. L'effet de certains paramètres (taux d'aération, granulométrie de la biomasse) sur la combustion est analysé. L'expérience se déroule dans une chambre de combustion cylindrique à lit fixe de puissance nominale 50kW (voir Figure 1). La matière solide est introduite dans la chaudière à partir du réservoir via une vise sans fin. L'air est introduit par un système de ventilation contrôlé et injecté à travers une grille située en bas de la chaudière. Au cours de la combustion, les

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: [toufik.boushaki@cnrs-orleans.fr](mailto:toufik.boushaki@cnrs-orleans.fr)

données sur la température sont obtenues par les thermocouples (type K) placés à différentes hauteurs de la chaudière. Les concentrations des gaz de combustion comme CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> sont mesurées à l'aide d'un analyseur multi-gaz. Les températures peuvent atteindre 800°C au niveau des fumées lorsque le régime de combustion est établi. Ces températures élevées montrent que les grignons d'olive sont une source prometteuse pour la production de la chaleur pour le chauffage domestique ou même pour des applications industrielles comme la cogénération. Les températures des gaz et les émissions de CO, NO<sub>x</sub> et suies sont très sensibles au taux d'aération et à la granulométrie de la biomasse. Les résultats montrent clairement la réduction des émissions polluantes avec l'augmentation d'aération. En revanche les températures de flammes et des gaz diminuent avec la croissance du taux d'aération, mais reste relativement élevées pour les besoins en chaleur et éventuellement en électricité à travers des microturbines.

**Mots-Clés:** Combustion, chaudière à lit fixe, grignon d'olives, polluants, température de la flamme

---

# Fly ash-based ceramic membranes: An ecological approach to water filtration technology

Sanaa Adlane<sup>\*†1</sup>, Doha El Machtani Idrissi<sup>‡1</sup>, Brahim Achiou<sup>§1</sup>, Amine Ezzahi<sup>¶1</sup>, Mohamed Bouhria<sup>||1</sup>, Abdellah Aaddane<sup>\*\*1</sup>, Mohamed Ouammou<sup>††1</sup>, and Saad Alami Younssi<sup>‡‡1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of materials membranes and environment (L2ME), Faculty of Sciences and Techniques of Mohammed VI Hassan II university of Casablanca. (UH2C) – Maroc

## Résumé

Fly ash, a by-product of coal combustion, poses significant environmental problems due to its large-scale production and disposal, which often results in air and water pollution. The use of fly ash in the preparation of ceramic membranes offers a sustainable solution by reducing waste and improving membrane properties.

Ceramic membranes have proven their high performance in water cycle applications, including purification, effluent treatment and desalination, particularly benefiting the food and dairy industries. Fly ash, rich in silica, alumina and iron oxides, improves the structural integrity of ceramic membranes when combined with red clay.

This study explores the integration of fly ash into red clay-based ceramic membranes, focusing on its impact on porosity and permeability. The resulting membranes have a maximum permeability of 364.84 L h<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>bar<sup>-1</sup> and deliver a 95.94% reduction in effluent turbidity, demonstrating their potential in dairy wastewater pretreatment. This innovative approach not only addresses the environmental concerns associated with fly ash removal, but also promotes the development of cost-effective, high-performance filtration systems, helping to reduce the ecological footprint.

**Mots-Clés:** Fly ash, Red Clay, lowcost membrane, microfiltration, dairy wastewater.

---

\*Intervenant

† Auteur correspondant: sanaa.adlane-etu@etu.univh2c.ma

‡ Auteur correspondant: doha.elmachtani.idrissi@etu.fstm.ac.ma

§ Auteur correspondant: achiou.brahim@gmail.com

¶ Auteur correspondant: mr.ezzahi@gmail.com

|| Auteur correspondant: mohamed.bouhria@fstm.ac.ma

\*\* Auteur correspondant: aaddanea@yahoo.fr

†† Auteur correspondant: mohamed.ouammou@fstm.ac.ma

‡‡ Auteur correspondant: saad.alamiyounssi@fstm.ac.ma

---

# Investigation in simulation chambers of the ozonolysis of preno1, a second-generation biofuel: Atmospheric reactivity and health effects

Reem Al Mawla<sup>1</sup>, Cécile Coeur<sup>\*1</sup>, Nicolas Houzel<sup>1</sup>, Sylvain Billet<sup>2</sup>, Antoine Truffier<sup>2</sup>, Fatima Al Ali<sup>3</sup>, Alexandre Tomas<sup>†3</sup>, and Manolis Romanias<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère (LPCA) – Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO) – Maison de la Recherche en Environnement Industriel 2 (MREI2) 189A, Avenue Maurice Schumann, 59140 Dunkerque, France

<sup>2</sup>Unité de Chimie Environnementale et Interactions sur le Vivant (UCEIV) – Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO) – Site de Dunkerque: 145-189 A, Avenue Maurice Schumann 59140 Dunkerque Site de Calais: 50, rue Ferdinand Buisson 62228 Calais, France

<sup>3</sup>Centre for Energy and Environment (CERI EE - IMT Nord Europe) – IMT Nord Europe – Cité Scientifique, Rue Guglielmo Marconi BP 20145 VILLENEUVE D'ASCQ, France

## Résumé

The use of second-generation **biofuels** has been widely increased due to the impacts of air pollution on air quality, climate, and human health. **Prenol** (3-methyl-2-buten-1-ol) is a known potential second-generation biofuel. The release of this Volatile Organic Compound (VOC) in the atmosphere is unavoidable during its transportation, storage and as unburned fuel from car engines. The presence of the C=C double bond makes preno1 reactive toward **atmospheric oxidants** and can hence contribute to the formation of various products, both in the gas- and particle- phases.

The objective of this study was to investigate the **ozonolysis** reaction of **preno1** in the atmosphere and to evaluate its impacts on human health.

The ozone reaction of preno1 has been performed in two **simulation chambers**, CHARME (CHamber for the Atmospheric Reactivity and the Metrology of the Environment, Dunkerque, France) and THALAMOS (Thermally Regulated Atmospheric Simulation Chamber, Douai, France). Soft Ionization mass spectrometers and a Scanning Mobility Particle Size (SMPS) were used to monitor the concentrations of VOCs and **Secondary Organic Aerosols** (SOAs), respectively.

The **rate coefficient** for the ozonolysis reaction of preno1 was determined by the relative method using several references. The obtained average value is  $(3.48 \pm 0.3) \times 10^{-16} \text{ cm}^3 \cdot \text{molecule}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , which allows to calculate an atmospheric lifetime of 18 minutes for preno1 with respect to its ozonolysis, suggesting that this reaction is an important sink of this compound in the atmosphere.

---

\*Auteur correspondant: coeur@univ-littoral.fr

†Intervenant

The main **oxidation products** observed in the gas-phase include acetone, glycolaldehyde, and methylglyoxal.

In addition, the ozonolysis of prenil has shown to produce SOAs, with maximum aerosol yields equal to 0.027 indicating that this reaction is a **minor source of SOAs** in the atmosphere. The organic aerosol formation can be represented by a one-product gas/particle partitioning absorption model, with a stoichiometric coefficient  $\alpha = 0.043 \pm 0.001$  and an equilibrium constant  $K = (0.031 \pm 0.002) \text{ m}^3 \cdot \mu\text{g}^{-1}$ .

Finally, to understand the impact of prenil and its ozonolysis reaction on health, **human lung cells** (Calu-3 cell line) were exposed at the air/liquid interface (ALI) for 1 hour to prenil, ozone or prenil + ozone by coupling CHARME to a **Vitrocell®** device (Fig 1). No significant increase in cytotoxicity was observed after the different exposures. However, Reverse Transcription – quantitative Polymerase Chain Reaction (RT-qPCR) analyses showed gene induction of proteins involved in xenobiotic metabolism (CYP2E1 and NQO1) and antioxidant defense (HMOX1, NOQ1, and NRF2) in the cells exposed to the compounds alone or in mixture compared with filtered air used as a control. A **pro-inflammatory** response was also quantified both at the gene and protein levels.

To our knowledge, this work represents the first investigation on the SOAs formation from the ozonolysis of prenil and on the toxicological study of prenil on respiratory tract.

**Mots-Clés:** Biocarburant, réactivité atmosphérique, toxicologie, ozonolyse, chambre de simulation

---

# Study in the atmospheric simulation chamber CHARME of the reactivity of monoterpenes first-generation oxidation products: Implications on air quality and climate

Sandy Solaiman<sup>1</sup>, Cécile Coeur<sup>\*1</sup>, Nicolas Houzel<sup>1</sup>, Reem Al Mawla<sup>1</sup>, Eric Fertein<sup>1</sup>,  
Alexandre Tomas<sup>†2</sup>, and Manolis Romanias<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère (LPCA) – Université du Littoral Côte d'Opale  
(ULCO) – Maison de la Recherche en Environnement Industriel 2 (MREI2) 189A, Avenue Maurice  
Schumann, 59140 Dunkerque, France

<sup>2</sup>Centre for Energy and Environment (CERI EE - IMT Nord Europe) – IMT Nord Europe – Cité  
Scientifique, Rue Guglielmo Marconi BP 20145 VILLENEUVE D'ASCQ, France

## Résumé

Biogenic volatile organic compounds (BVOCs) emitted by terrestrial vegetation are crucial in atmospheric chemistry and climate, with global emissions estimated at around 1000 Tg per year. Monoterpenes, comprising 15% of total BVOC emissions, are particularly notable for their low volatility and their atmospheric reactivity forming gaseous oxidation products, **secondary organic aerosols (SOAs)** and tropospheric ozone. Despite their importance, the oxidation mechanisms and SOA formations of **first-generation terpene oxidation products** are poorly addressed in literature.

Atmospheric secondary organic aerosols (SOAs), are formed from condensable oxidation products of anthropogenic and biogenic absence of seed particles. The concentration of **myrtenal** was measured by an aerosol formation yield increases as the initial **myrtenal** concentration rises.  $Y$  is a strong function of  $Mo$  and the organic aerosol formation can be expressed by a one-product gas/particle partitioning absorption model. The maximum SOA yield  $Y_{max}$  is 32 %, with a stoichiometric coefficient  $\alpha = 0.36 \pm 0.02$  and a gas-particle partitioning coefficient  $K = 0.04 \pm 0.01 \text{ m}^3 \cdot \mu\text{g}^{-1}$ . Since  $\alpha$  and  $Y_{max}$  are close, this suggests that the gas-phase oxidation products are almost completely transferred into the particulate phase.

To the best of our knowledge, this study represents the first investigation on the SOA formation potential from the gas-phase reaction of **myrtenal** with **NO radicals**.

**Mots-Clés:** Chambre de simulation atmosphérique, Produits d'oxydation de première génération des terpènes, myrtenal, radicaux nitrates, aérosol organique secondaire

---

\*Auteur correspondant: coeur@univ-littoral.fr

†Intervenant



---

# Identification of instrumental artefacts in terpene detection: field studies and follow-up chamber campaign ACROSS-HECTIC

Veronique Daële<sup>\*1</sup>, Fanny Bachelier<sup>1,2</sup>, and Intercomparaison Hectic Partenaires<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE) – ICARE (Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement) – CNRS (UPR 3021) – 1C, avenue de la Recherche Scientifique, 45071 Orléans, France

<sup>2</sup>Chromatotec (Chromatotec) – Airmotec/Chromatotec – 1 avenue Jean Olibet honore, 33240 Saint-André-de-Cubzac, France

<sup>3</sup>HECTIC (HECTIC) – HECTIC – 1C, avenue de la Recherche Scientifique, 45071 Orléans, France

## Résumé

Terpenes, a subset of biogenic volatile organic compounds (BVOCs), are major emissions that strongly affect the air chemistry of forested environments. Despite this, their quantification and speciation remain challenging. As a recent example, we take an extensive suite of field measurements that took place in the Rambouillet forest during the ACROSS (Atmospheric ChemistRy Of the Suburban foreSt) campaign (Cantrell *et al* (2023)).

Among the instruments deployed, 8 were used to measure VOCs, including two different technologies: Proton Transfer Reaction Time of Flight Mass Spectrometry (PTR-ToF-MS) and Thermal Desorption Gas Chromatography with Flame Ionization / Mass Spectrometry detections (TD-GC-FID/MS). As shown in figure 1, the comparison of these instruments from different teams revealed a strong disagreement in monoterpene measurements: from tens of ppt to low ppbs measured by GCs and PTR-MS respectively.

There are several possible causes for these differences, including: miscalibrations, sample decomposition, interferences and effects of environmental conditions.

To help resolving these discrepancies, we invited the participants of ACROSS to the HELIOS platform, situated at CNRS-Orléans, in a measurement campaign called HECTIC (Helios Chamber Terpenes Instrumental Comparison). This consisted of a series of experiments which were designed for investigating analytical responses of the different instruments to isoprene and monoterpenes and identify the systematic differences observed during ACROSS. Of the two groupings, it is expected that the GC instruments tend to underestimate terpene concentrations for the following reasons: miscalibration, trap breakthrough, oxidation of trapped species by ambient ozone, sample decomposition and/or isomerization, and sample line conditions. Conversely, PTR-MS may be susceptible to overestimation of terpene concentrations due to: miscalibration and fragmentation and interfering masses on  $m/z$  69, 81 and 137. For this purpose, we designed a hybrid setup (presented in figure 2) whereby stable concentrations of the targeted species in the chamber could be perturbed with various different conditions (humidity, ozone, interferents).

---

\*Intervenant

Some sampling line effects were encountered. In some cases, humidity effects were observed in the GC techniques, leading to sample degradation and/ or isomerization. Similarly, a sensitivity to ozone concentrations was suspected.

These results highlight a potential problem of ambient measurements of an important class of compounds, whereby, depending on the analytical technique and manner in which it's used, significant differences in concentrations and speciation could be observed.  
Cantrell et al. (2023) 10.5194/egusphere-egu23-12435

**Mots-Clés:** BVOCs, field measurements, instrumental comparisons

---

# Urban Thermal Environment's Quality Assessment a Case Study of Grand Casablanca

Malah Anass\*<sup>1</sup> and Bahi Hicham<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Malah (ARC Air) – Maroc

<sup>2</sup>Bahi (ARC Air) – Maroc

## Résumé

In the last few decades, urban areas around the world have known a significant urban expansion in metropolitan cities. This urban expansion has important effects on urban thermal comfort, which ties in with various aspects such as health risks, living environment, and the population's well-being. In this context, the conventional temperature-humidity indexes (THIs) that rely on on-site data have been commonly utilized to evaluate the quality of the urban thermal environment. However, these indexes do not provide spatial information on thermal comfort. Therefore, this study used the modified temperature-humidity index (MTHI) based on the Land Surface Temperature and Normalized Difference Moisture Index obtained via remote sensing instead of the on-site air temperature and relative humidity. The MTHI was used to investigate the spatial characteristics of the urban thermal environment quality (UTQ) in Casablanca city and the surrounding area. Furthermore, the obtained result was spatially mapped under five classes (Uncomfortable, Less comfortable, Moderate, Comfortable, and More comfortable). The results showed significant variations in urban thermal comfort spatial patterns across the study area. Yet, thermal comfort is discomfortable in more than 50% of Casablanca city, which is the most crowded area in the city (nearly two-thirds of the population). These areas are characterized by an important concentration of buildings, elevated structures, roads, and parking lots. It indicates that urban design is the main factor affecting urban thermal comfort

**Mots-Clés:** Urban thermal comfort, Land surface temperature, Normalized Difference Moisture Index, Temperature, humidity index, Remote sensing, Casablanca

---

\*Intervenant

---

# Spatiotemporal dynamics of FFCO<sub>2</sub> emissions and NO<sub>2</sub> concentrations in the Casablanca-Settat Region under the Impact of LULC Changes and Socio-Economic Factors

Anas Sabri\*<sup>†1</sup> and Bahi Hicham<sup>1</sup>

<sup>1</sup>African Research Center On Air Quality And Climate (ARC Air) – Lot 660, Ben Guerir 43150, Morocco., Maroc

## Résumé

Urbanization and population growth are primary drivers of land use and land cover changes (LU/LCC), leading to increased fossil fuel CO<sub>2</sub> (FFCO<sub>2</sub>) and tropospheric NO<sub>2</sub> concentrations. These environmental concerns are particularly critical in urban areas. This study aims to investigate spatiotemporal dynamics of FFCO<sub>2</sub> emissions (2005-2020) and NO<sub>2</sub> concentrations (2019-2023) across the Casablanca-Settat region. Multi-source data were used to analyze and quantify FFCO<sub>2</sub> emissions and NO<sub>2</sub> concentrations using statistical and spatial methods, along with their interrelationships to LULC changes and carbon sequestration. Additionally, the Geographic Weighted Regression (GWR) model was employed to evaluate the spatial impact of environmental and socioeconomic factors on FFCO<sub>2</sub> emissions and NO<sub>2</sub> concentrations. The results findings reveals, urban and croplands exhibited the highest levels of FFCO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions throughout the two study periods. Moreover, urbanization contributed to a significant decrease in carbon stocks (-478.05 kTonnes), primarily at the expense of croplands with a minimal gain (+178.98 kTonnes). The GWR analysis showed that GDP per capita, electricity consumption, and population were key drivers of FFCO<sub>2</sub> emissions. In contrast, GDP and population were the most significant contributors to NO<sub>2</sub> concentrations, particularly in Casablanca and its peri-urban areas. Among environmental factors, air temperature was the strongest positive driver of both FFCO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions. These results highlight the critical influence of urbanization, LULC changes, and socio-economic factors on emissions. They emphasize the need for coordinated low-carbon urban planning, technology promotion, and cleaner energy transitions to mitigate future emissions and improve air quality.

**Mots-Clés:** Urbanization, Land Use Land Cover Changes (LU/LCC), Air Quality, Geographically Weighted Regression (GWR), NO<sub>2</sub> Concentrations, Fossil Fuel CO<sub>2</sub> Emissions (FFCO<sub>2</sub>), Carbon Sequestration

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: anas.sabri@um6p.ma

---

# Formation de radicaux OH par le polystyrène exposé à la lumière solaire

Kevin Marjollet<sup>1</sup>, Adrien Gandolfo<sup>2</sup>, Véronique Lenoble<sup>1</sup>, and Coraline Mattei\*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut méditerranéen d'océanologie (MIO) – Aix-Marseille Université - AMU, université de Toulon, CNRS, Institut de recherche pour le développement [IRD] – M.I.O. Institut Méditerranéen d'Océanologie Bâtiment Méditerranée 163 Avenue de Luminy 13288 Marseille, France

<sup>2</sup>Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement (Ircelyon) – CNRS, Université Claude Bernard-Lyon I - UCBL (FRANCE) – CHEVREUL building 6 rue Victor Grignard 69100 Villeurbanne, France

<sup>3</sup>Institut méditerranéen d'océanologie (MIO) – Institut de Recherche pour le Développement, Aix Marseille Université, Institut National des Sciences de l'Univers, Université de Toulon, Centre National de la Recherche Scientifique – M.I.O. Institut Méditerranéen d'Océanologie Bâtiment Méditerranée 163 Avenue de Luminy 13288 Marseille, France

## Résumé

Les espèces oxygénées réactives (ROS, dont  $\bullet\text{OH}$ ) jouent un rôle clé dans les processus d'oxydation dans l'environnement ; avec leur faible sélectivité et leur forte réactivité, ils peuvent oxyder une large variété de molécules et donc modifier leur devenir environnemental. Quelques récentes études ont montré la formation de ROS par irradiation de microplastiques. Certains microplastiques étant retrouvés à l'interface entre l'océan et l'atmosphère dans des conditions d'irradiations intenses, il est essentiel de comprendre les mécanismes et cinétiques de formation des ROS pour mieux appréhender les conséquences environnementales de leur présence. L'objectif de cette étude est de caractériser la formation de radicaux OH par irradiation du polystyrène, un des plastiques les plus utilisés et qui flotte en surface sous sa forme expansée.

Dans ce travail, des granules de polystyrène dans l'eau ont été exposés dans un simulateur solaire en présence d'une sonde moléculaire spécifique aux radicaux OH (acide téréphtalique). La concentration en sonde et ses produits de réaction ont été mesurés régulièrement par spectrophotométrie UV-Vis et de fluorescence. Les cinétiques de formation de radicaux OH ainsi que leur concentration ont ainsi pu être déterminées. L'influence de la composition du milieu et de l'état du polystyrène a été évaluée en réalisant des expériences dans diverses conditions. Les résultats montrent une production significative de radicaux OH qui n'est pas altérée par le vieillissement des plastiques. Ils montrent également que cette production est favorisée dans des conditions de pH telles que celles retrouvées dans les aérosols marins.

Le caractère photosensibilisateur du polystyrène, via la formation de radicaux OH, a également été démontré pour un polluant organique dont la réactivité avec ces radicaux est connue (rhodamine). En effet, les expériences en simulateur solaire ont montré une dégradation de la rhodamine significativement accélérée en présence de polystyrène.

**Mots-Clés:** radicaux OH, Microplastiques, interface océan /atmosphère

\*Intervenant

---

# ATMOSPHERIC DEGRADATION MECHANISM AND KINETICS OF TERPENES: IMPACT OF INDOOR AIR POLLUTION

Angappan Mano Priya\*<sup>1</sup> and Dr.gisele El Dib\*<sup>†1</sup>

<sup>1</sup>Universite de Rennes1 (UR1) – Université de Rennes I – Université de Rennes, CNRS, IPR (Institut de Physique de Rennes) - UMR 6251, F-35000 Rennes, France., France

## Résumé

Degradation of air quality in atmosphere is mainly caused by air pollution represents a major health risk. Nopinone (C<sub>9</sub>H<sub>14</sub>O) is one of the most important first-generation  $\beta$ -pinene oxidation products observed in the atmosphere during field campaigns (1). Myrtenal (C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>O) is an  $\alpha$ -pinene oxidation product. It is also directly emitted by plants and found in many essential oils (2). Limona ketone (LK) (C<sub>9</sub>H<sub>14</sub>O, 4-acetyl-1-methyl-1-cyclohexene)(3,4) is emitted by  $\alpha$ -pinene massively present in indoor environment, a major atmospheric source of secondary organic aerosols (SOAs), attracted attention in the field of atmospheric chemistry. OH-addition and H-abstraction reaction of LK by OH radical have been investigated using M06-2X,  $\omega$ B97X-D, MP2 and CCSD(T) with 6-311+G(d,p) basis set. Its degradation channels and reactions with O<sub>2</sub>, NO and HO<sub>2</sub> radicals have been explored using quantum chemical methods. The reaction kinetics is studied theoretically over the temperature range of 278-350 K by employing canonical variational transition state theory with small curvature tunnelling (CVT/SCT) method. The OH addition at C1 position of LK at endocyclic double bond was shown to be the most favourable with small relative energy barrier of -7.27 kcal/mol and H-abstraction at C4 position exhibits relative energy barrier of -1.65kcal/mol at M06-2X/6-311+G(d,p) level of theory. The obtained overall rate coefficient at 298 K is  $4.77 \times 10^{-10}$  cm<sup>3</sup>molecule<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> (LK) which is in good agreement with the experimental rate coefficient determined by Atkinson et.al  $k_{OH} = (1.29 \pm 0.33) \times 10^{-10}$  at  $296 \pm 2$  K and  $\sim 735$  Torr, whereas Nopinone exhibit  $1.74 \times 10^{-11}$  cm<sup>3</sup> molecule<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) is in good agreement with the overall theoretical rate constant at 298K ( $3.2 \times 10^{-11}$  cm<sup>3</sup> molecule<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>). Further calculations are under process. This work provides the valuable information regarding the degradation mechanism and the atmospheric fate of Nopinone, Myrtenal and LK initiated by OH radical.

**Mots-Clés:** Nopinone, Myrtenal, Limona ketone, Terpenes, indoor air pollutant, climate change, potential energy surface, reaction kinetics, lifetime.

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: gisele.eldib@univ-rennes.fr

---

# Airborne Pesticide Monitoring: Study Using Active and Passive Sampling Methods

Alaa Houwayji\*<sup>1</sup>, Houceine Bouya\*<sup>†1</sup>, Clement Ajani\*<sup>1</sup>, and Abdelwahid Mellouki\*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>African Research Centre on Air Quality and Climate, University Mohammed VI Polytechnic, Lot 660, Hay Moulay Rachid Ben Guerir, 43150, Morocco (ARCAQC, UM6P) – Lot 660, Hay Moulay Rachid Ben Guerir, 43150, Morocco, Maroc

<sup>2</sup>Institut de Combustion Aérothermique, Réactivité et Environnement, Centre National de la Recherche Scientifique (ICARE-CNRS), Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre (OSUC), CS 50060, 45071 Orléans cedex02, France. (ICARE-CNRS) – CNRS ICARE, Avenue de la Recherche Scientifique, 45071 Orléans Cedex 2, France – CS 50060, 45071 Orléans cedex02, France., France

## Résumé

Pesticides play an important role in increasing crop yields which significantly benefit global economy as well. However, their widespread use has raised serious concerns about their impact on human health and the environment, as they can drift from agricultural areas and contaminate both indoor and outdoor air. Many studies have evidenced the presence of these compounds in the different environmental compartments: soil, water and air. Although air quality is a major public health issue over the world, less attention is given to the presence and behavior of pesticides in the atmosphere. This study focuses on comparing active and passive sampling techniques to measure airborne pesticide concentrations in both urban and agricultural environments. Our aim is to review active and passive sampling systems effective in capturing pesticides. Active sampling involves high-volume or low-volume air samplers with sorbents like MC@SiC® PUF and XAD-2, while passive sampling uses low-cost, diffusion-based samplers for extended monitoring periods. The advantages and drawbacks of each method in various environmental conditions will be examined. Moreover, this work will offer suggestions for future extensive monitoring efforts in agricultural and urban areas.

**Mots-Clés:** pesticides, sampling, air pollution, active sampling, passive sampling

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: houceine.bouya@um6p.ma

---

# Création de jumeaux numériques environnementaux à l'interface entre les agro/écosystèmes et l'atmosphère : projet SOL-AIR du programme JUNON

Veronique Daële\*<sup>†1</sup>, Amélie De Filippis<sup>2</sup>, Abderrazak Yahyaoui<sup>2</sup>, Rodolphe Leconte<sup>1</sup>,  
Max McGillen<sup>1</sup>, Agnès Grossel<sup>3</sup>, Isabelle Cousin<sup>3</sup>, Nathalie Moulard<sup>4</sup>, Christophe  
Guimbaud<sup>4</sup>, Juliette Mazon<sup>4</sup>, Nicolas Deschamps<sup>5</sup>, Fatima Laggoun<sup>5</sup>, and  
Jean-Sébastien Moquet<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE) – CNRS – 1C, avenue  
de la Recherche Scientifique, CS 50060, 45071 - Orléans Cedex 2, France

<sup>2</sup>Lig'Air (Lig'Air) – Région Centre Val de Loire – F-45590, Saint-Cyr-en-Val, France, France

<sup>3</sup>InfoSols (InfoSols) – INRAE – 2163 avenue de la pomme de Pin - CS 40001 Ardon - 45075 ORLEANS  
CEDEX 2, France

<sup>4</sup>Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace (LPC2E) – CNRS, Université  
d'Orléans – 3A, Avenue de la Recherche Scientifique 45071 Orléans cedex 2, France

<sup>5</sup>Institut des Sciences de la Terre d'Orléans - UMR7327 (ISTO) – CNRS, Université d'Orléans, BRGM  
– Campus Géosciences 1A, rue de la Férollerie 45071 Orléans cedex 2, France

## Résumé

Les changements climatiques et la révolution numérique posent des défis significatifs pour nos territoires. D'un côté, le réchauffement climatique menace les écosystèmes, les zones humides et forêts avec des conséquences potentielles sur la préservation des ressources naturelles associées et sur la biodiversité. Les épisodes de sécheresse plus fréquents et les inondations mettent également en danger les cultures et les infrastructures.

D'un autre côté, la révolution numérique offre des opportunités mais aussi des défis. La digitalisation peut aider à la gestion des ressources naturelles et à la prévision des catastrophes climatiques grâce à des outils comme l'Intelligence Artificielle et les Jumeaux Numériques. Cependant, afin de pouvoir opérer, elle nécessite des infrastructures adéquates.

C'est pour répondre à ces défis en Région Centre Val de Loire (France) qu'est né le programme JUNON. L'ambition première de ce programme est de mieux suivre et gérer les ressources naturelles régionales, de former un outil de prédiction servant au développement harmonieux et durable du territoire.

La création de ces jumeaux numériques nécessite d'obtenir un grand nombre de données environnementales sur le continuum eau-sol-air.

---

\*Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: veronique.daele@cnrs-orleans.fr



Pour la partie SOL-AIR de ce continuum, aussi appelé JANUSS (**J**ume**A**ux **N**umériques interface "agro/éco**S**ystèmes - atmo**S**phère"), le but est de créer une synergie des acteurs académiques et non-académiques qui produisent des données sur les polluants agissant sur la qualité de l'air, plus globalement les Polluants à Effets Sanitaires (PES)), et les flux de gaz à effet de serre (GES : CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) aux différentes interfaces de la zone critique eau/air/sol. Ces données correspondent à la fois à celles issues de chroniques long terme de mesures de terrain, de mesures expérimentales *in-situ* et de laboratoire, et de la modélisation. L'ensemble de ces données sera injecté directement ou via des modèles existants dans des approches de Machine Learning qui serviront à la réalisation de jumeaux numériques Sol-Air de première génération. Pour générer des quantités importantes de données, provenant des observations et des expérimentations, JANUSS s'appuie sur les acquisitions de plateformes expérimentales, ou déployées dans les milieu naturel et satellitaire, ainsi que sur le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Région Centre Val de Loire (Lig'Air). Les objectifs sont de : (i) Produire massivement des données de qualité pour leur intégration dans JANUSS à l'aide des données et modèles de qualité de l'air et de flux de GES ; (ii) Garantir un flux continu et pérenne de données pertinentes pour le programme actuel et pour les futures versions des jumeaux ; (iii) Organiser les données, expertiser les paramètres clés à prendre en compte, identifier des traceurs de certains processus ; (IV) Affiner la vision territoriale en visualisant l'ensemble des émissions locales sur différents sous-territoires ; V) Participer à la mise en place d'un système d'information pour faciliter le flux de données entre les acteurs de JANUSS et ceux des jumeaux numériques avec des bases données interopérables. Le projet et quelques résultats préliminaires seront présentés ici.

**Mots-Clés:** Données environnementales, Jumeaux numériques, GES, PES, Sol, Atmosphère





# Notes



# COMPOLA @2024



*Organisé par :*



*Avec le soutien :*

