



Qualité de l'Air : de la recherche aux solutions opérationnelles

- Identification des sources et leur contribution à la pollution de l'air
- Expositions et Impacts • Solutions opérationnelles

Air Quality: from research to operational solutions

- Identification of sources and their contribution to air pollution
- Exposures and Impacts • Operational solutions

Conférences - Débats - Rencontres - Exposition
Conferences - Debates - Meetings - Exhibition

www.atmosfair.fr

15 & 16/10/2025 - Lille, France

En partenariat avec / In partnership with:



PFAS



PER- AND POLY-FLUOROALKYL SUBSTANCES

6th International Congress

Gestion des Risques Environnementaux & Sanitaires Management of Environmental & Health Risks

November 27, 2025 – Geneva, Switzerland

➤ www.webs-event.com ◀

En partenariat avec / In partnership with:



Traduction simultanée / Simultaneous translation French – English

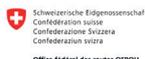
CONFÉRENCES - CONFERENCES

Inscription ▪ Registration

EXPOSITION - EXHIBITION - COMMUNICATION

Réserver un stand ▪ Book a stand

www.webs-event.com





Mercredi 15 octobre 2025

Journée Air Intérieur

Programme

08h30

Accueil et inscription des participants

Le point sur les PFAS dans l'air

09h30

Le cadre réglementaire français et européen des substances PFAS dans l'air ambiant et l'EQRS comme outil pour la protection de la santé humaine

- *Laurence Lanoy, Avocate en Droit de l'Environnement - Laurence Lanoy Avocats*
- *Frank Karg, Président - HPC International-Ginger France & Allemagne, Directeur scientifique - HPC Group - Expert de Justice*

10h30 Pause café

Solutions opérationnelles

Solutions politiques, sociétales, de gouvernance et réglementaires

11h00

Les SAMI Wallons : Les Services d'Analyse du Milieu Intérieur ou comment le service public peut améliorer la qualité des logements en Wallonie ?

Marie Peeters, Attachée à la Cellule Air Intérieur - Institut Scientifique de Service Public (ISSeP), Belgique

11h30

Présentation du projet COOPAIR : pour acCOmpagner au changement de comportement et à l'OPTimisation de la qualité de l'AIR

- *Audrey Orcel, Responsable de projet - Medieco*
- *Alix Honoré, Responsable de projet - Ispira*

12h00

Table ronde :

Besoins et enjeux de la métrologie de demain

Animateur : Dr. Fabien Squinazi, Président de la Commission Environnement - Haut Conseil de la Santé Publique

Participants :

- *Mélanie Nicolas, Responsable de la Division Caractérisation sanitaire des produits, équipements & systèmes et du Pôle Physico-chimie des sources de polluants - CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)*
- *Sabine Crunaire, Enseignant-Chercheur - IMT Nord Europe & Chargée d'études - LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance et de la Qualité de l'Air)*
- *Olivier Savy, Responsable de l'unité santé environnementale - Mission Transition Écologique et Résilience / Service des risques urbains et sanitaires - Ville de Lille*
- *Benoit Rocq, Directeur production scientifique - Atmo Hauts-de-France*

13h00 Déjeuner

Solutions technologiques

14h30

Comment la nébulisation de particules d'eau salée dans l'atmosphère, associée à leur numérisation en 3D, peut-elle vous faire économiser jusqu'à 30 % d'énergie sur vos systèmes CVC ?

Thibaut Poulter, Directeur - Cypress Harmony Europe

15h00

Améliorer la qualité de l'air dans les écoles en Belgique

Antoine Geerinckx, co-fondateur - Airscan, Belgique

15h30 Pause café

16h00

Présentation du concept de ventilation combinée dans les bâtiments non-résidentiels

Pierre Caquelin, Directeur des ventes et du marketing Europe - Fellowes Air Quality Management

16h30

Réduire les concentrations en H₂S en air intérieur face aux algues sargasses : quelles solutions ?

Frédéric Thévenet, Enseignant Chercheur - IMT Nord Europe

17h00

Caractérisation de l'efficacité d'épurateurs d'air intérieur en conditions réelles d'utilisation

Etienne de Vanssay, Directeur général - Airea

17h30

Fin de la première journée



Wednesday, October 15, 2025

Indoor Air Day

Programme

08h30 Welcome and participant's registration

An update on PFAS in the air

09h30

The French and European regulatory framework for PFAS substances in ambient air and RSQA as a tool for protecting human health

- *Laurence Lanoy, Lawyer in Environmental Law - Laurence Lanoy Avocats*
- *Frank Karg, CEO - HPC International-Ginger France & Germany, Scientific Director of HPC Group, Sworn Court Expert*

10h30 Coffee Break

Operational Solutions

Political, societal, governance and regulatory solutions

11h00

The Walloon SAMI : Les Services d'Analyse du Milieu Intérieur or how can the public service improve the quality of housing in Wallonia?

Marie Peeters, Attached to the Indoor Air Unit - Public Service Scientific Institute (ISSeP), Belgium

11h30

Presentation of the COOPAIR project: to help change behaviour and optimise air quality

- *Audrey Orcel, Project Manager - Medieco*
- *Alix Honoré, Project Manager - Ispira*

12h00

Round table:

The needs and challenges of tomorrow's metrology

Moderator: Dr. Fabien Squinazi, President of the Environment Committee - High Council for Public Health (France)

Participants :

- *Mélanie Nicolas, Head of the Division for Health Characterization of Products, Equipment & Systems and the Physicochemistry of Pollutant Sources Unit - CSTB (Scientific and Technical Center for Building)*
- *Sabine Crunaire, Lecturer-Researcher - IMT Nord Europe & Research Officer - LCSQA (Central Laboratory for Air Quality Monitoring)*
- *Olivier Savy, Head of the Environmental Health Unit - Ecological Transition and Resilience Mission / Urban and Health Risks Department - City of Lille*
- *Benoit Rocq, Director of Scientific Production - Atmo Hauts-de-France*

13h00 Lunch

Technological Solutions

14h30

How can the nebulisation of salt water particles in the atmosphere, combined with their 3D digitisation, help you save up to 30% energy on your HVAC systems?

Thibaut Poulter, Director - Cypress Harmony Europe

15h00

Improving air quality in Belgian schools

Antoine Geerinckx, co-founder - Airscan (Belgium)

15h30 Coffee Break

16h00

Presentation of the concept of combined ventilation in non-residential buildings

Pierre Caquelin, Head of sales & Marketing Europe - Fellowes Air Quality Management

16h30

Reducing H₂S concentrations in indoor air in the face of sargassum algae: what solutions?

Frédéric Thévenet, Research Lecturer - IMT Nord Europe

17h00

Characterization of the efficiency of indoor air purifiers under real conditions of use

Etienne de Vanssay, General Manager - Airea

17h30 End of Day One



Laurence LANOY
Docteur en droit
Avocat / Spécialiste en droit de l'environnement
3, rue Antoine Arnauld • 75016 PARIS
Tél. +33 (0)1 45 20 13 10 •
llanoy@laurencelanoy.com

Le cadre réglementaire français et européen des substances PFAS dans l'air ambiant et l'EQRS comme outil pour la protection de la santé humaine

Les substances per et polyfluoroalkyliques (PFAS) appartiennent à une grande famille de perturbateurs endocriniens utilisés dans de nombreux processus industriels et la fabrication d'objets de la vie quotidienne. En effet, par leurs propriétés uniques, ces substances peuvent être utilisées notamment en tant que revêtements anti adhérents d'ustensiles de cuisine, matériaux d'emballage d'aliments mais également dans les textiles ou ameublements grâce à leur action de répulsion des huiles et de l'eau.

Les effets nocifs des PFAS sur la santé ont été progressivement révélés sous l'impulsion des institutions européennes. Ces perturbateurs endocriniens affecteraient le système immunitaire et seraient liés à des troubles métaboliques, hépatiques, de la fertilité ainsi qu'à une altération des hormones thyroïdiennes. De plus, le PFOA est reconnu comme cancérigène.

Parmi cette famille de composés, certains PFAS volatils, les Fluorotéломère-Alcools (FTOH), peuvent se retrouver dans l'air ambiant par migration depuis les sols ou les eaux souterraines. L'air peut aussi être contaminé par des objets en contenant, comme les tapis, vêtements ou ameublements, constituant ainsi une source d'exposition potentielle pour la santé.

Ce constat est d'autant plus problématique que les substances FTOH peuvent être transformés dans l'environnement en PFAS per-fluorés qui sont nocifs et persistants et notamment en PFOA.

La prise de conscience relative à ces substances et leurs effets est à la fois récente et majeure : des mesures des PFAS dans l'air et notamment dans l'air intérieur s'imposent afin de restreindre l'usage de ces composés et de réduire au maximum l'exposition.

La réglementation des PFAS évolue rapidement. Cinq pays européens ont proposé à l'ECHA une restriction dans le cadre du règlement REACH. En France, la loi n°2025-188 du 27 février 2025 interdit l'usage de ces substances dans plusieurs secteurs, dont le textile et les cosmétiques. Un décret du 8 septembre 2025 précise la trajectoire nationale de réduction des PFAS dans les rejets aqueux. Le plan d'action interministériel du 5 avril 2024 encadre la surveillance des émissions atmosphériques, tandis qu'un arrêté du 3 septembre 2025 impose leur analyse dans les stations d'épuration.

Laurence Lanoy, avocat spécialiste en droit de l'environnement, exposera les réglementations applicables à ces substances et celles à venir au vu des objectifs affichés des institutions européennes pour leur limitation stricte, avant de présenter les enjeux relatifs à leur gestion.

* * *

Avocat depuis 1990 et Docteur en droit, Laurence Lanoy a développé une pratique approfondie en droit de l'environnement avant de fonder en 2005 le cabinet Laurence Lanoy Avocats. Elle conseille et assiste des entreprises nationales et internationales, des collectivités publiques et des cabinets d'avocats internationaux notamment en droit de l'environnement et du développement durable, en droit minier et en droit de l'énergie.



Laurence LANOY
Doctor of Law
Lawyer / Specialist in environmental law
3, rue Antoine Arnauld - 75016 PARIS
Tel. +33 (0)1 45 20 13 10 -
llanoy@laurencelanoy.com

The French and European regulatory framework for PFAS substances in ambient air and the EQRS as a tool for protecting human health

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) belong to a large family of endocrine disruptors used in many industrial processes and in the manufacture of everyday objects. Thanks to their unique properties, these substances can be used as non-stick coatings for kitchen utensils and food packaging materials, as well as in textiles and furnishings due to their oil and water repellent action.

The harmful effects of PFAS on health have been progressively but slowly, revealed at the instigation of European institutions. Thus, these endocrine disruptors have an impact on the immune system, and are also responsible for elevated cholesterol levels, diabetes, obesity, liver disorders, fertility problems and a reduction in thyroid hormones. In addition, PFOA, a PFAS compound, is carcinogenic.

Among this family of compounds are the volatile PFASs, Fluorotelomer Alcohols (FTOH), likely to be found in the ambient air by migration from soil or groundwater. Air contamination by these substances can also come from objects containing them, such as carpets, clothing or furnishings. Ambient air can therefore be a source of exposure to these substances with health risks.

This is particularly problematic as FTOH substances can be transformed in the environment into per-fluorinated PFASs, which are harmful and persistent, especially PFOA.

Awareness of these substances and their effects is both recent and major: measurements of PFAS in the air, and particularly in indoor air, are essential to restrict the use of these compounds and reduce exposure as much as possible.

The regulation of PFASs is therefore evolving considerably in the current period. A proposal for restrictions has been submitted to ECHA by five European countries under REACH. In France, law n°2025-188 of February 27, 2025 prohibits the use of these substances in several sectors, including textiles and cosmetics. A decree dated September 8, 2025 specifies the national trajectory for reducing PFAS in aqueous discharges. In addition, the interministerial action plan of April 5, 2024 provides a framework for monitoring atmospheric emissions, while a decree dated September 3, 2025 requires their analysis in wastewater treatment plants.

Laurence Lanoy, lawyer specializing in environmental law, will explain the regulations applicable to these substances, and those to come in view of the stated objectives of the European institution and France for their strict limitation, before presenting the issues relating to their management.

* * *

Attorney at law since 1990 and Ph.D in law, Laurence Lanoy developed an in-depth practice in environmental law before founding Laurence Lanoy Avocats in 2005. She advises and assists national and international companies, public authorities and international law firms, notably in environmental and sustainable development law, mining law and energy law.

Mesures et évaluations des risques des expositions par des PFAS dans l'air ambiant : **EQRS comme outil de la protection de la santé humaine**

The French and European regulatory framework for PFAS substances in ambient air and **HHRA as a tool for protecting Human Health**

Laurence Lanoy, Lawyer in Environmental Law - Laurence Lanoy Avocats

Frank KARG, Directeur scientifique du Groupe HPC & CEO d'HPC International SAS, Expert judiciaire

Hôtel. de Recherche / Centre Médical de Perharidy, 29680 Roscoff - France &

Dr. Alfred-Herrhausen-Allee 12, 47228 Duisburg - Germany

Email: frank.karg@hpc-international.com / Phone: +33 607 346 916

1. **Introduction**

Les PFAS : per- & poly-fluoro-alkyl substances sont devenus progressivement depuis des années 1960 un problème environnemental majeur, également pour la Santé Publique du fait de leurs effets sur la santé humaine et leur application multiple et vaste (historique et actuelle) par exemple dans les détergents, des mousses anti-incendies (AFFF), le traitement et l'imperméabilisation des textiles, papiers, cartons et bois, pour la galvanisation, dans les peintures et laques, dans les éléments électroniques, certaines huiles hydrauliques et pour la production des fluoro-polymères.

D'autres sources de pollution de l'environnement (air, eaux, sols et aliments) sont les lixiviats des anciennes décharges et les épandages des certaines boues de stations d'épurations sur des terrains agricoles voire les émissions des incinérateurs encore mal caractérisées. Cette menace environnementale et pour la santé publique des PFAS est peu à peu prise en compte en Europe depuis les années 2010 et la problématique médiatisée et de plus en plus gérée et réglementée depuis 2022. Les PFAS se retrouvent aujourd'hui dans les sols, les eaux souterraines, les aliments et l'eau potable ainsi que dans les gaz du sol et **l'air ambiant, notamment les Fluoro-télomère alcools (FTOH) ou les PFAS « ultrashorts »** du type TFA (trifluoroacetic acid), etc.. Entre 9 000 à 12 000 polluants synthétiques de PFAS ont été produits.

Pour une **évaluation des risques simplifiés**, il existe dans certains pays des valeurs limites en PFAS dans l'air ambiant :

- USA / Michigan : 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le PFOA et le PFOS.
- USA / New – Hampshire : 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en limite annuelle) et
5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le PFOA sur 24 hrs.
- USA / Etat de New-York : 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le PFOA en valeur indicative annuelle
- Allemagne : 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en valeur moyenne d'exposition.

L'évaluation détaillé des risques pour la santé ou l'EQRS : Evaluation quantitative des Risques sanitaires est réalisé par l'application des VTR spécifiques.

Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) sont des Valeurs de relation de dose à effet toxicologique. Ces effets toxicologiques sont soit génotoxiques (cancérigène, mutagène ou tératogène) sans seuil de dose à effet ou épigénétiques ou système-toxiques (neurotoxiques, hépatotoxiques, néphrotoxiques, etc.) avec un seuil de dose à effet.

Les valeurs présentées dans cet article sont issues des rapports rédigés par des institutions nationales et supra-nationales (cf. Tableau 1 à 3) :

Tableau 1 : Organismes proposant des VTR pour les PFAS	
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (France)
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry (États-Unis)
EFSA	European Food and Safety Authority
IRIS	Integrated Risk Information of Substances (États-Unis)
UBA	Umweltbundesamt (Allemagne)
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung (Allemagne)
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment (États-Unis)
WHO	World Health Organization
RIVM	Netherlands Environmental & Health Institute (Pays-Bas)
MDHHS	Michigan Department of Health and Human Services, Division of Environmental Health (États-Unis)
TCEQ	Texas Commission on Environmental Quality (États-Unis)
NJ-DWQIHES	New Jersey Drinking Water Quality Institute Health Effects Sub-committee (États-Unis)
SLU	Swedish University of Agricultural Science (Suède)

Il peut exister par ailleurs, dans la littérature scientifique des « Points of Departures (POD) » et VTR plus récentes ou plus spécifiques. Le choix des VTR constitue une étape importante de l'EQRS car leur évolution est rapide en ce qui concerne les PFAS. Par ex., l'ANSES a publié en 2017 un guide PFAS comportant certaines VTR pour les PFAS (ANSES, 2017). Aujourd'hui, les VTR publiées sont devenues beaucoup plus sévères, comme le montre l'évolution des VTRs publiées par l'EFSA depuis 2015 (cf. Tableau 2).

Tableau 2 : Évolution des VTR orales pour des PFAS publiées par l'EFSA de 2005 à 2020 (EFSA 2005 et 2020)

Année de publication	Voie d'exposition	Substance(s)	VTR
2020	Ingestion	Σ4 PFAS	TWI = 4,4 ng/kg pc·semaine
2018	Ingestion	PFOA	TWI = 6 ng/kg pc·semaine
2018	Ingestion	PFOS	TWI = 13 ng/kg pc·semaine
2005	Ingestion	PFOA	TDI = 1500 ng/kg pc·jour

Il est important de prendre en compte que les administrations de certains Etats américains sont très avancées dans la recherche toxicologique et la publication de VTR concernant les PFAS, du fait de la forte présence sur leur territoire d'industries chimiques et pétrolières (avec une utilisation historique importante de mousses anti-incendie) ainsi que de vastes décharges industrielles (avec les pollutions environnementales associées). Il s'agit notamment des Etats du Texas (TCEQ, 2023), du Michigan (MDHHS, 2019) et de New Jersey (NJ-DW-QI, 2017). Ces VTR servent souvent de bases pour les VTR des PFAS proposées par l'US-EPA.

Afin de s'assurer du bon choix des VTR des PFAS, il est recommandé d'appliquer des critères de choix scientifiques et non des critères nationaux. Le tableau 3 montre des critères de choix de VTR applicables, afin de prendre en compte les meilleures connaissances toxicologiques concernant les relations de dose à effet des PFAS.

Tableau 3.1. : Critères de choix qualitatifs des VTR applicables dans les cas de présence de plusieurs VTR (F. Karg, 2022a,b – 2025)

N°	Critères de choix des VTR	Appréciation			
		Favorable	Correct	Not favorable	Exclusion ¹
1	Variabilité des VTR	(+/- 0%)	≤ (+/-30%)	> (+/-30%)	
2	Classe cancérigène EC: Classe 3 US-EPA: Class B2, C / IARC: Group 1	CE, US-EPA, IARC, etc.	2 organisations	1 organisation	
3	Plusieurs organisations montrent des VTRs similaires (+/-50%)	3 organisations	2 organisations	1 organisation	
4	Age de l'étude de base	≤ 15 années	15-25 années	> 25 années	
5	Etude de base toxicologique mécanistique de base (par ex. génotoxicité)	Epidémiologie	In vivo	In-Vitro/In-sillico	
6	Etude de base ² : Critères de qualité Klimisch	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Clases 3
7	Pureté vérifiée du polluant étudié	Oui	< 95%	Non	
8	Excipient potentiellement toxique	Non	Négligeable	Yes	
9	Présence d'une population ou cohorte sans exposition (test témoin)	Oui	Indirecte en comparaison	Non	

Tableau 3.2. : Critères de choix qualitatifs des VTR applicables dans les cas de présence de plusieurs VTR (F. Karg, 2022a,b – 2025)

N°	Critères de choix des VTR	Appréciation			
		Favorable	Correct	Not favorable	Exclusion ¹
10	Critères généraux de qualité (Klimisch) des études d'effets toxicologiques	Etude standardisée (OCDE, UE, US-EPA, FDA, etc.)	Etude standardisée sans détails mais suffisamment documentée	Document insuffisant pour l'évaluation des déficiences	
11	Dose de départ des effets toxiques = « Point of Departure (POD) »	Données Epidémiologiques quantifiées : BMLD, etc. (PBPK)	NOAEL et NOAEL sensible	LOAEL et LOAEL sensible, autres	
12	Facteurs d'incertitudes = « Uncertainty (or Assessment) Factors »	1 – 100	> 100 – 1000	> 1000 – 10000	> 10000
13a	Transpositions entre des voies d'exposition	Non	Argumenté	Oui	
13b	Transpositions: Animal vers l'Humain	Non	Oui, argumenté	Oui	
13c	Transpositions: à partir in-vitro	Non	Oui, argumenté	Oui	
13d	Transpositions: à partir in-silico	Non	Oui, argumenté	Oui	
14	Représentativité du budget espace-temps de l'étude	≥ chronique (> 180 jours)	Sub-chronic (90 jours) à chronic (180 jours)	< subchronique (< 90 d)	
15	Intégration de la biodisponibilité / Bio-résorption (par ex. selon: DIN 19738)	oui	Ne pas connue (100%)	Connue mais ne pas considéré	

(1 : uniquement applicable pour les critères 6 & 12,

2 : Base Study concernant les effets et mécanismes toxicologiques)

Une **Dose Hebdomadaire Tolérable (DHT)** de 4,4 ng/kg pc·semaine (ou une Dose Journalière Tolérable (DJT) de 0,63 ng/kg pc·j) pour la somme de 4 PFAS (PFOA, PFOS, PFNA et PFHxS) a été publiée par l'EFSA, le 17/09/2020 [13]. En 2020, des **facteurs d'équivalence de toxicité (RFP : Relative Potency Factors)** par rapport au PFOA ont aussi été publiés par Bil et al. (2020) [37], 2021 [47] et 2023 [12] pour tenir compte de la toxicité de mélanges de PFAS.

L'application de ces critères de choix, début 2025, conduit à sélectionner, par ex., les VTR indiquées dans le Tableau 4 :

**Tableau 4.1. : Exemple de choix des VTR en 2024
pour les PFAS en appliquant les critères du tableau 3
(F. Karg et al. 2023a – 2025)**

Subst.	CAS Nr.	C: Cancérogène / NC: non cancérogène	Valeure toxicologique d'exposition chronique			Espèce de l'étude	Sigle	Facteur de sécurité & origine	Organisation & date
			Voie d'exposition	Organe ou effet cible	Valeur				
PFBA	375-22-4	NC	oral	Hépatotoxique	1 µg/kg/j	Rat	RfD	POD _{HED} / 900	TCEQ 2023 US-EPA IRIS 2022
			inhalation	Hépatotoxique	3,5 µg/m ³	Rat	RfC	from oral value	TCEQ 2023
PFPeA	2706-90-3	NC	oral	Hépatotoxique	0,5 µg/kg/j	Rat	RfD	POD _{HED} / 90	TCEQ 2023
PFHxA	307-24-4	NC	oral	Hépatotoxique	0,5 µg/kg/j	Rat	RfD	POD _{HED} / 90	TCEQ 2023 US-EPA IRIS 2023
PFHpA	375-85-9	NC	oral	Hépatotoxique	25 ng/kg/j	Rat	DJT	Extrapolation of DJT of Health Canada	ANSES 2017 TCEQ 2023
PFOA	335-67-1	NC	oral	Hématotoxique	0,86 ng/kg/j	Rat	TDI	BMDL 5	UBA 2023 BFR & EFSA 2018
				Hépatotoxique, Perturbateur endocrinien (mamelles), Hématotoxique	12 ng/kg/j	Souris	RfD	LOAEL / (81 * 300)	TCEQ 2023
				Immunotoxique, Fœtotoxique et effets cardiovasculaires	0,03 ng/kg/j	Epidémiologique	RfD	Several studies	US-EPA 2024 [7]
			inhalation	Hépatotoxique	4,1 ng/m ³	Rat	RfC	NOAEL / (81 * 3 000)	TCEQ 2023
		C	oral	Perturbateur endocrinien (testicules), Néphrotoxique, Carcinogène.	2,52 x 10 ⁻⁶ (ng/kg/j) ⁻¹	Epidémiologique	SF	-	New Jersey 2017
					0,0293 (ng/kg/j) ⁻¹	Epidémiologique	SF	-	US-EPA 2024 [7]
PFNA	375-95-1	NC	oral	Hématotoxique	2,5 ng/kg/j	Souris	RfD	NOAEL / 300	US-EPA IRIS 2019 / New Hampshire DES 2019
			inhalation	Pulmotoxique	28 ng/m ³	Rat	RfC	NOAEL / (81 * 30 000)	US-EPA IRIS 2019 TCEQ 2023
PFDA	335-76-2	NC	oral	Hépatotoxique	15 ng/kg/j	Rat	RfD	LOAEL / (81 * 1 000)	TCEQ 2023
				Immunotoxique, Fœtotoxique	0,002 ng/kg/j	Rat	RfD	BMDL / 30	US-EPA IRIS 2024
			inhalation	Hépatotoxique	53 ng/m ³	Rat	RfC	from oral value	TCEQ 2023

**Tableau 4.2. : Exemple de choix des VTR en 2024
pour les PFAS en appliquant les critères du tableau 3
(F. Karg et al. 2023a – 2024g [38 - 46])**

Subst.	CAS Nr.	C: Cancérogène / NC: non cancérogène	Valeurs toxicologiques d'exposition chronique			Espèce de l'étude	Sigle	Facteurs de sécurité & origine	Organisation & date
			Voie d'exposition	Organe ou effet cible	Valeur				
PFBS	375-73-5	NC	oral	Hématotoxique, Néphrotoxique	1,4 µg/kg/j	Rat	RfC	NOAEL / (142*300)	TCEQ 2023
			inhalation		4,9 µg/m ³	Rat	RfC	from oral value	TCEQ 2023
PFHxS	355-46-4	NC	oral	Hématotoxique, Perturbateur endocrinien (thyroïde)	3,8 ng/kg/d	Rat	RfC	LOAEL / (263*300)	TCEQ 2023
			inhalation		13 ng/m ³	Rat	RfC	from oral value	TCEQ 2023
PFHpS	375-92-8	NC	oral	Hépatotoxique	0,43 ng/kg/d	Rat	TDI	Potency Factor : 0,6-2	UBA 2020, EFSA 2018, BfR 2018
PFOS	1763-23-1	NC	oral	Hépatotoxique	1,86 ng/kg/d	Singe	TDI	NOAEL	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
				Decreased birth weight and increased cholesterol	0,1 ng/kg/d	Epidémiologique	RfD	POP / 10	US-EPA 2024
			inhalation	Perturbateur endocrinien (thyroïde), Fœtotoxique	81 ng/m ³	Rat	RfC	from oral value (23 ng/kg/j)	TCEQ 2023
		C	oral	Hépatotoxique	39,5 (mg/kg/d) ⁻¹	Rat	SF	-	US-EPA 2024
PFOSA	754-91-6	NC	oral	Perturbateur endocrinien (mamelles),	12 ng/kg/d	Souris	RfD	As PFOA: NOAEL / (81 * 300)	TCEQ 2023
			inhalation		4,1 ng/m ³	Rat	RfC	As PFOA NOAEL/ (81 * 3 000)	TCEQ 2023
6:2-FTOH	647-42-7	NC	oral	Hépatotoxique	43 ng/kg/d	Rat	RfD	RPF based on PFOA's RfD x 0,02	RIVM / Bil et al. 2020 & 2021
8:2-FTOH	678-39-7	NC	oral	Hépatotoxique	21,5 ng/kg/d	Rat	RfD	RPF based on PFOA's RfD x 0,04	RIVM / Bil et al. 2020 & 2021
			oral		1,5 x 10 ³ ng/kg/d	Rat	RfD	RfD assimilated to PFOA transformation on Product 8:2-FTOH & Inhalation: 20 m ³ /d	SLU 2018 (Sweden) (Ingestion based on EFSA 2008)

Les DJE sont dépendantes du scénario d'exposition et des voies d'exposition associées, comme le budget espace-temps de présence par jour (xh/24h), par an (xj/365j) et pendant la vie (années/vie moyenne) dans une zone contaminée. De plus, une plus grande sensibilité des enfants par rapport aux adultes est à considérer pour les substances, qui sont à la fois mutagènes et cancérogènes (cf. UBA: 2001 & 2004 et US-EPA: 2005).

Il est donc absolument indispensable d'adapter les VTR aux taux de respiration réels des enfants et adultes (hommes et femmes et selon les activités, car il existe de très grandes variations par rapport à un taux de respiration fixé [par ex. 20 m³/j].

2. Évaluation des risques sanitaires :

Comme indiqué, cette évaluation consiste à mettre en relation les doses de PFAS ingérées ou inhalées avec les VTR.

Dans le cas des alcools fluoro-télomères (FTOH) et d'autres PFAS volatils (TFA, etc.), présents dans les sols, eaux souterraines et gaz du sol, il faudra aussi réaliser des investigations dans l'air ambiant des bâtiments destinés à des usages sensibles (Etablissements Recevant du Public : Ecoles, Crèches, etc.) ou résidentiels., sur une base de seuils de quantification suffisamment bas et adaptés. Ainsi, les seuils de quantification des analyses chimiques ne devraient pas être plus élevés que les VTR applicables (cf. Bil et al. 2020, 2021 et 2023 et SLU 2017).

L'EQRS peut permettre de fixer des Concentrations Maximales Acceptables (CMA) dans des milieux d'exposition. Les CMA sont couramment utilisées sous forme de Valeurs de contrôle de conformité sanitaire, afin de vérifier ou de co-élaborer des objectifs de mesures correctives, voire des objectifs de dépollution ou des valeurs limites recommandées ou réglementaires. Ces évaluations sont réalisées substance par substance, des méthodes permettent d'intégrer des expositions combinées à de multiples PFAS, par exemple en additionnant les augmentations de risques du fait de l'exposition (Excès de risque individuel ou ERI), par pour les effets sans seuil (le plus souvent cancérigènes, par ex. d'un $ERI > 10^{-5}$) ou les Quotient de danger ou de risque (rapports niveau d'exposition sur VTR à seuil) pour les effets dits « à seuil » : Indice de Risque systémique de $IR < 1$ (= DJE / DJT : Dose Journalière d'Exposition par rapport à la Dose Journalière Tolérable).

L'évaluation des risques nécessite aussi une bonne prise en compte des précurseurs (PFAS poly-fluorés) et de leur chimie environnementale, afin d'apprécier le potentiel de formation environnementale et dans l'organisme de PFAS per-fluorés stables. La Figure 1a ci-dessous donne un exemple de biotransformations de précurseurs poly-fluorés vers des PFAS per-fluorés stables. La Fig. 1b montre la Photolyse du 6:2-FTAB envers les PFAS ultrashorts, comme le PFPrA (Acide perfluoro-propionique) et TFA (Acide trifluoroacetic), à côté des PFHxA, PFPeA and PFBA (Naveed, A. et al 2024), particulièrement applicable dans les eaux superficielles et la chaîne alimentaire associée.

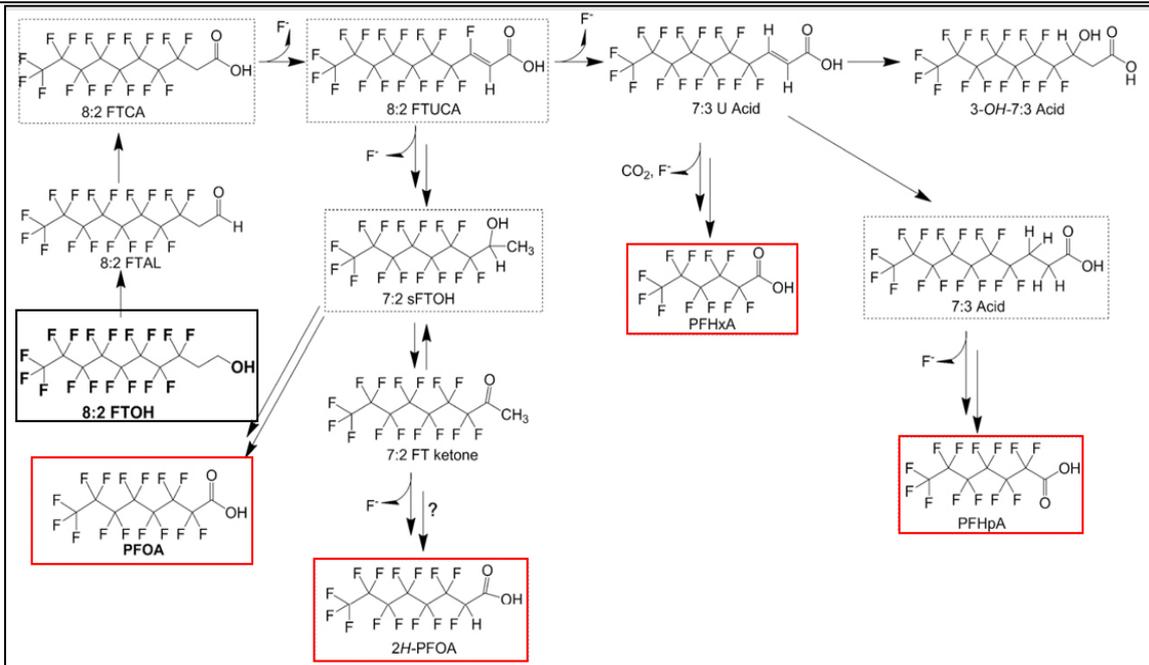


Fig. 1a : Exemple de biotransformation de précurseurs (PFAS poly-fluorés) vers des PFAS per-fluorés stables : le 8:2 FTOH est transformé en PFHxA, PFHpA et PFOA : Graphique modifié selon N. Wang et al. 2009 et J. Liu & S. M. Avendaño, 2013.

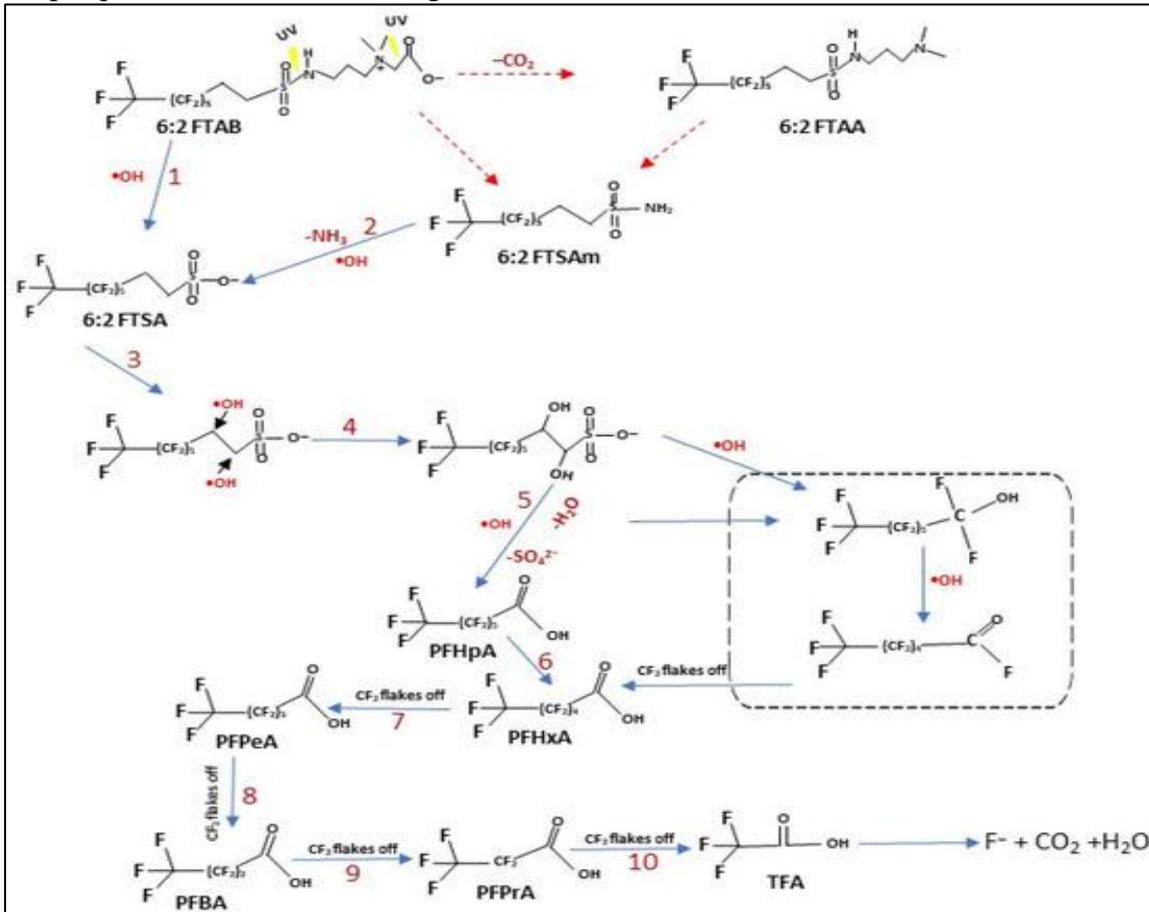


Fig. 1b : Photolyse du 6:2-FTAB envers les PFAS ultrashorts, comme le PFPrA (Perfluoropropionic Acid) et TFA (Trifluoro-acetic-acid), à côté des PFHxA, PFPeA and PFBA (Naveed, A. et al 2024).

Les quelques VTR présentées dans cet article sont issues des rapports rédigés par des institutions nationales et internationales (cf. le tableau 4). Pour sélectionner des VTR pour des PFAS, il est recommandé d'appliquer des critères de choix scientifiques et non des critères de gestion nationaux (cf. le tableau 3). Pour réaliser une EQRS il est recommandé d'appliquer les étapes suivantes :

4.1. Identification des scénarios et des voies d'exposition applicables :

Les voies d'exposition suivantes peuvent exister sur un site :

➤ **Inhalation :**

- de polluants sous forme gazeuse et particulaires ,
- de poussières sur lesquelles est adsorbé le polluant,
- de vapeur d'eau de distribution contaminée lors de la prise d'une douche ou d'un bain.

L'inhalation concerne les vapeurs des polluants PFAS (comme les FTOHs) et les poussières, principalement fines ou poussières alvéolaires, soit les particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm de taille. Les poussières de dimension inférieure à 1 µm se déposent dans les alvéoles, où la vitesse de l'air est nulle.

➤ **Ingestion :**

- directe du sol (terres à l'extérieur d'un bâtiment) et de poussières (terres à l'intérieur d'un bâtiment),
- des aliments auto-produits (fruits, légumes, etc.),
- d'eau de distribution contaminée,
- d'eau lors de la prise d'une douche ou d'un bain, y compris dans une eau superficielle (étang, rivière, eau souterraine pompée, etc.).

Absorption cutanée :

- de sol et de poussières,
- de polluant par l'eau de distribution contaminée lors de la prise d'une douche ou d'un bain,
- lors de la prise d'un bain dans les eaux superficielles (étang, rivière, eau souterraine pompée, etc.).

Chaque EQRS doit définir un scénario d'exposition avec des voies exposition dédiées. En principe, les scénarios d'exposition et les voies d'exposition associées sont à identifier via un schéma conceptuel (cf. Fig. 2), montrant les sources potentielles de pollution, des voies de transfert des polluants et les cibles concernées (adultes, enfants...).

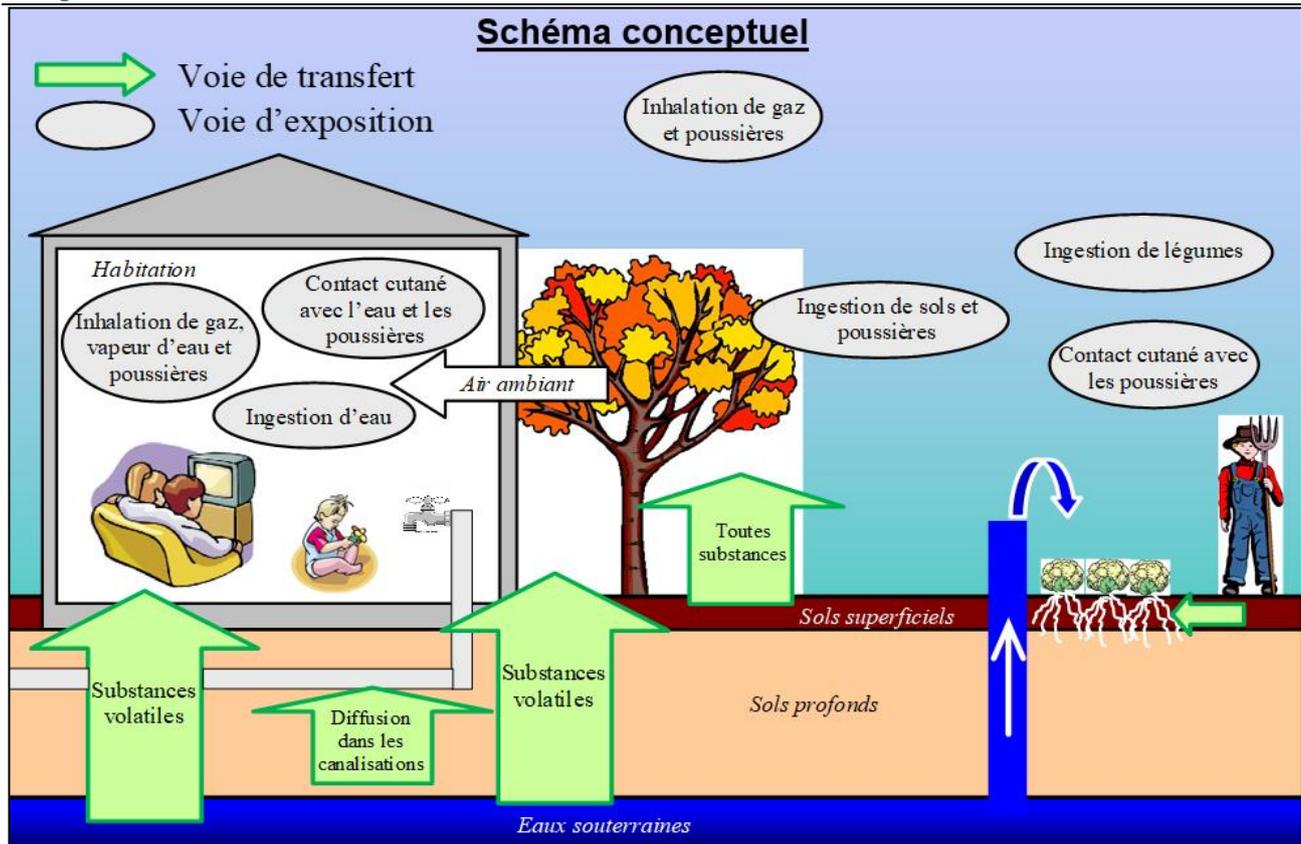


Fig. 2 : Exemple d'un schéma conceptuel, afin de bien visualiser les voies d'expositions applicables par scénario d'exposition (F. Karg & L. Robin-Vigneron 2023a [38]).

Une attention particulière doit être apportée aux PFAS volatils, comme par ex. les alcools fluorotélomères (FTOH), en particulier le 6 :2-FTOH et le 8 :2-FTOH. Le tableau 5 montre les voies d'expositions par scénario d'usage ou d'exposition d'un site.

Les taux de respiration sont dépendants selon les âges et les intensités des activités. Des exemples de taux de respiration, selon l'âge et des activités physiques sont indiqués dans le Tableau suivant (ALMBL 2000 et INVS - CIBLEX) :

Tableau 5 : Taux de respiration, selon l'âge et des activités physiques							
(ALMBL 2000 [86] et INVS - CIBLEX [87])							
Age	< 1	1 – 3	4 - 6	7 - 9	10 - 14	15 - 19	20 - 75
Repos (m ³ /j)	1,9	3,8	7,6	11	15	17	17
Activité faible (m ³ /j)	3,8	7,6	15	23	30	34	34
Activité moyenne (m ³ /j)	7,6	15	30	46	61	68	68
Activité intense (m ³ /j)	13	27	53	80	106	120	120

L'évaluation des risques sanitaires nécessite une adaptation du scénario d'exposition à la réalité, soit la correction des taux de respiration prises en compte dans les VTR de respiration.

Tableau 6.1. : Scénarios d'expositions et voies d'expositions associées sur des sites

Scénario d'exposition sur site / Voies d'exposition		Industrie et Commerce	Parcs & Loisirs / Activités sportives	Jardins d'enfants	Résidentiel collectif et Crèches & Ecoles	Agricole et production des aliments	Résidentiel avec jardins individuels
Inhalation	Respiration de Vapeurs ou gaz : Gaz du sol → Air Ambient (Intérieur & Extérieur)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Respiration de poussières	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Respiration de vapeur contaminée pendant la douche ou d'un bain chaud*	(Oui)	(Oui)	Non	Oui	Non	Oui
Oral	Ingestion passive (Enfants & Adultes) ou active (Enfants) du sol contaminé	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Aliments autoproduits	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui
	Ingestion d'eau contaminée*	(Oui)	(Oui)	Non	Oui	Oui	Oui
Dermal	Contact direct au sol pollué	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Contact cutané: douche ou bain	(Oui)	(Oui)	Non	(J)	Non	Oui
	Contact cutané: bain dans les eaux superficielles ou eaux souterraines pompées contaminées	Non	Oui	Non	(Non)	(Non)	(Oui)

(*) : par exemple dans le cas des conduites d'eau potable enterrées en sous-sol contaminé

3. Quantifier les doses journalières d'exposition (DJE)

Les doses journalières d'exposition - DJEing (voie orale), DJEinh (voie respiratoire), DJEcut (voie cutanée) - sont toutes exprimées en mg polluant / kg poids corporel / jour [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$] et dépendent :

- **des concentrations en polluants** dans les médias d'exposition (par ex. en mg/kg ou $\mu\text{g/l}$ dans les aliments ou de l'eau potable ou en mg/kg ou $\mu\text{g/l}$ dans les poussières ou eaux successibles de provoquer un contact cutané ou en $\mu\text{g/m}^3$ pour l'air ambiant) ;

- C_m = Concentration en polluant dans le médium d'exposition : C_{sol} [mg/kg], C_{eau} [mg/l], C_{aliment} [mg/kg],
 C_a = Concentration en polluant dans l'air [mg/m^3] intérieur et/ou extérieur,
 C_s = Concentration en polluant dans le sol [mg/kg] ou dans les eaux (mg/l)

Deux grandes démarches sont applicables pour déterminer les concentrations en polluants dans les médias d'exposition : les mesures directes (prélèvements et analyses) et les modélisations par simulation des transferts de polluants vers les médias d'exposition.

Les modélisations des transferts des polluants entre des médias (par ex. des eaux souterraines ou des sols vers des gaz du sol et de l'air ambiant ou vers des aliments) sont possibles et pourront être calibrées via des analyses réelles des échantillons (recommandé, si possible).

Concernant la prise en compte des concentrations des polluants dans les sols, les gaz du sol, l'air ambiant, les eaux souterraines et les eaux superficielles, il est possible d'appliquer, pour les expositions chroniques (supérieures à 6 mois) uniquement, des concentrations moyennes prenant en compte l'atténuation naturelle mesurée. Cette atténuation naturelle de dégradation des PFAS concerne uniquement la biotransformation des PFAS poly-fluorés mais pas des PFAS per-fluorés (cf. par ex. la Fig. 1).

- **des budgets espace-temps** (présence des personnes exposées dans le milieu pollué en tenant compte du nombre d'heures par jour, nombre de jours par an et nombre d'années),

- Ex = Exposition totale par adulte ou enfant [a]
 Ve = Années de la vie entière par adulte ou enfant [a]. En cas d'exposition aux substances avec seuil : $Ve = Ex$ [a]
 F_{exa} = Fréquence d'exposition annuelle [j/365 j]
 F_{exj} = Fréquence d'exposition journalière [hrs/24 hrs]

- **des quantités d'aliments ou d'eau potable ingérés** (en kg/j) et/ou du volume d'air inhalé par jour (en m^3/j) et/ou de la quantité de sol ou de l'eau en contact avec la peau (par ex. en g/cm^2 de surface cutanée),

- Q_{ing} = Quantité ingérée de sol et/ou aliment [kg/j] et/ou d'eau [l/j], distincte entre les adultes (Q_{inga}) et les enfants (Q_{inge})
 Q_{inh} = Quantité inhalée d'air [m^3/j], distincte entre adultes (Q_{inha}) et enfants (Q_{inhe})
 F_a = Facteur d'absorption (par biorésorption) du polluant (à défaut : 100 % = [1])
 F_{acut} = Facteur d'absorption d'un polluant (à défaut : 100 % = [1]) ou vitesse d'absorption [m/h] pour la voie cutanée

- Fsp = Fraction de sol dans la poussière (à défaut : 100 % = [1])
 Spex = Surface de peau exposée, distincte entre les adultes et des enfants [m²]
 Qsp = Quantité du sol (ou poussières) sur la peau [kg/m²]
 - du poids corporel.
 P(a) = Poids corporel d'un adulte [70 kg]
 P(e) = Poids corporel d'un enfant [15 kg]

Les formules de la quantification des doses journalières d'exposition sont les suivantes :

Exposition orale par ingestion :

$$DJE_{ing} = C_m \bullet Q_{ing} \bullet P^{-1} \bullet F_a \bullet E_x \bullet V_e^{-1} \bullet F_{exa} \bullet F_{exj}$$

Exposition par inhalation * :

$$DJE_{inh} = C_a \bullet Q_{inh} \bullet P^{-1} \bullet F_a \bullet E_x \bullet V_e^{-1} \bullet F_{exa} \bullet F_{exj}$$

* Il est possible d'évaluer l'exposition via l'air ambiant extérieur séparément de l'exposition via l'air ambiant d'intérieur.

Exposition par contact cutané (sol, poussières, eaux) :

$$DJE_{cut} = C_s \bullet F_{sp} \bullet Q_{ing} \bullet P^{-1} \bullet F_{acut} \bullet E_x \bullet V_e^{-1} \bullet F_{exa} \bullet F_{exj}$$

Les paramètres applicables sont à justifier. Une application des valeurs par défaut des logiciels d'évaluation des risques de type « Black-Box » sont à prescrire, s'ils ne sont pas justifiables de façon transparente pour le scénario d'exposition concerné.

4. Sélection des VTR adaptées

I : Les Effets sans seuil de dose :

- En général, il s'agit des effets cancérigènes, mutagènes ou teratogènes via un mode d'action génotoxique, à l'exception des effets épigénétiques.
- Dans ce cas, les Doses Journalières d'Exposition (DJE) sont multipliées par la VTR, (Excès de Risque Unitaire (ERU) dénommé également selon les organismes élaborateurs Slope Factor (SF) ou Unit Risk (UR), exprimés par ex. en [(mg/kg/j)⁻¹], soit :
 $ERU \cdot [(mg/kg/j)^{-1}] \bullet DJE (mg/kg/j) = ERI (-) : \text{Excès de Risque Individuel}$
- L'ERI doit rester inférieur à « 10⁻⁵ », valeur de gestion des risques sans seuil, sinon le risque est considéré comme non-acceptable.

II : Effets avec seuil de dose :

- Il s'agit des effets de toxicité apparaissant au-delà d'une certaine dose (neurotoxicité, hépatotoxicité, néphrotoxicité, etc.).
- Dans ce cas, les Doses Journalières d'Exposition (DJE) sont divisées par la VTR, sous forme de DJT (Dose journalière Tolérable), exprimée par ex. en [mg/kg/j], soit:
 $DJE (mg/kg/j) / VTR (mg/kg/j) = QR (\text{Quotient de Risque}) \text{ ou } QD (\text{Quotient de Danger})$
- Le QDQR doit rester inférieur à « 1 », sinon le risque est considéré comme non-acceptable.

Par ex. les VTR pour le PFOA existent pour les effet cancérigènes (ERU) et systémiques (DJT), cf. Tableau 4.

5. Facteurs d'équivalence de toxicité

L'approche d'équivalence toxique s'applique aux mélanges dont les effets sont additifs. Elle est utilisée, notamment, pour interpréter l'effet de certains mélanges d'organochlorés (comme les chloro-dibenzo-p-dioxines, chloro-dibenzofuranes et polychloro-biphényles) qui partagent un mode d'action commun, médié par la liaison à un récepteur spécifique, le récepteur AhR (Guyton et al. 2018).

Étant donné que chaque congénère n'a pas la même efficacité, ils sont classés à l'aide de facteurs de puissance relative (Relative Potency Factors, RPF) par rapport à un congénère de référence, appelé composé index. Ce dernier est souvent le plus toxique ou celui dont les effets sont les mieux documentés. Pour les dioxines et furanes, la dioxine de Seveso (2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine) est utilisée comme référence, avec un facteur de 1, et son facteur de toxicité est désigné sous le nom de Toxic Equivalency Factor (TEF).

L'usage de RPF reste toutefois soumis au respect de conditions strictes :

1. en application de la définition présentée ci-avant, les composés doivent partager un même mode d'action ;
2. l'effet critique identifié pour le composé de référence doit l'être également pour les autres composés. Autrement dit, un composé index présentant un effet critique neurotoxique ne peut servir de référence pour un autre composé dont la toxicité s'exprimerait principalement au niveau rénal, par exemple ;
3. idéalement, les composés devraient posséder des courbes de relation dose-réponse de même efficacité tout en se différenciant, bien évidemment, par des puissances différentes. En outre, les courbes devraient être congruentes, c'est-à-dire qu'elles ne se croisent pas. Ces conditions sont nécessaires à la comparaison des Benchmark doses (BMD*) pour un même niveau de réponse (Benchmark Response : BMR*). (* : Relation dose-réponse permet généralement de définir une dose avec un effet - réponse toxicologique critique, qui sert de « point de départ » pour la construction d'une VTR.)

Les chercheurs du RIVM (Bil et al., 2020, 2021 et 2023 [12, 37, 47] ; Zeilmaker et al., 2018) proposent une approche RPF appliquée à la toxicité orale de 14 PFAS et de deux précurseurs (6:2 FTOH et 8:2 FTOH). Ils ont sélectionné le PFOA (acide perfluoro-octanoïque [335-67-1]) comme composé index. Le PFOA est avec le PFOS (acide perfluorooctane-sulfonique [1763-23-1]), l'un des PFAS les plus étudiés. Parmi les effets toxiques attribués au PFOA (mais également au PFOS), ils identifient l'hypertrophie hépatique comme effet critique.

Le RPF est établi sur la base du rapport entre la BMD du PFOA et la BMD (Benchmark Dose) du congénère d'intérêt (équation 1).

Equation 1

$$\frac{BMD_{PFOA}}{BMD_i}$$

La BMD correspond à un BMR équivalent à 5% d'augmentation du poids du foie (absolu et relatif)

établi sur des données continues ou à un excès de risque de 10 % d'hypertrophie hépatique. Cette dernière expression du risque est établie sur base de données dichotomisées. L'excès de risque est ajusté pour les taux d'incidence pour un même effet.

En 2023, le RIVM (Zeilmaker et al. 2023 a complété ses premiers travaux en appliquant cette méthode au TFA.

L'approche de Zeilmaker et Bil et al. 2020, 2021 et 2023 débouche sur la proposition de RPF résumée dans le Tableau 7.

Tableau 7.1 : RPF selon Bil et al. 2020, 2021 et 2023 et Zeilmaker et al. (2023)		
Congénères	Numéro CAS	RPF
Acides sulfoniques		
PFBS	375-73-5	0,001
PFPeS	2706-91-4	$0,001 \leq \text{RPF} \leq 0,6$
PFHxS	355-46-4	0,6
PFHpS	375-92-8	$0,6 \leq \text{RPF} \leq 2$
PFOS	1763-23-1	2
PFDS	335-77-3	2
Acides carboxyliques		
TFA	76-05-1	0,002
PFBA	375-22-4	0,05
PFPeA	2706-90-3	$0,01 \leq \text{RPF} \leq 0,05$
PFHxA	307-24-4	0,01
PFHpA	375-85-9	$0,01 \leq \text{RPF} \leq 1$
PFOA	335-67-1	1
PFNA	375-95-1	10
PFDA	335-76-2	$4 \leq \text{RPF} \leq 10$
PFUnDA	2058-94-8	4
PFTrDA	72629-94-8	3
PFDoDA	307-55-1	$0,3 \leq \text{RPF} \leq 3$
PFTeDA	376-06-7	0,3
PFHxDA	67905-19-5	0,02
PFODA	16517-11-6	0,02
Ethers des acides carboxyliques		
HFPO-DA	13252-13-6	0,06
ADONA	919005-14-4	0,03
Alcools télomériques		
6:2 FTOH	647-42-7	0,02
8:2 FTOH	678-39-7	0,04

L'approche de Zeilmaker (Zeilmaker et al. 2023 a été sélectionnée par l'Etat de Hawaï (State of Hawaii - Department of Health, 2020; 2021) afin d'établir certaines VTR orales (preliminary RfD oral)

nécessaires à l'établissement des valeurs guides environnementales (eaux souterraines et sol).

L'emploi des RPF produits par Zeilmaker (Zeilmaker, 2018 et 2023) et Bil (Bil et al., 2021) dans le cadre de l'évaluation des risques est fortement contesté par Rietjens (Rietjens, 2022). Rietjens et al. soutiennent l'usage de RPF dans les études de risques mais contestent la robustesse de ceux calculés par Bil (Bil et al. 2020, 2021 et 2023). Rietjens et Bil s'opposent sur la sélection des données et sur l'impact du mode d'administration des PFAS chez les rongeurs. Bil et al. (Bil, 2022a) rejettent ces critiques signalant que numériquement les valeurs ne diffèrent pas significativement en modifiant le jeu de données selon les recommandations de Rietjens.

Goodrum et al. (Goodrum et al., 2021) critiquent également l'approche de Bil et Zeilmaker en soulignant les différences dans le mode d'action des PFAS à chaînes courtes par rapport à ceux à chaînes longues ($C > 8$). Les PFAS à chaînes longues présenteraient la capacité de se fixer à un nombre plus important de récepteurs nucléaires (entre 6 et 16) que ceux à chaînes courtes qui seraient limités à deux récepteurs. Goodrum et al. contestent également l'existence d'une congruence dans les relations dose-réponse. La mise en œuvre de cette approche pour les PFAS à chaînes ultra-courtes est également contestable.

Par conséquent, l'application des RPF n'est pas recommandée (en 2025), sauf dans exceptionnellement et avec une bonne argumentation.

Récemment, Bil et al. (Bil et al., 2022b; Bil, 2023; Bil et al., 2025) ont publié une approche similaire pour le biomonitoring humain (sang). Les RPF proposés sont résumés dans le tableau 8. Les RPF ont été établis sur la base de modèles toxicocinétiques conçus à partir d'expérimentations chez le rat.

Tableau 8 : RPF selon Bil et al, 2022b [62] pour le biomonitoring (sang)

Congénères	Numéro CAS	RPF
PFBS	375-73-5	0,2
PFHxS	355-46-4	0,6
PFOS	1763-23-1	3
PFBA	375-22-4	2
PFHxA	307-24-4	10
PFOA	335-67-1	1
PFNA	375-95-1	5
PFDoDA	307-55-1	10
HFPO-DA	13252-13-6	9

6. Références

[1] OCDE / OECD (2021): Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances. On-line 09 jul. 2012: <https://doi.org/10.1787/f7f30439-en>
https://www.oecd-ilibrary.org/environment/reconciling-terminology-of-the-universe-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances_e458e796-en

[2] ATSDR (2021): Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200-p.pdf>

[3] IARC (2016). Some Chemicals Used as Solvents and in Polymer Manufacture. 110. International Agency for Research on Cancer Lyon, France.

[4] US-EPA (US-Environmental Protection Agency) (2016a). Drinking Water Health Advisory for Perfluorooctanoic Acid (PFOA).

[5] US-EPA (US-Environmental Protection Agency) (2016b). Health Effects Support Document for Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) ;

[6] Zahm S, et al. (2023). Carcinogenicity of perfluorooctanoic acid and perfluoro-octanesulfonic acid. *Lancet Oncol.* 25 (1): 16-17.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38043561/>

[7] US-EPA (2024a) Human Health Toxicity Assessment for Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Related Salts. EPA Document No. 815R24006.

https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-04/main_final-toxicity-assessment-for-pfoa_2024-04-09-refs-formatted.pdf

[8] US-EPA (2024b) Human Health Toxicity Assessment for Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS) and Related Salts. EPA Document No. 815R24007

https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-04/main_final-toxicity-assessment-for-pfos_2024-04-09-refs-formatted_508c.pdf

[9] Ho S.H., et al. (2022). Perfluoroalkyl substances and lipid concentrations in the blood: A systematic review of epidemiological studies. *Sci Total Environ.* 850: 158036.

[10] Rosen E.M., et al. (2022). Drinking Water-Associated PFAS and Fluoroethers and Lipid Outcomes in the GenX Exposure Study. *Environ Health Perspect.* 130 (9): 97002.

[11] Dekant W. et Dekant R. (2023). Mammalian toxicity of trifluoroacetate and assessment of human health risks due to environmental exposures. *Arch Toxicol.* 97 (4): 1069-1077.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36800005/>

[12] Bil. W., Ehrlich, V., Chen, G., Vanderbriel, R., Zeilmakler, M., Luijten, M., Uhl, M., Marx-Stoelting, P., Halldorsson, T., I., Bokkers, B. (2023) : Internal relative potency factors based on immunotoxicity for the risk assessment of mixtures of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human biomonitoring. *Environment International*, Volume 171, January 2023, 107727

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022006547>

[13] EFSA (2020). Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal* Volume 18, Issue 9

<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2020.6223> &
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32994824>

[14] Abraham K. et al., (2020). Internal exposure to perfluoroalkyl substances (PFASs) and biological

marker in 101 healthy 1-year-old children: associations between levels of perfluorooctanoic acid (PFOA) and vaccine response. *Archives of Toxicology*, 94, 2131–2147. doi: [10.1007/s00204-020-02715-4](https://doi.org/10.1007/s00204-020-02715-4); <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7303054/>

[15] Koskela A, et al. (2016). Effects of developmental exposure to perfluorooctanoic acid (PFOA) on long bone morphology and bone cell differentiation. *Toxicol Appl Pharmacol*. 301: 14-21.

[16] Luebker DJ, et al. (2005). Neonatal mortality from in utero exposure to perfluorooctanesulfonate (PFOS) in Sprague-Dawley rats: dose-response, and biochemical and pharmacokinetic parameters. *Toxicology*. 215 (1-2): 149-69.,

[17] Das K.,P., et al. (2015). Developmental toxicity of perfluorononanoic acid in mice. *Reprod Toxicol*. 51: 133-44.

[18] Butenhoff JL et al. (2009). Evaluation of potential reproductive and developmental toxicity of potassium perfluorohexanesulfonate in Sprague Dawley rats. *Reproductive Toxicology*, 27, 331–341. DOI: 10.1016/j.reprotox.2009.01.004.

[19] Engström K, Axmon A, Nielsen C, Rignell-Hydbom A et al. (2022) High in Utero Exposure to Perfluoroalkyl Substances from Drinking Water and Birth Weight: A Cohort Study among Infants in Ronneby, Sweden *Int J Environ Res Public Health*.19(4):2385. doi: 10.3390/ijerph19042385

[20] IARC (2016). *Some Chemicals Used as Solvents and in Polymer Manufacture*. 110. International Agency for Research on Cancer Lyon, France.

[21] Steenland K et Woskie S (2012). Cohort mortality study of workers exposed to perfluorooctanoic acid. *Am J Epidemiol*. 176 (10): 909-17.

[22] Raleigh KK, Alexander BH, Olsen GW, et al. (2014). Mortality and cancer incidence in ammonium perfluorooctanoate production workers. *Occup Environ Med*, 71(7): 500–6. doi:10.1136/oemed-2014-102109 PMID:24832944.

[23] Butenhoff JL, et al. (2012). Chronic dietary toxicity and carcinogenicity study with ammoniumperfluorooctanoate in Sprague-Dawley rats. *Toxicology*. 298 (1-3): 1-13.

[24] Shearer, JJ; Callahan, CL; Calafat, AM; Huang, WY; Jones, RR; Sabbisetti, VS, et al. (2021). Serum concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances and risk of renal cell carcinoma. *Journal of the National Cancer Institute* 113: 580-587.

[25] Boelsterli U (2007). *Mechanistic Toxicology* CRC Press: Potassium perfluoro-hexanesulfonate in Sprague Dawley rats. *Reprod Toxicol*. 27 (3-4): 331-341.

[26] Landry Y, et al. (2019). *Pharmacologie* (4ième édition). Dunod.

[27] Sunderland EM, et al. (2019). A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 29 (2): 131-147.

[28] Fenton SE, et al. (2021). Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research. *Environ Toxicol Chem*. 40

(3): 606-630;

[29] Boutonnet JC, et al. (1999). Environmental Risk Assessment of Trifluoroacetic Acid. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 5 (1): 59-124.

[30] Nabb DL, et al. (2007). In vitro metabolism of 8-2 fluorotelomer alcohol: interspecies comparisons and metabolic pathway refinement. Toxicol Sci. 100 (2): 333-44

[31] Nilsson H, et al. (2013). Professional ski waxers' exposure to PFAS and aerosol concentrations in gas phase and different particle size fractions. Environ Sci Process Impacts. 15 (4): 814-22.

[32] ANSES (2017): AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation des risques sanitaires d'alkyls per- et polyfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine. Saisine n° 2015-SA-0105 Saisine liée n° 2012-SA-0001 <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2015SA0105.pdf>

[33] EFSA (European Food Safety Authority), 2005. Opinion of the Scientific Committee on quest from EFSA related to a harmonised approach for risk assessment of substances which are both genotoxic and carcinogenic. EFSA Journal 2005; 3(10): 282, 31 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2005.282>

[34] TCEQ (2023) : Perfluoro Compounds (PFCs): RfD Values. Texas Commission on Environmental Quality. <https://www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/tox/evaluations/pfcs.pdf>

[35] MDHHS (2019). Michigan Department of Health and Human Services, Division of Environmental Health Michigan PFAS Action Response Team Human Health Workgroup. Public health drinking water screening levels for PFAS. https://www.michigan.gov/documents/pfasresponse/MDHHS_Public_Health_Drinking_Water_Screening_Levels_for_PFAS_651683_7.pdf

[36] NJ-DW-QI (2017). HEALTH-BASED MAXIMUM CONTAMINANT LEVEL SUPPORT DOCUMENT: PERFLUOROCTANOIC ACID (PFOA). New Jersey Drinking Water Quality Institute Health Effects Subcommittee February 15, 2017. <https://www.state.nj.us/dep/watersupply/pdf/pfoa-appendixa.pdf>

[37] Bil, W., B. ; Zeilmaker, M. ; Fragki, S.; Lijzen, J.; Verbruggen, E.; Bokkers, B. (2020): Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. Environmental Toxicology and Chemistry Volume 40, Issue 3 p. 859-870 <https://doi.org/10.1002/etc.4835>
<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.4835>

[38] Karg, F., Hintzen, U., Robin-Vigneron, L. et Girard, P. (2023a) : PFAS : Chimie Environnementale, Diagnostics & Identification des Sources, Toxicologie et Evaluation des Risques (EQRs), incluent les FTOH. PFAS / Environmental Chemistry Investigations, Source Identification, Toxicology and TERQ Risk Assessments, including FTOH. Minutes of International Congress PFAS – Management of Environmental and Health Risks". Paris, June 13-14, 2023. <https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Congress-Abstract-KARG-HPC-INTERNATIONAL-2023-F.pdf>
<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Congress-Abstract-KARG-HPC-INTERNATIONAL-2023->

[39] Karg, F. (2023b) : Pollution par PFAS volatils : risques pour la santé dus aux émanations et contaminations de l'air ambiant. Minutes du Congrès Atmosfair, Paris 27 & 28/06/2023.

<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-AtmosFair-KARG-HPC-INTERNATIONAL-27-06-2023-E.pdf>

<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Atomsfair-Karg-HPC-INTERNATIONAL-E-2023.pdf>

[40] Karg, F. (2024a) : Evaluation des risques sanitaires d'une multitude des PFAS par application des Top Assays sur les substances polyfluorés (Précurseurs). Health Risk Assessments for large PFAS Cocktails by Application of the Top Assays concerning the poly-fluoro Substances (Precursors). Congress-Manuscript for the INTERSOL Congress at 26-28 Mars 2024 / Paris.

https://www.saturne.net/mud/index.php?d=intersol2024_pg_abstracts

[41] Karg, F. (2024b) : Integrated PFAS Quantitative Health Risk Assessments via TERQ (Toxicological Exposure Risk Quantification) by use of Top Assay Analysis for integration of the large Mass of poly-flourinated Alkyl Substances. Évaluations quantitatives des risques pour la santé des PFAS via des EQRS, en application des Analyses du Top Assay pour l'intégration de la grande masse de substances alkyles polyfluorées. Congress-Manuscript for the International PFAS-Congress at 04 – 06 Juin 2024 / Paris.

[PFAS24_ABSTRACTS_PG.pdf](#)

[42] Karg, F. (2024c): International Experiences and innovative PFAS Management in Germany: Health Risk Assessment & PFAS Pollution Sources identification and Differentiation / Internationale Erfahrungen und innovatives PFAS-Management in Deutschland: PFAS Source Differentiation and site specific Health Risk Assessments for sustainable site remediation. PFAS-Quellendifferenzierung sowie Einzelbewertung der Vielstoffbelastungen gemäß BBodSchV § 15.4. für verhältnismäßige Sanierungen unter Berücksichtigung der flüchtigen Fluortelomeralkohole (FTOH). Congress-Document for Karlsruher Altlasten-PFAS-Seminar - Perflursan-Workshop / Germany: 18/06/2024.

[ICP perflusan \(icp-ing.de\)](#)

[43] Karg, F. (2024d) : Mesures et évaluations des risques des expositions par des PFAS volatils dans l'air ambiant intérieur (FTOH : Fluortéломère alcools, etc.). Avancement concernant les travaux relatifs aux Crèches et Ecoles en Rhône-Alpes : Choix et application des VTR*, Budgets Espace-Temps, Taux de respiration, etc. des PFAS volatils. Measurements and Health Risk assessments of volatile PFAS in indoor Ambient Air (FTOH: Fluortelomere alcohols, etc.). Progress concerning work relating to Nurseries and Schools in Rhône-Alpes / France: Choice and application of TRV*, Space-Time Budgets, Respiration Rates, etc. for volatile PFAS & COHV, etc.) (* Toxicological Reference Values). Congress-Manuscript ATMOSFAIR, Lyon: 22-23/10/2024

<https://www.webs-event.com/en/event/atmosfair/programme/>

[44] Karg, F. (2024e) : Evaluation des risques toxicologiques dans le cas des multi-expositions aux PFAS poly- & perfluorés, via l'application des Top Assays sur les substances polyfluorés (Précurseurs). Document du Congrès de Toxicologie de la SFT : Société Française de Toxicologie, Lyon : 14 – 15/11/2024.

<https://www.sftox.com/index.php/actualites/congres>

[45] Karg, F. (2024f) : PFAS : Évaluation des Risques toxicologiques (EQRS) avec la prise en compte des précurseurs & métabolites stables et expériences et applications conforme au Guide de Gestion des PFAS de la SFSE. Congrès de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Paris 21/11/2024. Seminar Script.

- [46] SFSE (2024 & 2025) : Guide de gestion des PFAS de la SFSE, chapitres – fiches 1 – 14 : <https://sfse.wetransfer.com/previews/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
- [47] Bil, W.; Zeilmaker, M. ; Fragki, S.; Lijzen, J.; Verbruggen, E.; Bokkers, B. (2021): Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. Environmental Toxicology and Chemistry Volume 40, Issue 3 p. 859-870
<https://doi.org/10.1002/etc.4835>
<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.4835>
- [48] SLU (Swedish University of Agricultural Science) / Bo Sha (2017): Perfluoroalkyl substances (PFASs), flame retardants and cyclic volatile methyl-siloxanes in indoor air in Uppsala, Sweden – occurrence and human exposure assessment. Department of Aquatic Sciences and Assessment Master thesis • 30hec • Advanced level A2E. Sustainable Development, Uppsala 2017
https://stud.epsilon.slu.se/10280/1/sha_b_170913.pdf
- [49] Wang, N. Szostek, B., Buck, R.C., Folsom, P.W., Sulecki, L.M., Gannonet, J.T. (2009): Fluortelomer alcohol aerobic soil biodegradation : Pathways, metabolites and metabolite yields. Chemosphere. Volume 75, Issue 8, May 2009, Pages 1089-1096
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653509000496>
- [50] Liu, J., Avendaño, S.M. (2013): Microbial degradation of polyfluoroalkyl chemicals in the environment: a review. Environment international. 1 November 2013, DOI:10.1016/j.envint.2013.08.022. Corpus ID: 28773717.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Microbial-degradation-of-polyfluoroalkyl-chemicals-Liu-Avenda%C3%B1o/cd3c413c79adf7cec83822997cf350a9705cd23d>
- [51] IPCS / WHO (2009): International Program on Chemical Safety. Assessment of combined Exposures to Multiple Chemicals: Report WHO/IPCS International Workshop. 75 pages.
- [52] Cousins IT, et al. (2020). The high persistence of PFAS is sufficient for their management as a chemical class. Environ Sci Process Impacts. 22 (12): 2307-2312.
- [53] Heys KA, et al. (2016). Risk assessment of environmental mixture effects. RSC Advances. 6 (53): 47844-47857.
- [54] Guyton, K.Z.; Rusyn,I.; Chiu,W.A.; Corpet, D.E.; van den Berg, M.; Ross, M.K.; Christiani, D.C.;Beland, F.A.; Smith,M.T. (2018) : Application of the key characteristics of carcinogens in cancer hazard identification. Carcinogenesis 2018,39,614–622.
<https://academic.oup.com/carcin/article/39/4/614/4883395>
- [55] Zeilmaker M, et al. (2018). Mixture exposure to PFAS: A Relative Potency Factor approach. Rapport RIVM: 2018-0070
- [56] Zeilmaker, R. (2023) : Internal relative potency factors based on immunotoxicity for the risk assessment of mixtures of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human biomonitoring. Environment International, Volume 171, January 2023, 107727
- [57] State of Hawaii – Department of Health (State of Hawaii, Department of Health) (2020). Interim Soil and Water Environmental Action Levels (EALs) for Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)
- [58] State of Hawaii - Department of Health (State of Hawaii - Department of Health) (2021). Interim

Soil and Water Environmental Action Levels (EALs) for Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs), UPDATE

[59] Rietjens, 2022, contestation de l'utilisation de RPF dans le cadre d'évaluation des risques Rietjens I, et al. (2022). Letter to the Editor on Bil et al. 2021 "Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach". Environ Toxicol Chem. 41 (1): 7-12.
<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.4835>

[60] Bil W, et al. (2022a). Response to Letter to the Editor on Bil et al. 2021 "Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach". Environ Toxicol Chem. 41 (1): 13-18.

[61] Goodrum PE, Anderson, J., K., Luz, A. L., Ansell, G., K. (2021). Application of a Framework for Grouping and Mixtures Toxicity Assessment of PFAS: A Closer Examination of Dose-Additivity Approaches. Toxicol Sci. 179 (2): 262-278.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32735321/>

[62] Bil W, et al. (2022b). Internal Relative Potency Factors for the Risk Assessment of Mixtures of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Human Biomonitoring. Environ Health Perspect. 130 (7): 77005.

[63] Houtz, E.F., Sedlak, D.L. (2012): Oxidative conversion as a means of detecting precursors to perfluoroalkyl acids in urban runoff. Environ. Sci. Technol. 46, 9342-9349.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022006547>)

[64] Daikee SH, Luciani-Torres, G., es G, Moore DH, Jaffee IM, Goodson WH 3rd (2018). A ternary mixture of common chemicals perturbs benign human breast epithelial cells more than the same chemicals do individually. Toxicol Sci 165:131–144.
<https://doi.org/10.1093/toxsci/kfy126>

[65] Pesonen, M. & Vähäkangas (2024) : Involvement of per- and polyfluoroalkyl compounds in tumor development. Archives of Toxicology, Springer, Published on-line 13 March 2024.
<https://doi.org/10.1007/s00204-024-03685-7>

[66] Pierozan P, Kosnik M, Karlsson O. (2023). High-content analysis shows synergistic effects of low perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS mixture concentrations on human breast epithelial cell carcinogenesis. Environ Int 172:107746
. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107746>

[67] Heilier, J.F., Rousselle, C., Karg, F., Ronga, S., Charlate, P., Pouzaud, F., Robin-Vigneron, L. (2023 + 2024) : Evaluation et Gestion des PFAS : 9. Toxicité et Valeurs Toxicologiques de Référence. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>

[68] Karg, F., Heilier, J.-F., Ronga-Pezeret, S., Rousselle, C., Bouhoulle, E., Robin-Vigneron, L. (2023 + 2024) : Evaluation et Gestion des PFAS : 10. Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires et mélanges. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>

[69] US-EPA / IRIS (2025): Toxicological Review of Perfluorohexanesulfonic Acid (PFHxS, CASRN 335-46-4) and Related Salts. Integrated Risk Information System /Center for Public Health and Environmental Assessment Office of Research and Development / U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC .

file:///C:/Users/fka/Downloads/FINAL_HERO-PFHXS_TOX_JANUARY2025_STEP7_FINAL.PDF

[70] Zoeller, RT; Rovet, J. (2004). Timing of thyroid hormone action in the developing brain: Clinical observations and experimental findings [Review]. *J Neuroendocrinol* 16: 809-818. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2826.2004.01243.x>

[71] A; SC, F; E, R. (2024). Recent insights into the role of hormones during development and their functional regulation. *Front Endocrinol (Lausanne)* 15. <http://dx.doi.org/10.3389/fendo.2024.1340432>.

[72] Street, ME; Shulhai, AM; Petraroli, M; Patianna, V; Donini, V; Giudice, A; Gnocchi, M; Masetti, M; Montani, AG; Rotondo, R; Bernasconi, S; Iughetti, L; Esposito, SM; Predieri, B. (2024). The impact of environmental factors and contaminants on thyroid function and disease from fetal to adult life: current evidence and future directions [Review]. *Front Endocrinol (Lausanne)* 15: 1429884. <http://dx.doi.org/10.3389/fendo.2024.1429884>.

[73] Stagnaro-Green, A; Rovet, J. (2016). Pregnancy: Maternal thyroid function in pregnancy - A tale of two tails [Comment]. *Nat Rev Endocrinol* 12: 10-11. <http://dx.doi.org/10.1038/nrendo.2015.212>.

[74] Younossi, ZM; Henry, L. (2024). Understanding the Burden of Nonalcoholic Fatty Liver Disease: Time for Action. *Diabetes Spectrum* 37: 9-19. <http://dx.doi.org/10.2337/dsi23-0010>.

[75] Beygi, M., Ahi, S., Zolghardi, S., Stanek, A. (2024). Management of metabolic-associated fatty liver disease/metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease: from medication therapy to nutritional interventions. *Nutrients* 16. <http://dx.doi.org/10.3390/nu16142220>.

[76] Vesković, M; Pejović, M; Šutulović, N; Hrnčić, D; Rašić-Marković, A; Stanojlović, O; Mladenović, D. (2024). Exploring fibrosis pathophysiology in lean and obese metabolic-associated fatty liver disease: An in-depth comparison. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES* 25. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms25137405>.

[77] Sultan, M; Ben-Ari, Z; Masoud, R; Pappo, O; Kamari, Y; Safran, M. (2017). Interleukin-1 α and Interleukin-1 β play a central role in the pathogenesis of fulminant hepatic failure in mice. *PLoS ONE* 12: e0184084. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0184084>.

[78] He, X; Jiang, J; Zhang, XX. (2022). Environmental exposure to low-dose perfluorohexanesulfonate (PFHxS) promotes obesity and non-alcoholic fatty liver disease in mice fed a high-fat diet. *Environ Sci Pollut Res Int* 29: 49279-49290. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-19369-7>.

[79] Karg, F. (2025): Toxicological Health Risk Assessment in Case of oral, dermal and Inhalation Exposure of PFAS (TERQ: Toxicological Exposure Risk Quantification and definition of site use specific Remediation Goals – International State-of-the-Art 4th International PFAS Conference; 04th Feb. 2025, Milano – Italy. Conference Script.

[80] Naveed, A., Martiensen, M., Mbir Bryant, I., Vione, D., Bruzzoniti, M.C., Riedel, R. (2024): Investigation on UV Degradation and Mechanism of 6:2 Fluorotelomer Sulfonamide Alkyl Betaine, Based on Model Compound Perfluorooctanoic Acid. MDPI: ChemEngineering, Volume 8, Issue 2, 10.3390/chemengineering8020032. <https://www.mdpi.com/2305-7084/8/2/32>

[81] Karg. F. (2024) : Evaluation des risques toxicologiques dans le cas des multi-expositions aux PFAS poly- & perfluorés, via l'application des Top Assays sur les substances polyfluorés (Précurseurs). Document du Congrès de Toxicologie de la SFT : Société Française de Toxicologie, Lyon : 14 – 15/11/2024.

<https://www.sftox.com/index.php/actualites/congres>

[82] Karg. F. (2024) : PFAS : Évaluation des Risques toxicologiques (EQRS) avec la prise en compte des précurseurs & métabolites stables et expériences et applications conforme au Guide de Gestion des PFAS de la SFSE. Congrès de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Paris 21/11/2024. Seminar Script.

<https://www.sfse.org/congres/presentations/21>

[83] Karg. F. (2025): Environmental behavior of some key-PFAS and aromatic amine pollutants of Benzidine type / Comportement environnemental de certains polluants : PFAS et Amines aromatiques de type Benzidine. INTERSOL Lyons – France 26 March 2025, Lyon. Conference Script.

<https://www.webs-event.com/en/event/intersol/programme>

<https://www.webs-event.com/en/event/intersol/appelacom/>

<https://www.webs-event.com/stock/archives/26-mars-2025.zip>

[84] Karg, F., Heilier, J.-F., Ronga-Pezeret, S., Robin-Vigneron, L. (2025): Evaluation des risques toxicologiques dans le cas des multi-expositions aux PFAS poly- & per-fluorés, via l'application des Top Assays sur les substances polyfluorés (Précurseurs). Dans : Traité en Toxicologie et d'évaluation des risques. SFT : Société Française de Toxicologie et d'évaluation des risques. TDM Editions. Script transmis à la SFT en Avril 2025.

[85] Bil, W., Hartmann, J., Bakker, M., Bokkers, B. (2025): Mixture risk assessment approaches to evaluate oral exposure to PFAS: Outputs and recommendations of an expert workshop. Regulatory Toxicology and Pharmacology, Volume 162, 2025, 105907.

<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2025.105907>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273230025001370?via%3Dihub>

[86] ALMBL (2000): Arbeitsgemeinschaft der leitenden Medizinalbeamtinnen und -Beamten der Länder: Bericht des Ausschusses für Umwelthygiene. 152 p.

[87] INVS: Institut de Veille Sanitaire (2011) : Variables humaines d'exposition (VHE) disponibles en France pour les évaluations quantitatives des risques sanitaires (EQRS).

file:///C:/Users/fka/Downloads/37763_11922-ps-1.pdf

[88] Directive (UE) 2020/2184 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2020 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (refonte) (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE).

<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000045770552>

Peeters Marie (Responsable)
Marguerite Delrée (agent)
+32 4 229 82 61
+32 479 88 30 43
milieuxinterieurs@issep.be

Cellule Air Intérieur
Institut Scientifique de Service Public
Rue du Chéra, 200
4000 Liège
Belgique

Atmos'Fair 2025 - Lille - Résumé technique

PRÉSENTATION DES SAMI

1- Qui sont les SAMI ?

SAMI = Service d'Analyse des Milieux Intérieurs.

Implantation et nombre : cinq, un par province wallonne.

Origine : créés par les provinces à la fin des années 1990.

Coordination et financement :

- Avant 2023, financés par les Provinces.
- Depuis 2023, financés et coordonnés au niveau régional (Région wallonne).

Les équipes SAMI sont composées de professionnels aux profils variés : biologistes, biochimistes, ingénieurs en environnement, pharmaciens, mais aussi assistants sociaux, experts en santé publique ou infirmiers.

2- Leurs missions

La mission principale des SAMI est de **contribuer au diagnostic médical** lorsqu'un médecin généraliste ou spécialiste suspecte que le logement d'un patient pourrait être à l'origine de problèmes de santé.

Les SAMI assurent également d'autres missions, telles que :

- La réalisation de prélèvements d'eau en cas de patient atteint de légionellose,
- L'organisation de la campagne annuelle de sensibilisation et de détection du radon.

3- Les modalités d'intervention

Lorsqu'un médecin soupçonne un lien entre les symptômes du patient et son logement, il remplit un **formulaire de demande d'intervention** adressé au SAMI de la province concernée. Le SAMI planifie ensuite une visite selon ses disponibilités.

Lors de la visite, un questionnaire est rempli avec le patient (portant sur le logement et l'environnement proche). Les agents inspectent l'habitation et effectuent des mesures et prélèvements selon différents protocoles. Des échantillons peuvent être prélevés dans le logement et envoyés pour analyse en laboratoire.

4- Les polluants de l'habitat étudiés par les SAMI

- **Paramètres du climat intérieur** : température, humidité, CO₂...
- **Polluants biologiques** : moisissures, bactéries, acariens...
- **Polluants chimiques** : COV, Formaldéhyde, CO, NO₂, Plomb...
- **Polluants physiques** : amiante, radon, ondes électromagnétiques...

5- Le rapport

Un rapport détaillé est remis au patient et à son médecin. Il comprend les résultats des observations, mesures et analyses, comparées aux valeurs de référence quand elles existent. Le rapport est accompagné de **recommandations** concrètes sur l'aménagement du logement et des conseils pratiques pour les habitants du logement (ventilation, choix de produits d'entretien, etc.).

6- Le coût et les conditions

L'intervention d'un SAMI est **gratuite** pour le particulier dans deux conditions :

- La demande est soutenue par un avis médical décrivant les symptômes,
- Le logement est effectivement **occupé**.

Les SAMI n'interviennent pas si la demande a pour objectif :

- De régler un conflit de voisinage ou avec un propriétaire,
- Une expertise immobilière liée à une vente ou un achat,
- Une simple demande de confort.

MISSION DE COORDINATION DES SAMI

1- Le contexte

Depuis le transfert de cette compétence des Provinces vers la Région, une mission de **coordination des SAMI** a été confiée à l'ISSeP. Cette mission garantit une approche scientifique et harmonisée des interventions, ainsi qu'une **centralisation des données** collectées. Cette base de données constitue un outil essentiel pour l'administration et les décideurs politiques, afin de définir des mesures adaptées et d'orienter les actions de sensibilisation et de prévention.

2- Les objectifs de la coordination

- Renforcer la cohésion du réseau
- Harmoniser les méthodes et pratiques
- Structurer et sécuriser les données
- Assurer le rapportage vers la Région

Présentation du projet COOPAIR : pour acCOMPagner au changement de comportement et à l'OPTimisation de la qualité de l'AIR

Intervenantes :

ORCEL AUDREY

Responsable de projet

📞 06 61 14 22 78 - 04 13 41 96 70

✉ a.orcel@medieco.fr

📍 Antenne de Lyon

🌐 www.medieco.fr

Alix HONORÉ

M : 06 64 28 82 26

ahonore@ispira.fr

www.ispira.fr

MEDIECO

ISPIRA

Résumé technique :

La qualité de l'air intérieur (QAI) est un enjeu majeur de santé publique, particulièrement dans les crèches, où les jeunes enfants, très vulnérables en raison de leur développement physiologique et immunitaire, passent jusqu'à 90 % de leur temps. L'air intérieur peut être jusqu'à huit fois plus pollué que l'air extérieur, en raison de sources comme les composés organiques volatils (COV), le CO₂, les moisissures ou les particules fines, avec des impacts sanitaires potentiels (troubles respiratoires, allergies, effets sur le développement cognitif).

En France, une réglementation encadre la QAI dans les établissements recevant du public, imposant depuis 2018 un diagnostic tous les quatre ans dans les crèches, renforcé en 2023 par des mesures obligatoires de polluants (benzène, formaldéhyde, CO₂) à certaines étapes clés des bâtiments (travaux) ainsi qu'une évaluation des moyens d'aération annuelle.

Dans cette dynamique, le projet COOPAIR, pour acCOMPagner à l'OPTimisation de la Qualité de l'Air, s'inscrit comme un accompagnement innovant des équipes de crèches, combinant mesures techniques en continu, sensibilisation et changement de comportements, afin d'optimiser la QAI au quotidien.

L'expérimentation s'est portée sur 3 crèches de la ville de Lille avec dans un premier temps un monitoring de la QAI pendant un an, une phase de sensibilisation des équipes et d'expérimentation de scénario d'aération, ainsi qu'une modélisation de la QAI dans chaque établissement.

Le projet a également été suivi à chaque étape par une équipe de sociologues afin de mieux comprendre et identifier précisément les freins et les leviers à l'aération dans les établissements.

La modélisation de la qualité de l'air intérieur se poursuit également afin d'analyser les différents scénarii mis en place lors de l'expérimentation et définir comment optimiser la qualité de l'air intérieur dans les établissements tout en garantissant une sobriété énergétique.

Des actions d'amélioration continue de la QAI seront proposées à la Ville de Lille permettant notamment la mise en place de protocoles d'aération ainsi que l'animation d'ateliers de sensibilisation des équipes avec des outils pédagogiques adaptés.

Améliorer la qualité de l'air dans les écoles en Belgique

Antoine Geerinckx, co-fondateur Airscan.org

AIRSCAN srl, Rue d'Accolay 15-17, 1000 Bruxelles, Belgique

Airscan est une entreprise sociale spécialisée dans la mesure et conseil en amélioration de la qualité d'air.

Airscan propose des services concrets dans le domaine des bâtiments et des villes pour préserver la santé et favoriser la durabilité :

- Évaluations de la qualité de l'air intérieur : diagnostics à court terme, identification des sources, tests HVAC, plans d'action clairs.
- Surveillance continue : réseaux de capteurs intérieurs/extérieurs, tableaux de bord en temps réel, alertes, modélisation.
- Organisation de tests de performance WELL : vérification sur site de l'air, de l'eau, de la lumière, de la thermique, du son.
- Certification de bâtiments verts : accompagnement et tests pour WELL, BREEAM, LEED, DGNB, MyCrest.
- Pure Cities : programmes à l'échelle des villes et communes avec analyses par IA, traçage des sources via rose des vents, widgets citoyens, actions éducatives.
- Reporting et conformité : rapports destinés aux parties prenantes, conformes aux standards locaux et internationaux.
- Impact et portée : plus de 1200 capteurs déployés, plus de 100 bâtiments certifiés durables, économies d'énergie grâce à une ventilation intelligente.
- Partenariats et financements : collaborations avec municipalités et financeurs pour faire évoluer les initiatives pour un air pur.

Sujet de la présentation du 15 octobre :

Sur une période de trois ans, Airscan.org a mesuré et conseillé plus de 70 écoles en matière de qualité de l'air. La majorité de ces établissements ne respectaient pas les normes recommandées par l'OMS. Grâce au suivi personnalisé et aux conseils d'Airscan.org, la qualité de l'air dans ces écoles a pu être améliorée d'environ 40 %...

Présentation du concept de ventilation combinée dans les bâtiments non-résidentiels

Pierre Caquelin, Head of sales & Marketing Europe
Fellowes Air Quality Management, Membre FIMEA
Tel.: +33 (0) 1 78 649 128
Email : PCaquelin@fellowes.com

Description :

Dans le cadre de l'implémentation de la directive européenne 2024/1275: Energy Performance Building Directive, qui encourage tout à la fois une **réduction des déperditions de chaleurs liées à la ventilation** et la mise en place de **seuils concernant la qualité de l'air intérieur**, il semble important d'innover et de définir des solutions techniques pour les bâtiments non-résidentiels.

L'utilisation combinée, d'une part d'un système de ventilation sobre permettant de réguler activement le taux de CO2 et l'humidité relative et d'autre part d'épurateurs d'air professionnels dans les espaces densément occupés capturant les polluants de l'air, permet de résoudre l'équation.

La QAI est un sujet essentiel pour améliorer la qualité de l'environnement intérieur d'un bâtiment non-résidentiel.

En neuf, comme en rénovation, le concept de ventilation combinée a pour objectif de limiter la consommation énergétique du bâtiment, tout en apportant des moyens pour améliorer la QAI en ayant une action directe sur les COV, les particules fines, les pollens, mais aussi avec une action préventive sur les transmissions de virus aéroportés.

Réduire les concentrations en H₂S en air intérieur face aux algues sargasses : quelles solutions ?

Frédéric THEVENET¹, Vincent GAUDION¹, Thomas FAGNIEZ¹, Marie VERRIELE¹, Jean GUIMBERTEAU², Carole BOULANGER², Margaux MOUNSAMY³, Sabine CRUNAIRE¹

(1) *IMT Nord Europe, Université de Lille, CERI EE, F-59000 Lille, France*

(2) *MADININAIR, 31 Rue Professeur Garcin, Fort-de-France 97200, Martinique*

(3) *GWAD'AIR, Arnouville, Petit-Bourg, 97170 Guadeloupe*

Les sargasses sont des algues abondantes en Mer des Caraïbes, causant d'importants problèmes écologiques, économiques et sanitaires. Les tapis flottants de sargasses représentent des défis majeurs, car une fois échoués ils se décomposent en émettant des composés toxiques et très odorants tels que NH₃ et H₂S, à des concentrations préoccupantes pour la santé des habitants des littoraux.

A la Martinique et en Guadeloupe, des réseaux de surveillance de ses polluants ont été mis en place pour accompagner les Agences Régionales de Santé et informer les populations des événements de pollution à l'H₂S ou à NH₃. Le projet ADEME RDI SARGEX (*Préconisations de bonnes pratiques pour limiter l'exposition aux émanations d'algues sargasses dans les bâtiments à ventilation naturelle*) a permis de renseigner, au-delà de la variabilité des concentrations extérieures, les principaux déterminants des concentrations intérieure en H₂S. Des campagnes de mesure réalisées dans des logements montrent que le taux de renouvellement d'air, l'utilisation de la climatisation, les pratiques d'aération, et l'orientation des ouvrants de bâtiments ont un impact sur les concentrations intérieure en H₂S. Afin de réduire la gêne dans leurs logements et leur exposition, les populations des Antilles françaises s'orientent vers des solutions commerciales de traitement de l'air. Ces dispositifs de remédiation sont-ils à même de diminuer significativement les concentrations en H₂S en air intérieur dans les conditions climatiques typiques des Antilles ?

Afin de répondre à cette question, les travaux échelle 1:1 menés au sein de la pièce expérimentale 40 m³ IRINA ont permis de : (i) identifier des solutions de traitement d'air représentatives de la diversité des technologies de traitement (photocatalyse, adsorption, solubilisation, etc.) et dont les performances vis-à-vis de l'élimination des COV ont été validées ; (ii) déterminer les performances de traitement des dispositifs vis-à-vis du H₂S, dans des conditions normalisées (T = 23 ± 1 °C, RH = 40 ± 5 %) afin de comparer aux résultats obtenus pour les COV, puis dans des conditions environnementales typiques des Antilles (T = 29 ± 1 °C, RH = 65 ± 5 %) ; (iii) identifier des solutions commercialisées dans les Antilles pour évaluer leurs performances dans les mêmes conditions.

Les résultats permettent d'identifier les technologies de remédiation les plus efficaces et de formuler des recommandations sur le choix des épurateurs d'air et leurs mises en œuvre optimales. Par ailleurs, ils mettent en perspectives l'efficacité des épurateurs vis-à-vis du renouvellement d'air dans les logements. Les technologies les plus efficaces montrent par ailleurs un maintien de leurs performances dans des conditions typiques du climat des Antilles (T et RH élevés) permettant d'assurer l'élimination de H₂S. Les résultats obtenus en conditions réalistes et contrôlées seront comparés dans le cadre du projet **SARGEX** aux performances des épurateurs déployés en conditions réelles sur le terrain.

Frédéric THEVENET (Enseignant-Chercheur)

IMT Nord Europe, CERI EE

941 rue Bourseul, 59500 Douai, France

frederic.thevenet@imt-nord-europe.fr

Caractérisation de l'efficacité d'épurateurs d'air intérieur en conditions réelles d'utilisation

Etienne de Vanssay, Directeur général – Airea, Cap Environnement

Email : vanssay@airea.fr

Tel. : 07 83 02 87 70

Le projet QAST, co-financé par l'ADEME et Fimea, a notamment pour objectif d'évaluer l'efficacité réelle de différents modèles d'épurateurs d'air dans trois environnements tertiaires sans ventilation mécanique.

La campagne de mesure des particules fines, réalisée par différents capteurs sur une période d'environ 5 mois a permis la mesure de centaines de milliers de données. Par ailleurs, divers paramètres d'influence ont également été pris en compte : débit d'épuration, volume des pièces, nombre d'occupants, ouverture des ouvrants, concentration initiale en particules... Au total, près de 400 phases de fonctionnement ont été analysées, avec une attention particulière portée sur la dynamique de réduction des concentrations en particules fines.

Les performances d'efficacité ont été quantifiées à l'aide d'indicateurs dynamiques tels que l'abattement maximal moyen, le temps de « demi-vie » d'épuration, la réduction selon la concentration initiale.

Les résultats montrent un impact positif des épurateurs en conditions réelles d'utilisation sur la réduction des concentrations en particules fines, avec une forte variabilité selon les conditions d'usage, soulignant la nécessité d'adapter les dispositifs d'épuration au contexte local.

Les données confirment la pertinence de modèles statistiques non linéaires pour prédire l'efficacité des épurateurs, ouvrant la voie à un « CADR réel » mieux adapté aux environnements occupés.

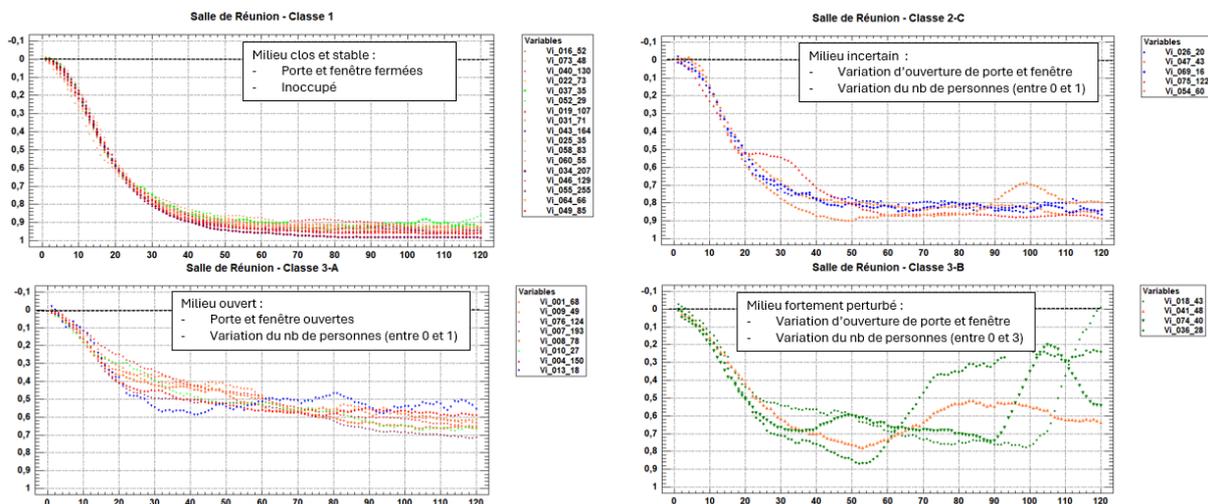


Figure 1. Classement des phases d'épuration selon différentes classes de stabilité.



Jeudi 16 octobre 2025

Journée Air Extérieur

Programme

09h00

Panorama normatif et actualités jurisprudentielles en matière de qualité de l'air
Corentin Chevallier, Avocat associé - UGGC Avocats

Identification des sources et leur contribution à la pollution de l'air

09h30

Surveillance en temps réel des émissions d'unités d'odeur (OU) et identification des sources olfactives à l'aide d'analyseurs IOMS de nouvelle génération autour d'une usine de production d'aliments pour animaux
Jean-Christophe Mifsud, Président et fondateur - Ellona

10h00

Obtenir une vue dynamique des mesures ponctuelles de la qualité de l'air grâce à la technologie de télédétection
Kanang Sivula, Responsable du service Environnement - Vaisala

10h30 Pause café

11h00

Une méthodologie de diagnostic à haute résolution spatiale et temporelle pour un pilotage territorial adapté : cartographie à haute résolution de la qualité de l'air
Frédéric Mahé, Responsable Innovation et Développement - Suez

11h30

Émissions des véhicules en conditions réelles de conduite : quel impact sur la qualité de l'air ?
Amira Jabbari-Hichri, Chercheuse post-doctorante - IRCELYON

12h00

Table ronde

Leviers économiques de la qualité de l'air

Animateur : Dr. Fabien Squinazi, Président de la Commission Environnement - Haut Conseil de la Santé Publique

Participants :

- *Jérémy Elbeze, Directeur de l'économie et de la prospective - CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)*
- *Alison Leroy, Avocate associée, Spécialiste en droit des assurances - UGGC Avocats*
- *Nicolas Lancesseur, Directeur Climat et Environnement - IFD (Institut de la Finance Durable)*
- *Intervenant en cours de confirmation*

13h00 Déjeuner

Expositions et impacts

14h00

Approche LBM pour la simulation de la dispersion atmosphérique de polluants en environnement portuaire

Stéphane Jay, Ingénieur de recherche - IFP Énergies Nouvelles

14h30

Étude AQAMETHA : objectiver les liens entre la méthanisation et la qualité de l'air

Arnaud Rebours, Ingénieur référent - Air Pays de la Loire

15h00

Capteurs et capteurs, un lien indissoluble avec une seule santé et une approche nécessairement plus solidaire publique-privée

Dominique Robin, Directeur - AtmoSud

15h30

Comment évaluer en urgence la qualité de l'air et ses impacts sur les populations après un incendie ?

Julian Seguin, Directeur de projets - EGIS

16h00 Pause café

Solutions technologiques

16h30

Béton drainant : Méthodologie de suivi des performances des NOx en extérieur en fonction du niveau de pollution

Isabelle Javierre, Responsable du laboratoire Innovation - Holcim Innovation Center

17h00

Micro-capteurs et IA : augmenter les données mesurées par micro-capteurs par réseau de neurones entraînés

Ludovic Piovesan, Responsable du développement commercial France - Ecomesure

17h30

Systèmes analytiques autonomes et innovants pour l'identification et la quantification de Composés Organiques Volatils (COV), répondant à la Directive Européenne 2024/2881 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe (CAFE - Cleaner Air For Europe)

Damien Bourgain, Chef de projet Applications Analytiques - Chromatotec

18h00

Fin de la seconde journée

Fin du congrès



Thursday, October 16, 2025

Outdoor Air Day

Programme

09h00

Overview of air quality legislation and current case law
Corentin Chevallier, Partner Lawyer - UGGC Avocats

Identification of Sources and their Contribution to Air Pollution

09h30

On line monitoring of odour unit (OU) emissions and odour sources identification by using a new generation of IOMS analysers around an animal feed production plant
Jean-Christophe Mifsud, President & Founder - Ellona

10h00

Achieving a dynamic view of single-point air quality measurements
Kanang Sivula, Head of Environment Business - Vaisala

10h30 Coffee Break

11h00

A high-resolution spatial and temporal diagnostic methodology for territorial management: high-resolution mapping of air quality
Frédéric Mahé, Head of Innovation and Development - Suez

11h30

Vehicle emissions under real driving conditions: what impact on air quality?
Amira Jabbari-Hichri, Post-doctoral researcher - IRCELYON

12h00

Round table

Economic levers for air quality

Moderator: Dr. Fabien Squinazi, President of the Environment Committee - High Council for Public Health (France)

Participants :

- *Jérémy Elbeze, Director of Economics and Forecasting - CSTB (Scientific and Technical Center for Building)*
- *Alison Leroy, Partner, Insurance Law Specialist - UGGC Avocats*
- *Nicolas Lancesseur, Director of Climate and Environment - IFD (Institute for Sustainable Finance)*
- *Speaker in confirmation proceedings*

13h00 Lunch

Exposures and Impacts

14h00

LBM approach for simulating the atmospheric dispersion of pollutants in a port environment
Stéphane Jay, Research Engineer - IFP Énergies Nouvelles

14h30

AQAMETHA study: objectivizing the links between methanization and air quality
Arnaud Rebours, Reference Engineer - Air Pays de la Loire

15h00

Sensors and sensors, an indescribable link with a single health and a necessarily more supportive public-private approach
Dominique Robin, Director - AtmoSud

15h30

How to assess air quality and its impact on the population after a fire?
Julian Seguin, Project Manager - EGIS

16h00 Coffee Break

Technological Solutions

16h30

Pervious concrete: Methodology for outdoor NOx performance monitoring according to Level of pollution
Isabelle Javierre, Innovation Lab Manager - Holcim Innovation Center

17h00

Micro-sensors and AI: augmenting micro-sensor data with trained neural networks
Ludovic Piovesan, Sales Development manager for domestic region - Ecomesure

17h30

Autonomous and innovative analytical systems for the identification and quantification of Volatile Organic Compounds, complying with Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe (CAFE - Cleaner Air For Europe)

Damien Bourgain, Analytics Applications Project manager - Chromatotec

18h00

End of Day Two

End of the congress

Panorama normatif et actualités jurisprudentielles en matière de qualité de l'air

Le droit de la qualité de l'air connaît une constante évolution aussi bien par l'adoption de nouveaux textes au niveau européen et national que sous l'impulsion de décisions juridictionnelles. Ces derniers mois ont été marqués par plusieurs productions normatives et jurisprudentielles majeures apportant de nouvelles précisions quant aux obligations pesant sur les Etats, les collectivités ou les acteurs privés en matière de qualité de l'air. Leur connaissance est une aide aux acteurs concernés à la recherche de solutions opérationnelles.

Sur le plan normatif, au niveau européen, face à la nécessité de moderniser les règles régissant la qualité de l'air ambiant, une nouvelle directive (2024/2881) révisant les directives existantes sur la qualité de l'air (2004/107/CE et 2008/50/CE) a été adoptée. Son objectif est de fixer des valeurs limites plus strictes pour les polluants atmosphériques en alignant plus étroitement les normes européennes sur celles de l'OMS et de contribuer à faire de l'UE un environnement exempt de substances toxiques d'ici à 2050. Plusieurs polluants sont concernés, dont les particules fines (PM2,5 et PM10), le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre ou encore l'ozone. La nouvelle directive est cependant moins ambitieuse que prévu.

Ensuite, le Règlement 2024/1257 du 24 avril 2024 dispose de nouvelles prescriptions en matière de durabilité pour les véhicules, les systèmes, les composants, et les entités techniques distinctes, qui devront respecter des limites d'émission fixées en annexe du Règlement. Le 14 mai 2024, un règlement spécifique aux véhicules utilitaires lourds neufs a été adopté (2024/1610), fixant des objectifs de réduction des émissions de CO2 moyenne pour les périodes 2030-2034 et 2035-2039, puis à compter de 2040.

Enfin, il convient de souligner que, par le prisme de la performance énergétique des bâtiments, la nouvelle directive 2024/1275 du 24 avril 2024 impose aux Etats membres de définir des exigences permettant de garantir un climat intérieur sain. La nouvelle directive prévoit, en outre, la mise en place d'un plan national de rénovation des bâtiments, auquel devront notamment être intégrées des considérations relatives à la qualité de l'air intérieur.

Au niveau national, différentes normes européennes ont été transposées en droit français, codifiées pour partie dans le Code de l'environnement qui consacre le « *droit reconnu à chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé* » (article L.220-1).

A ce titre, l'Etat a une obligation de publier chaque année « *un rapport sur la qualité de l'air, son évolution possible et ses effets sur la santé et l'environnement et les risques qui en résultent* » (article L.221-6 du Code de l'environnement). Le Bilan de la qualité de l'air extérieur en 2023, publié en octobre 2024, révèle une amélioration depuis les années 2000, mais souligne la persistance de dépassement de normes réglementaires de qualité de l'air pour la protection de la santé dans certaines agglomérations.

Il convient également de souligner que le législateur est venu interdire l'utilisation des PFAS dans un certain nombre de produits par une loi du 27 février 2025. En outre, le pouvoir réglementaire s'est saisi

de la question de émissions atmosphériques de PFAS dans un arrêté ministériel du 31 octobre 2024 imposant une campagne nationale de prélèvement et d'analyse de certains PFAS résultant du traitement thermique de déchets d'installations classées.

Par ailleurs, particulièrement actif, **le juge joue un rôle déterminant** dans le respect des objectifs fixés tant au niveau européen que national.

Au niveau européen, la Cour européenne des droits de l'Homme (« CEDH ») a condamné l'Etat italien, le 30 janvier 2025, pour violation du droit à la vie résultant de l'inaction prolongée des autorités italiennes face au déversement illégal de déchets en Campanie. La CEDH a constaté que ces pratiques avaient entraîné une pollution accrue dans la zone et, notamment, une détérioration de la qualité de l'air.

Au niveau national, après avoir ordonné à l'Etat de réduire les concentrations de dioxyde d'azote (NO₂) et de particules fines (PM₁₀) dans 13 zones urbaines, puis condamné l'Etat au paiement d'astreintes 2021, 2022 et 2023, le Conseil d'Etat constate, par une décision du 25 avril 2025, que l'Etat aurait bien mis en place les actions nécessaires pour améliorer la qualité de l'air en France et bien exécuté sa décision de 2017.

Le juge national est également confronté à une multiplication des contentieux initiés par des particuliers cherchant à obtenir réparation des préjudices qu'ils ont subis en raison du non-respect par l'Etat des valeurs limites de concentration de polluants. La Cour administrative d'appel de Paris a confirmé, le 9 octobre 2024, le jugement par lequel le tribunal administratif de Paris avait reconnu le droit des particuliers à être indemnisés de leurs préjudices résultant de la pollution de l'air en région parisienne. De même, par une décision du 19 février 2025, la Cour administrative d'appel de Lyon a indemnisé des particuliers en réparation des préjudices qu'ils avaient subi du fait de dépassements d'émissions de polluants.

Si désormais cette catégorie de recours n'achoppe plus sur l'établissement d'un lien de causalité, la relative faiblesse du montant des indemnisations pose question.

Enfin, on notera que Santé Publique France a publié, le 29 janvier 2025, une étude sur le coût de la pollution de l'air en France, notamment s'agissant des particules fines (PM_{2,5}) et du dioxyde d'azote (NO₂), qui serait respectivement estimé à 12,9 milliards d'euro par an et 3,8 milliards d'euros par an. L'étude confirme également que ces émissions seraient responsables d'environ 40 000 décès par an.

Face à cette actualité normative et jurisprudentielle en constante évolution, la présente proposition d'intervention vise à présenter cette actualité réglementaire et jurisprudentielle, d'en examiner les conséquences attendues pour l'évolution de la qualité de l'air, à l'échelle nationale et européenne.



On line monitoring of odour unit (OU) emissions and odour sources identification by using a new generation of IOMS analysers around an animal feed production plant

Abstract— Dynamic Olfactometry (EN 13725:2022 - ASTM E679:2019) stands as the standard and well-established method for measuring odour concentrations. However, it may not always be suitable for extensive industrial sites that require continuous monitoring and swift results for timely remediation actions. Moreover, these sites necessitate solutions for identifying odour sources to ensure effective remediation or protect themselves from unwarranted claims.

In Germany, a prominent feed production company specializing in poultry waste found a compelling need to enhance the real-time assessment of gas and odour emissions from its operations. The primary objective was to pinpoint potential sources and instances of olfactory nuisances that could affect nearby communities. The production facility is situated in close proximity to residential areas, resulting in a considerable number of complaints. Adding to the challenge, the city council has stressed the importance of implementing effective odour control measures to prevent the potential relocation of the plant. Facing these circumstances, the company lacked the tools necessary to quantify or identify the sources of olfactory pollution beyond routine inspections conducted by local personnel.

The successful deployment of the Instrumental Odour Monitoring System (IOMS) network, both at the production site and the neighborhood level, has yielded significant outcomes:

- **Enhanced understanding of olfactory nuisance sources:** Employing various data processing techniques and odor sampling, over 12 repetitive sources such as blood, feathers, and biofilters were characterized and grouped.
- **Real-time odour levels assessment:** Establishment of notification thresholds triggering alerts and alarms for prompt remediation actions, allowing for proactive measures to address operational issues.
- **Source identification:** Utilizing the results of odour characterization and event logs, the 12 distinct odors were accurately mapped back to specific emitting sources.
- **Real-time odour characterization:** Integration of olfactory nuisances into the IOMS programming, ensuring identification when odour unit thresholds are reached, facilitating swift implementation of remediation measures.
- **Correlation analysis:** Collection of odour level data for correlation analysis with operational activities, providing valuable insights for refining processes and mitigating potential nuisances.

Building upon previous successes, continuous monitoring has proven instrumental in surpassing customer expectations. This approach has effectively contributed to diminishing odour intensity, minimizing complaint occurrences, and distinguishing the facility from the diverse sources of emissions.

Keywords—*Dynamic Olfactometry, EN 13725:2022 - ASTM E679:2019, Industrial Sites, Continuous Monitoring, Remediation Actions, Olfactory Nuisance, Feed Production, Poultry Waste, Instrumental Odour Monitoring System (IOMS), Source Identification*

I. INTRODUCTION

This paper outlines the technology and data processing methods for identifying odour sources, seamlessly integrating smart sensors (Instrumental Odour Monitoring System - IOMS) with advanced statistical data processing techniques in the field.

A. Materials

The primary aim was to establish a unified continuous odour monitoring system around the feed production site, addressing historical challenges:

- **Dynamic air pollution sources:** addressing the complex topography and architecture of the site.
- **Odorous substance emissions:** targeting recurrent issues reported by local operators on-site.
- **Citizen complaints:** focusing on the identification of nuisance sources to address community concerns.

The WT1 (Fig. 1) serves as an IoT cloud-based gas, odour, and particles analyzer, accommodating up to 12 different gas sensors utilizing diverse technologies (PID, MOS, Electrochemical cells -EC, and NDIR), along with optical sensors for particles. Optionally, the WT1 can analyze noise and liquids. Leveraging electronic nose technology, incorporating multiple gas sensors and pattern recognition algorithms, the WT1 provides site operators with a comprehensive dashboard for monitoring and identifying gaseous and odorous emissions. Additionally, it quantifies PM1, PM2.5, and PM10 particles in the field.



Fig. 1 – ELLONA WT1 analyser

In the experiment, a network of WT1 devices was strategically deployed at and around the production plant (Fig. 2). The WT1 configuration, including H₂S, mercaptans (RSH), NH₃, SO₂, CO, and PID sensors, was strategically placed at different locations such as the sources, close to the dryer and vacuum exhausts (Fig. 3), and along the fence line.



Fig. 2 – Photograph depicting the production plant facility with multiple installed IOMS WT1 devices

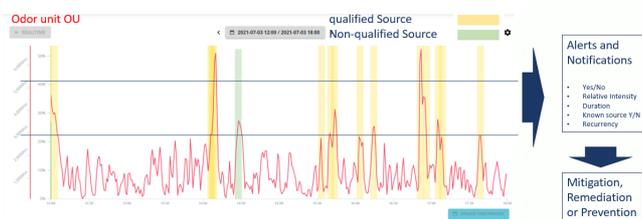


Fig. 3 – Principle of Ellona Odour Monitoring: OU concentration (depicted by the red curve) and activation of odour recognition triggers

B. Methods

The initial phase involved identifying key odorous sources and deploying the devices. After installation, each system underwent configuration, both on-site and within the EllonaSoft platform, to ensure the effective implementation of continuous odour measurements. The electronic noses were calibrated to anticipate perceived olfactory concentrations based on data from various sensors. This calibration, known as the "learning" phase, involves translating the signal of parameters returned by the WT1 into a measure of olfactory impact (Ellona Odour Unit - OU), represented by a threshold or a standardized and easily interpretable concentration scale.

To refine the system, mathematical models rooted in multivariate statistics were developed, ensuring a reliable and consistent translation of instrumental measurements into

odour concentrations. These models can be applied to individual parameters, but their robustness is demonstrated when applied to a combination of measured parameters (MOX, H₂S, RSH, NH₃, VOC - Volatile Organic Compounds), enabling a detailed and precise quantitative and qualitative signature of detected events. Once established on the platform, the system operates autonomously and continuously, providing a continuous odour concentration.

During the initial training phase, an anomaly detection model was trained using data collected during factory downtime. This allowed for correlating significant sensor variations with reported claims from coworkers and neighbors. Additionally, data processing techniques were employed to distinguish between different sources of odour and pollution, enabling a comprehensive characterization of nuisances. Detailed methodologies will be presented.

II. RESULTS

A. Development of Location-Specific Odour Baseline (OU Scale)

The project involved real-time automatic identification of odour levels, specifically VOC and odour emission concentrations during operation. VOC variations ranged below 500 Ellona OU during downtime and up to 2000 OU during operation. Correlation with other gases was examined, and a sensory panel of co-workers confirmed the absence of specific feed odours during downtime. However, other odours, such as sulphury, bloody, and fishy notes, were characterized.

B. Definition of thresholds, alarms, and notifications

Utilizing insights from the sensory panel and sensor signal selection, alarms based on Ellona OU were configured. Notably, instances were observed where H₂S levels were low (below the human sensory odour threshold of 0.02 ppm) despite simultaneous high levels of VOC/Odour. An initial alarm was set at 500 Ellona OU, with a critical alarm at 1000 Ellona OU.

C. Characterization of observed odour level spikes

A model was developed to correlate MOS and Electrochemical sensors' fingerprints with sensory panel categories. The online measurement and projection on the Linear Discriminant Analysis (LDA) were performed (Figure 9). Continuous monitoring of Ellona OU consistently exceeded the 500 OU defined as the first level of alarm (orange curve). Coloured bar graphs displayed the online identification of various types of smells, including unknown odour profiles marked in red (categorized as "cooked").

Further investigations are underway to identify these odours, distinguishing whether they originate from the cooking or chemical company through fence line sampling. The initial model's validation involved comparing WT1 odour identity projection with the sensory panel for two weeks, achieving an accuracy exceeding 80%. This validation allowed for odour correlation analysis with operational activities and triggered alerts and alarms for remediation purposes.

III. CONCLUSIONS

Utilizing IOMS yielded favorable outcomes aligned with the feed production company's expectations:

- On-site observations were pivotal for constructing the odour model. Given the site's exposure to multiple contributing sources, the study facilitated the identification of optimal locations for deploying WT1 devices based on in-situ insights.
- Various odorous activities, linked to diverse raw materials and production processes steps, persisted even during plant downtime. These events were effectively managed through baseline variation using Ellona OU, coupled with odour characterization employing an identification model.
- Unpleasant odours (blood, feathers, etc.) were identified, and their concentrations in OU were assessed, including duration and persistence information. Wet paper odour emerged as the predominant one.
- Over 80% of human observations were concordant with platform readings.

- Odour quantification and identification are accessible on Ellonasoft, as the models (Ellona OU and LDA) operate continuously.
- Through robust input and source analysis, fingerprinting techniques enable the identification of sources.
- Odour measurements are presently linked to specific operational activities, providing valuable insights into the real-time dynamics of odour emissions.

REFERENCES

- [1] G. C. BAX, M. LI VOTI, S. SIRONI, L. CAPELLI Politecnico di Milano, Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering, P.za Leonardo da Vinci 32, Milan, 20133, Italy “Application and performance verification of electronic noses for landfill odour monitoring”. Sardinia 2019 17th International Waste Management and Landfill Symposium / 30 Sept -04 Oct 2019 Forte Village / Santa Margherita di Pula (CA)/Italy

Achieving a Dynamic View of Single Point Air Quality Measurements with remote sensing technology

T. Clément, S. Kanang, Vaisala

Urban air quality is influenced by a complex interplay of pollutant emissions, atmospheric chemistry, and meteorological conditions. This study explores the integration of in-situ and remote sensing technologies to provide a comprehensive understanding of air pollution episodes. Key parameters such as pollutant concentrations, mixing layer height (MLH), and wind dynamics are crucial for assessing air quality. In-situ measurements, exemplified by the Vaisala Air Quality Transmitter AQT560, offer reliable data on particulate matter (PM) and gases. Remote sensing instruments, including the Ceilometer CL51 and WindCube Scan, provide detailed insights into MLH and wind profiles.

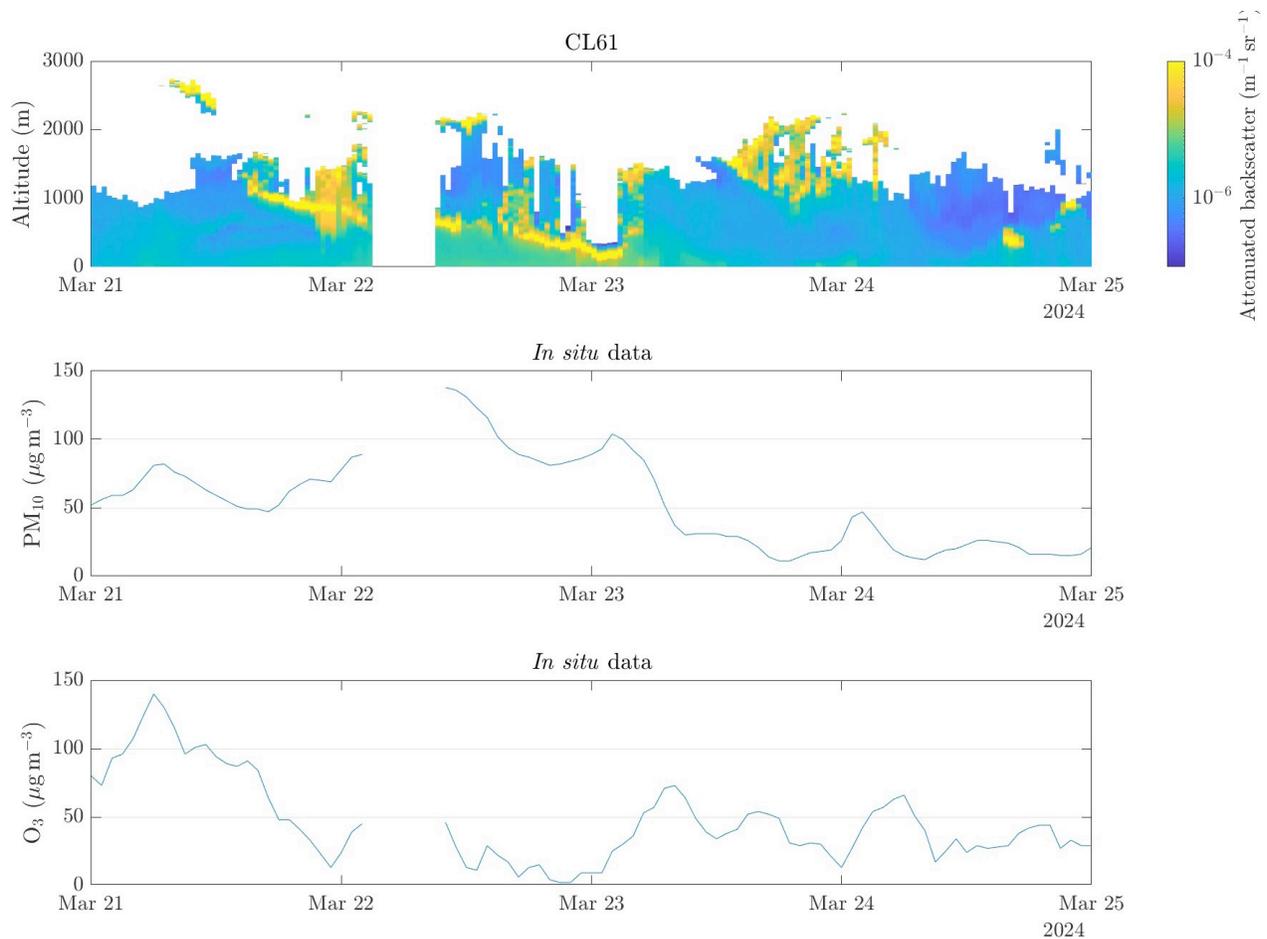


Figure 1 How the pollution event evolved

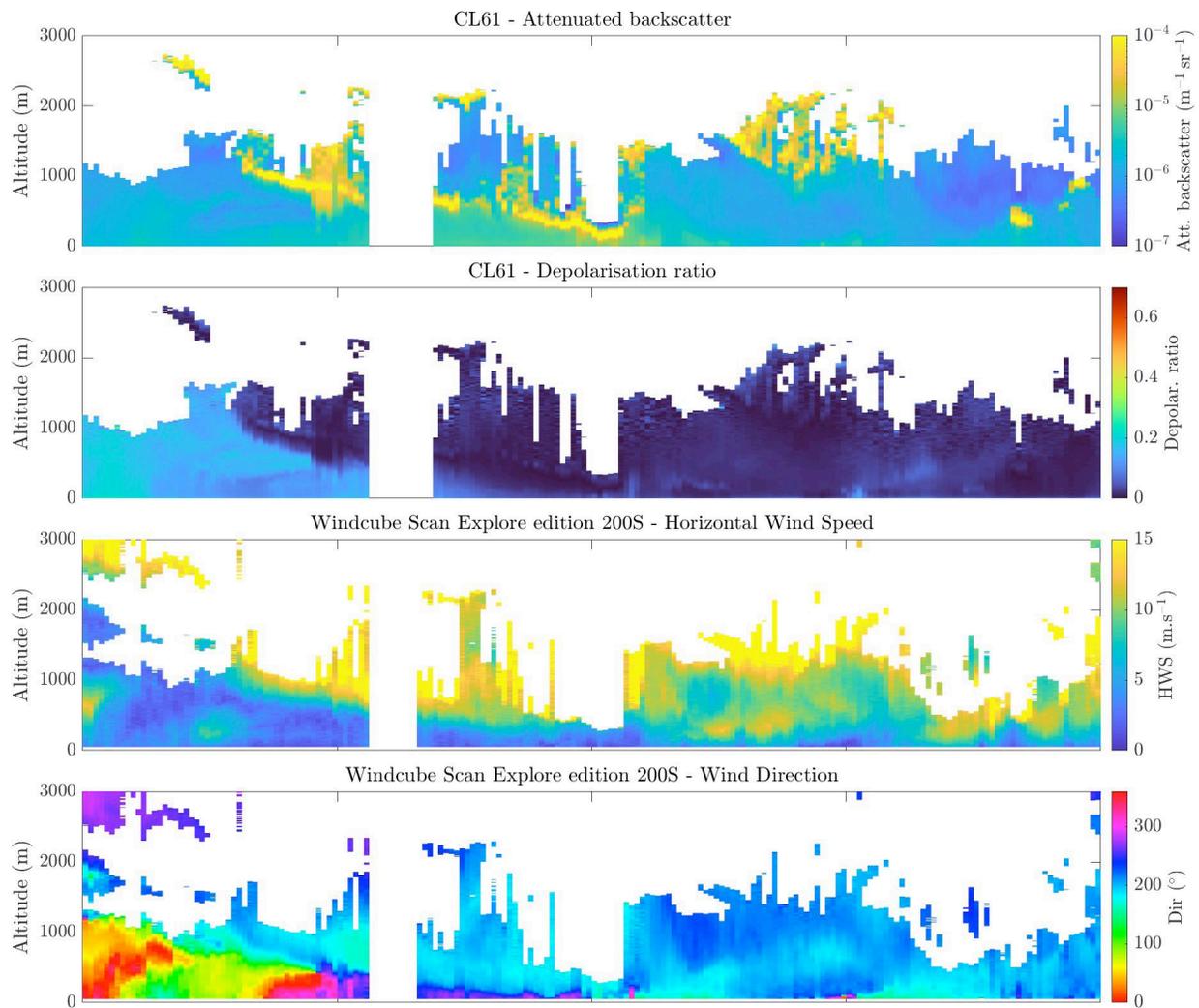


Figure 2 Remote sensing data that expands insights in Xiamen

A case study in Xiamen, China, demonstrates the synergy between these technologies. In-situ data revealed patterns in O_3 , PM_{10} , CO , and NO_2 levels during a pollution episode. Remote sensors provided additional context, showing cloud dynamics and differentiating aerosol types based on depolarization ratios. WindCube Scan tracked changes in wind direction and speed, offering a comprehensive view of pollution transport and dispersion. The integration of backscatter, depolarization, wind speed, and direction data enabled a multi-dimensional view of pollution transport and dispersion.

This holistic approach enhances the ability to predict and mitigate urban air quality issues, ensuring healthier environments for urban populations. The study suggests incorporating graphs to visualize key findings, such as pollutant concentration trends, MLH variations, and wind profiles, to provide a clearer understanding of the data and its implications.

Une méthodologie de diagnostic à haute résolution spatiale et temporelle pour un pilotage territorial adapté : cartographie à haute résolution de la qualité de l'air
A high-resolution spatial and temporal diagnostic methodology for territorial management: high-resolution mapping of air quality

Frédéric Mahé, Responsable Innovation et Développement - Suez
Frédéric Mahé, Head of Innovation and Development - Suez

Caractères innovants : Solution scalable (du quartier à la métropole), cartographie à haute résolution de la qualité de l'air en mode opérationnelle et en 3D, assimilation de données microcapteurs, remontée au terme source, modélisation opérationnelle d'impact d'incident industriel

Mots clés : outil d'aide à la décision – modélisation 3D – cartographie opérationnelle à haute résolution spatiale et temporelle - multi polluants

Objectifs : Fournir une méthodologie de diagnostic et de pilotage à fine échelle de la qualité de l'air – intégrer les mesures dans la cartographie (notamment celles issues des microcapteurs). Montrer des exemples concrets de projets (Dunkerque, Paris, projets en cours) illustrant les plus-values de cette approche.

Émissions des véhicules en conditions réelles de conduite : quel impact sur la qualité de l'air ?

Amira Jabbari-Hichri¹, Yassine Azizi², Bernard Guiot², Antoinette Boreave¹, Christian George¹

¹ IRCELYON, Université de Lyon, CNRS, Lyon, 69626 Villeurbanne Cedex, France.

² CRMT, 69570 Dardilly, France

Mots clés : Qualité de l'air, émissions des véhicules, mesures en temps réel, analyse chimique.

Les émissions des véhicules routiers constituent une source majeure de pollution de l'air, en particulier en raison des particules fines qu'elles génèrent. Ces particules représentent en effet un danger important pour la santé, car elles sont associées à des maladies respiratoires et cardiovasculaires¹. Afin de limiter ces risques, l'organisation mondiale de la santé (OMS) a révisé ses recommandations concernant l'exposition à ces polluants².

C'est dans ce contexte qu'une campagne de mesures a été menée dans la région lyonnaise dans le cadre du projet européen EASVOLEE, en collaboration avec le CRMT. Quinze véhicules représentatifs du parc automobile européen ont été étudiés. Figure 1 présente les instruments embarqués utilisés pour mesurer les émissions des véhicules en conditions de conduite réelle. Un système de prélèvement synchronisé par GPS a permis de collecter les gaz d'échappement sous forme de condensat en fonction de la vitesse du véhicule, permettant ainsi d'associer précisément les émissions aux différentes phases de conduite. Les échantillons prélevés ont ensuite été analysés hors ligne par spectrométrie de masse UPLC-Orbitrap-MS et classés selon leur volatilité grâce à l'approche Volatility Basis Set (VBS)³.

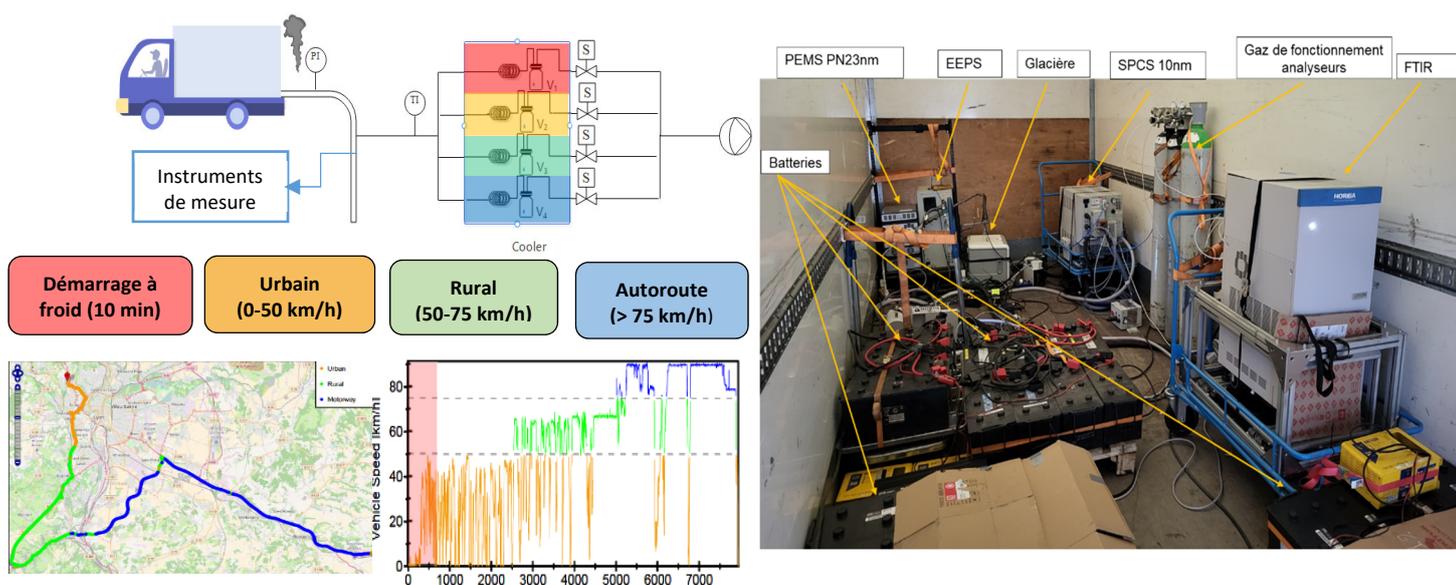


Figure 1. Exemple d'essai en conditions réelles du cycle ISC pour un camion

L'analyse des émissions mesurées en conditions réelles de conduite a permis de déterminer les facteurs d'émission de plusieurs polluants, aussi bien gazeux que particuliers. La comparaison entre différents types de véhicules a révélé une influence marquée de la vitesse sur ces émissions. Par ailleurs, la relation entre la masse moléculaire des composés émis et leur volatilité, en fonction du régime moteur, a pu être caractérisée. Ces résultats apportent des éléments nouveaux pour comprendre les émissions et constituent une base solide pour affiner les modèles de qualité de l'air et orienter les stratégies de réduction de la pollution.

Références

¹ Hussain M, Madl P, Khan A (2011), Part-I. Health 2(2):51–59.

² World Health Organization (2021), Geneva, World Health Organization.

³ Li Y, Pöschl U, Shiraiwa M (2016), Atmospheric Chemistry and Physics 16(6):3327-3344.

Approche LBM pour la simulation de la dispersion atmosphérique de polluants en environnement portuaire

Stéphane Jay, Benjamin Braconnier, Augustin Noirault

IFP Energies nouvelles, 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France

IFP Energies nouvelles, Institut Carnot IFPEN Transports Energie, 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France

Les approches en mécanique des fluides numérique (CFD) permettent de résoudre avec une grande précision les concentrations locales de polluants en modélisant finement les phénomènes physiques sous-jacents, notamment le transport turbulent, les transferts thermiques, le rayonnement ainsi que les réactions chimiques. Dans le cas particulier des rejets pulsés en atmosphère libre à proximité d'un navire, les écoulements générés se caractérisent par une turbulence intense et instationnaire, associée à des nombres de Reynolds de l'ordre de 10^7 . Ces conditions requièrent l'utilisation de modèles numériques avancés de type **Large-Eddy Simulation (LES)**, dans lesquels les grandes structures turbulentes sont résolues explicitement.

Au cours de la dernière décennie, les **méthodes de Boltzmann sur réseau (Lattice Boltzmann Methods, LBM)** ont été largement développées pour la simulation des écoulements aérodynamiques externes et des régimes incompressibles. Ces méthodes, intrinsèquement bien adaptées aux architectures de calcul massivement parallèles, ont démontré leur robustesse et leur scalabilité. Le recours à des solveurs optimisés pour GPU permet désormais d'envisager la simulation de configurations industrielles complexes, étendant ainsi leur champ d'application aux écoulements atmosphériques à grande échelle [1].

Dans ce cadre, des travaux récents ont été menés à **IFP Energies nouvelles (IFPEN)** pour le développement d'approches LBM dédiées à la dispersion atmosphérique et permettant d'étudier la dispersion des émissions liées aux transports. L'une des contributions majeures de ces travaux réside dans la mise en évidence de l'importance des données d'émissions issues de cycles de conduite en conditions réelles et spatialement résolues, pour la prédiction fiable des concentrations locales en milieu urbain complexe [2].

Dans la continuité de ces développements, les travaux en cours visent à enrichir cette chaîne de simulation en intégrant des paramètres liés aux conditions environnementales (vitesse et direction du vent relatif, stabilité atmosphérique, stratification thermique, etc.) ainsi qu'aux caractéristiques des sources d'émission (localisation, dynamique d'émission). L'objectif principal est de quantifier, par simulation numérique, l'impact des sources polluantes d'origine navale sur leur environnement immédiat, tant à bord qu'en zone portuaire.

Plusieurs simulations permettant de vérifier le comportement qualitatif ont été configurées avec :

- Une vitesse de vent correspondant à une situation atmosphérique typique

- Une diffusivité moléculaire du polluant correspondant à celle d'un polluant léger
- Une viscosité cinématique proche de celle de l'air à température ambiante

La Figure 1 illustre la simulation du panache d'un navire dans la zone d'étude avec une représentation d'un iso-contour de la concentration du polluant émis dans les conditions réalistes du cas d'étude.

Au final, l'ensemble des études menées à l'échelle réelle confirme la robustesse et la pertinence du modèle de simulation utilisé. Le code s'est révélé stable sur une large plage de nombres de Reynolds et de Péclet, et les résultats obtenus sont globalement cohérents avec les phénomènes physiques attendus en milieu urbain. Ces résultats valident l'utilisation de ce modèle pour simuler différents scénarios de dispersion atmosphérique, notamment dans des configurations où l'écoulement est dominé par l'advection et présente des caractéristiques turbulentes ou pseudo-turbulentes. Cependant, certaines limites doivent être prises en compte. En particulier, le modèle ne prend pas en compte les effets thermiques et de flottabilité liés à la température. Dans des conditions où le vent est très faible, ces effets peuvent jouer un rôle déterminant dans la dispersion des polluants. L'absence de prise en compte de ces mécanismes restreint donc l'application du modèle aux cas où l'advection reste le principal moteur du transport. Ce travail ouvre ainsi la voie à une utilisation opérationnelle du code dans des études de dispersion atmosphérique de polluants émis par le transport maritime, tout en mettant en lumière les perspectives d'amélioration nécessaires pour traiter des situations à forte stratification thermique ou à faible régime advectif. L'évaluation finale de cette approche sera conduite à l'aide de données expérimentales issues de campagnes de mesure menées dans le cadre d'un projet de recherche collaboratif sur la qualité de l'air.

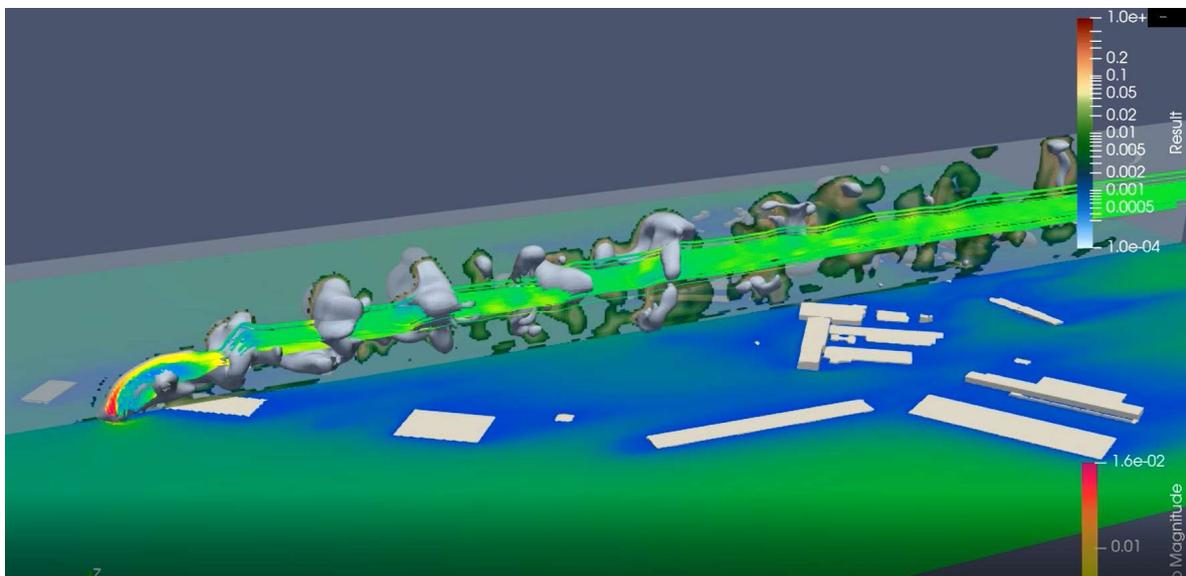


Figure 1 Illustration de la distribution du champ de concentration issu du panache d'un navire à quai.

- [1] H. Schottenhamml et al., J. Physics: Conf. Series, vol. 2265, n° 2 (2022). doi: 10.1088/1742-6596/2265/2/022027.
 [2] M. Pasquier et al., In: Building and Environment (2023), vol. 242. DOI: 10.1016/j.buildenv.2023.110562.

Étude AQAMETHA

Objectiver les liens entre la méthanisation et la qualité de l'air

Intervenant

Arnaud REBOURS
Ingénieur référent
Air Pays de la Loire
rebours@airpl.org
Tel : 06 30 72 27 71

Résumé technique

Mots clés : méthanisation, qualité de l'air, odeurs, Langage des Nez[®], objectivation, bonnes pratiques

Face au développement croissant de la filière méthanisation en France, la question de ses impacts sur l'environnement, notamment sur la qualité de l'air et les nuisances olfactives, suscite un intérêt croissant de la part des citoyens, des collectivités et des exploitants eux-mêmes.

C'est dans ce contexte que l'étude AQAMETHA, lauréate du programme AQACIA 2020 de l'ADEME, a été lancée. Coordonnée par Atmo France et menée en partenariat avec six associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA : Air Pays de la Loire, Atmo Normandie, Atmo Grand-Est, Atmo Hauts-de-France, Atmo Nouvelle-Aquitaine et Atmo Auvergne-Rhône-Alpes) et le bureau d'études Osmanthe. Ce projet de recherche visait à combler un manque de données publiques à l'échelle nationale concernant l'impact atmosphérique de la méthanisation agricole et territoriale.

La pluralité des partenaires de l'étude (ADEME, GRDF, FNE, IMT Nord Europe, CTBM, Université ULCO) avec un socle technique et neutre garanti par les AASQA ont permis de garantir l'expertise et l'indépendance des orientations de l'étude AQAMETHA, de sa méthodologie, et de ses résultats.

Afin de répondre aux objectifs, 12 unités de méthanisation ont été sélectionnées au niveau national selon des critères spécifiques répondant à un principe de représentativité du parc d'installations français.

Une double approche a été effectuée par la mesure d'ammoniac (NH₃) et d'hydrogène sulfuré (H₂S) d'une part, et par des investigations olfactives en utilisant le Langage des Nez[®] d'autre part. Les études de terrain ont été menées en 2022 et 2023.

Les deux polluants sélectionnés ont été mesurés en limite de propriété, au niveau des premières habitations, au centre-bourg et sur un site témoin permettant d'évaluer le niveau de décroissance des concentrations avec la distance à l'unité.

Les odeurs ont été investiguées au sein de l'unité (au niveau de l'ensemble des processus potentiellement odorants) et dans l'environnement extérieur, sous les vents de l'installation et jusqu'à la limite de perception des odeurs. Compte tenu de la complexité du ressenti olfactif, la méthode standardisée du Langage des Nez[®], diffusée par Atmo Normandie, a été utilisée pour réaliser la caractérisation olfactive des unités de méthanisation et le suivi environnemental. L'emprise odorante (qualité de l'odeur et intensité) a ainsi pu être déterminée pour chacune des 12 unités.

Les résultats montrent que :

- les concentrations en NH_3 et H_2S sont les plus élevées en limite de propriété, avec une concentration moyenne respective de $12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dès les premières habitations sous les vents dominants, les concentrations en NH_3 sont divisées par trois, et les concentrations en hydrogène sulfuré sont proches voire en-dessous des limites de quantification de l'appareil de mesure ;
- les notes odorantes acide butyrique, scatol, ethylmercaptan et isobutylamine sont les plus caractéristiques de l'activité de méthanisation, en lien avec la dégradation de la matière organique ;
- à l'intérieur des unités, les intensités d'odeurs les plus fortes sont spécifiquement perçues au niveau des équipements et activités suivants : le biofiltre, les bassins, fosses et canalisation ; l'hygiénisation ; le stockage d'intrants solides ; la trémie. A l'inverse, les points les moins odorants sont perçus au niveau des stockages d'intrants liquides fermés et des digestats (sauf cas exceptionnel) ;
- l'emprise odorante à l'extérieur des unités peut se ressentir à une intensité qualifiée de forte dans les premiers 200 mètres autour du site, puis devient modérée à faible entre 200 et 2 000 mètres autour de l'unité, dépendamment des conditions météorologiques et de l'activité du site. Ces résultats appuient la décision réglementaire de ne pas autoriser la construction de zones d'habitations dans les 200 mètres autour d'une unité de méthanisation faisant l'objet d'un enregistrement.

Dans l'objectif de rendre l'ensemble des résultats accessibles au grand public, aux élus, et aux porteurs de projets de méthanisation, les données issues de l'étude AQAMETHA sont intégrées au sein d'une [datavisualisation](#).

A la lumière de ces résultats, des préconisations sont effectuées à l'intention des exploitants et des porteurs de projet de méthanisation. Parmi ces préconisations, le maintien d'un canal de communication avec les riverains et les élus est considéré comme essentiel. A cet effet, le Langage des Nez[®] est identifié comme un outil utile au service de cette communication afin de lever les freins précédemment cités.

En outre, la méthode de caractérisation objective développée au cours de l'étude AQAMETHA a été validée avec succès et est déployable sur d'autres unités. Le socle du Langage des Nez[®] a été complété et spécifié à l'environnement de la méthanisation, facilitant son usage systématique dans le cadre de futurs travaux ou du suivi des unités de méthanisation, tant par les exploitants que par les élus et les riverains.

Compte-tenu de l'apport méthodologique de l'étude, ces premiers résultats méritent d'être statistiquement renforcés par des investigations supplémentaires autour d'un nombre croissant d'unités de méthanisation, permettant d'alimenter la Storymap.

Le projet Prometh'Air 2025-2028, lauréat de l'Appel à Projets AQACIA 2024 de l'ADEME, et porté par Atmo France, Air Pays de la Loire, Atmo Normandie, Atmo Grand-Est, IMT Nord-Europe et la société Osmanthe, dessine la suite de l'étude AQAMETHA avec trois objectifs principaux :

- Analyser sur le terrain l'efficacité des équipements et des bonnes pratiques les plus fréquemment mis en œuvre au sein des unités de méthanisation en France et préconiser les solutions les plus efficaces ;

Capteurs et capteurs, un lien indissoluble avec une seule santé et une approche nécessairement plus solidaire publique-privée

Dominique Robin, Directeur d'AtmoSud

En 2021, l'Organisation Mondiale de la Santé nous rappelait qu'il n'y a pas de ligne d'arrivée en matière de qualité de l'air. Les particules fines ont par exemple des effets sans seuil.

Après une séquence poussée en grande partie par la pression réglementaire, la question de la santé, porteuse de sens est une évidence. L'intégration de l'air dans la santé globale renforce les questions liées à la connaissance dans les différents milieux, la variabilité des niveaux, le lien aux sources, à l'action... *In fine* plus on s'approche de l'individu et du local, plus la boucle constat/prévention/action/remédiation s'accélère.

Dans cette évolution, les capteurs et les services associés jouent un rôle clef. Initialement utilisés pour sensibiliser, depuis une dizaine d'années leurs usages se sont beaucoup professionnalisés et diversifiés.

Trois axes de développement engagés :

- Surveillance participative : Travailler sur le volet quantitatif pour produire une donnée partagée en mode surveillance (data reconnue, qualifiée...). Le développement d'une surveillance participative qualifiée en lien avec les locaux vise à favoriser la boucle constat partagé/actions-décisions locales. Ces démarches concernent tous les environnements et peuvent être intégrés sur des véhicules (voitures, vélo, tramway, navires, drones...).
- Pilotage et management de l'air : Connaissance et gestion de process/action principalement développées pour les entreprises.
- Réalité augmentée : Identification et reconnaissance des sources, conditionnalité des actions en lien avec la maîtrise et la remédiation. Les capteurs intègrent généralement d'autres éléments sensibles (bruit, luminosité, indicateurs d'activités...).

Cette montée en puissance de l'observation génère de nouvelles attentes, souvent fortes et concrètes. Le troisième volet, relatif à l'identification et la reconnaissance de sources, trouve ici tout son sens, ainsi bien entendu que celle des solutions pour faire progresser la santé-environnement.

L'air reste un sujet abstrait, gratuit, pour lequel il faut accepter d'affronter la complexité et accompagner les acteurs dans une action qui de prime abord a un coût supplémentaire pour eux.

La formation et la montée en compétence constituent à cet égard des enjeux clefs pour renforcer la dynamique et accompagner le développement économique de l'action en faveur de l'air. AtmoSud a initié avec FIMEA, le concept de métier augmenter pour adresser des approches sectorielles plus ciblées : air et assurance, air et urbanisme...

Au fond, l'air n'est pas la question d'acteurs publics qui porteraient seuls l'intérêt général, ni celles des acteurs privés, dont le prisme serait purement mercantile. C'est d'abord un bien commun sur lequel la mobilisation de l'ensemble des acteurs est nécessaire et utile. Comme le rappelle à l'envie Etienne De Vanssay, l'école de l'air française est remarquable faisons la rayonner ensemble.

On y va ?

Qualité de l'air : de la recherche aux solutions opérationnelles

Comment évaluer en urgence la qualité de l'air et ses impacts sur les populations après un incendie ?

Julian SEGUIN, Directeur de projets

julian.seguin@egis-group.com

EGIS

208, Quai de Paludate

33800 Bordeaux

L'incendie de l'usine Lubrizol près de Rouen en septembre 2019 nous a tous rappelé qu'un accident industriel peut avoir des répercussions environnementales et sanitaires de grandes ampleurs, surtout si la gestion post-accident n'a pas été minutieusement préparé en amont...

Fort de sa maîtrise des enjeux des sites industriels en matière de risque accidentel, EGIS a décidé d'intégrer le réseau RIPA (Réseau des Intervenants en situation Post-Accidentelle)¹ et est membre du réseau depuis septembre 2023 et ses intervenants depuis la création du RIPA en 2013.

Les équipes d'EGIS présentes dans toute la France se sont structurées de manière à pouvoir accompagner les industriels en situation post-accidentelle 24h/24h, 365 jours/an et réaliser les missions suivantes dès réception de l'appel téléphonique du donneur d'ordre :

- Analyser la situation, recueillir un maximum d'informations concernant l'incident et produits de décomposition issus de l'évènement ;
- Echanger avec les autorités locales (préfecture, DREAL) concernant le contenu de l'APMU (Arrêté Préfectoral de Mesures d'Urgences), discuter du programme analytique ;
- Reconstituer l'incendie et lancer la modélisation de la dispersion atmosphérique des fumées de l'incendie afin d'identifier les zones de dépôts maximales ;
- Identifier les produits de dégradation/décomposition et cibler les traceurs de risques ;
- Cibler les milieux potentiellement impactés, repérer les lieux et milieux sensibles (captage AEP, ERP, etc.) ;
- Rédiger le plan de prélèvement afin de permettre une intervention des opérateurs terrains d'EGIS dans les plus brefs délais (sous 24h) ;
- Réaliser des échantillons des différents milieux potentiellement impactés (eau, air, sol, végétaux, bioindicateurs, denrées alimentaires, ...) ;
- Réaliser une évaluation de l'état des milieux. Dans cette étape, l'ensemble des données environnementales issues des échantillons prélevés dans les différents

¹ Réseau des Intervenants en situation Post-Accidentelle (RIPA) | Ineris

milieux d'exposition permettront de déterminer si l'état des milieux après incident est compatible avec les usages.

A titre d'exemple, en 2025, dès le début de l'incendie sur un centre de tri et recyclage de déchets dangereux, Egis a été appelé tôt le matin pour suivre les émissions atmosphériques durant l'incendie et évaluer son impact dans l'environnement jusqu'à son extinction. Les intervenants d'Egis sont arrivés sur le site 3h après l'appel et ont réalisé des prélèvements d'air, de dépôts surfaciques, des prélèvements d'eaux de surface à pas régulier à des points stratégiques. L'Arrêté Préfectoral de Mesures d'Urgence (APMU) a été discuté et rédigé le soir même en collaboration avec les services de l'état.

Plusieurs modélisations de dispersion atmosphérique des polluants émis ont été réalisées à partir des éléments recueillis auprès des pompiers du SDIS. Celles-ci ont permis d'identifier les zones de retombées maximales. La majorité des analyses ont été réalisées sous 48h après réalisation des prélèvements. L'appréciation de l'impact environnemental a pu être faite en moins de 5 jours après l'incendie.

Durant cet évènement, les experts d'Egis sont restés en contact permanent avec les services de l'état de manière à répondre à toutes inquiétudes liées à des risques de pollution et d'éventuelles restrictions d'usages (fermeture temporaire des crèches/écoles, interdiction des ventes de produits alimentaires, etc...).

Les situations post-accidentelles regroupent les 3 thématiques qui seront abordées lors de la conférence, c'est pourquoi Egis a décidé de présenter son retour d'expérience sur un des incendies traités récemment.

Pervious concrete: Methodology for outdoor NO_x performance monitoring according to Level of pollution

I. Javierre, D. Thomas, I. Dubois-Brugger

Holcim Innovation Center, 95, rue du Montmurier, F-38291 Saint Quentin Fallavier, France

In the current world global warming and greenhouse effect, the rise of environmental pollution has adverse impacts on human health. The 2021 new World Health Organization air quality guidelines recently estimated acceptable risks beyond 10 µg/m³ for calendar year NO₂ exposition. Meanwhile, short-term forecasting and monitoring of pollution episodes are of prime importance to adapt and develop efficient depolluting materials.

The NO_x depolluting performance of the pervious concrete material we developed was assessed in very low to low pollution environment (10µg/m³ to 50µg/m³). The NO_x adsorption capacity, NO_x mineralization and weathering conditions were continuously monitored over periods of 9 to 18 months under different climate conditions (continental to mediterranean). The study showcased the NO_x depolluting performance of the pervious concrete was maintained over the period. Furthermore, the proposed monitoring principle and test protocol – based on gas adsorption and on water leaching tests with mineralisation quantification, integrating weathering conditions – demonstrated performance efficiency for outdoor low NO_x concentration and allowed for the first time to forecast a NO_x depolluting material service-life duration without any maintenance for a period of at least 50 years.

Micro-capteurs et IA :
Augmenter les données mesurées par micro-capteurs par réseau de neurones entraînés

Ludovic PIOVESAN, Sales Development Manager – Ecomesure
ludovic.piovesan@comesure.com

Caractère innovant : Améliorer en temps réel la précision des mesures des micro-capteurs à l'aide d'algorithmes à base d'IA

Les micro-capteurs de qualité de l'air ouvrent l'accès à des réseaux denses & abordables, mais leur précision est affectée par les conditions environnementales (température, humidité, précision) et des interférences inter-polluants. Pour rendre ces mesures fiables, Ecomesure a développé, en partenariat avec l'université Paris-Saclay via une thèse Cifre, des méthodes de correction temps-réel de ces capteurs qui corrigent les biais liés aux changements environnementaux ainsi qu'aux interférences. Les réseaux de neurones sont entraînés de manière supervisée par colocalisation avec des analyseurs de référence certifiés.

Cette technologie élève la qualité des données des micro-capteurs au plus près des instruments de référence avec une incertitude maîtrisée pour un déploiement à grande échelle.

Systèmes analytiques autonomes et innovants pour l'identification et la quantification de Composés Organiques Volatils (COV), répondant à la Directive Européenne 2024/2881 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe (CAFE - Cleaner Air For Europe)

Autonomous and innovative analytical systems for the identification and quantification of Volatile Organic Compounds, complying with Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe (CAFE - Cleaner Air For Europe)

Damien Bourgain, Jean-Philippe Amiet, Arthur Chagneau, Damien Bazin

Mots clés :

Directive Européenne 2024/2881, Pollution atmosphérique, Précurseurs d'ozone, Solutions analytiques autonomes, Analyse en ligne et en continu, Validation automatique, Fiabilité des mesures.

Key words:

European Directive 2024/2881, Air pollution, Ozone precursors, Autonomous analytical solutions, Online and continuous analysis, Automatic validation, Reliability of measurements.

Résumé :

La nouvelle directive européenne 2024/2881 du 23 octobre 2024 vise à transformer l'Union Européenne en une société juste et prospère en protégeant la santé et le bien-être des citoyens contre les risques et les incidences liés à l'environnement.

L'objectif principal de cette directive est de diminuer la pollution atmosphérique à des niveaux considérés comme non nocifs pour la santé. Pour atteindre cet objectif, les seuils de toxicité vont être abaissés progressivement afin de tendre vers des niveaux de "zéro émissions".

Concernant la mesure des précurseurs d'ozone, la directive cible spécifiquement les familles de composés suivantes pour analyse :

- ✓ **Alcools** : Méthanol et Éthanol
- ✓ **Aldéhydes, Cétones et Alcynes** : Formaldéhyde, Acétaldéhyde, Méthacroléine, Acétone, Méthyléthylcétone, Méthylvinylcétone et Acétylène
- ✓ **Alcanes, Alcènes et Hydrocarbures Aromatiques** : Composés de 2 à 12 carbones (C2 à C12)
- ✓ **Terpènes** : Isoprène, Pinènes, Limonène, p-Cymène, Camphène, Myrcène, 3-Carène et 1,8-Cinéol

Face à ces exigences, la société CHROMATOTEC a développé des solutions analytiques autonomes permettant l'analyse de ces composés par spéciation à des niveaux de traces, atteignant des concentrations de l'ordre du ppt (parties par trillion).

Les innovations apportées par CHROMATOTEC, tant sur des instruments existants que par le développement de nouveaux systèmes analytiques, permettent une analyse en ligne et en continu de l'ensemble des composés ciblés. Ces systèmes intègrent des fonctionnalités d'identification et de validation automatique des résultats.

Ces avancées technologiques assurent une validation automatique des données, ce qui permet de réduire significativement les interventions humaines nécessaires à l'exploitation des résultats et d'augmenter la fiabilité des mesures acquises de manière autonome. En d'autres termes, les systèmes de CHROMATOTEC permettent une surveillance plus efficace et fiable de la qualité de l'air en lien avec les objectifs de la nouvelle directive européenne.

Abstract:

The new European Directive 2024/2881, dated October 23, 2024, aims to transform the European Union into a fair and prosperous society by protecting citizens' health and well-being against environmental risks and impacts.

The primary objective of this directive is to reduce air pollution to levels deemed non-harmful to human health. To achieve this goal, toxicity thresholds will be progressively lowered in order to move towards "zero emissions" levels.

Regarding the measurement of ozone precursors, the directive specifically targets the following families of compounds for analysis:

- Alcohols: Methanol and Ethanol
- Aldehydes, Ketones, and Alkynes: Formaldehyde, Acetaldehyde, Methacrolein, Acetone, Methyl Ethyl Ketone, Methyl Vinyl Ketone, and Acetylene
- Alkanes, Alkenes, and Aromatic Hydrocarbons: Compounds with 2 to 12 carbon atoms (C2 to C12)
- Terpenes: Isoprene, α -Pinene, β -Pinene, Limonene, p-Cymene, Camphene, Myrcene, 3-Carene, and 1,8-Cineole

In response to these requirements, CHROMATOTEC has developed autonomous analytical solutions enabling the speciated analysis of these compounds at trace levels, reaching concentrations in the parts per trillion (ppt) range.

The innovations introduced by CHROMATOTEC, both in enhancing existing instruments and in developing new analytical systems, allow for online and continuous monitoring of all targeted compounds. These systems incorporate automatic identification and validation functionalities.

These technological advances ensure automatic validation of data, significantly reducing the need for human intervention in data processing while increasing the reliability of autonomously acquired measurements. In other words, CHROMATOTEC's systems enable more efficient and reliable air quality monitoring in alignment with the objectives of the new European directive.

intersol'2026

Congrès-Exposition International sur les Sols, les Sédiments et l'Eau
International Conference-Exhibition on Soils, Sediments and Water



Les sols pollués et dégradés : gestion des risques et des incertitudes Vision croisée des parties prenantes

- Conception du projet • Diagnostic • Travaux • Réception et suivi
- Innovation : session jeunes chercheurs, créateurs, startups

Polluted and degraded soils: risk and uncertainty management A cross-section of stakeholders

- Project design • Diagnosis • Work • Acceptance and monitoring • Technical
- Innovation: young researchers, creators, startups session

Appel à communications / Call for papers Deadline: December 5, 2025

www.intersol.fr

24, 25 & 26 mars 2026 – Lille, France

En partenariat avec :
In partnership with:



Entreprises / Companies (2025)



Institutionnels / Institutional (2025)





World Event Business Solutions



18, rue Jules César - 78420 Carrières-sur-Seine - France

Tél. : +33 (0)1 39 68 26 08

E-mail : contact@webs-event.com

www.webs-event.com