



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

TOFWERK

INERIS

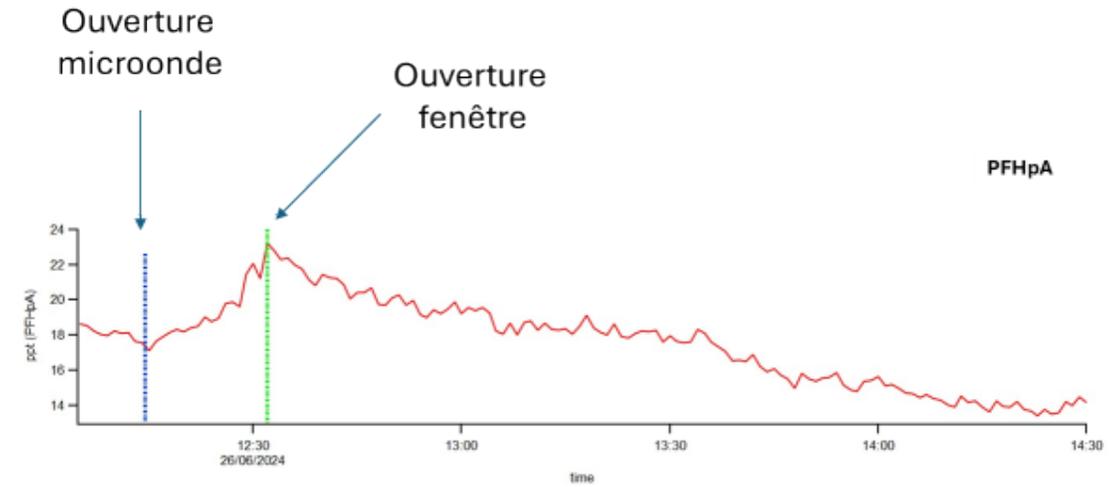
*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Analyse des PFAS dans l'air en temps réel par CI-ToF-MS

Chemical ionisation- Time of flight – Mass Spectrometer

Rachel Gemayel, Spiro Jorga, Hugues Biaudet, Veronika Pospisilova

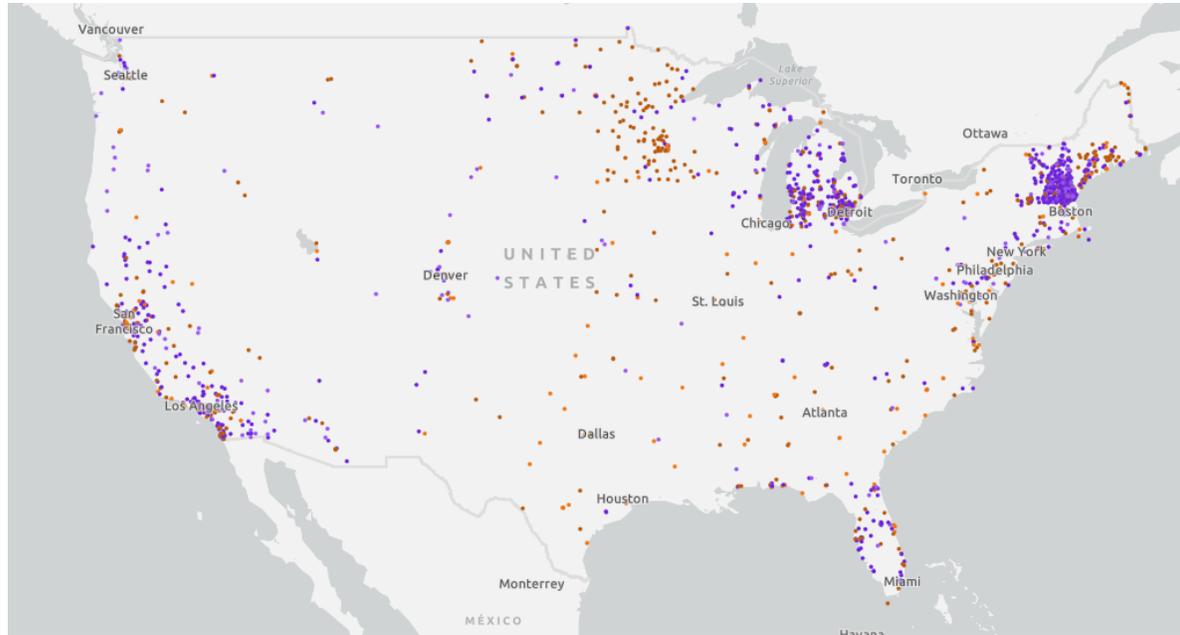
PFAS : Application de la méthode



PFAS dans l'environnement

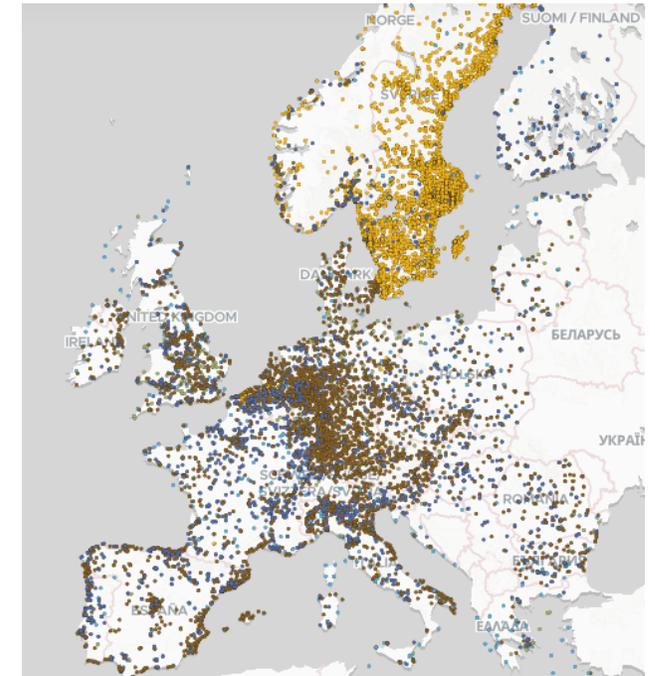
TOFWERK

- Ils ont été détectés dans les eaux, le sol, les sédiments et l'air
- Généralement mesurés dans l'eau où des limites réglementaires sont définies pour certaines familles de PFAS



<https://pfasproject.com/>

'Forever pollution': Explore the map of Europe's PFAS contamination



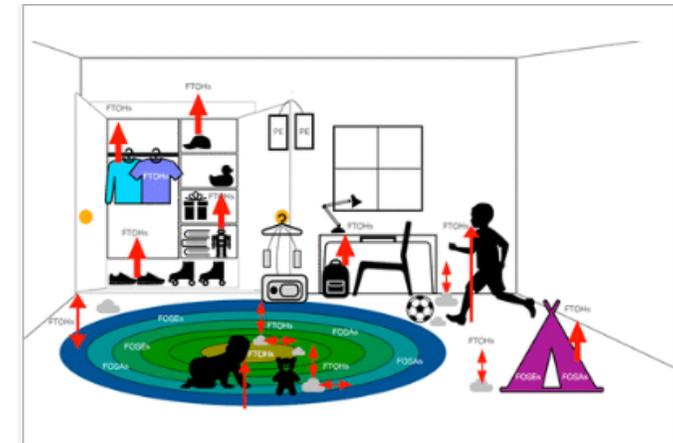
https://www.lemonde.fr/en/les-decodeurs/article/2023/02/23/forever-pollution-explore-the-map-of-europe-s-pfas-contamination_6016905_8.html

- Actuellement non réglementé dans l'air malgré une voie d'exposition importante

The Air That We Breathe: Neutral and Volatile PFAS in Indoor Air

Maya E. Morales-McDevitt, Jitka Becanova, Arlene Blum, Thomas A. Bruton, Simon Vojta, Melissa Woodward, and Rainer Lohmann*

- Absence de méthodologie standardisée
 - Analyses hors ligne
 - Échantillonneurs d'air passifs ou actifs
 - LC-MS, GC-MS

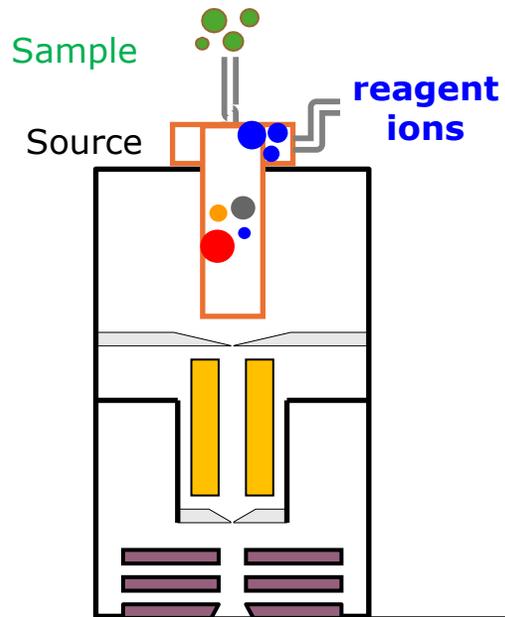


Inconvénients des méthodologies actuelles

- Résolution spatiale et temporelle limitée
- Analyses ciblées uniquement
- Compréhension limitée des sources d'émission, des fluctuations, du devenir atmosphérique et du transport

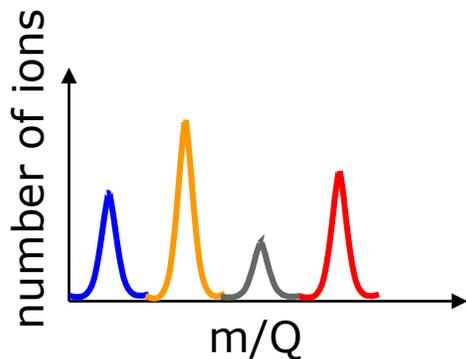
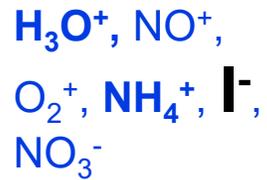
VOCUS CIMS : Principe

TOFWERK



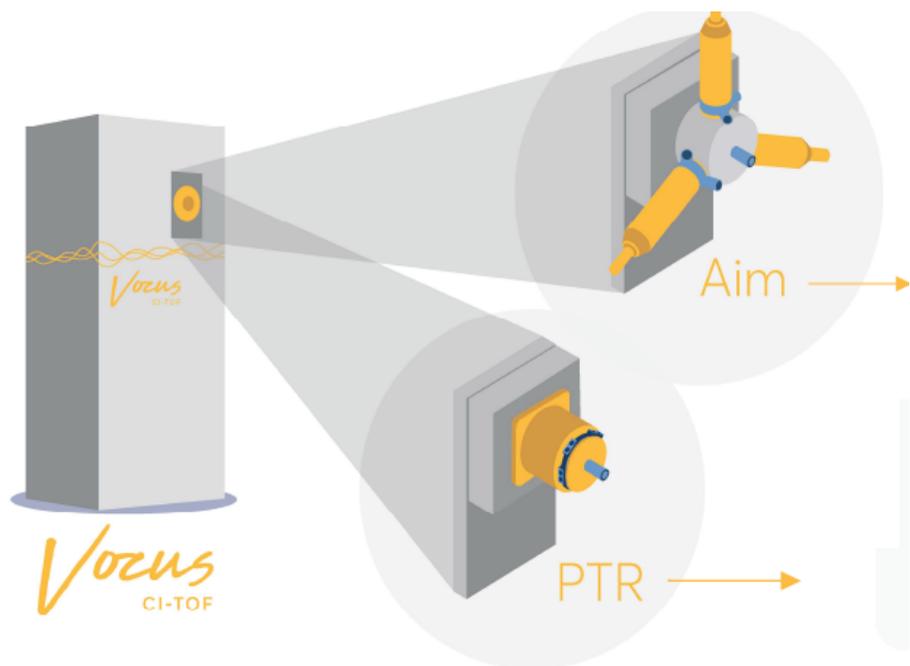
1. Les ions réactifs sont produits dans la source
2. L'échantillon rentre dans la chambre de réaction
3. Les COV de l'échantillon sont ionisés par l'ion réactif
4. Le faisceau d'ions est focalisé et l'air est éliminé
5. Les ions sont extraits orthogonalement dans la chambre TOF
6. Les ions sont séparés par le rapport masse/charge

Reagent ions

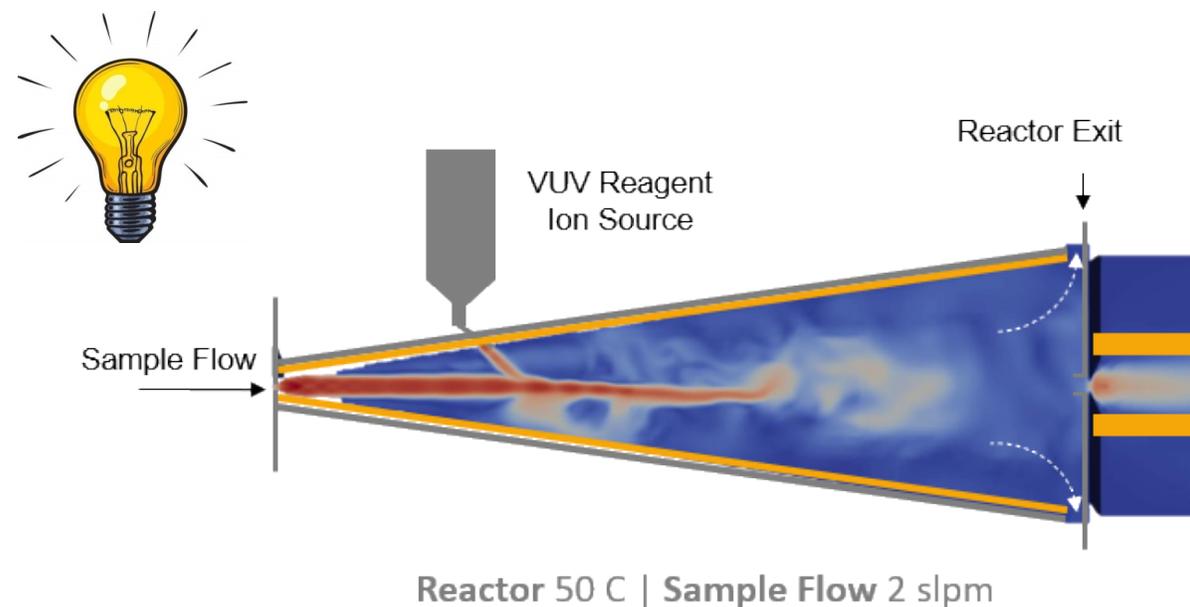


VOCUS CIMS : Principe - AIM

TOFWERK



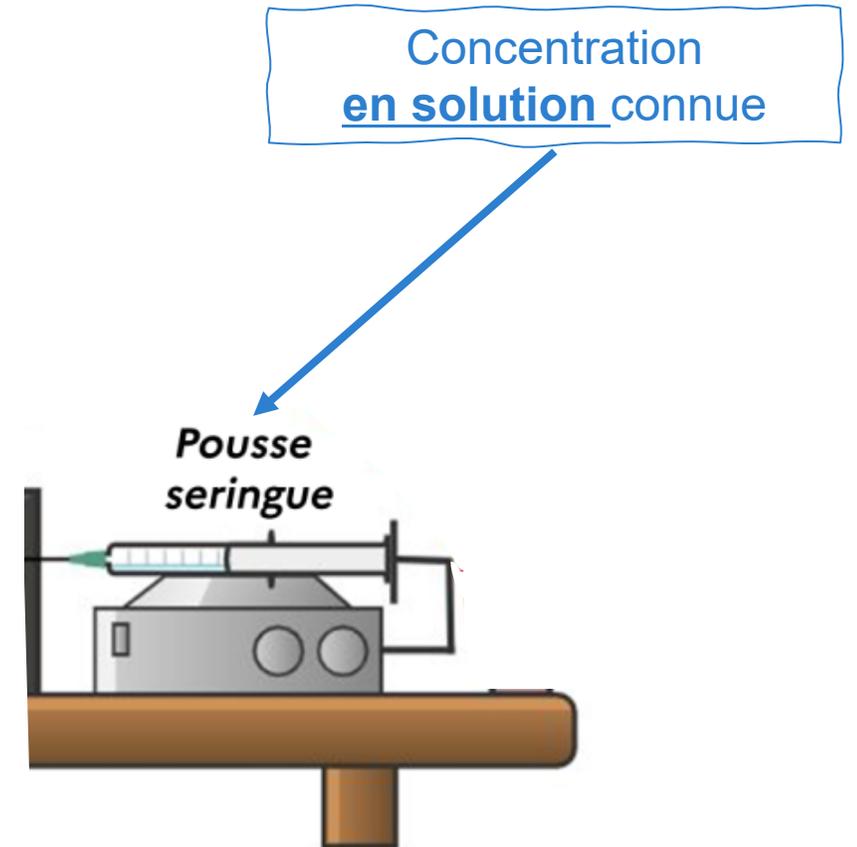
Riva, Pospisilova et al, AMT, 2024



- Utilisation d'une lampe VUV comme source d'ionisation
- Fonctionnement à moyenne pression (40 - 80 mbar)
- Optimisé pour la chimie des ions d'adduction avec l'iodure comme ion réactif
- Conception physique révisée pour la source AIM
- Dépendance à l'humidité fortement réduite

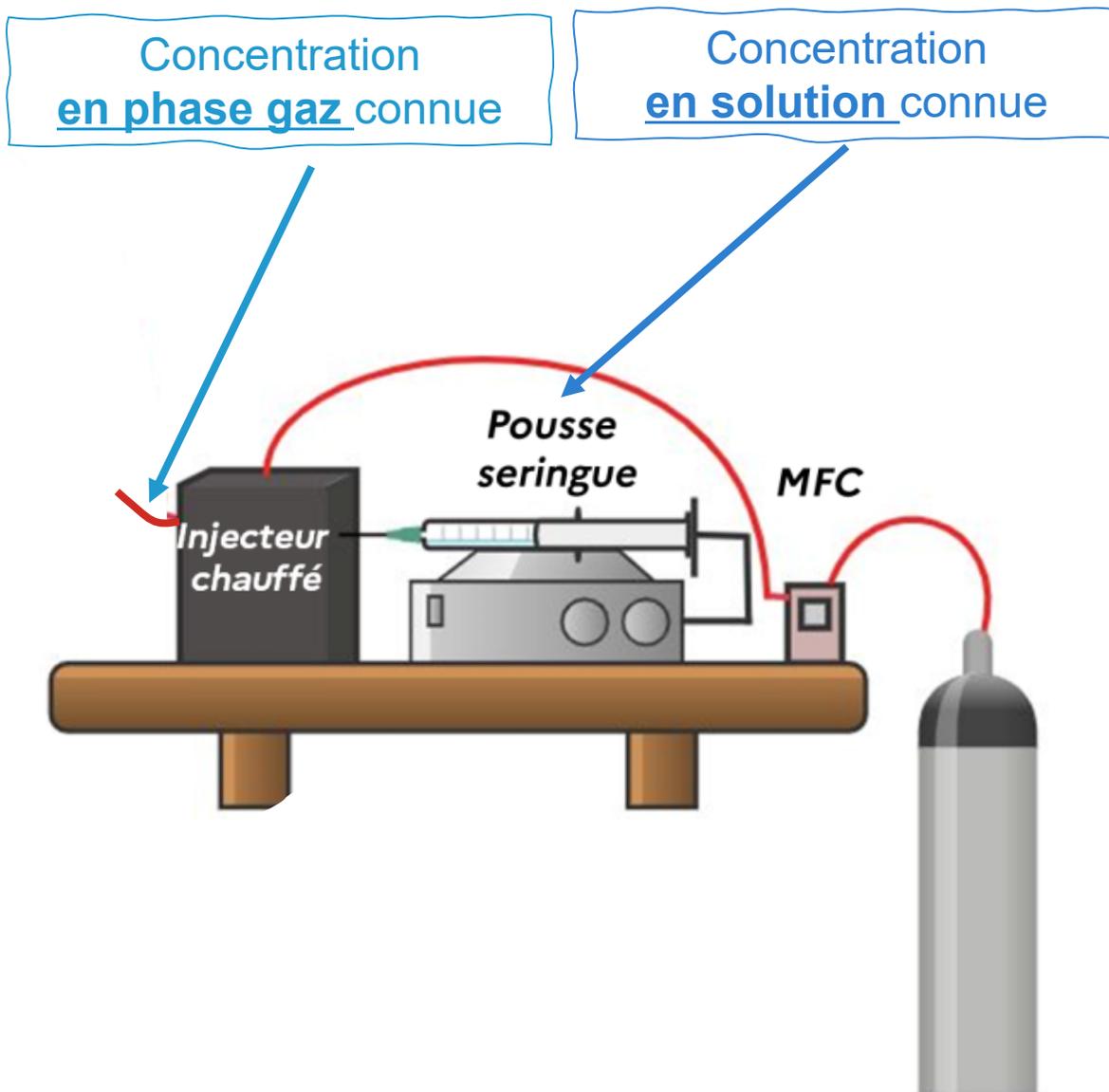
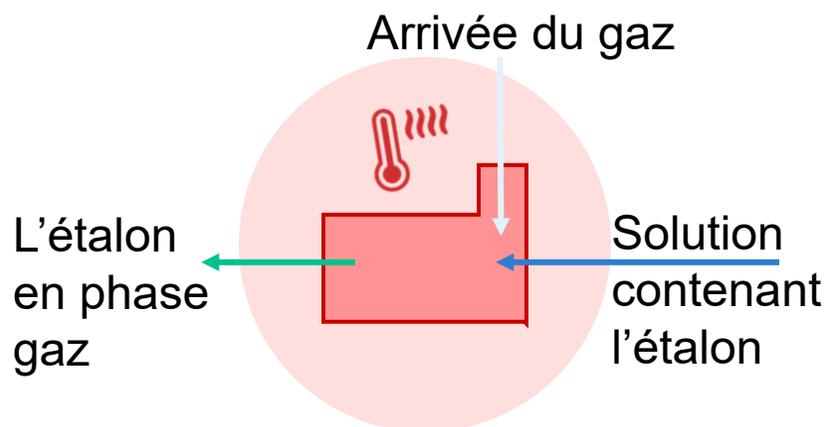
Quantification: Montage experimental

- Concentration connue
- Pousse seringue à débit réglable et constant

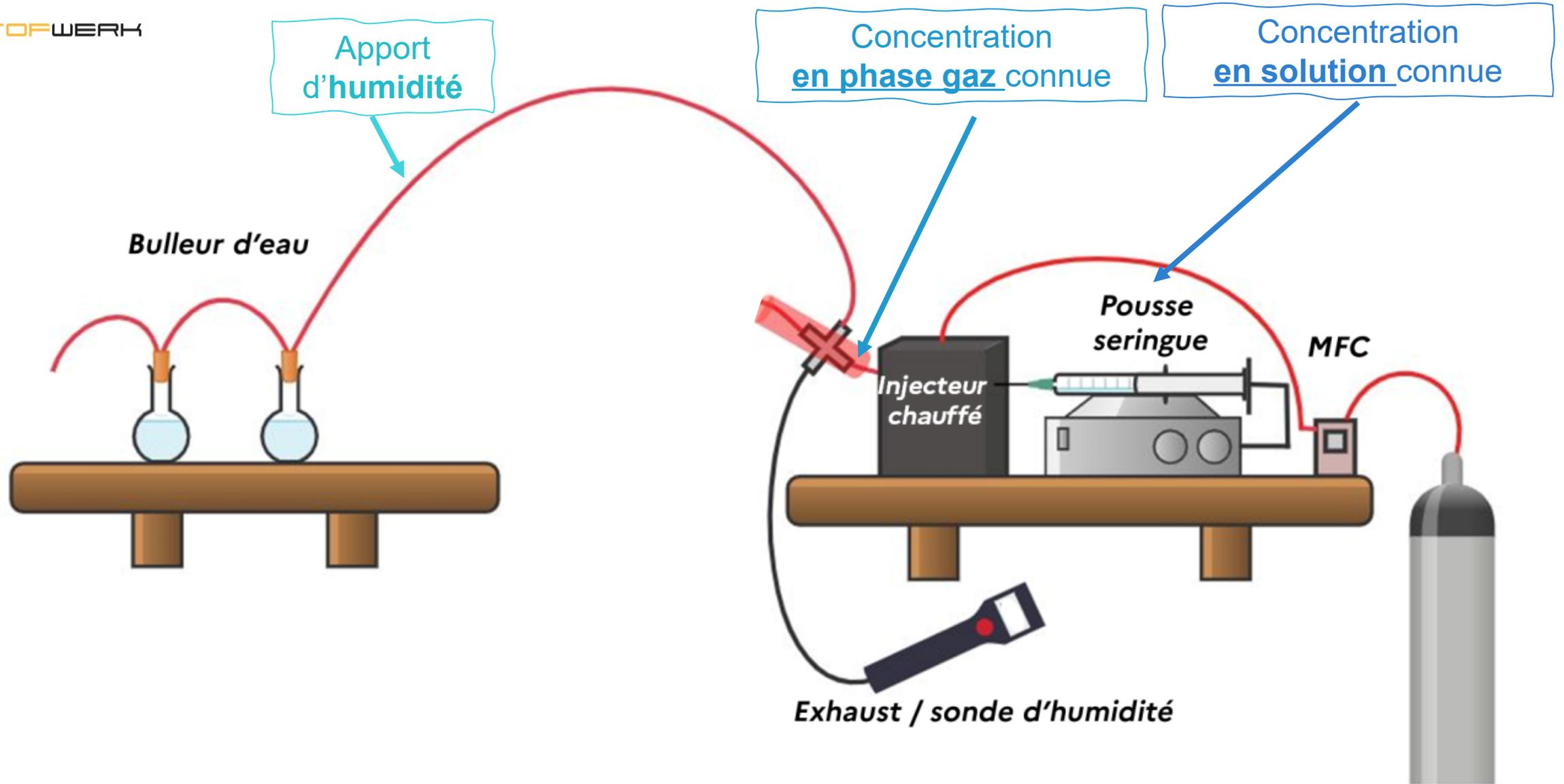


Quantification: Montage experimental

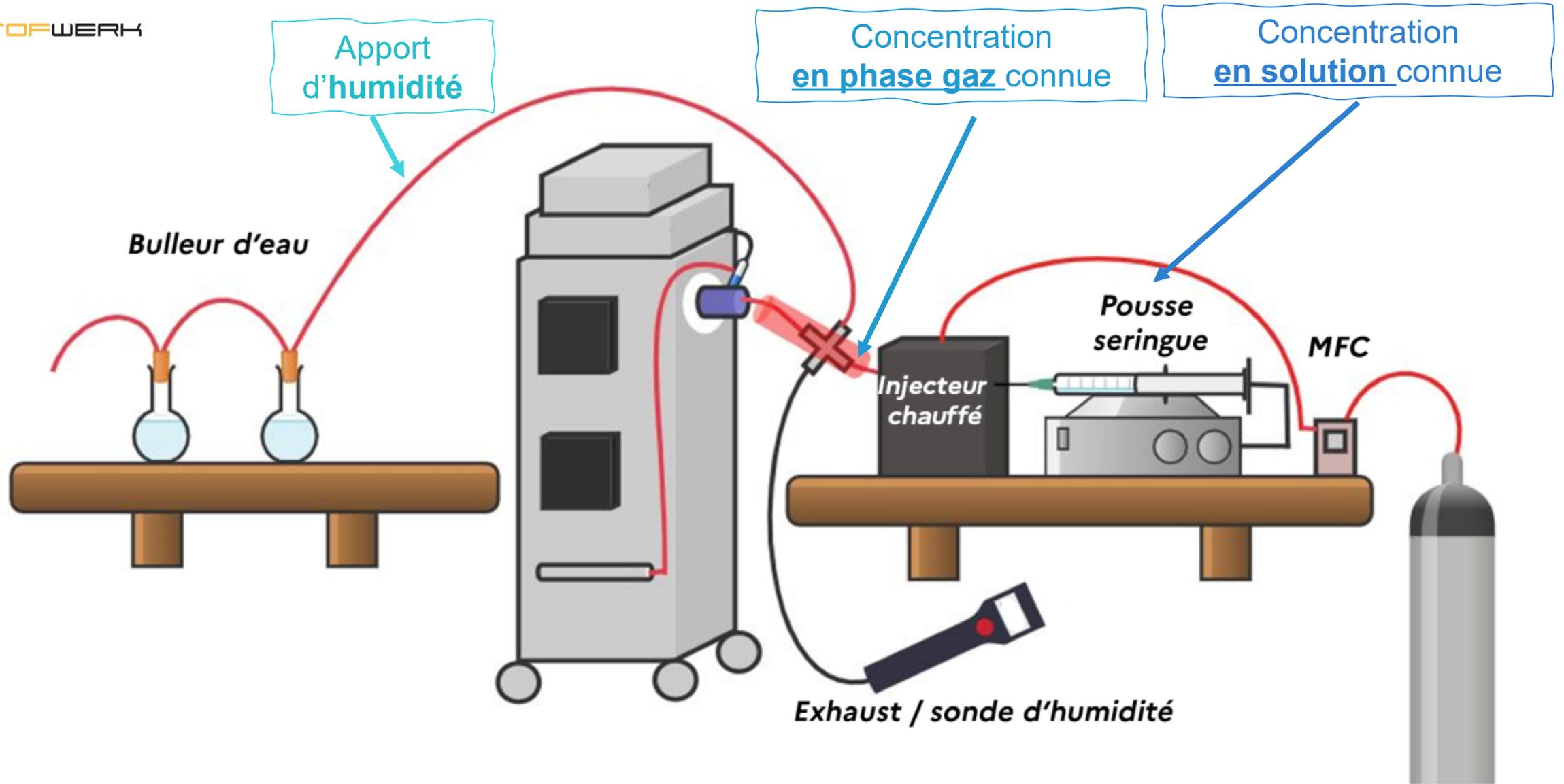
- Débit de gaz constant
- Injecteur chauffé à 150 °C



Quantification: Montage expérimental

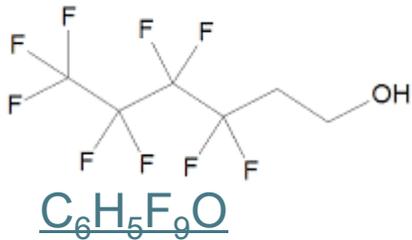


Quantification: Montage expérimental

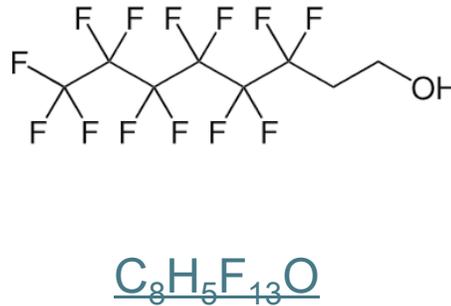


[FTOH] dans l'air ambiant: entre 5 et 250 pg.m⁻³

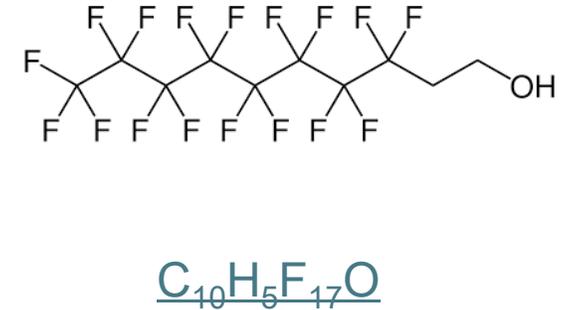
4:2 FTOH



6:2 FTOH



8:2 FTOH



Prédominance de 8:2 FTOH dans l'air ambiant en Allemagne en phase gaz: 61.9 %

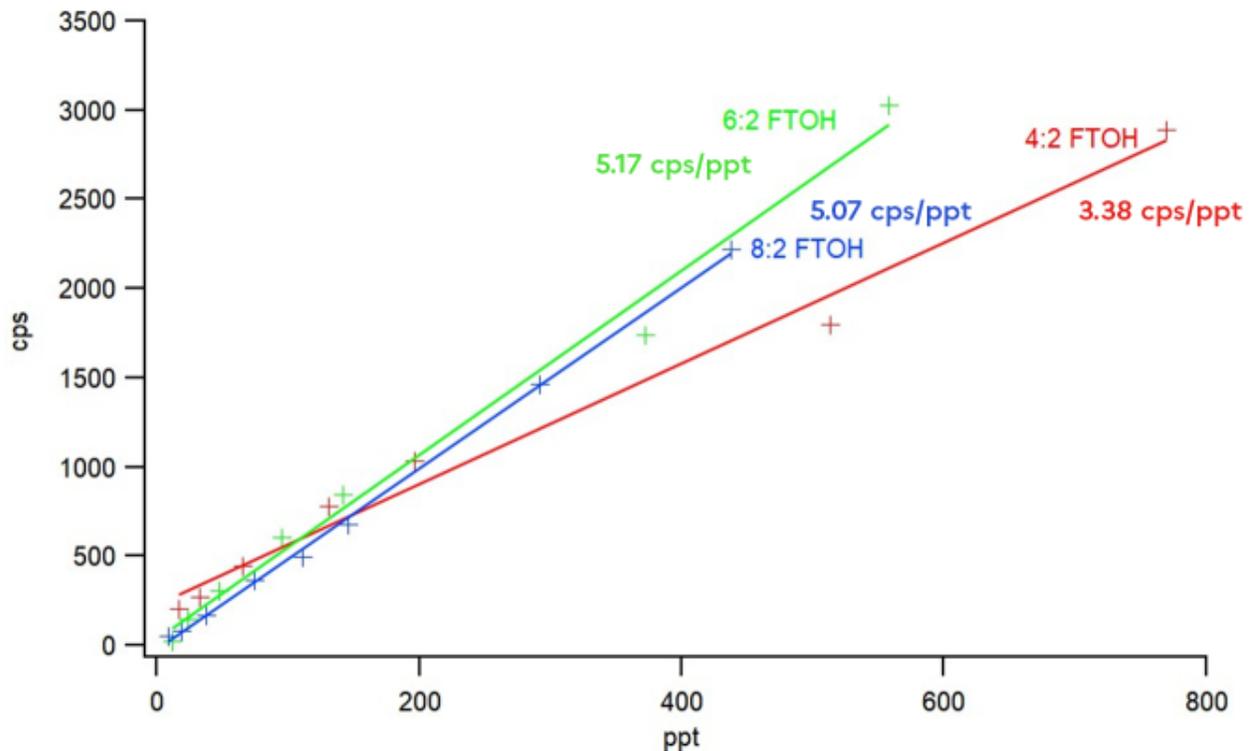
Dreyer et al., 2009

A notre connaissance, à ce jour, il n'existe pas d'autre étude de caractérisation de PFAS en air ambiant en France.

AtmoAURA., 2024

PFAS : FTOH

TOFWERK



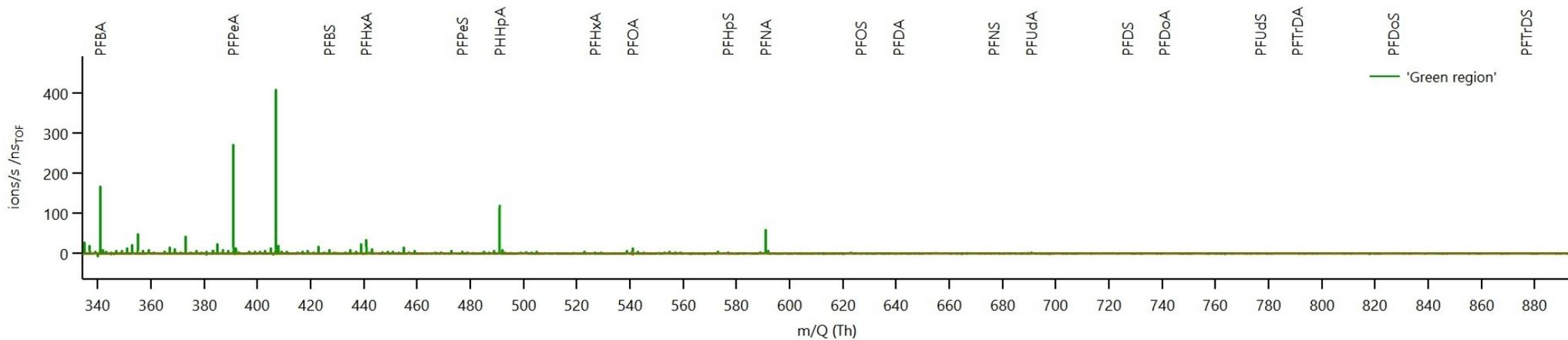
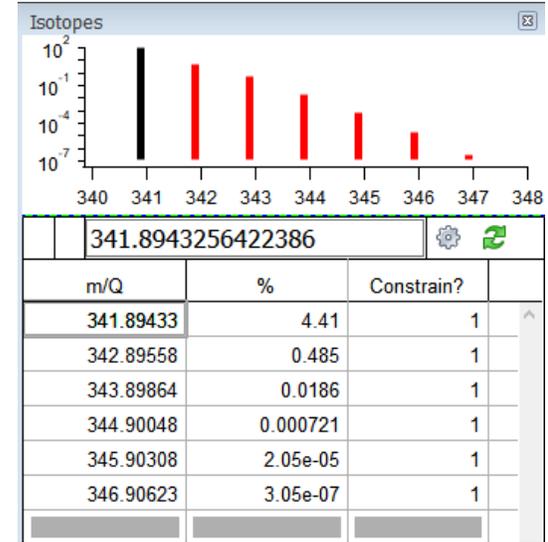
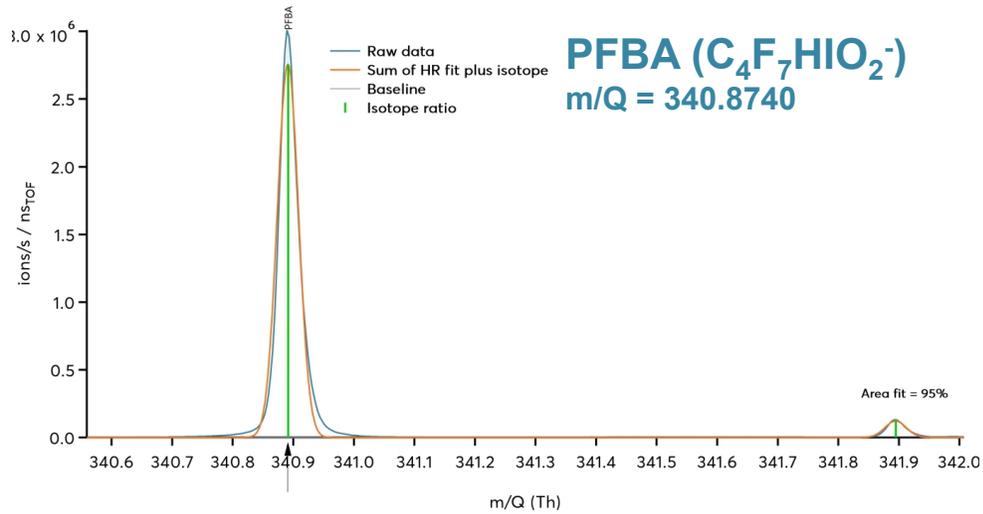
8:2 FTOH

LOD 1s (ppt)	LOD 1min (ppt)	LOD 1min (ng/m ³)
1.5	0.2	4

**Concentration 8:2 FTOH détecté dans
l'air est comprise entre
9 et 250 pg/m³**

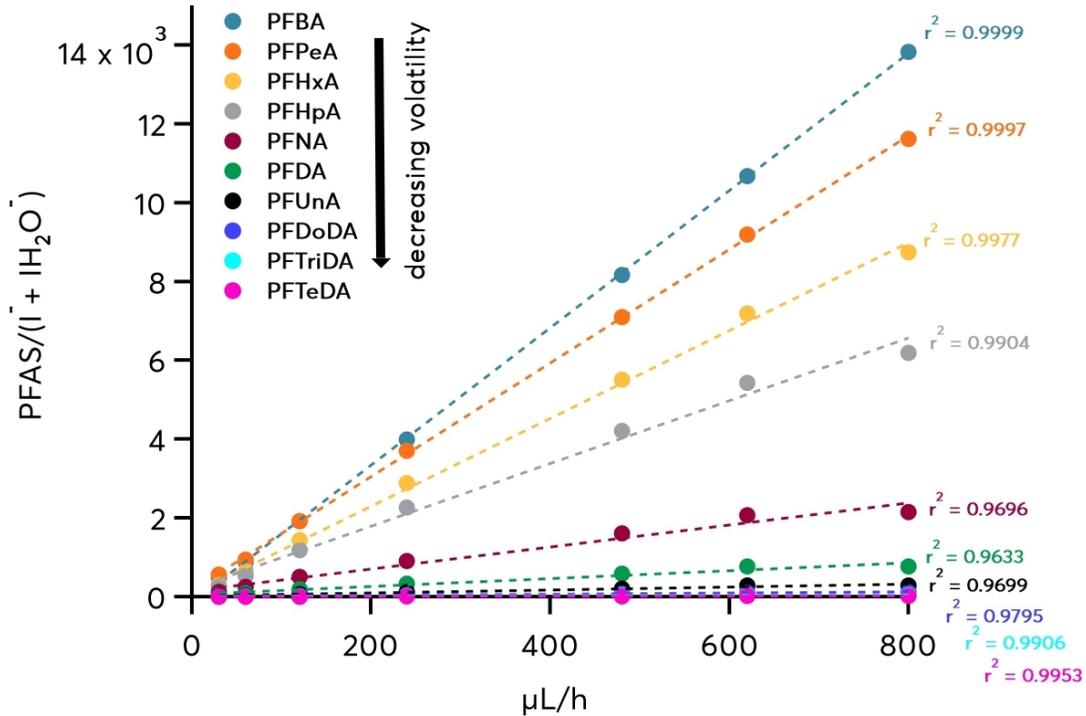
PFAS : PFCA et PFSA

TOFWERK



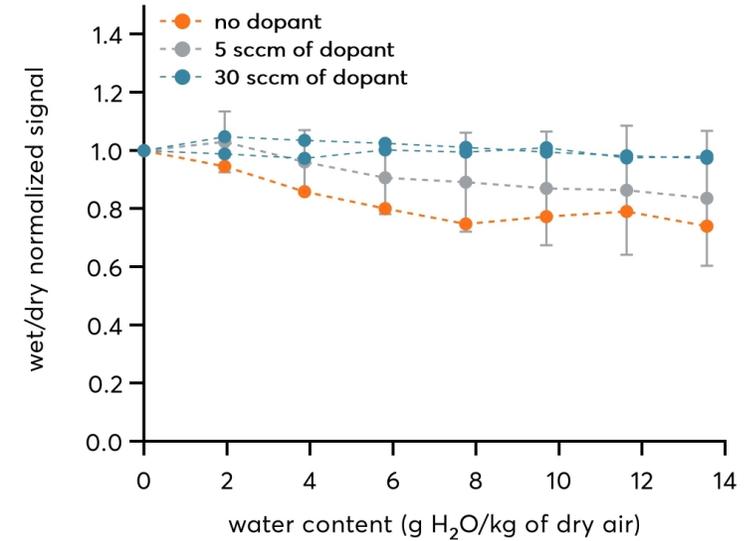
PFAS : PFCA et PFSA

TOFWERK



➤ La sensibilité diminue pour les molécules les moins volatiles

PFNA



➤ L'ajout d'un dopant (ex. acétonitrile) réduit largement la dépendance à l'humidité relative

PFAS : Sensibilité et LOD

TOFWERK

Compound	Calibration factor (ncps ppt ¹)	LOD 1s (ppt)	LOD 1min (ppt)	LOD 1min (ng/m ³)
TFA	4.30	30.0	4.0	18
6:2 FTOH	5.40	1.6	0.3	6
8:2 FTOH	5.50	1.5	0.2	4
PFBA	5.29	1.3	0.2	2
PFPeA	5.92	1.7	0.2	2
PFHxA	5.27	0.9	0.1	1
PFHpA	4.29	1.0	0.2	3
PFOA	2.77	1.3	0.3	6
PFNA	1.86	2.0	0.3	6
PFDA	0.77	3.0	0.5	11
PFUnA	0.36	3.4	0.5	13
PFDoDA	0.16	4.7	0.7	19
PFTriDA	0.06	7.6	1.2	36
PFTeDA	0.03	6.5	1.0	32
DDT	0.29	5.0	0.7	10
Pentachlorophenol	0.29	14.0	2.0	22

PFAS : Application de la méthode

TOFWERK

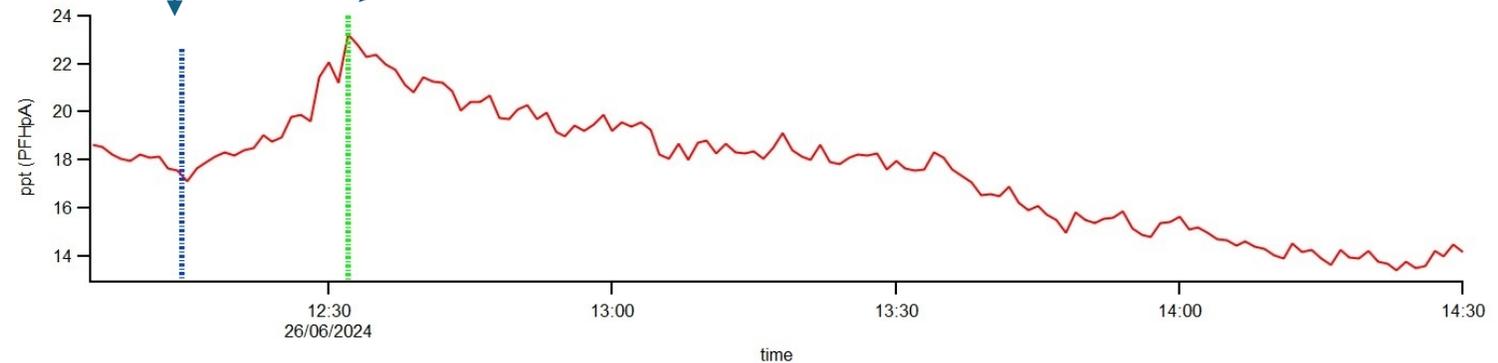


PFDA; PFHpA; PFPeA et PFUnA
ont été détectés

Ouverture
microonde

Ouverture
fenêtre

PFHpA



- Mesure de l'air de la pièce en faisant du Popcorn en sachet dans la microonde
- Le signal du PFHpA augmente de 10 ppt une fois que le popcorn est fait et la porte de la microonde est ouverte

Conclusions

TOFWERK

- **Une méthode d'analyse en temps réel pour les PFAS présents dans l'air à l'état gazeux**
 - ✓ Résolution temporelle : à partir de 1 s
 - ✓ Sensibilité permettant d'appliquer la méthode dans des milieux industriels et pour l'air intérieur
- **Des développements à suivre**
 - ✓ Élargir la quantification à d'autres composés susceptibles d'être présents dans l'air
 - ✓ Adapter la méthode à la phase particulaire
 - ✓ Mettre en place un système de préconcentration pour l'air ambiant
 - ✓ Comparaison de la méthode avec les méthodes classiques par une campagne de mesure air ambiant



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

TOFWERK



*maîtriser le risque
pour un développement durable*

MERCI





RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

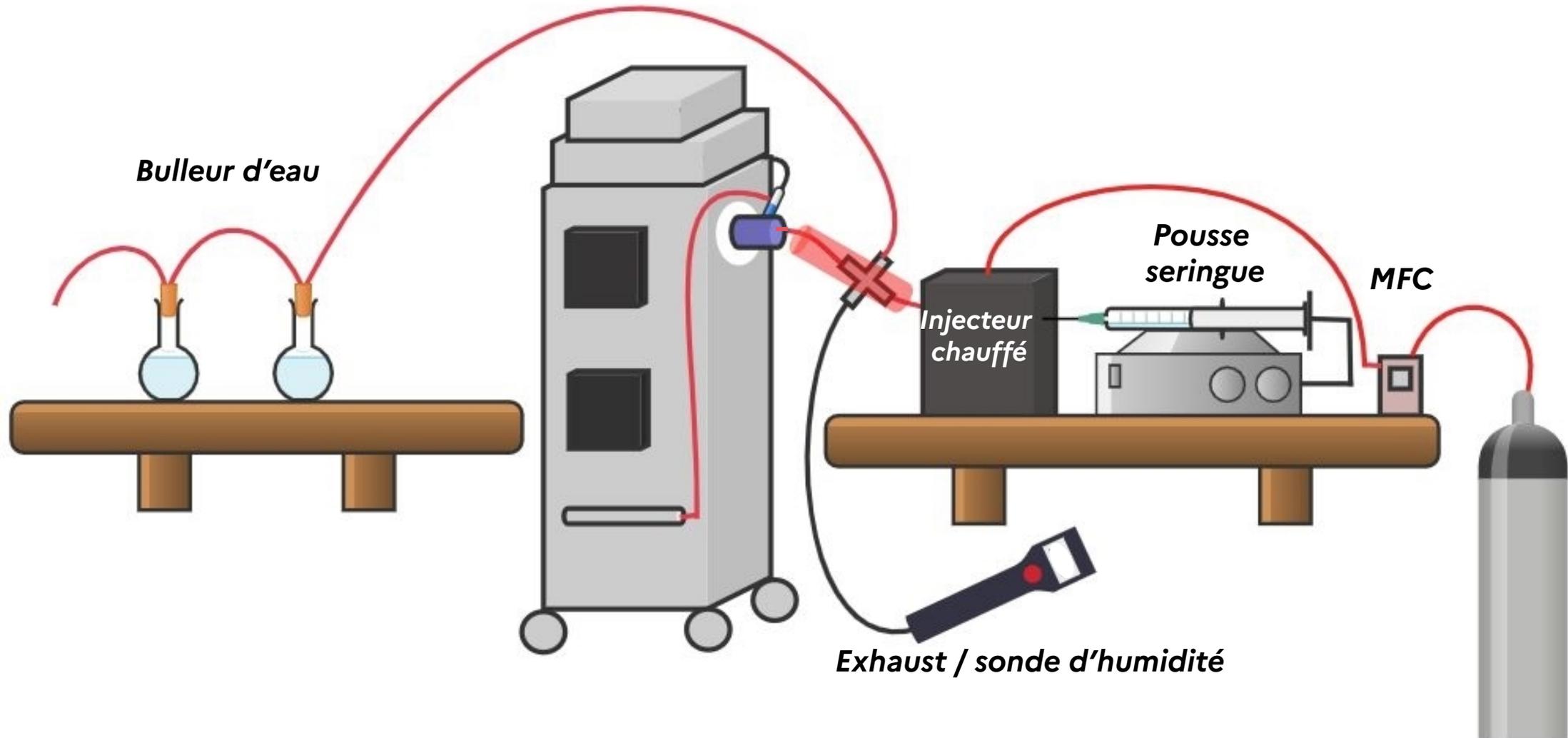
TOFWERK

INERIS

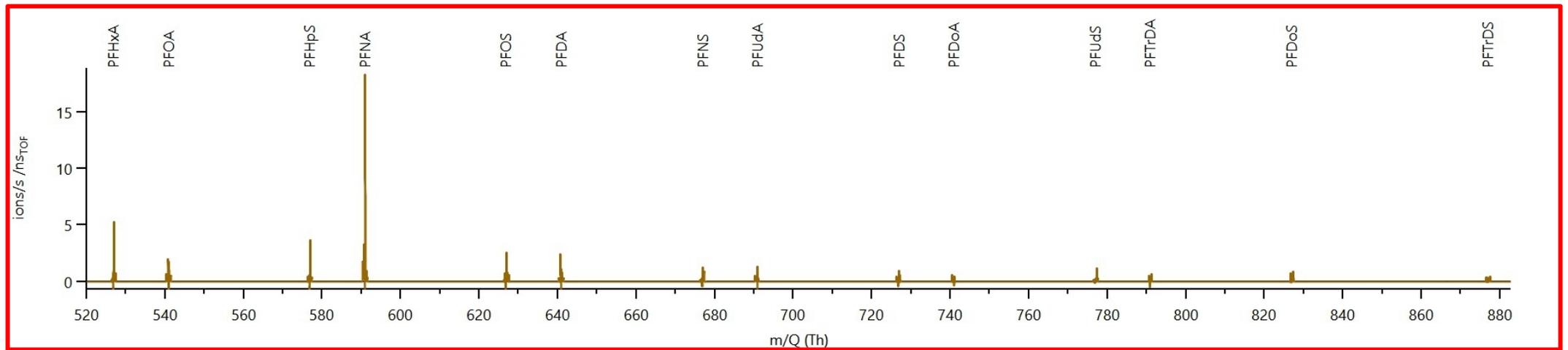
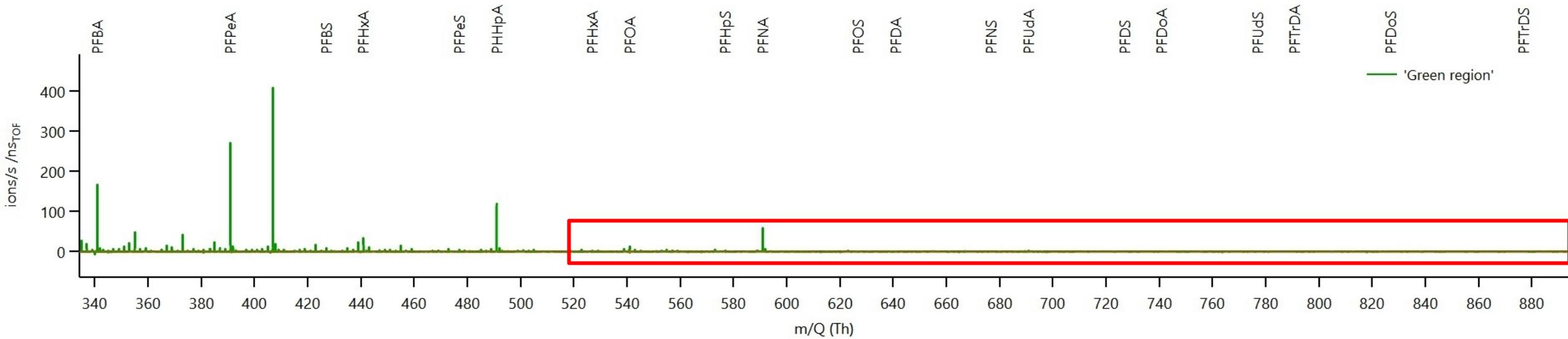
*maîtriser le risque
pour un développement durable*

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Montage expérimental



PFCA et PFSA - CIMS



Technique

AIM Adduct Ionization Mechanism

Température → 50 °C

Pression → 50 mbar

Agent ionisant → benzène + iodure de méthyle

