

TERRA



FORMA

## WP2.5 – Cartographie des concentrations & des flux de gaz à effet de serre

Bartosz Zawilski (CESBIO), Sébastien Gogo (OSUR), Didier Voisin (IGE), Christophe Flechard (INRAE), Jean-Sébastien Moquet (LPC2E);  
Christophe Guimbaud (LPC2E), Lilian Joly (GSMA)



**AEROLAB**  
Atmospheric Research and  
Observations Laboratory

18/02/2022

UNIVERSITÉ  
DE REIMS  
CHAMPAGNE-ARDENNE



15.02

# Petite biographie

## Depuis 2010 : Chercheur CNRS au GSMA (URCA)

- Depuis 2008 : 31 projets de recherche (ANR, Chaire, Européen, CNES, ADEME, Régionaux...)
- 54 publications, 11 brevets, 25 conférences
- 52 communications « grand public » :
  - Sciences et Avenir, Le Figaro, France 3, France Bleu, l'Union, CNBC ...

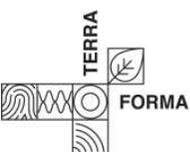
## Informations complémentaires :

- 2022 : Label SCO (Space Climate Observatory) - AEROLAB
- 2021 : Chargé de mission ICOS du groupe relations industrielles des infrastructures de recherche du MESRI
- 2021 : Titulaire de la Chaire industrielle ATMOSFERE (ANR – 2021-2024)
- 2021 : Porteur du pôle de recherche AEROLAB de l'URCA
- 2021 : Directeur du LabCom LYNNA avec TotalEnergies
- 2020 : Prix de l'innovation de TOTAL
- 2020 : Membre du comité scientifique CNES/TOSCA
- 2020 : Membre du COPIL du réseau drone du CNRS
- Depuis 2017 : Groupe mission spatiale Microcarb/Merlin
- Depuis 2013 : membre du réseau ICOS-RI



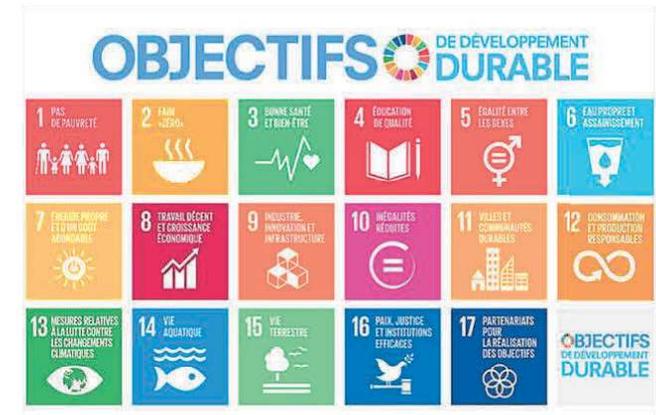
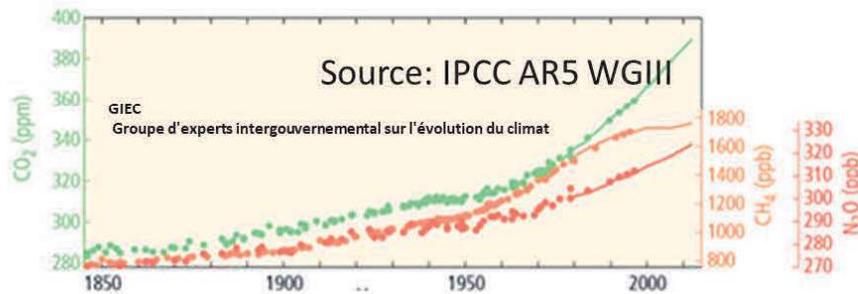
**Un drone pour surveiller l'air des raffineries**

L'université de Reims et le groupe Total coopèrent pour élaborer des laboratoires volants afin de mesurer les gaz à effet de serre au-dessus des installations pétrolières, et plus tard des villes et des forêts.



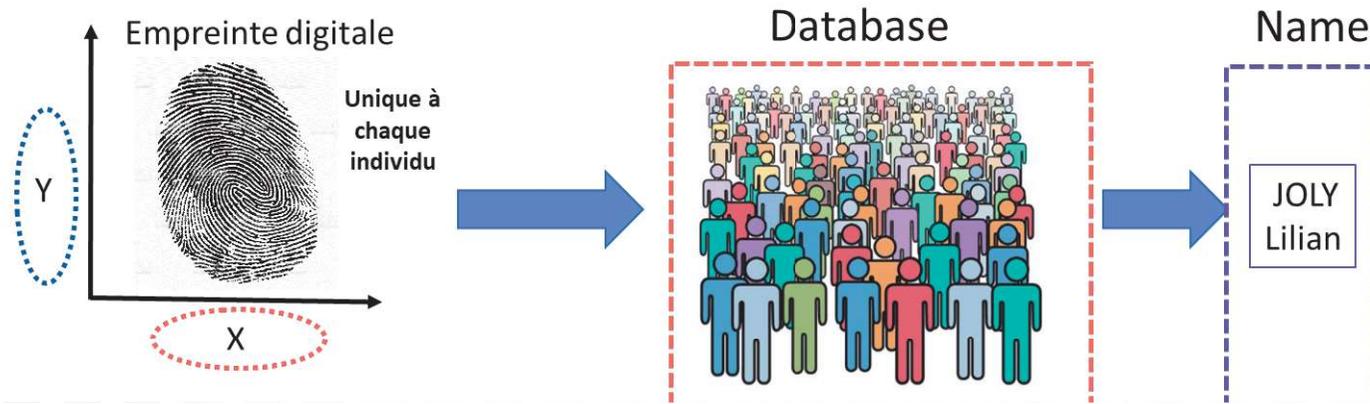
## Contexte de mes activités de recherche

Evolution des concentration de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O mesurées dans l'atmosphère



- Selon le GIEC, les réductions des émissions de gaz à effet de serre doivent être accrues d'ici à 2030 pour avoir une chance de limiter l'augmentation de la température à moins de +1,5°C.
- Il est crucial de trouver des solutions pour quantifier précisément les émissions de GES car elles sont souvent basées sur des inventaires d'émissions, qui contiennent un haut degré d'incertitude.
- Besoins :
  - Mieux estimer les puits/sources d'origine anthropique/naturelle.
  - Mieux quantifier à différentes échelles spatio-temporelles (locales, régionales...)
  - Améliorer les modèles de chimie-transport dans l'atmosphère
  - Augmenter les observations dans l'atmosphère
  - Besoin d'outils de mesure efficaces
    - Spectromètre laser à diode infrarouge (TDLS).

# Introduction à la spectrométrie diode laser infrarouge





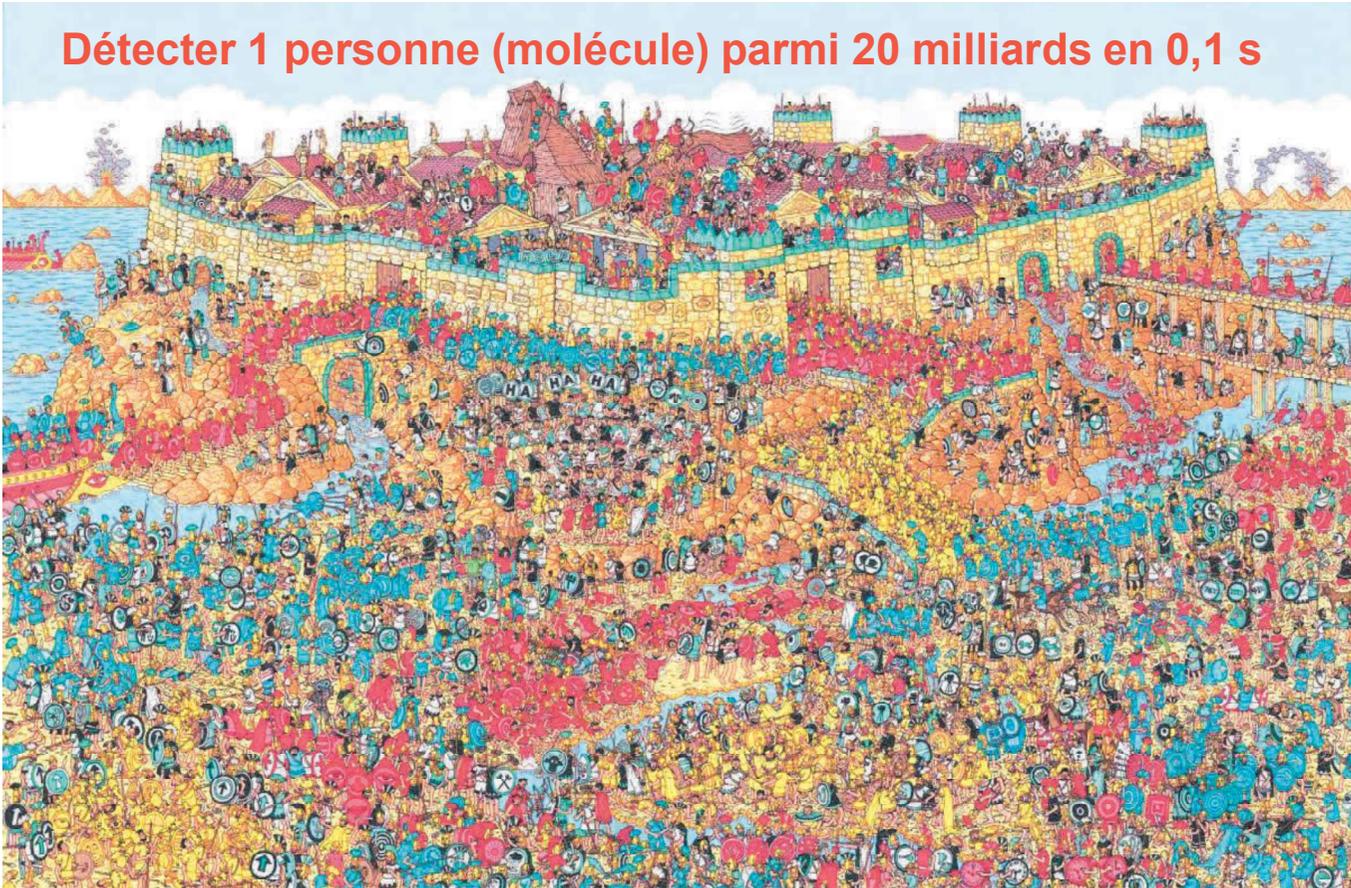
# Introduction à la spectrométrie **diode laser** **infrarouge**

## Avantages

- Diode laser
  - Rapide (1Hz to 2 kHz), selective, sensible (50 ppt =  $50 \cdot 10^{-12}$ )

## Où est Charlie ?

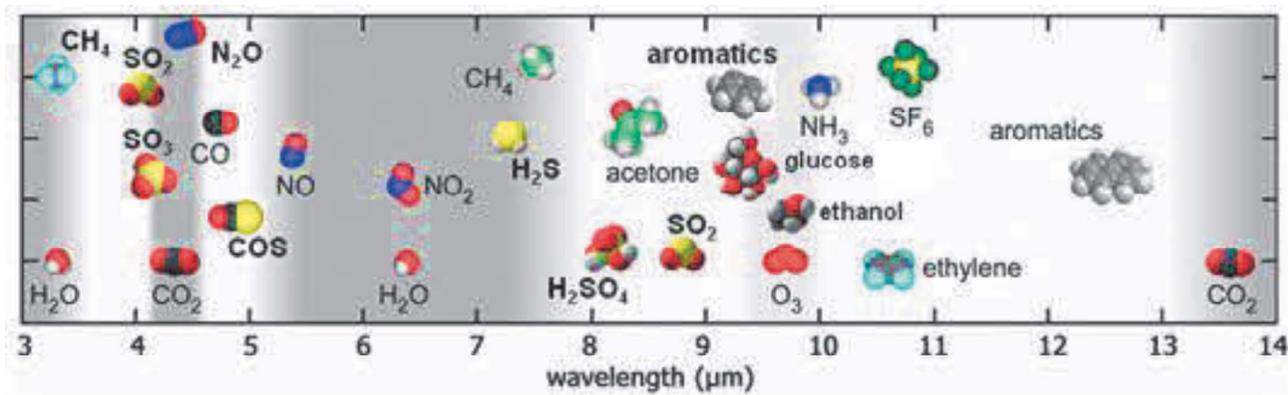
Détecter 1 personne (molécule) parmi 20 milliards en 0,1 s



# Introduction à la spectrométrie diode laser infrarouge

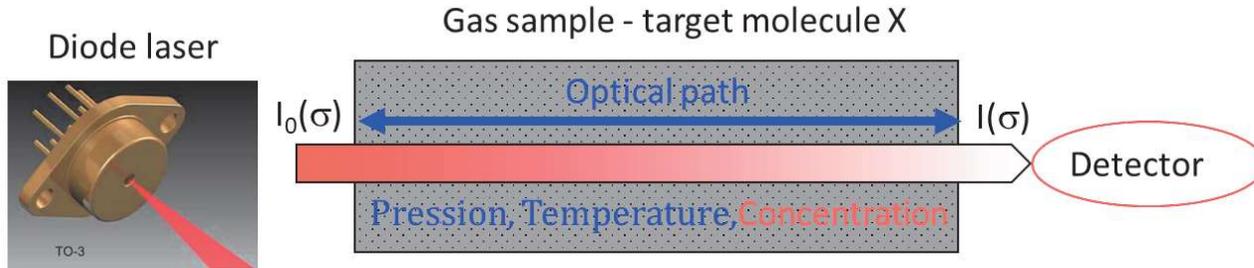
## Avantages :

- Diode laser
  - Rapide (1Hz to 2 kHz), selective, sensible (50 ppt =  $50 \cdot 10^{-12}$ )
  - Permet d'avoir un instrument compact
- Infrarouge : Signatures de nombreuses espèces moléculaires d'intérêts atmosphériques



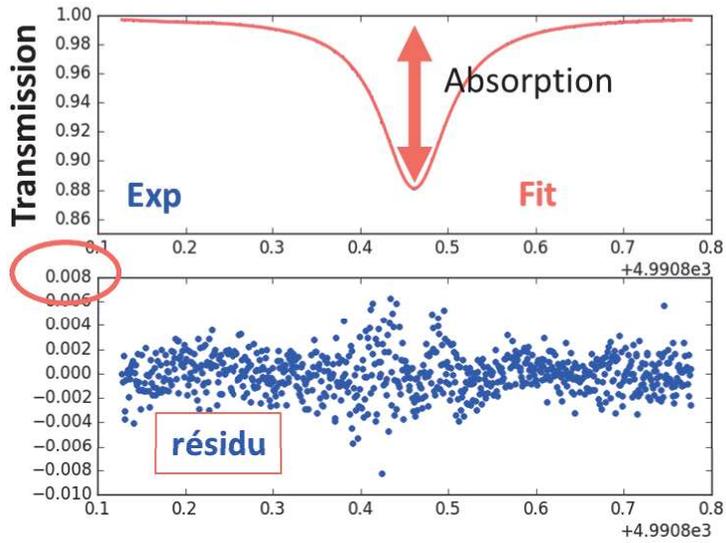
**Inconvénient** : un laser pour la mesure d'un gaz

# Comment enregistrer l'empreinte spectrale d'une molécule



$$T^X(\sigma) = \frac{I(\sigma)}{I_0(\sigma)} = f(\underbrace{X, P, T, L, C}_{\text{known}})$$

measured



[C] @ 50 Hz  
20 ms

## Domaines d'application de la spectrométrie diode laser

### Agronomie → ECoFlux

- Pratiques culturales, élevage ...

### Physico-chimie atmosphérique/Climat → AMULSE

- Gaz à effet de serre, traceurs chimiques, ...

### Industrie → AUSEA

- Production, pollution & contrôle qualité de l'air

### Santé

- Asthme, cancer, ....

### Police/Militaire

- Drogues, explosifs, ....

### Planétologie

...



# Etude de l'écosystème

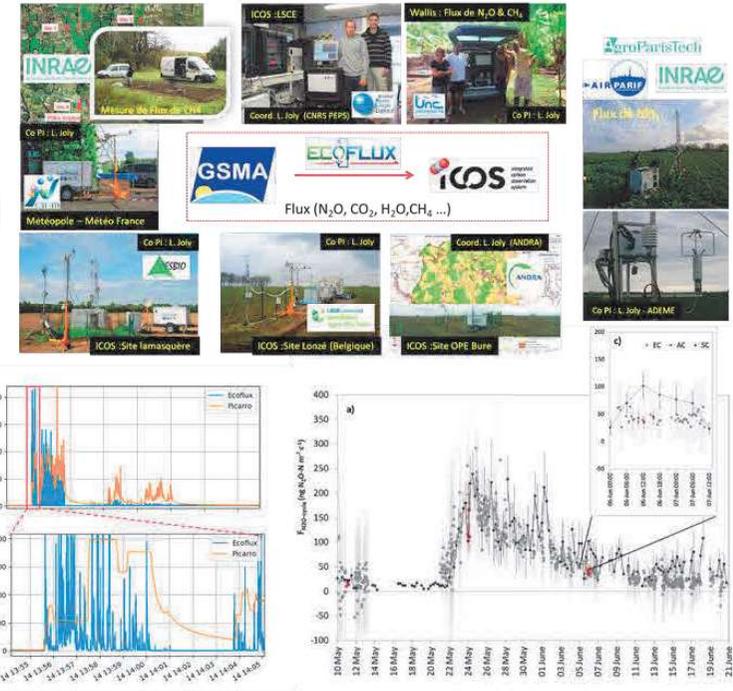
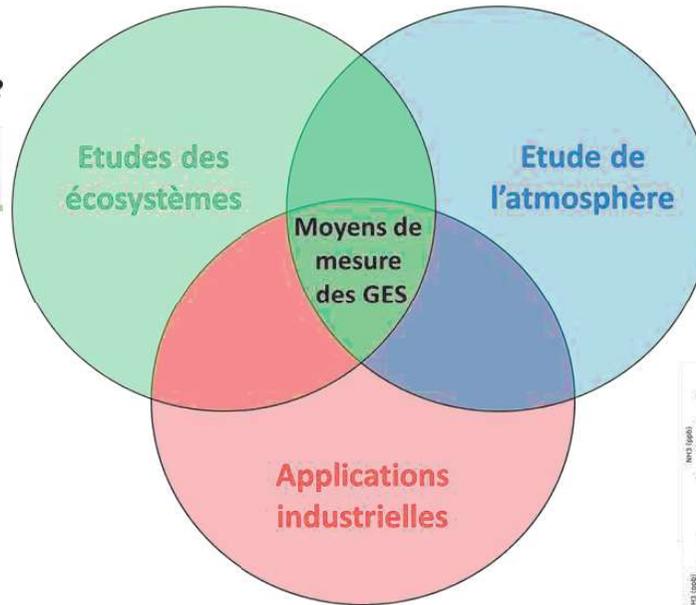
- Répondre à un besoin non comblé de la communauté scientifique et industrielle

## Mesure de flux par eddy covariance



2008 **ECOFLUX**  
 14 publications/8 ans  
 et 6 brevets, 13 projets

Précision < 0,1 % @ 10 Hz  
 Mesures « terrain » : -15 à 55°C  
 Autonome « 24h/24h – 7j/7j »



- Observer les échanges surface-atmosphère N<sub>2</sub>O/CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> (précurseur de particules)

- Mieux comprendre et modéliser leurs processus d'émission et étudier l'effet des pratiques culturales
- Offrir des mesures de référence à la communauté

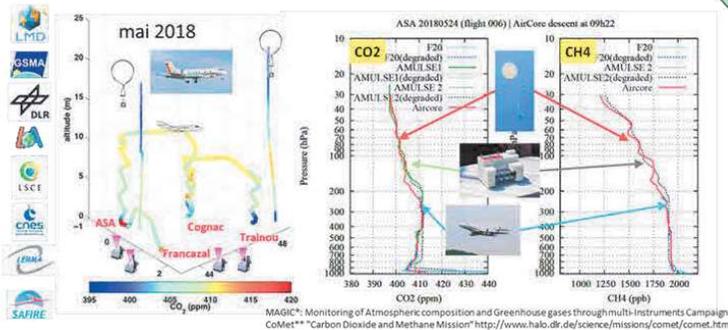
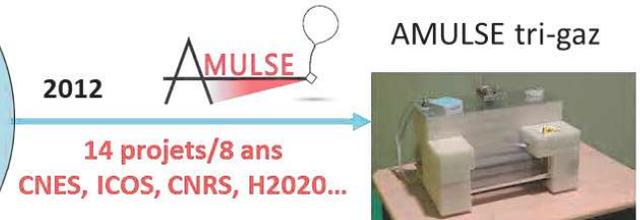
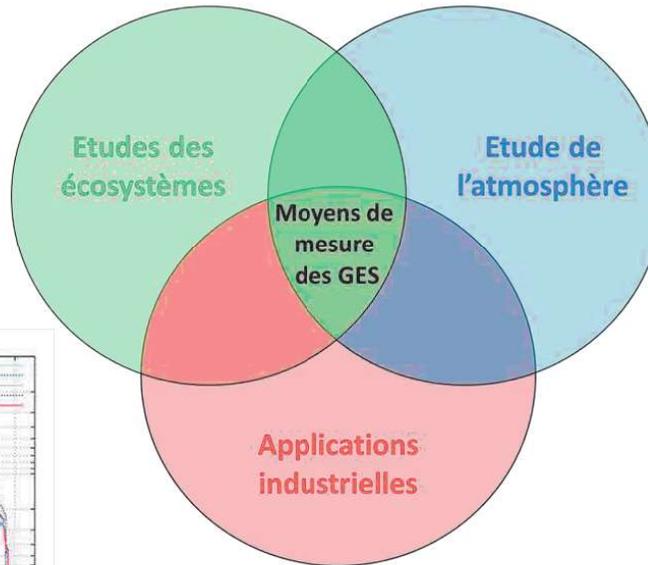


# Etude de l'atmosphère

- Répondre à un besoin non comblé de la communauté scientifique et industrielle



Projet MAGIC TOSCA/CNES MAGIC\*/CoMet\*\*  
LMD (Cyril Crevoisier) /CNES (Caroline Bes) – 2018-2019



MAGIC\*: Monitoring of Atmospheric composition and Greenhouse gases through multi-Instruments Campaign  
CoMet\*\* \*Carbon Dioxide and Methane Mission" <http://www.halo.dlr.de/science/missions/comet/comet.html>

- Poids <3kg
- Précision < 0,5 %
- Sensibilité < 0.1% @ 1s
- Résolution de 5-10 m
- Mesure ascent/descent

- Sonder l'atmosphère entre 0-30 km d'altitude avec des profils verticaux de GES

- Validation de modèles de transport atmosphérique
- Données comparatives par rapport aux mesures des satellites et participer aux phases CAL/VAL
- Opportunité d'analyse des processus physico-chimiques et du couplage troposphère/stratosphère (UT-LS)

# Applications industrielles

<https://www.cnrs.fr/lettre-innovation/actus.php?numero=787>  
<https://www.cnrs.fr/lettre-innovation/actus.php?numero=806>

- Répondre à un besoin non comblé de la communauté scientifique et industrielle

- 2019-2020 : 3 premières mondiales (CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O sous drone)
- 2019 : Instrument unique au monde
- 2019 : 1<sup>er</sup> lors d'une campagne test
- 2020 : 3 brevets déposés
- 2020 : Prix de l'innovation TOTAL

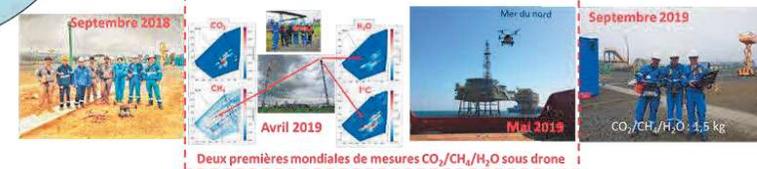
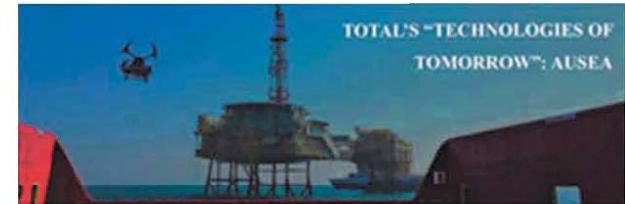
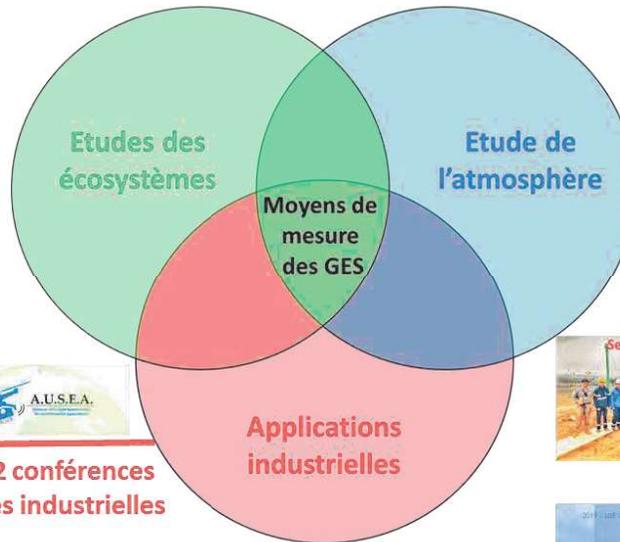


1,4 kg - précision <1% @ 24 Hz

2017



3 brevets/2 conférences  
6 campagnes industrielles

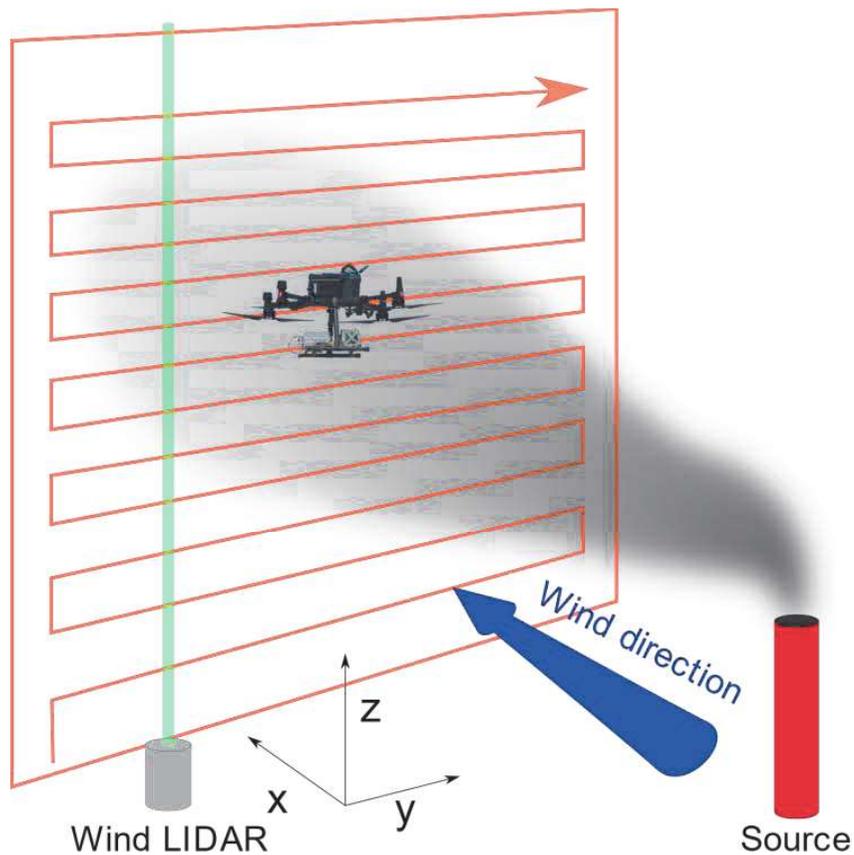


- Objectifs : Mieux quantifier les émissions GES des sites industriels

- Développer un outil innovant sous drone de mesure de CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O
- Réduire au minimum les émissions de gaz à effet de serre dégagées dans l'air autour des différents sites pétroliers du Groupe TOTAL

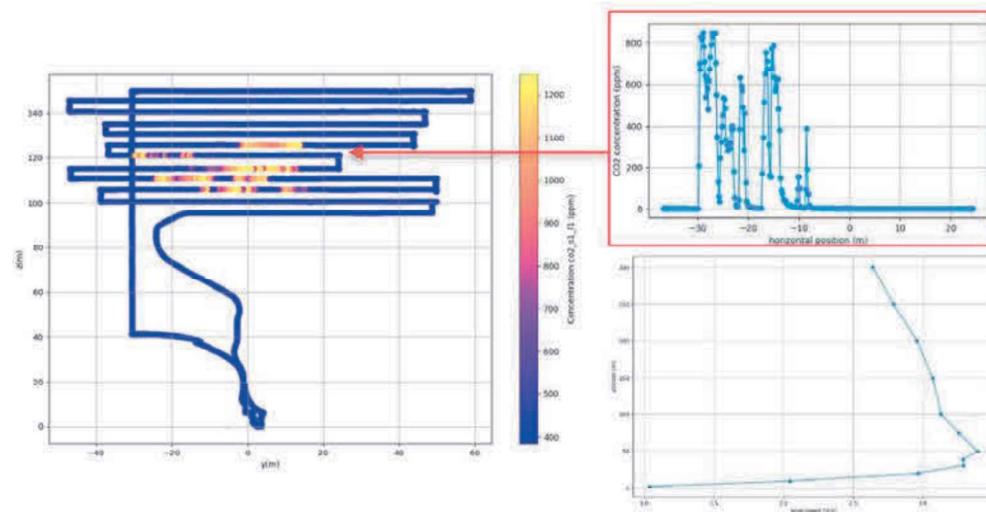


# Comment mesurer les flux avec un drone



$$Q = \int_{plane} C \cdot U dydz$$

Q: Source emissions flux  
 C: Concentration above background level  
 U: Wind speed



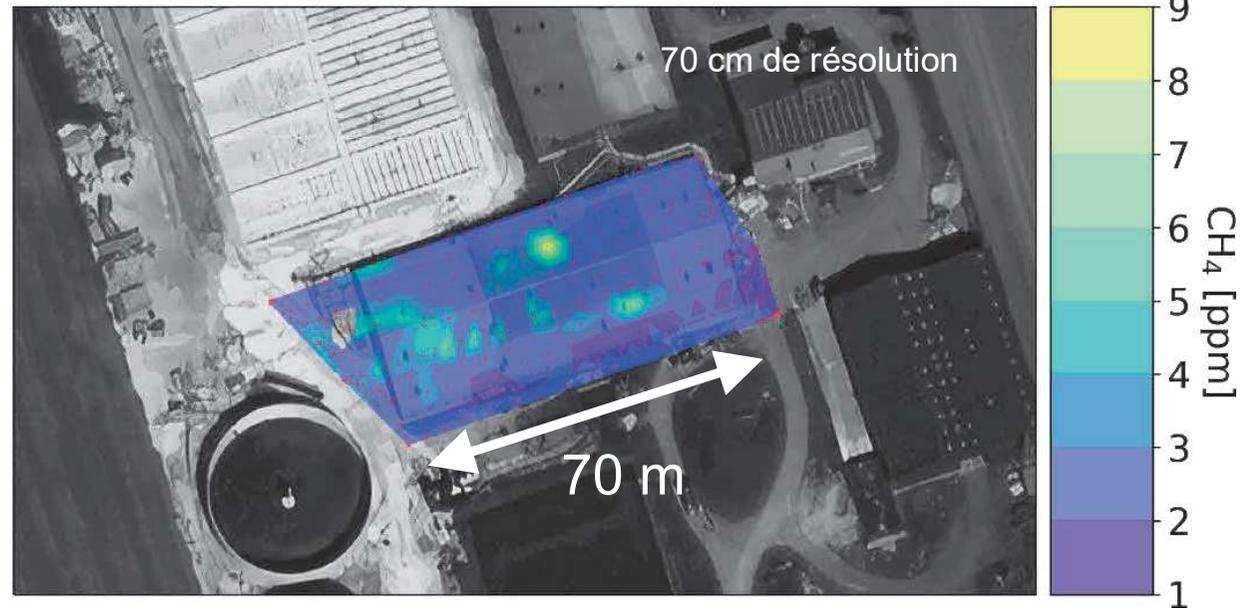
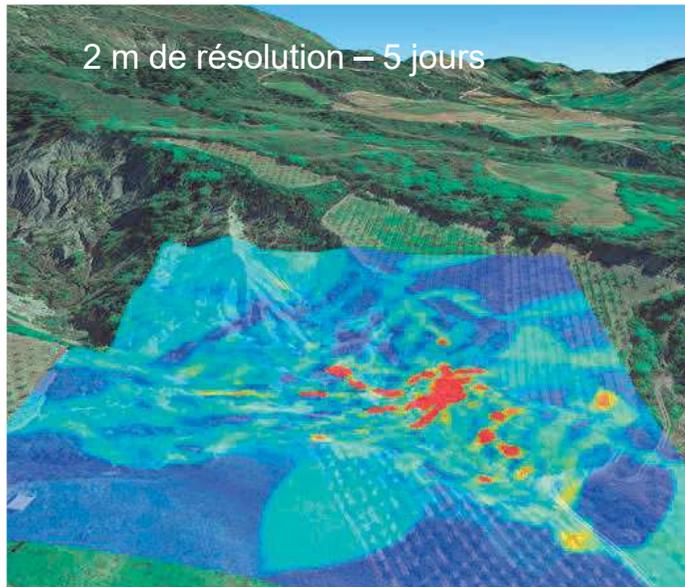
# Vidéos sur les tests « méthaniseur »



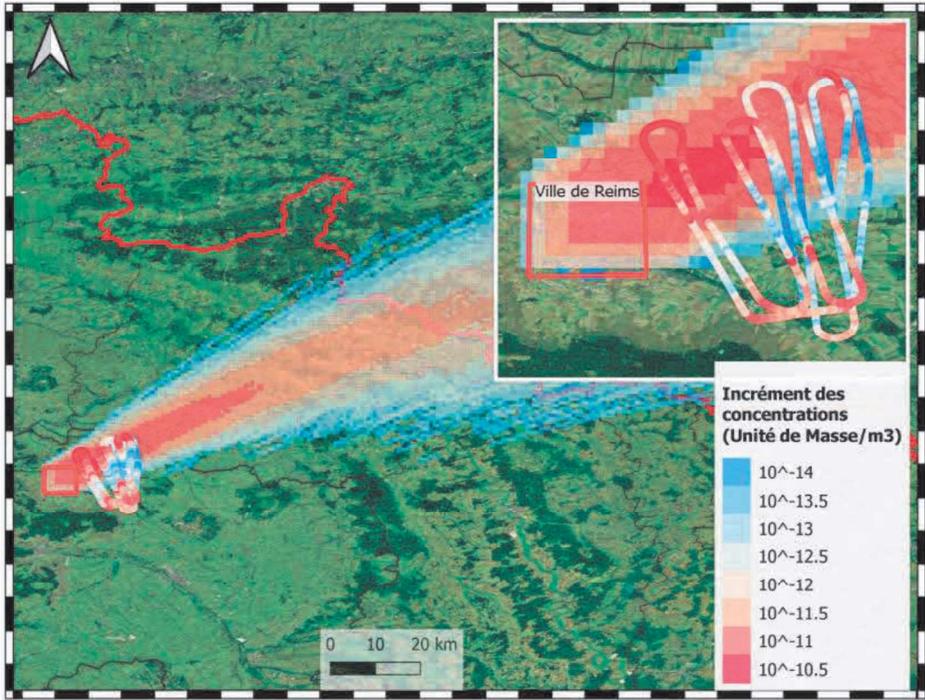
## Drone à voilure tournante – mapping horizontal

Autonomie de 30 min à 60 km/h – résolution spatiale de 3 m à 60 km/h

Altitude entre 0-120 m sans dérogation



# Résultats sous avion



Carte de la dispersion du panache de la ville de Reims (intégré entre 200 et 500 m en dessus du sol)

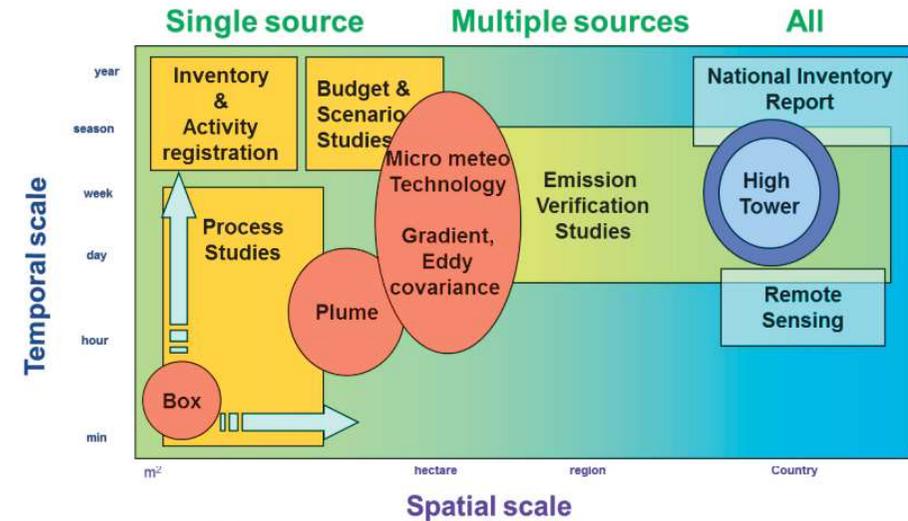
## Contexte scientifique du WP2.5 GES

Problématique :

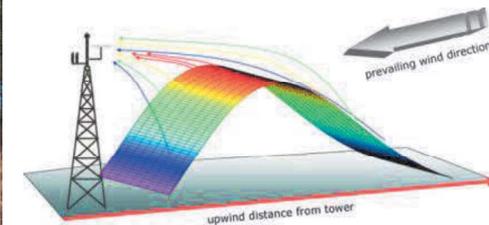
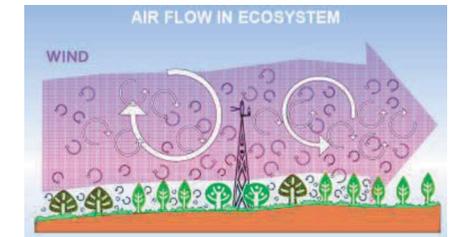
- A l'échelle de l'écosystème, les émissions des GES sont très variables dans le temps et l'espace, même à des échelles très fines ( $m^2$ ). Cette variabilité rend difficile la modélisation de ces flux et produit en conséquence de grandes incertitudes sur les estimations des bilans annuels.

Observer les échanges surface-atmosphère

- Mesure de flux par Eddy-covariance
- Technique avec des chambres d'incubation
- Méthode des gradients dans le sol



After Hensen et al., 2010. Landschap



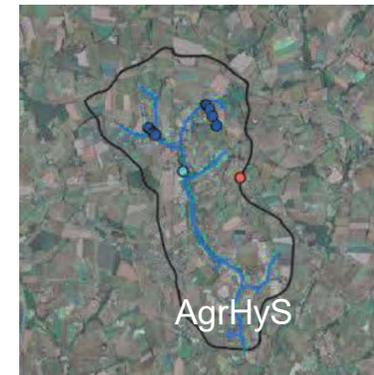
## Objectifs du WP2.5

Développer un système pour cartographier les concentration/flux de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O/CH<sub>4</sub>)

- Sur une fenêtre temporelle courte (<1 journée)
- Sur une grande surface (1-2 km<sup>2</sup>)
- À haute résolution 50 cm

Faire des mesures/tests sur les sites :

- Tourbières de Frasne (293 hectares - Doubs) et de La Guette (23 hectares - Cher)
- L'Observatoire de Recherche en Environnement AgrHyS



# Développement d'un système pour la cartographie haute résolution de GES

- Drone VTOL : Vertical Take-off and Landing
  - Autonomie 2-3 h
  - speed between 80 and 120 km/h
  - 1-2 km<sup>2</sup>
- Spectromètre diode laser CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> @ 200 Hz (résolution 25 cm) < 0,5% (labelisées ICOS)



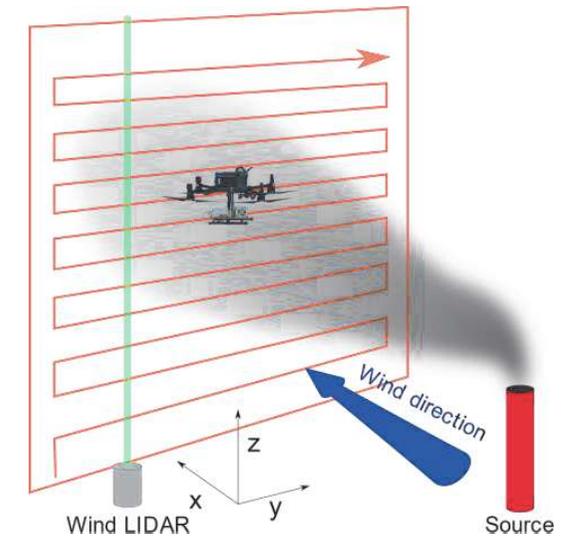
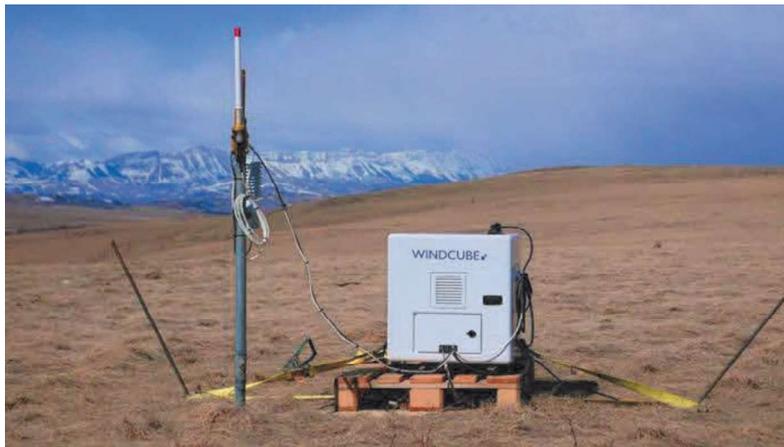
TERRA



FORMA

## Déployer un système de mesure de flux (version 0)

### Système de cartographie + Lidar



## Déployer un système de mesure de flux (version 1)

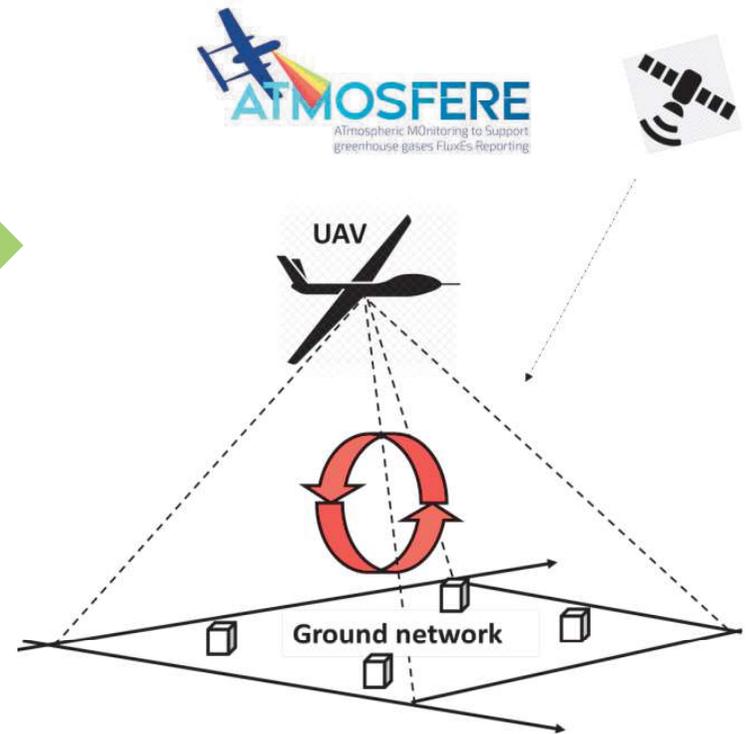
Intégrer la mesure du vent sur le drone



# Développement d'un système de mesure de flux par eddy covariance VTOL



Chaire industrielle ANR (2 M€)





## Planning

**2022/2023 : Développement de la solution CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O pour cartographie haute résolution + Lidar vent**

**2023 : Mesure par eddy covariance sur VTOL (CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O)**

**2023-2024 Intégration de la voie CH<sub>4</sub>**

**2023-2024 : Mesure par eddy covariance sur VTOL (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O)**

**2023-2024 : Tests/comparaison sur sites**

**A partir de 2024-2025 : Mesures opérationnelles**



**Merci de votre attention**



**Laboratoires impliqués :** CARTEL, CEBC, CEFE, Centre de Géosciences, CERFE, CESBIO, Chrono-environnement, CRAL, CReSTIC, DT-INSU, Dynafor, ECOBIO, ECOLAB, EVS, GET, GR, GSMA, HABITER UR, IGE, IM2NP, IPAG, IPGP, IRISA, IRIT, ISM, ISTO, LAAS, LCA, LECA, LEMAR, LHYGES, LIG, LIRMM, LMGE, LPC, LRGP, LIS, RiverLy, SAS, Subatech.

**Tutelles et partenaires non académiques :** **CNRS** :INSU, INEE, INSIS, IN2P3, INP, INS2I, INSHS, INSB. **Autres organismes de recherche :** IRD, INRAE, IPGP. **Ecole d'ingénieur :** Mines ParisTech. **Universités :** Grenoble, Savoie-Mont-Blanc, Toulouse et Toulouse INP, Rennes, Clermont-Auvergne, Montpellier, Reims, Toulon, Franche Comté, Orléans, Strasbourg, Aix Marseille. **EPIC:** INERIS. **PME:** Extralab

**Soutiens:** CNES, OFB, BRGM, Agence de l'eau Loire Bretagne, Réseau RECOTOX, l'observatoire du sol vivant, Institut Carnot Eau & Environnement, Groupes Régionaux des experts du climat, Régions, Office régionales de la biodiversité, Fondation François Sommer

Remerciement aux autrices du livre TERRA FORMA qui nous ont laissé l'emprunt de leur titre.

Contact(s): [terra-forma@services.cnrs.fr](mailto:terra-forma@services.cnrs.fr)

[terra-forma.cnrs.fr](http://terra-forma.cnrs.fr)

**anr** <sup>©</sup>  
agence nationale  
de la recherche



ANR-21-ESRE-0014

**TERRA**



**FORMA**

