



HAL
open science

MYRIADE Détermination des flux de GES par une “myriade ” de Chambres Flottantes Automatiques (CFA)

Didier Jézéquel, Viet Tran-Khac, Philippe Quetin, Victorien Hosatte, Lionel Fichen, Antoine Guillot, Paul Dasi, Mickaël Beauverger

► To cite this version:

Didier Jézéquel, Viet Tran-Khac, Philippe Quetin, Victorien Hosatte, Lionel Fichen, et al.. MYRIADE Détermination des flux de GES par une “ myriade ” de Chambres Flottantes Automatiques (CFA). Atelier Expérimentation et Instrumentation AEI 2024, Jun 2024, Rennes, France. , 2024. hal-04840678

HAL Id: hal-04840678

<https://hal.science/hal-04840678v1>

Submitted on 16 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



MYRIADE

Détermination des flux de GES par une « myriade » de Chambres Flottantes Automatiques (CFA)



Didier Jézéquel^{1,2}, Viet Tran-Khac², Philippe Quetin², Victorien Hosatte²
Lionel Fichen³, Antoine Guillot³, Paul Dasi³, Mickaël Beauverger⁴

Projet soutenu par la DIIRO en 2021 et en 2022

1) IPGP & UPC, Paris / UMR CARTEL INRAE & USMB, Thonon-les-Bains 2) UMR CARTEL – INRAE & USMB, Thonon-les-Bains 3) DT INSU, Plouzané 4) Univ. Brest didier.jezequel@inrae.fr

Objectifs du projet

Objectifs scientifiques :

Mieux quantifier les flux d'émission de GES carbonés (**CO₂** et **CH₄**) depuis les systèmes aquatiques, en améliorant la représentativité spatiale et temporelle des flux mesurés.

→ Choix d'une méthode automatisable et à coût réduit afin de multiplier les mesures *in situ*.

→ Déploiement de plusieurs chambres flottantes automatiques en parallèle sur un lac ou plan d'eau.

Objectifs techniques :

Développer un prototype de chambre flottante automatique (CFA) utilisant des **capteurs low-cost** :

CO₂ et **CH₄**
+ **paramètres environnementaux** (T eau, T air, Pression atm., agitation, vent, lumière...)

Autonomie ≥ 1 mois → 6 mois
Retransmission des données à distance
Coût visé < 3 k€

NB : installation non-dérivante (lacs)
Evolution possible en mode dérivant (rivières...) → GPS

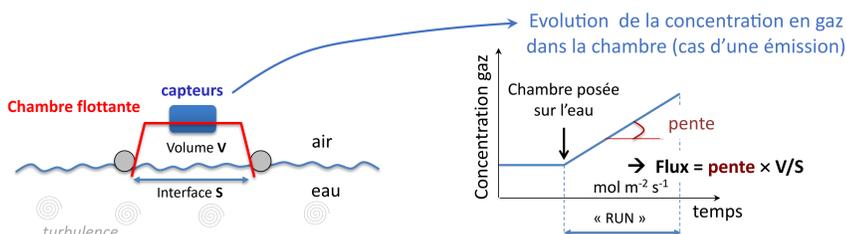
Verrous techniques :

- Développer un système de ventilation de la chambre fiable, à faible consommation d'énergie
- Intégration complète à coût réduit et à consommation minimale d'énergie, léger (transportable à dos d'homme)
- Fiabilisation de la réponse des capteurs à gaz sur le long terme (notamment dérive du signal, résistance vis-à-vis de l'humidité)
- Résistance à des conditions environnementales rudes à moindre coût (marinisation, gammes de températures étendues)

Niveau de TRL :

En 2021, la validation des composants sur une maquette en laboratoire nous a permis d'atteindre un niveau entre **TRL4** et **TRL5**. Des essais réalisés en 2023 et 2024 dans un environnement représentatif (lac de Chavoley, Ain), correspondent à un niveau **TRL6**. L'objectif pour 2024 reste de valider le niveau **TRL7** d'une enceinte en environnement opérationnel pour divers systèmes lacustres.

Rappel du principe de la détermination des flux de gaz à l'interface eau-air par la méthode de la chambre flottante



Cycle de mesure :

- 1) **phase de mesure** : 10 à 20 min. (chambre fermée)
- 2) **phase de ventilation** de l'enceinte (chambre ouverte) → renouvellement de l'air intérieur

NB : - Méthode **directe** de détermination des flux (pas d'hypothèse sur un paramètre) } +
- Coût faible (capteurs low-cost) } -
- Perturbation de la turbulence et de la température de l'air interne } -

Prototype de chambre flottante à ventilation passive par 2 ouvertures à clapet (prototype DT V2)



Comparaison du prototype V2 avec une chambre manuelle (Licor LI 820)

Bac : ~ 2,2 m³ eau du Léman (51 m de profondeur)
Flux de CO₂ nul au départ
→ Ajout de NaHCO₃ (500 g soit [HCO₃⁻] ≈ 2,6 x 10⁻³ mol/L)
→ Puis ajout de 250 mL de HCl à 23%
→ pH baisse à 7,06 et flux de CO₂ bien marqué

Nouvelle enceinte

Gilac PE blanc 55 L (h 33 Ø40-50 cm)
V = ~ 36 L S = 0,172 m² V/S = 0,209
40 € Manutan + ventilateur interne 8 €

Nouveaux registres + servomoteurs

Belimo PVC 24 V (+ rigide, collable...)
340 € x 2 Comelec

Panneau solaire 55 W (50 x 50 cm)

Galaxie Green 275 € Myshop solaire
+ Régulateur de charge Steca PR1010 115 € RS
+ 2 batteries Pb 12 V 12Ah Yuasa NP12-12 65 € x 2 RS

Nouveau flotteur

Plus grand, plus stable, GVG SPORT 100 €

Météo

Station Airmar 200/220WX avec centrale d'altitude + T, humidité, lumière. 1320 €

Coût total : ~3100 € HT

Capteur CO₂ K33 Senseair 139 € TH Ind.

0-5000 ppm ±30ppm / ±3% + T(°C) + RH(%)

Capteur CH₄ NGM2611-E13 Figaro 26 € RS

0-1000 ppm ±5-15%

Microcontrôleurs

Arduino UNO Rev 3 + Shield + Carte SD
100 € RS + Mouser Electronic

Ventilation de l'enceinte :

passive, par ouverture des registres

Fermés

→ Accumulation

Ouverts

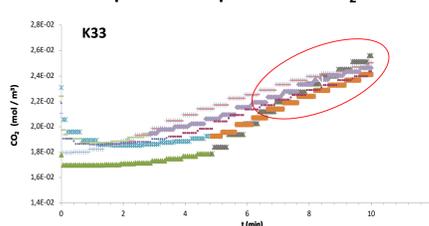
→ Aération



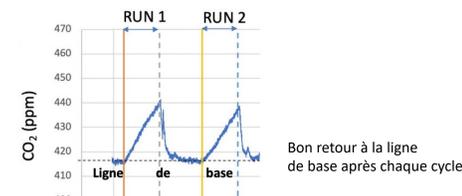
Durée : 15 min.

Durée : 5 min. → 3 cycles / h

Réponse du capteur K33 : CO₂ vs. t



→ Bonne convergence des pentes en fin de phase d'accumulation. Amélioration de la linéarité par ajout d'un ventilateur dans l'enceinte.



Fermement registres

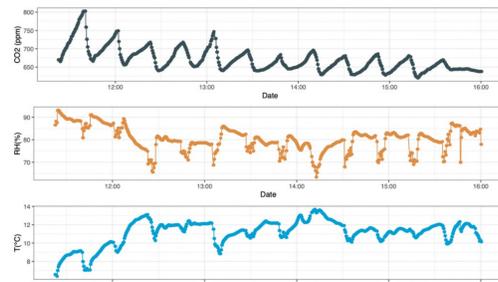
Ouverture registres

→ Validation de la ventilation par aération passive

Utilisation en milieu naturel

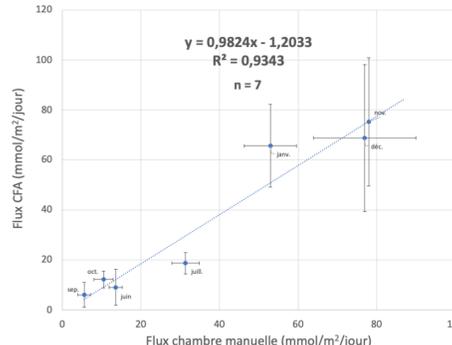


Prototype CFA V2 - Lac de Chavoley (Ain), août 2023.



Évolution de la teneur en CO₂ (capteur K33) dans la CFA V2, humidité relative et température de l'air de la chambre (19/12/2023).

Flux CO₂ CFA vs. flux chambre manuelle

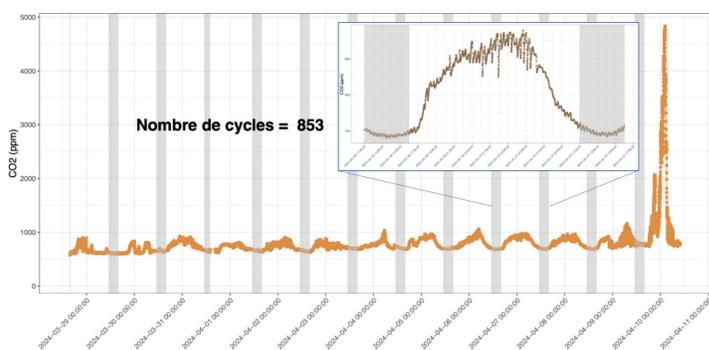


Flux de CO₂ comparés entre la chambre flottante automatique (CFA) et la chambre manuelle, obtenus lors des campagnes sur le lac de Chavoley (Ain).

→ Flux proches entre la CFA et la chambre manuelle de référence.

Problèmes rencontrés :

- Corrosion de la carte électronique du capteur CO₂ (placée directement dans l'enceinte)
→ panne après 3 semaines
→ Protection par vernis acrylique (APL Electrolube)



Chronique CO₂ sur 3 semaines

- Cyclicité des teneurs en CO₂ (max. en milieu de nuit en général)
- Pentés plus fortes la nuit → Flux ↗
- Zones en grisé : moment de la journée correspondant aux mêmes horaires que les mesures manuelles → Ces dernières ne sont pas représentatives de l'ensemble.

→ Intérêt d'un suivi en continu

Utilisation actuelle et prévue :

- Lac de Chavoley, projet GESFON / ZABR, cycle du carbone dans un lac hypereutrophe
- Programmes PEPR PC5 Carbonium et PEPR DEEP-C : densification des mesures de flux de GES carbonés par les écosystèmes lacustres
- Programme CarboLéX : comparaison de différentes méthodes de détermination des flux de GES (CO₂ et CH₄) sur le lac Léman (station LÉXPLORE, Suisse). Eddy covariance vs. méthode du gradient vs. chambres flottantes.

Perspectives

- 2^{ème} capteur CO₂ K33 et CH₄ Figaro en parallèle à installer (→ fiabilisation du système)
- Station météo à intégrer
- Abaissement du centre de gravité (batteries déplacées sur le flotteur) pour utilisation sur grands lacs
- Routine de traitement des données (Chroniques → Pentés → Flux)