



LSCE

LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT
& DE L'ENVIRONNEMENT

Suivi à haute précision de la variabilité du CO₂ dans l'atmosphère

Michel Ramonet

michel.ramonet@lsce.ipsl.fr



COLLÈGE
DE FRANCE
1530

22 mai 2015



Communiqué de presse (6 mai 2015)

←400 PPM

WHAT THIS MEANS IN THE NEWS THE 350 TARGET WHAT WE'RE DOING SUP

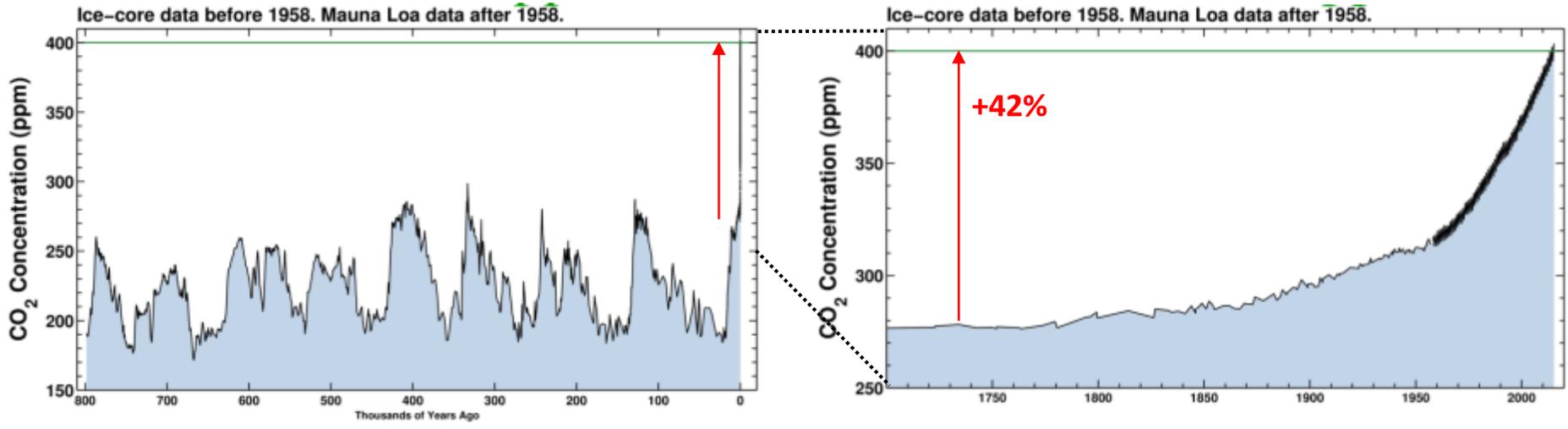


If you care about the future of life on Earth, there's some **Big News** you should know.

GLOBAL CO2 CONCENTRATIONS JUST PASSED 400 PARTS PER MILLION.

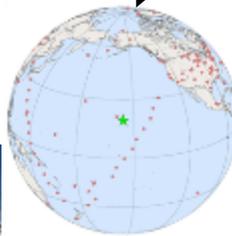


Evolution de la teneur moyenne en CO₂



800.000 ans

315 ans





Analyseur NDIR (LoFlo-Licor)
Saclay depuis 2001

Analyseur aéroporté NDIR (Licor)
Orléans 2002-2010

Analyseur CRDS (Picarro)
Saclay depuis 2005

Analyseur NDIR (Siemens Ultramat 5E)
Lampedusa depuis 1992

Analyseur NDIR (URAS)
Ile Amsterdam

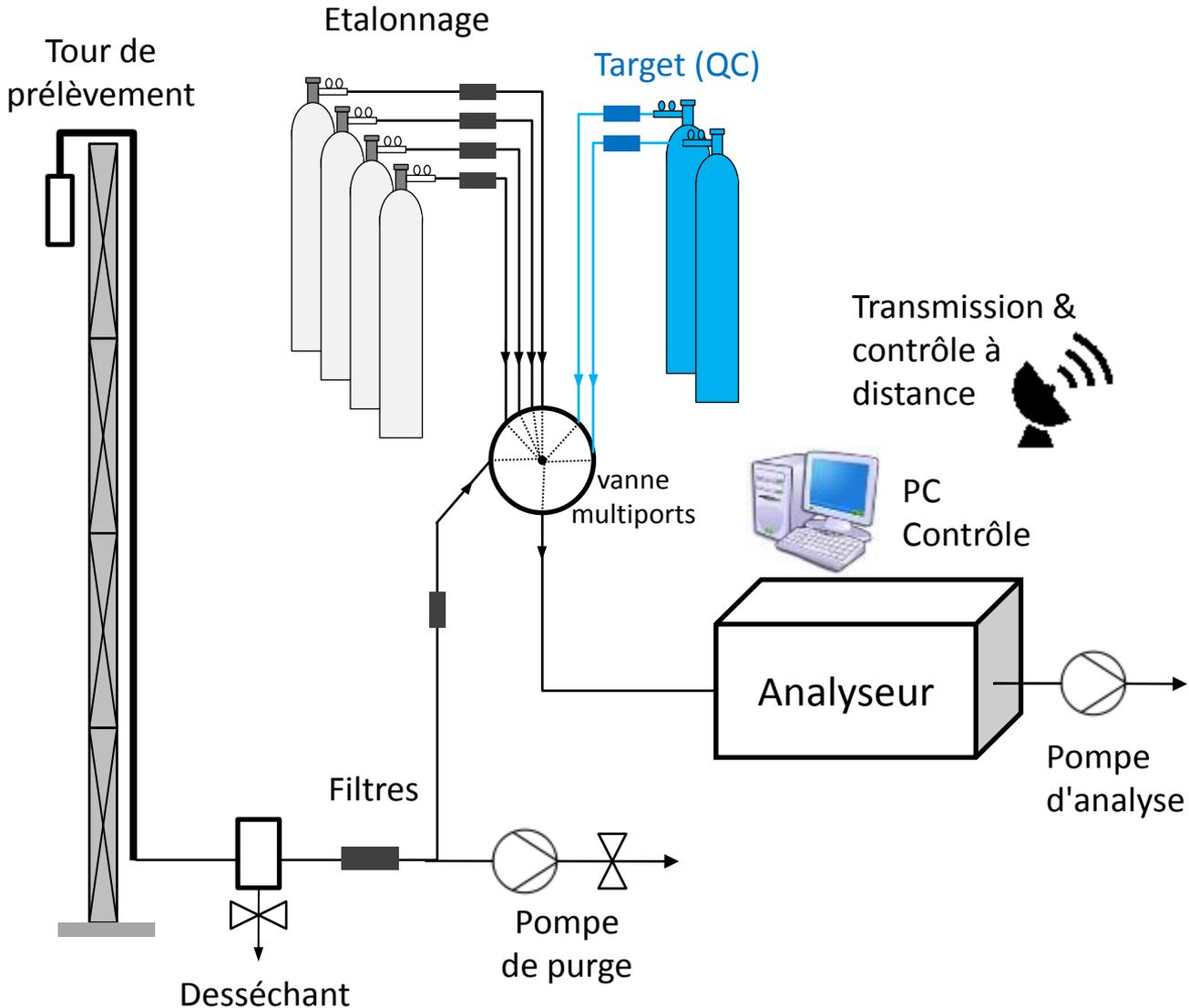
Chromatographe (HP Agilent)
Saclay depuis 2001



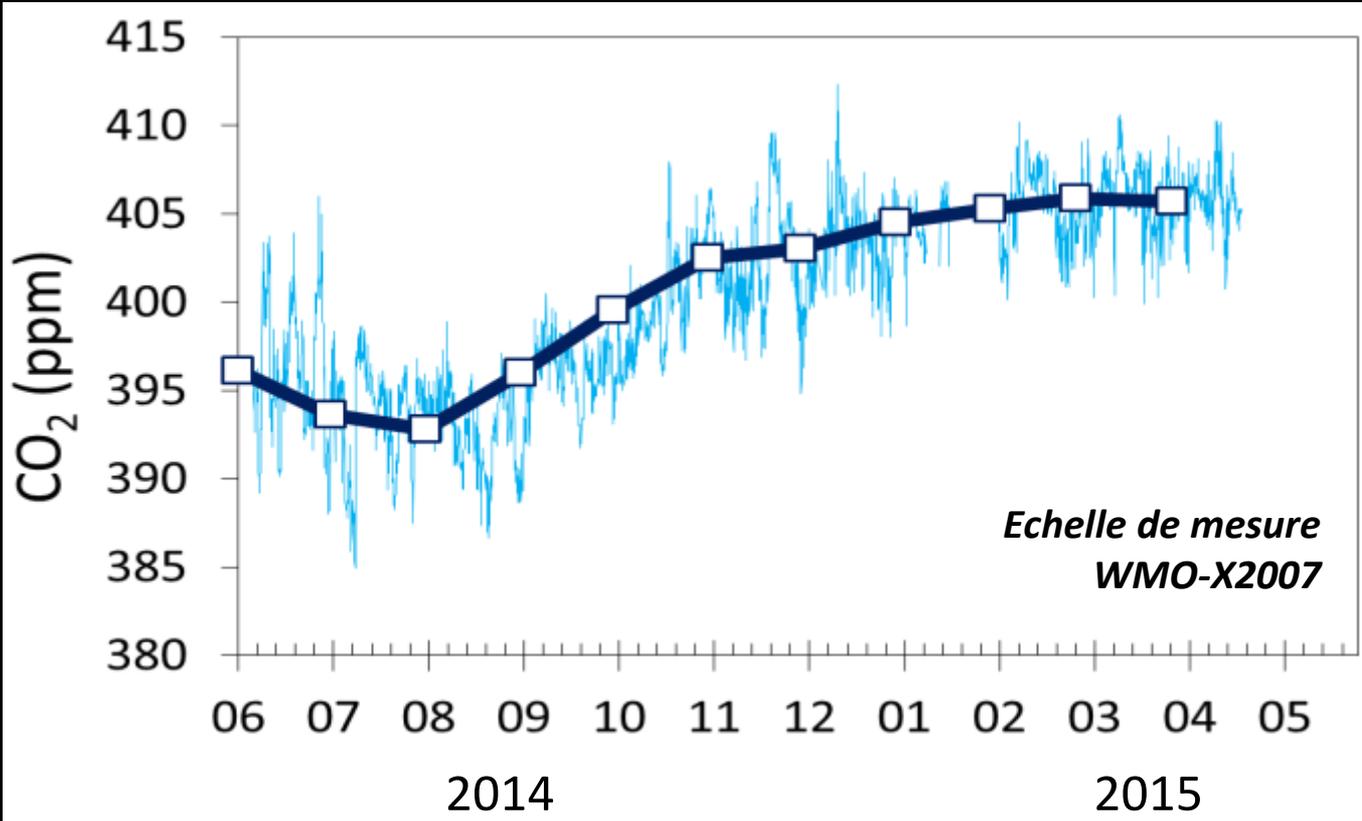
Etalonnage des mesures

Des analyseurs de plus en plus robustes et compactes

Configuration typique d'une station de mesure in-situ



Installation: Finokalia, Crête (juin 2014)





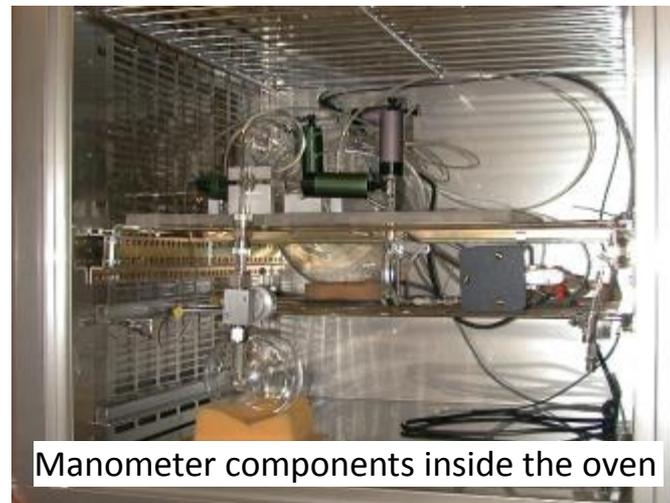
L'échelle de référence internationale

15 gaz d'étalonnage de CO₂ en air sec dans une gamme de **250 à 520 ppm**.

Mélanges de gaz préparés en 1990 à partir d'un système d'analyse volumétrique



CCL CO₂ Manometric Calibration System



Manometer components inside the oven



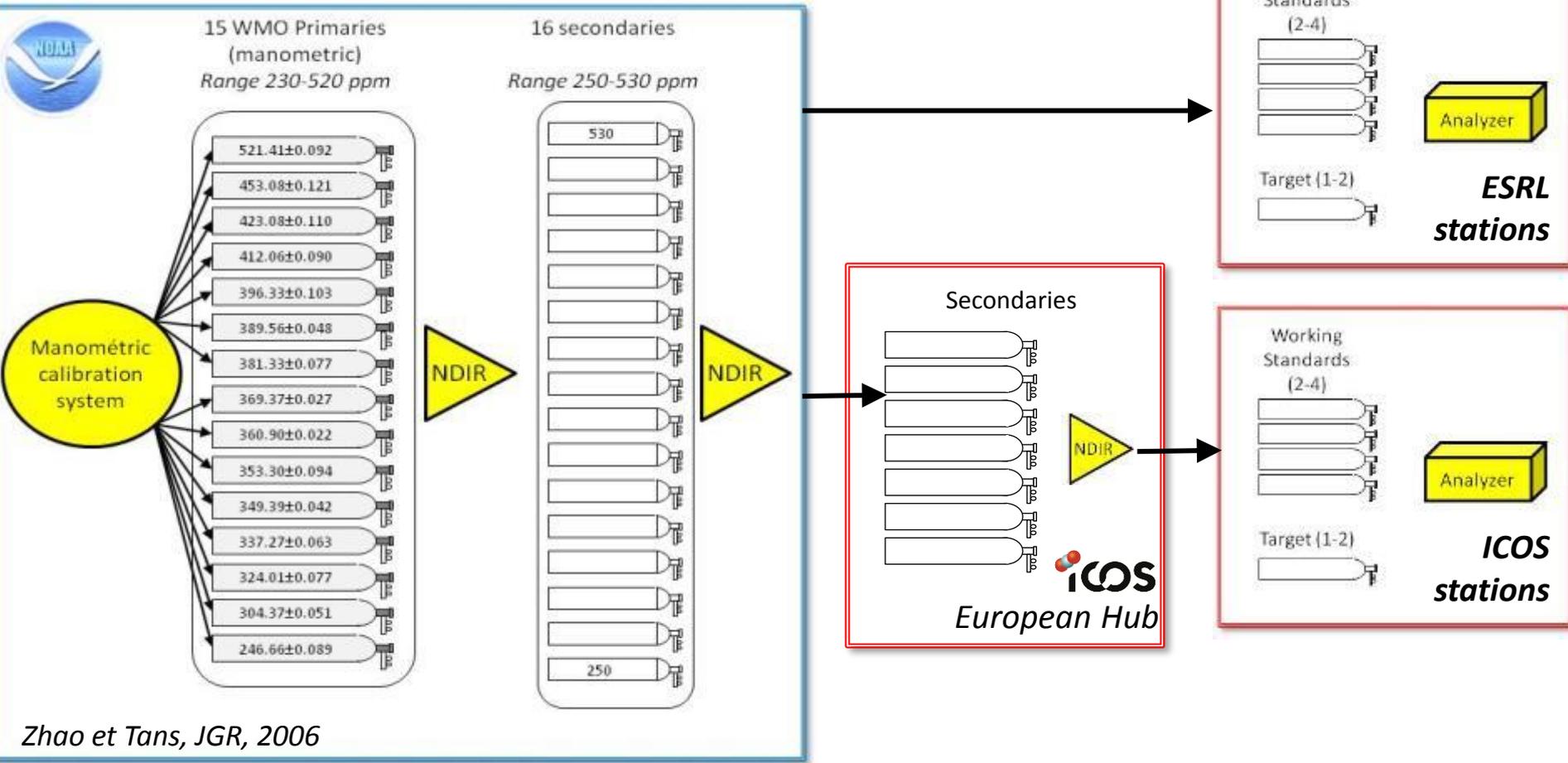
Reproductibilité des analyses manométriques:

0.12 ppm in 1996

0.03 ppm in 2006

Incertitude sur les concentrations des 15 gaz primaires de l'échelle internationale estimée à **0.07 $\mu\text{mol mol}^{-1}$**

Propagation de l'échelle de référence



Zhao et Tans, JGR, 2006

Durée de vie: décennies

2-5 ans

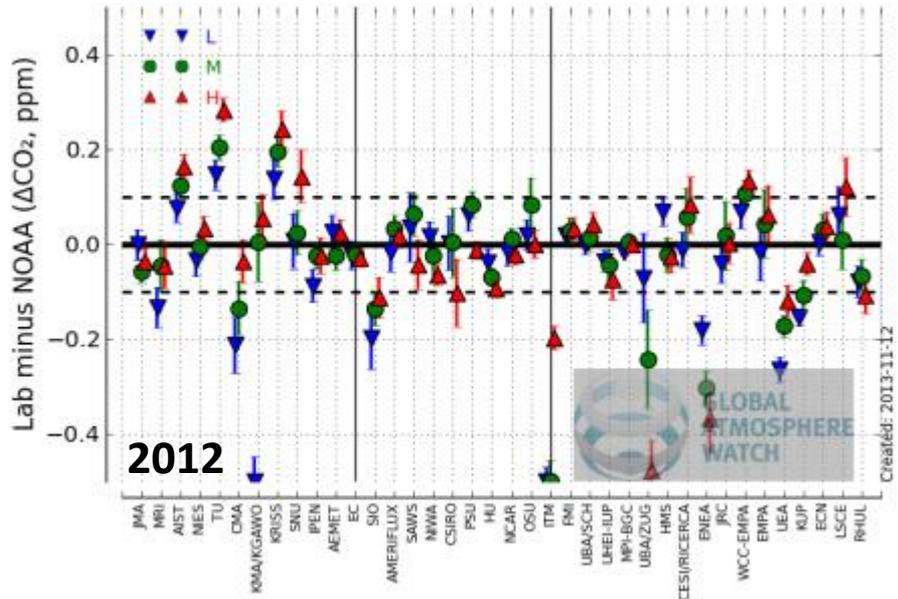
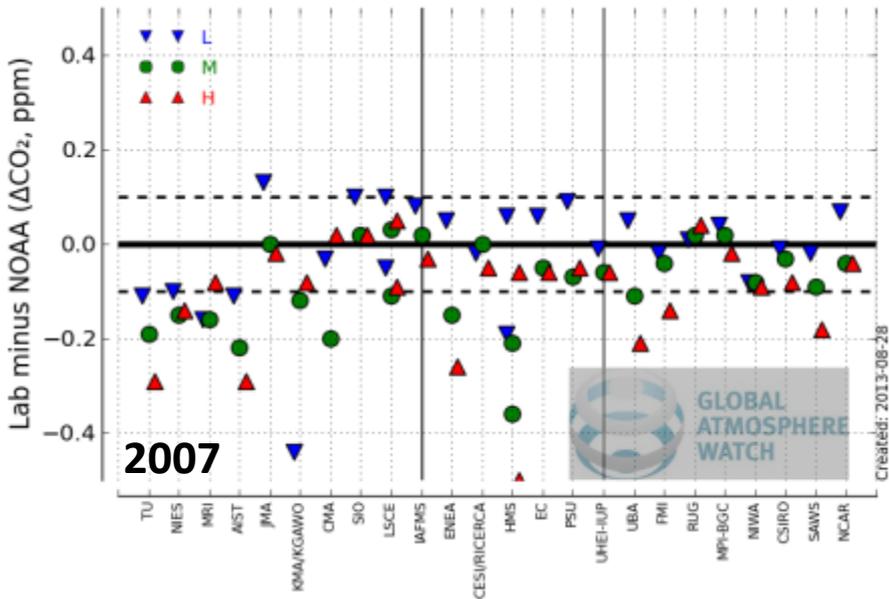
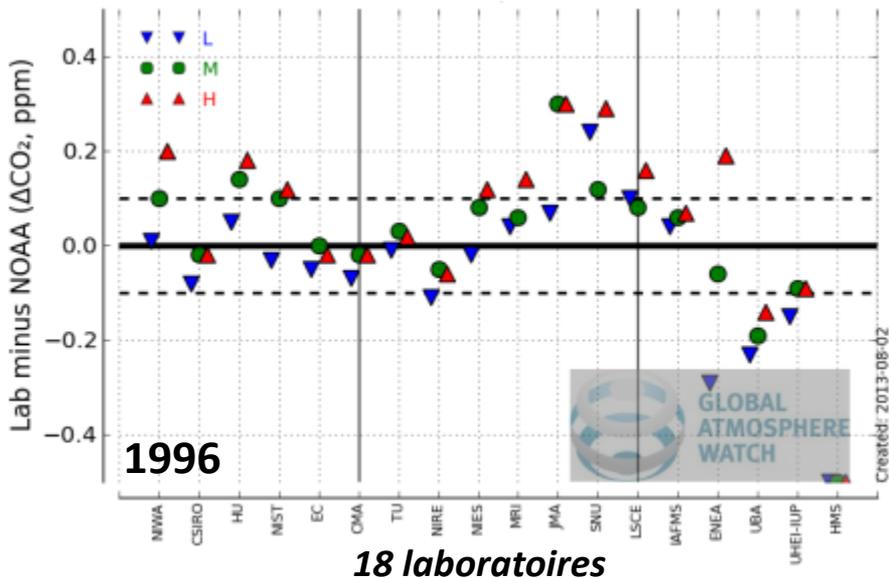
5-10 ans

0.5-2 ans

Recommandations WMO : maintenir les liens les plus courts jusqu'aux gaz de référence primaires

Exercices de comparaisons internationales: WMO Round Robin 1994-1996

2002-2007
2009-2012
2014-...



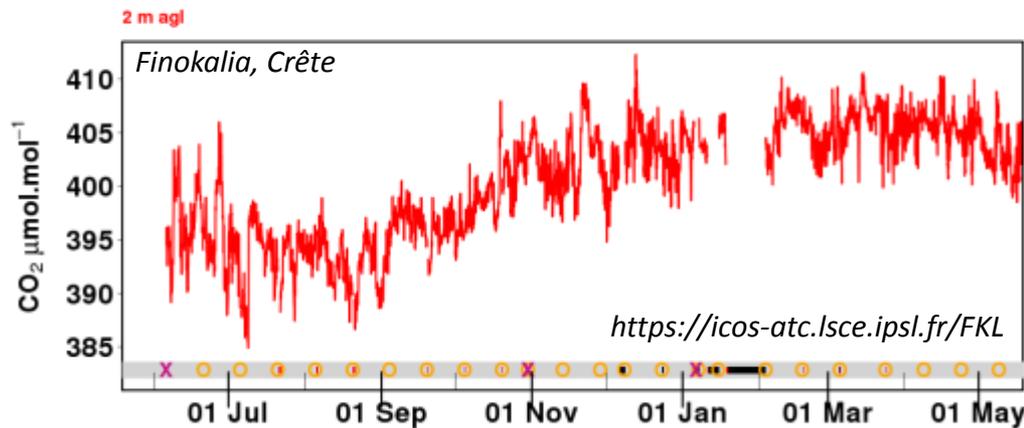
Circulation et analyse de 3 cylindres de gaz dans les instituts en charge de programmes de suivi du CO₂

Etalonnages et contrôle qualité dans les stations de mesure

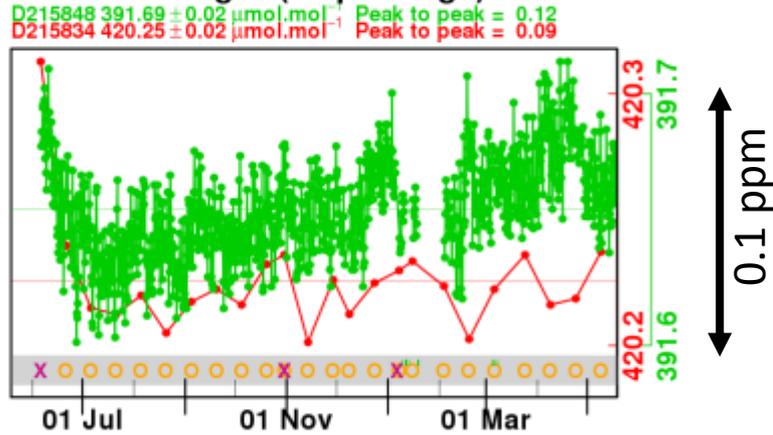
Mesures régulières de gaz d'étalonnage (≈2 fois par mois)
 Mesures régulières d'un gaz de contrôle qualité (≈2 fois par jour)

25 ppm

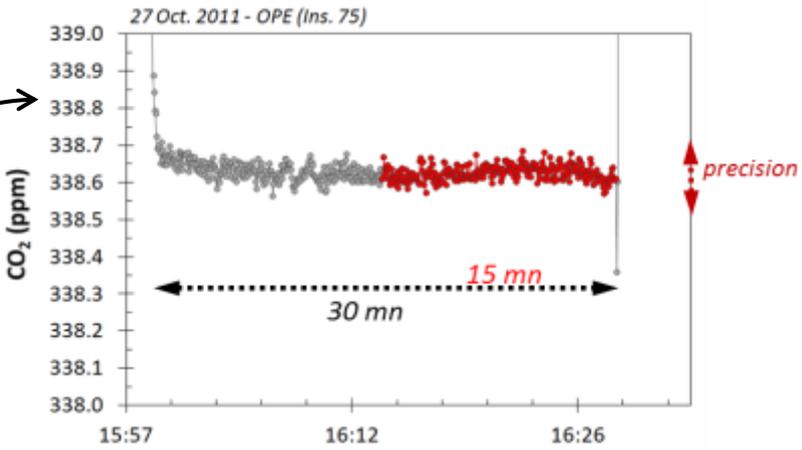
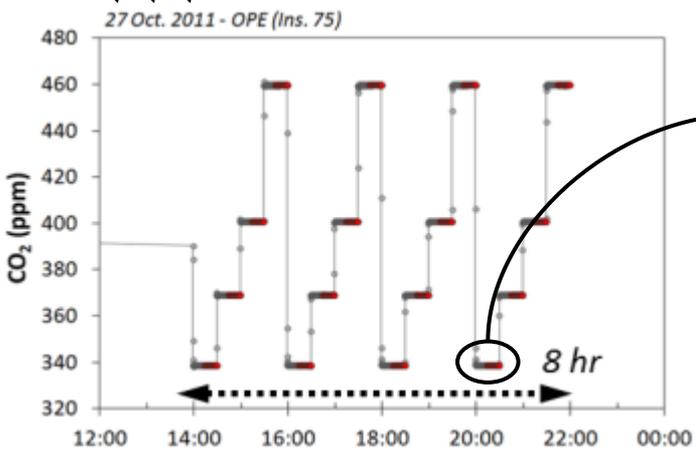
Ambient Air (hly average)



TGT gas (seq average)

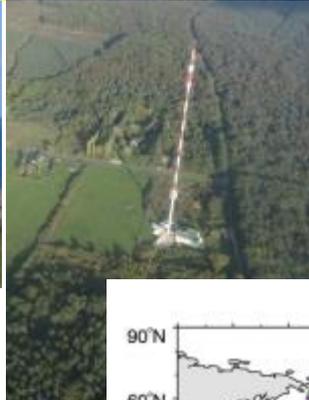


Séquence d'étalonnage



Les programmes historiques de suivi du CO₂

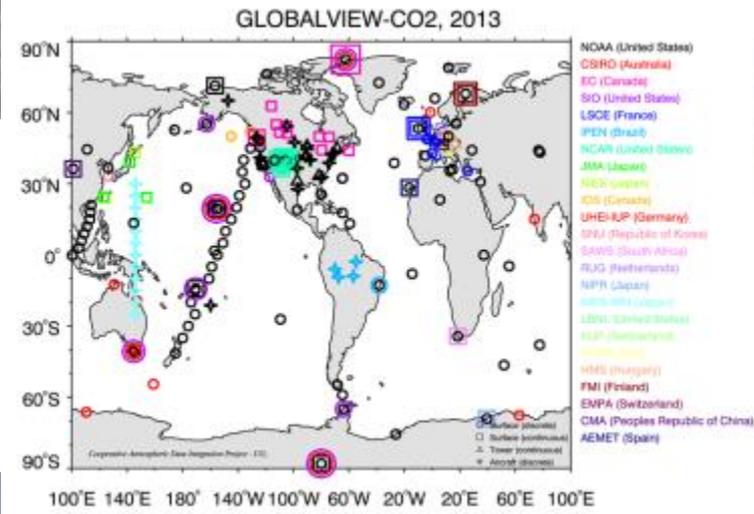
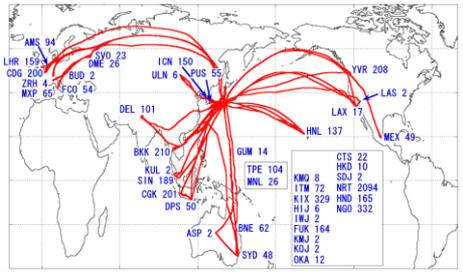
Mesures de surface in-situ



Prélèvements d'échantillons d'air



Mesures aéroportées



← 400 PPM

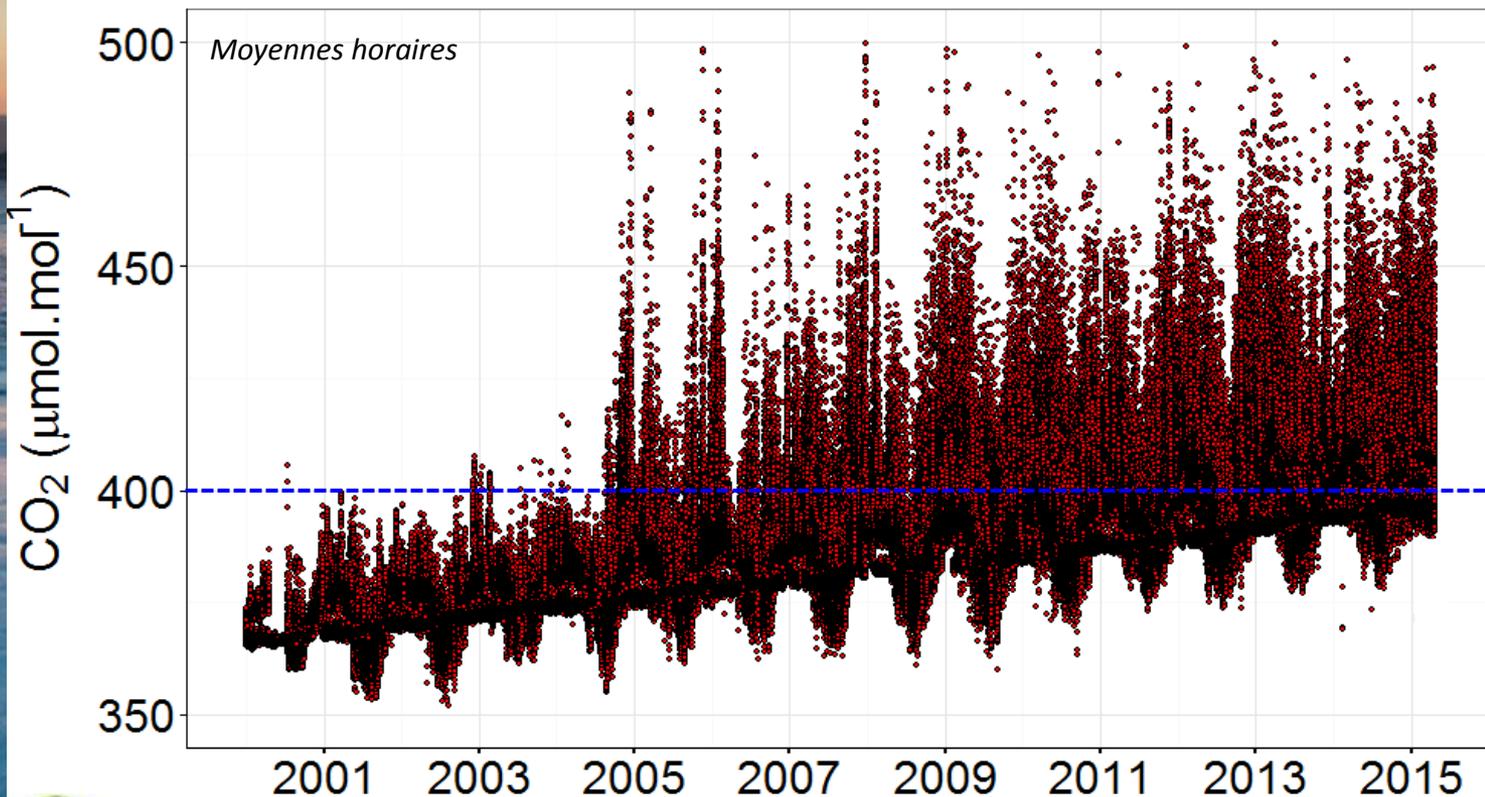
WHAT THIS MEANS

IN THE NEWS

THE 350 TARGET

WHAT WE'RE DOING

SUPPORT 350.ORG



Toutes les mesures de CO₂ faites par le réseau SNO-ICOS-France

←400 PPM

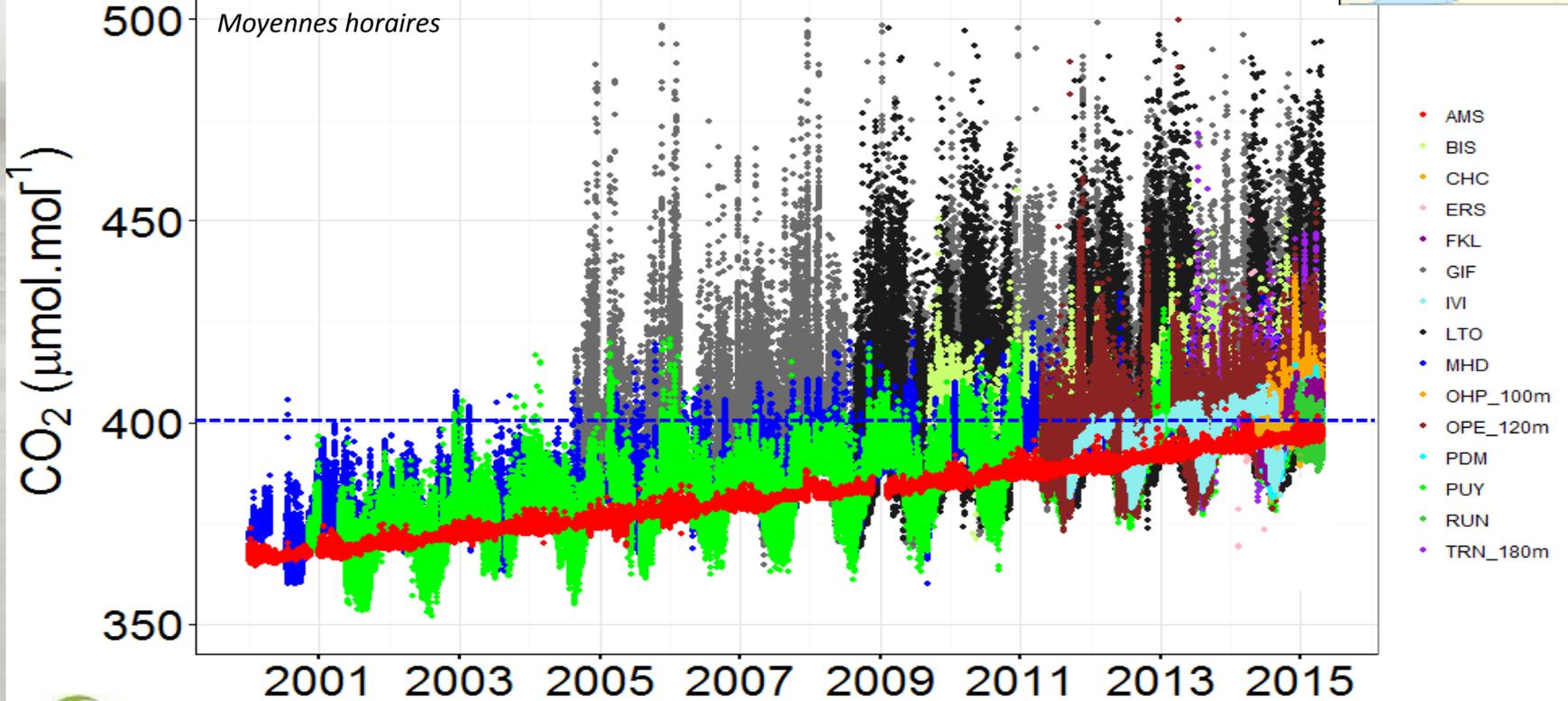
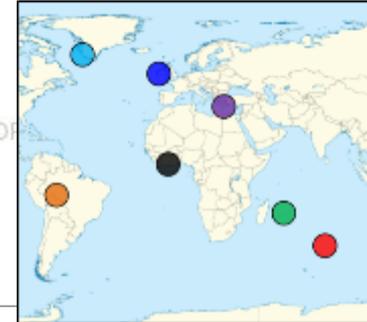
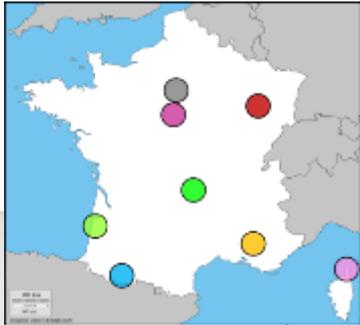
WHAT THIS MEANS

IN THE NEWS

THE 350 TARGET

WHAT WE'RE DOING

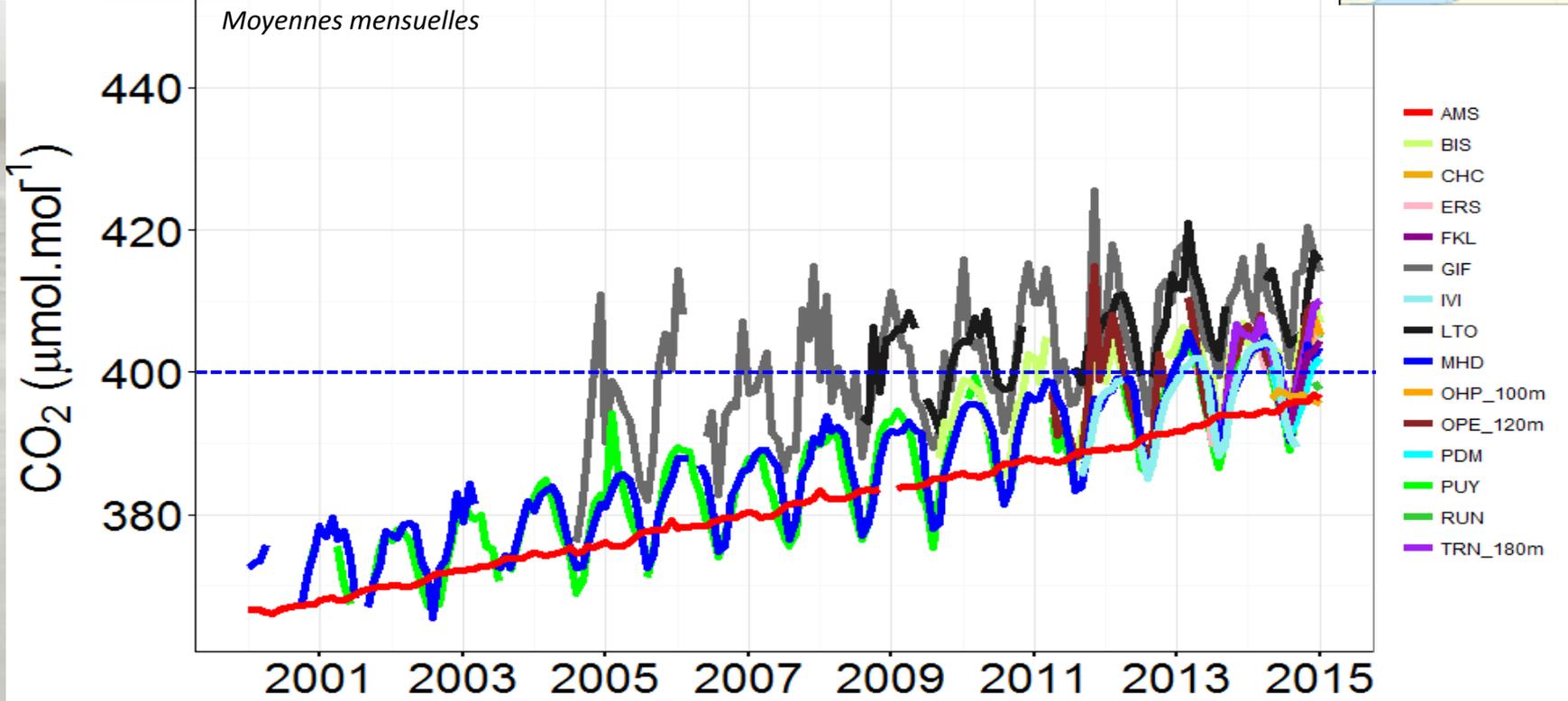
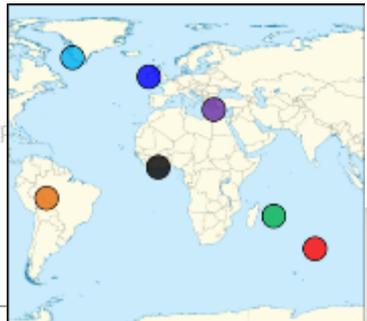
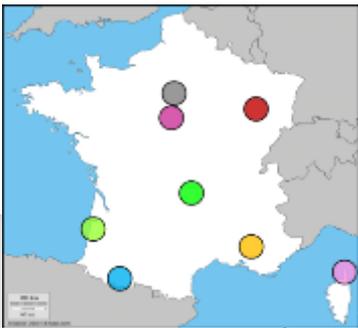
SUPPORT



Toutes les mesures de CO₂ faites par le réseau SNO-ICOS-France

←400 PPM

WHAT THIS MEANS IN THE NEWS THE 350 TARGET WHAT WE'RE DOING SUPPORT



←400 PPM

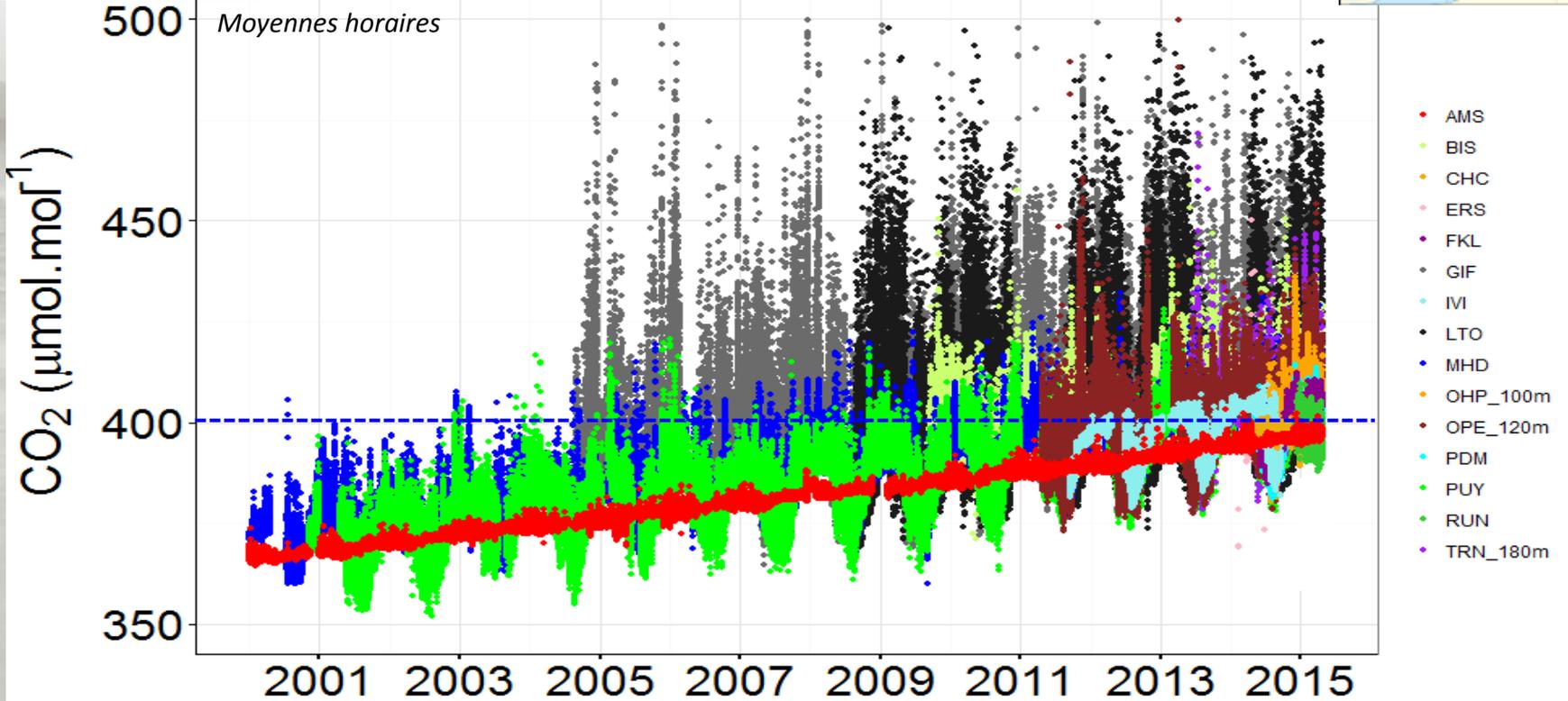
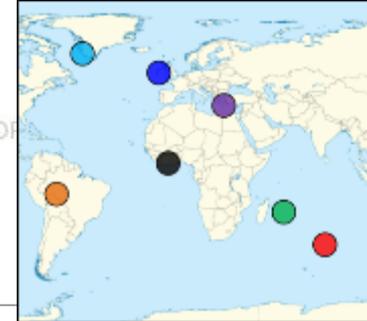
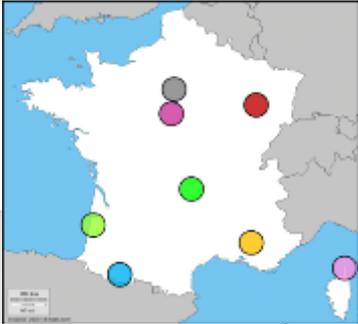
WHAT THIS MEANS

IN THE NEWS

THE 350 TARGET

WHAT WE'RE DOING

SUPPORT



Analyse des variations de CO₂ de la minute à la décennie

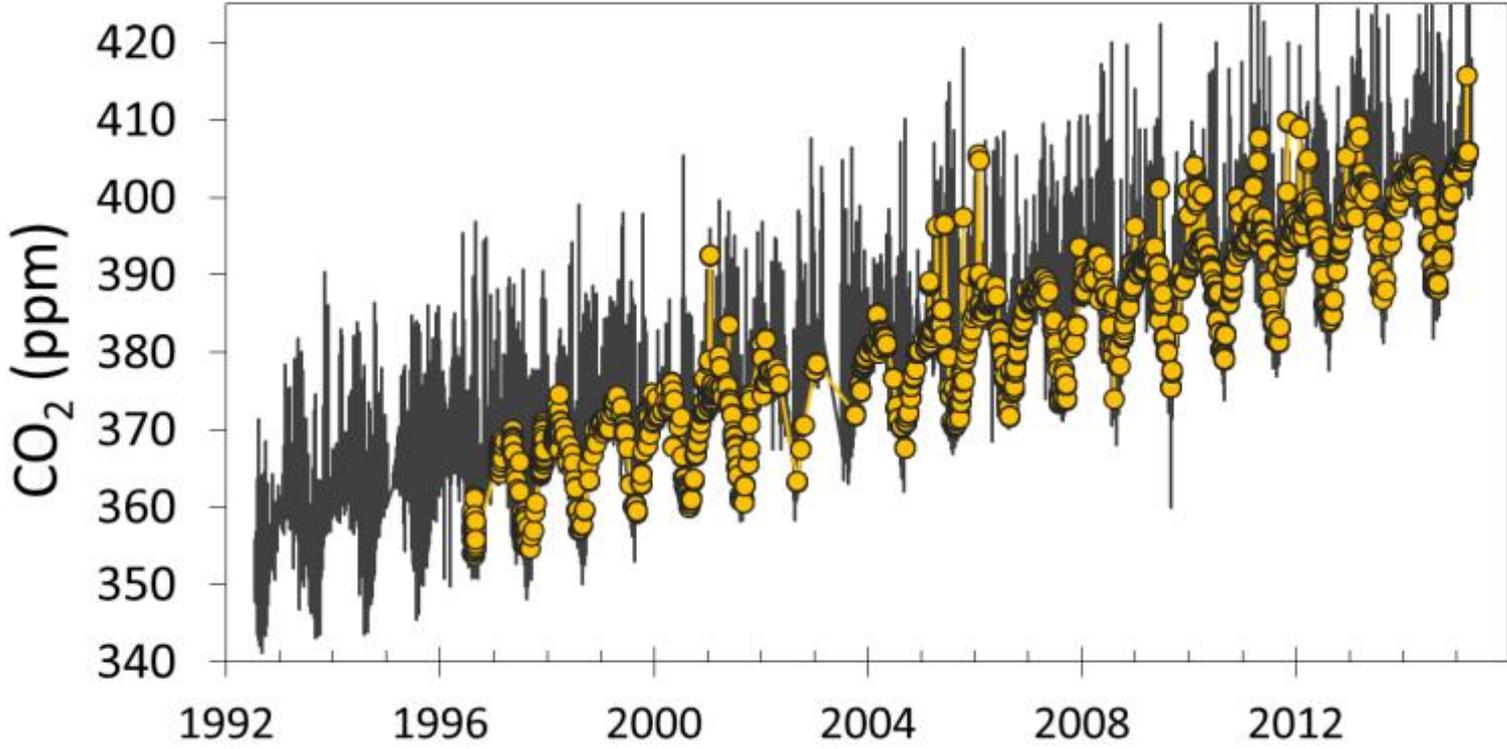
Observatoire de Mace Head, Irlande



- ❑ Station de référence Européenne: caractérisation des masses d'air en amont du continent
- ❑ Station équipée pour de nombreuses mesures (*chimie, aérosols, gaz à effet de serre, météo, ...*)
- ❑ Mesures en continue du CO₂ par le LSCE depuis 1992

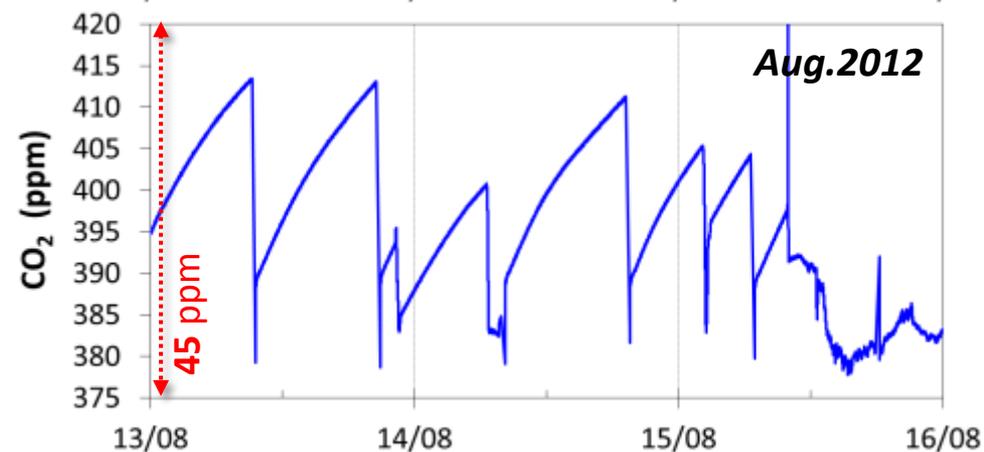
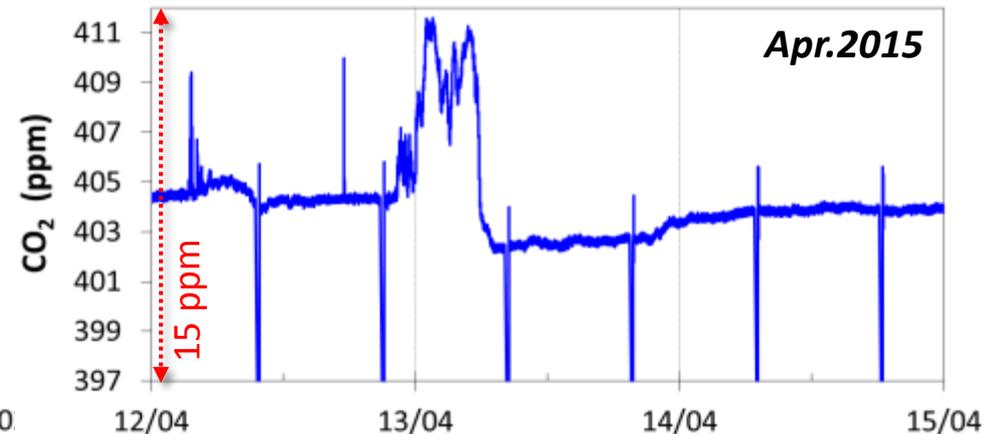
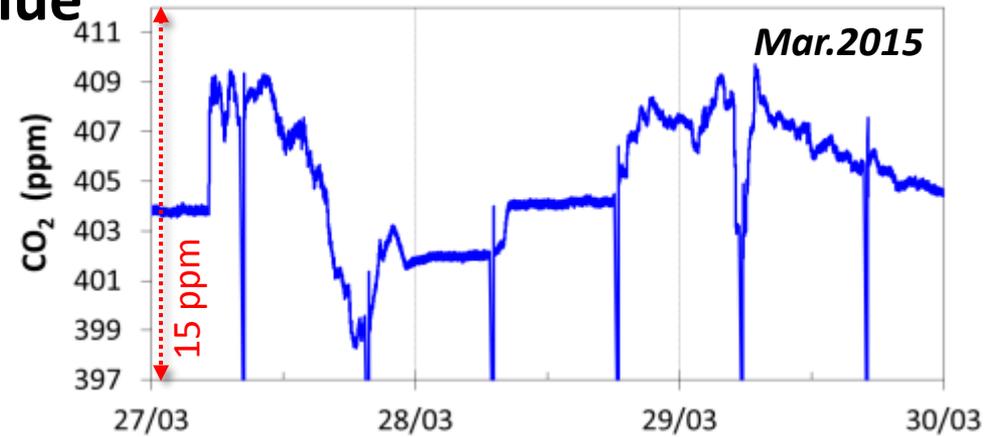
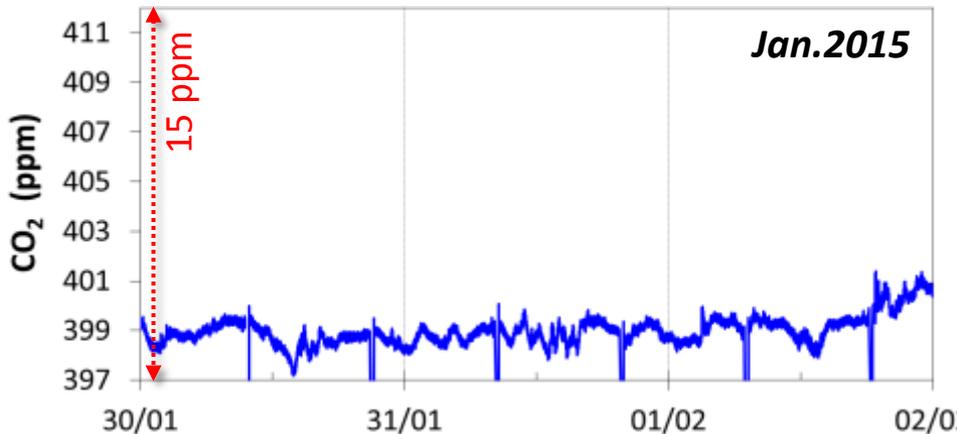


Séries de mesure de CO₂ à Mace Head, Irlande



Traitement des mesures en continue de CO₂ à Mace Head, Irlande

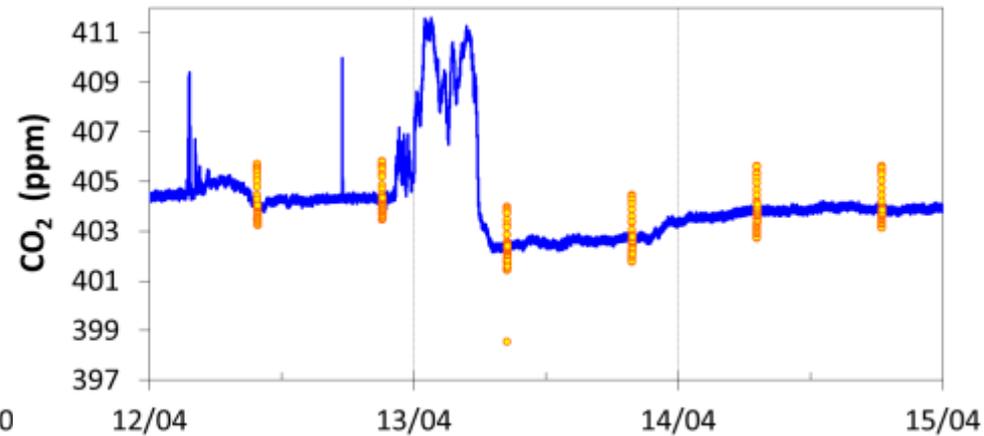
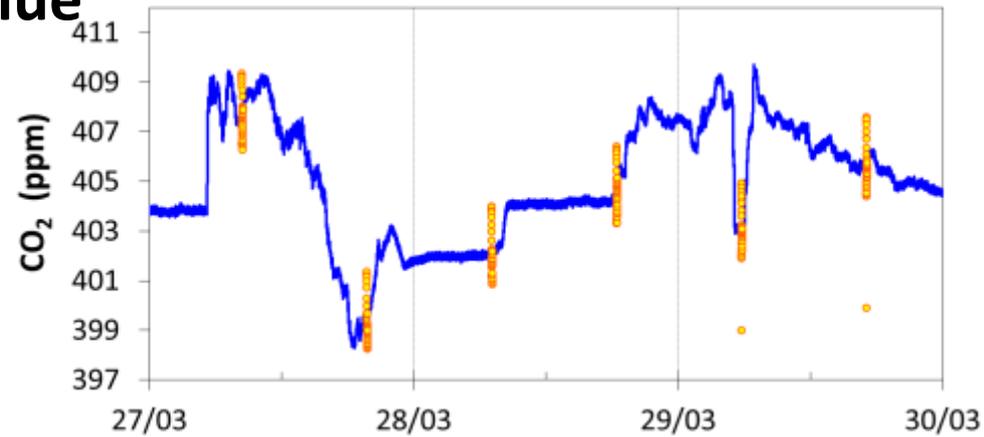
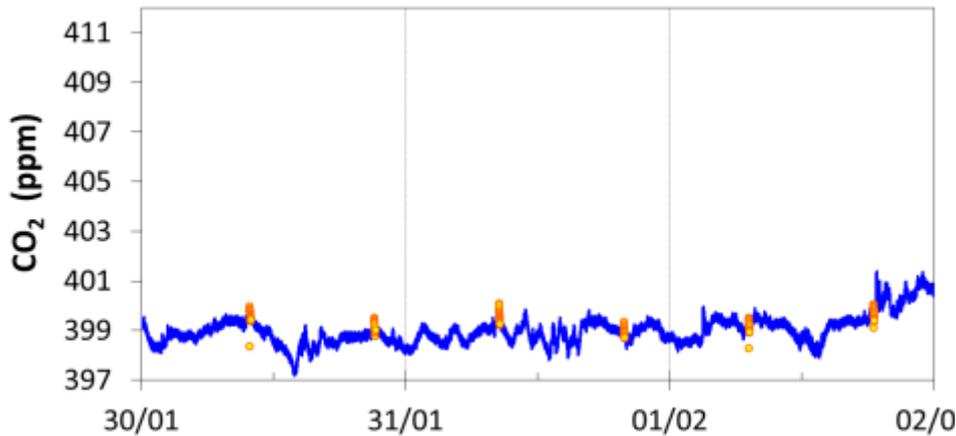
Quelques périodes de 3 jours...



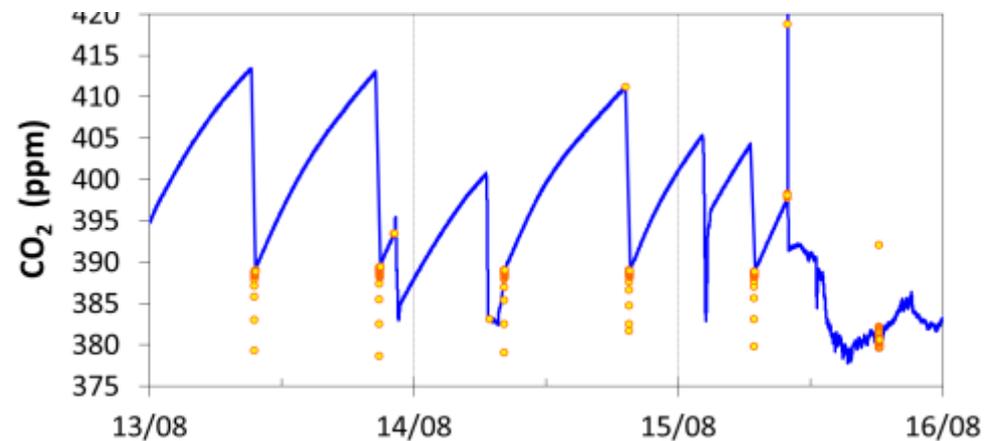
Données brutes de CO₂ mesurées
toutes les 2 à 3 secondes par un
spectromètre à diode laser dans le
proche infra-rouge

Traitement des mesures en continue de CO₂ à Mace Head, Irlande

Contrôles automatisés des mesures

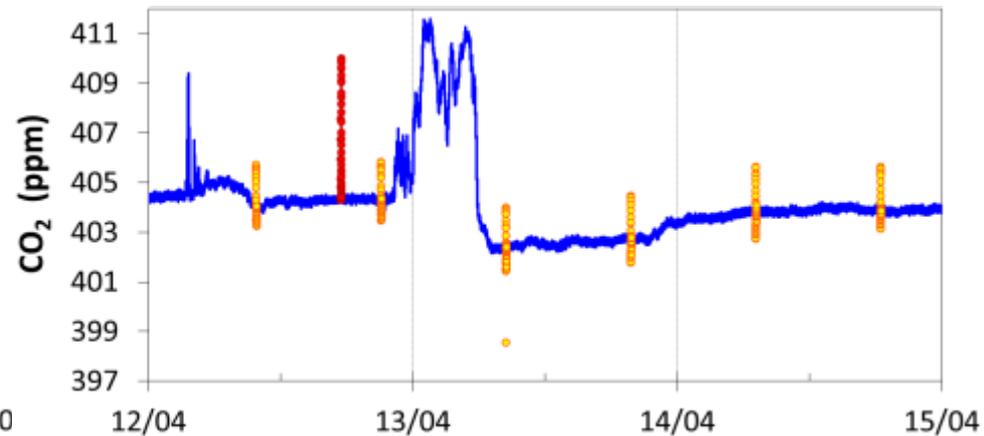
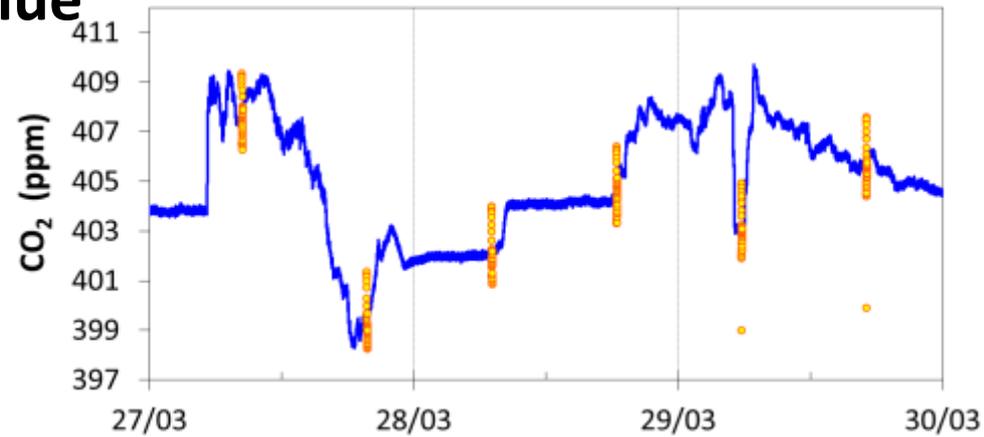
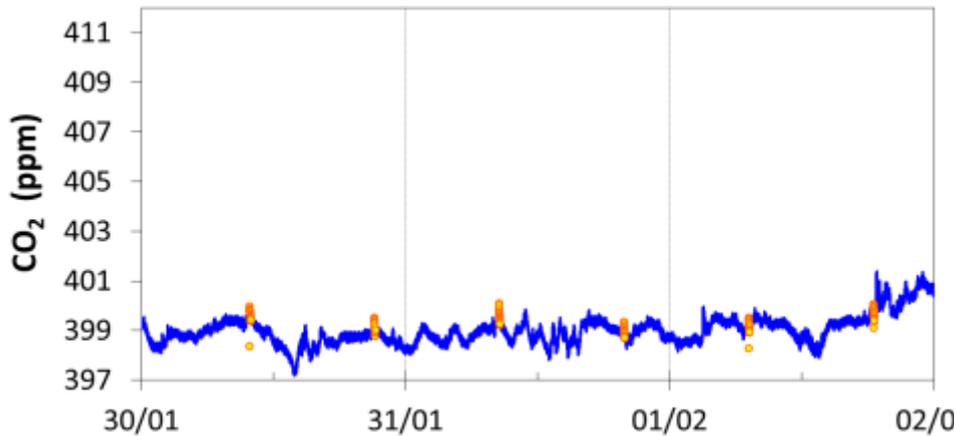


Identification des périodes de purge de la cellule suite aux étalonnages et mesures de contrôle qualité.

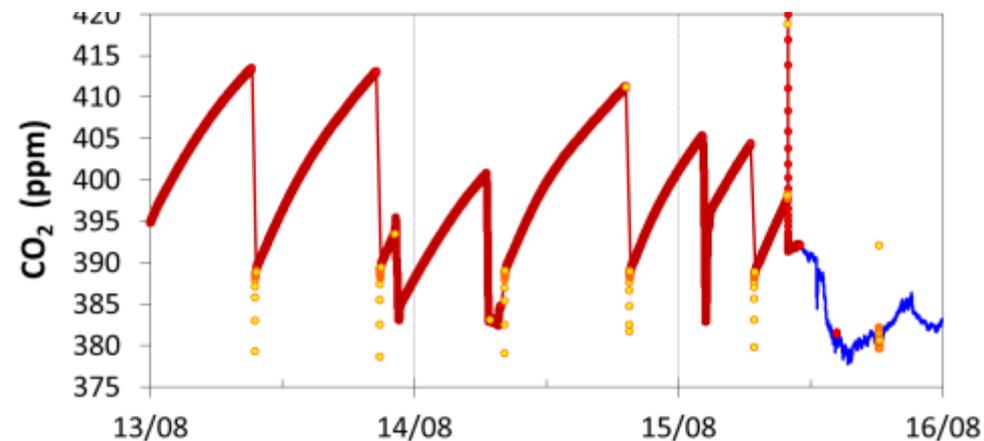


Traitement des mesures en continue de CO₂ à Mace Head, Irlande

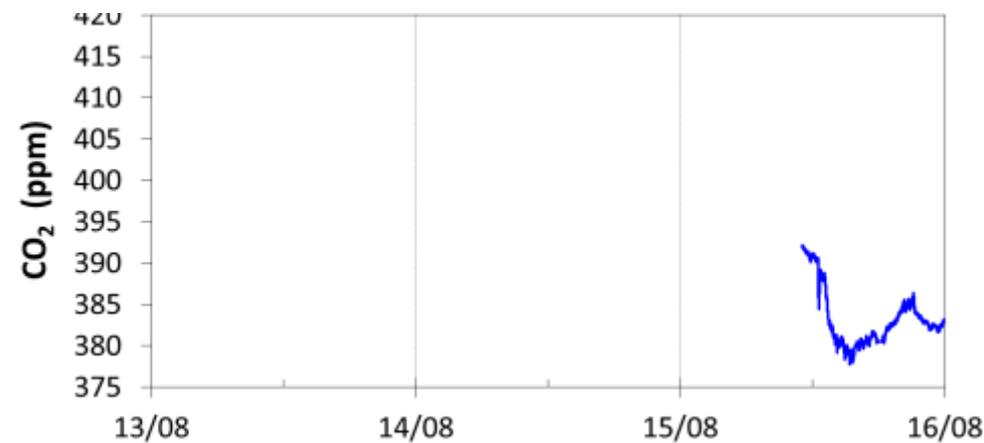
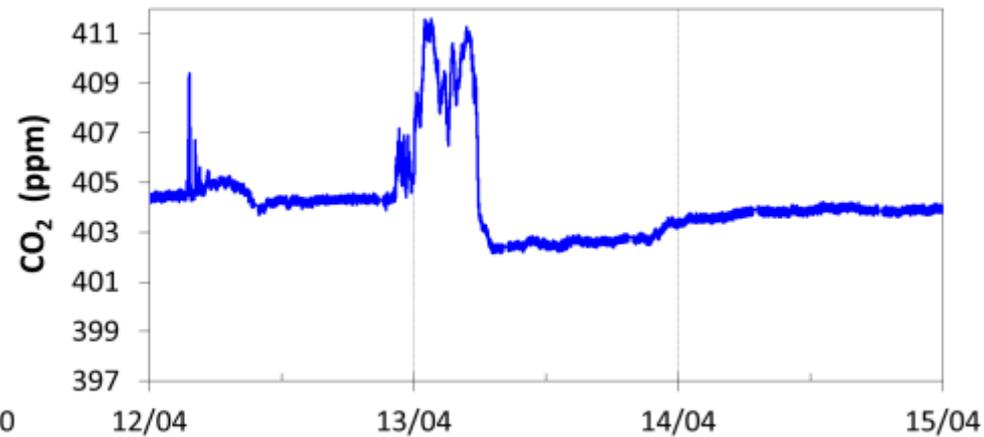
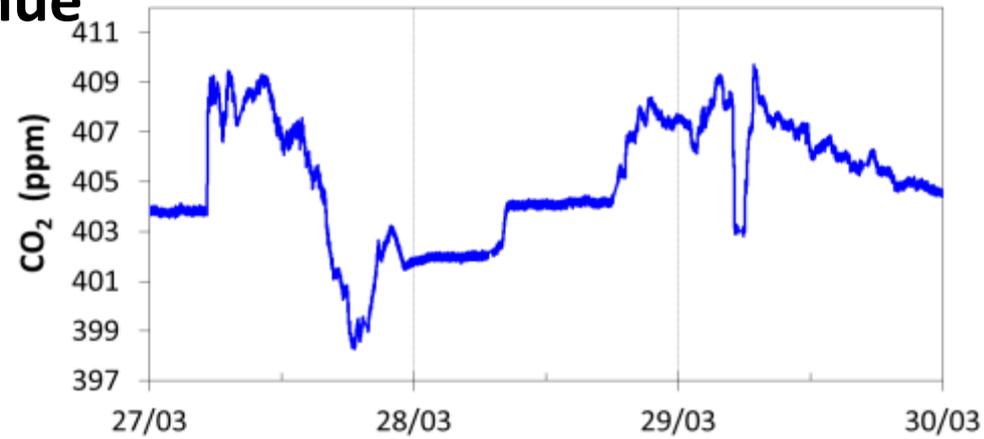
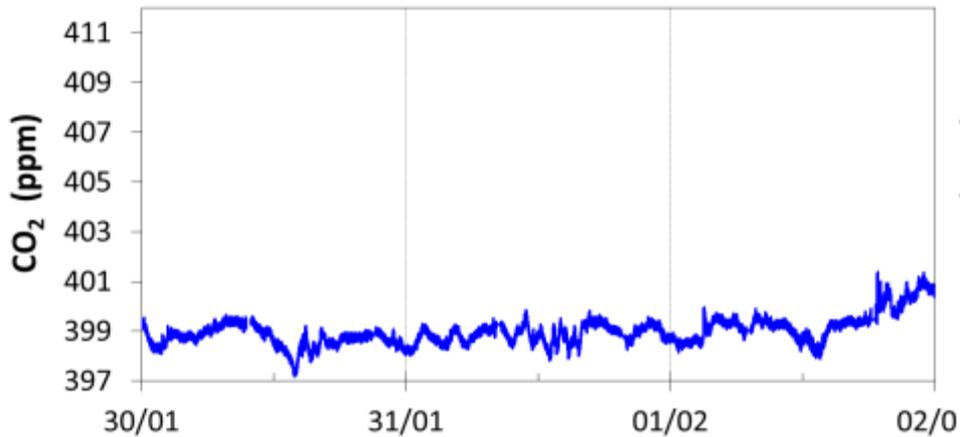
Contrôles par un expert



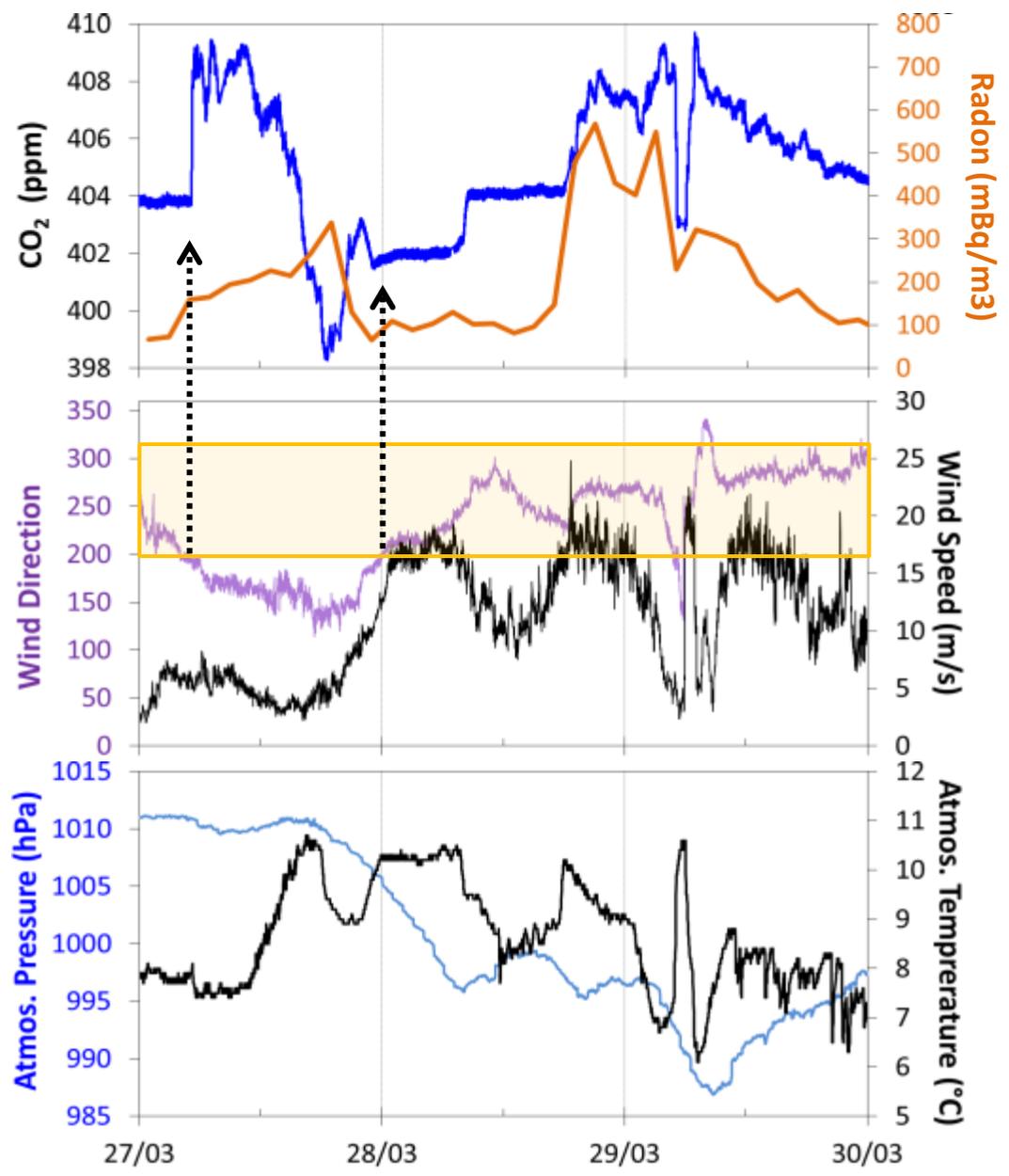
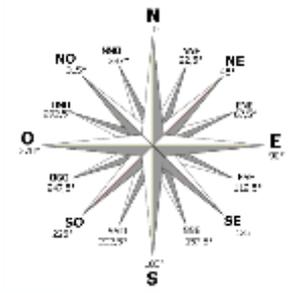
Identification des autres problèmes de
mesure, ou de contamination.



Traitement des mesures en continue de CO₂ à Mace Head, Irlande

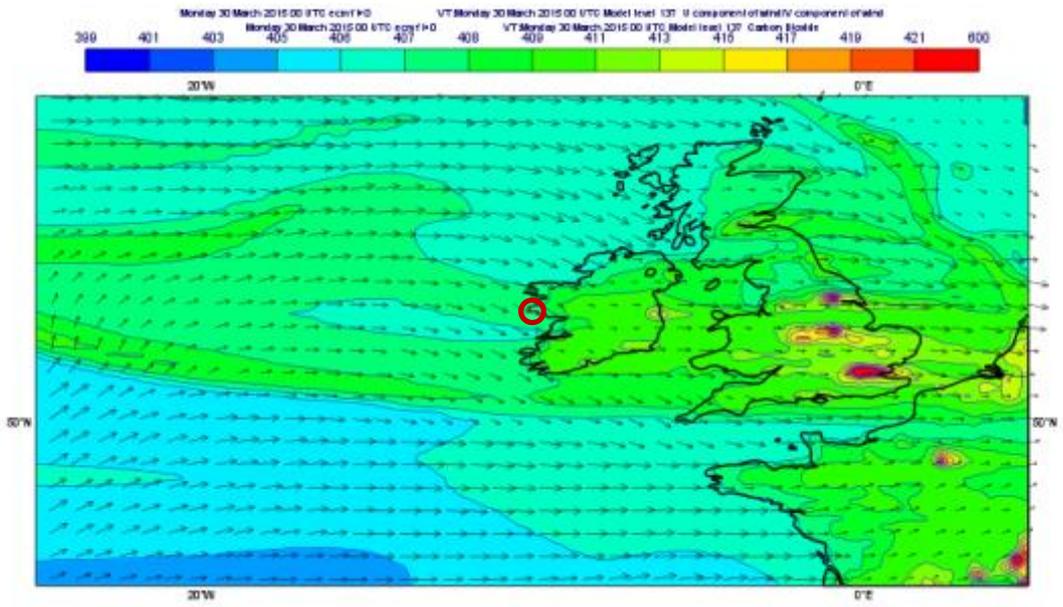
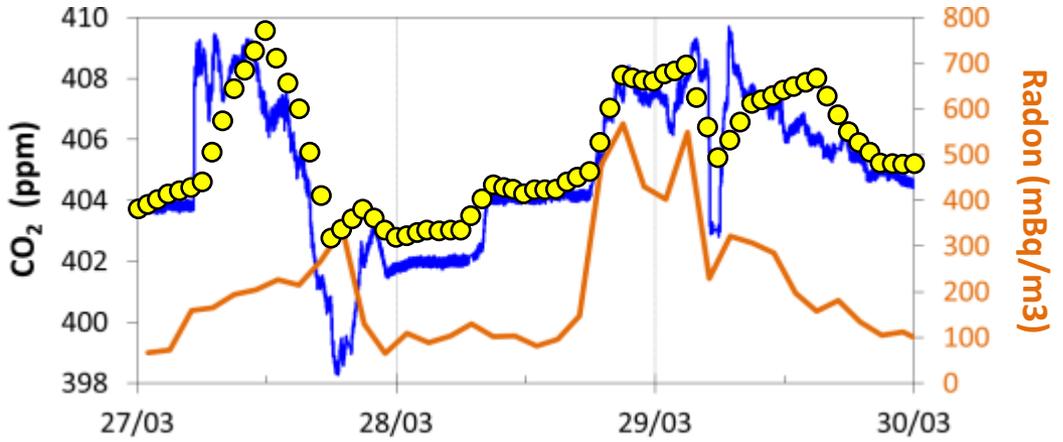
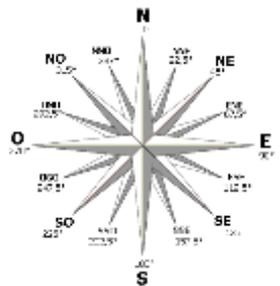


Signaux atmosphériques ou problème instrumental ?



Mars 2015

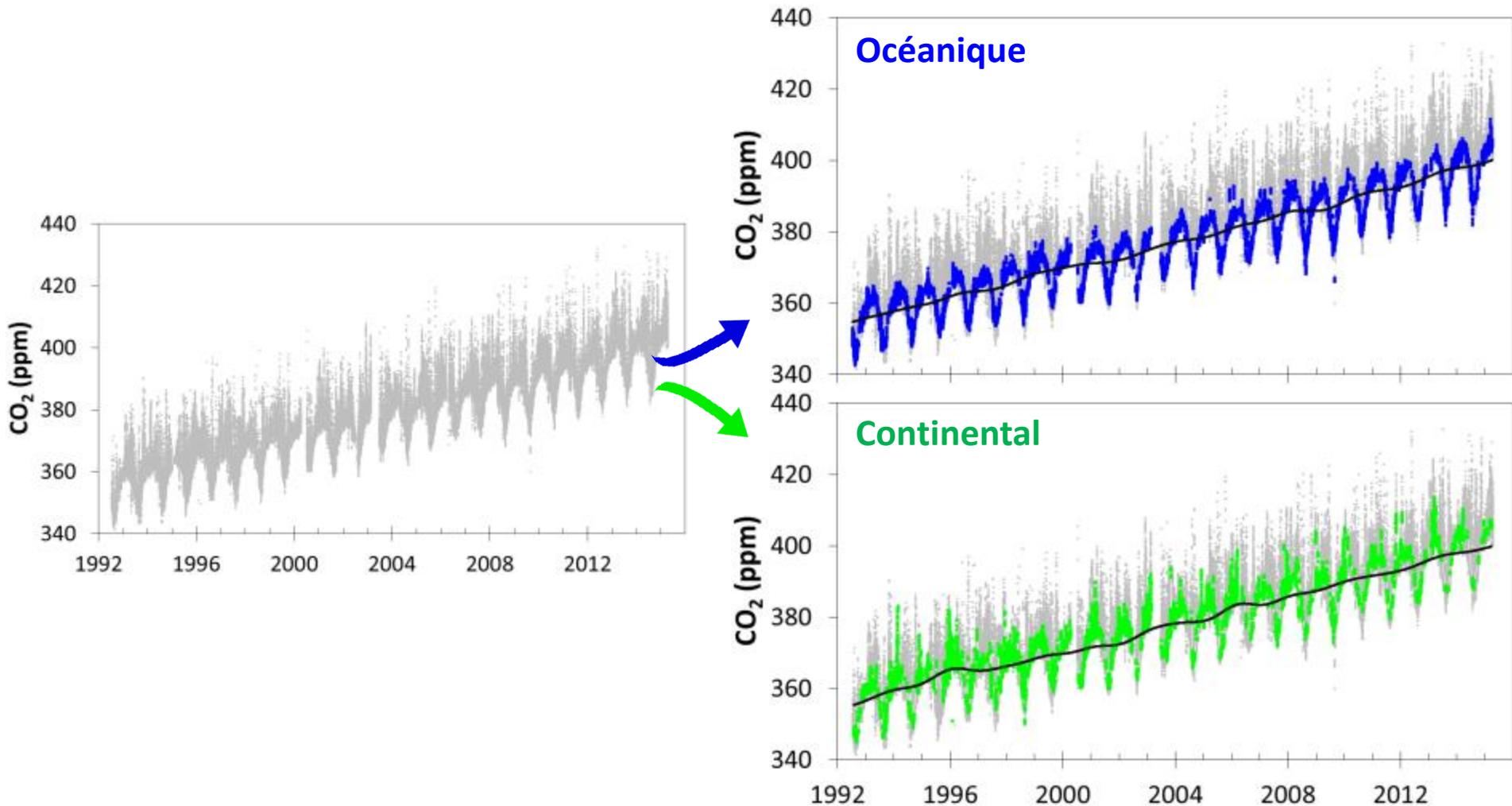
Signaux atmosphériques ou problème instrumental ?



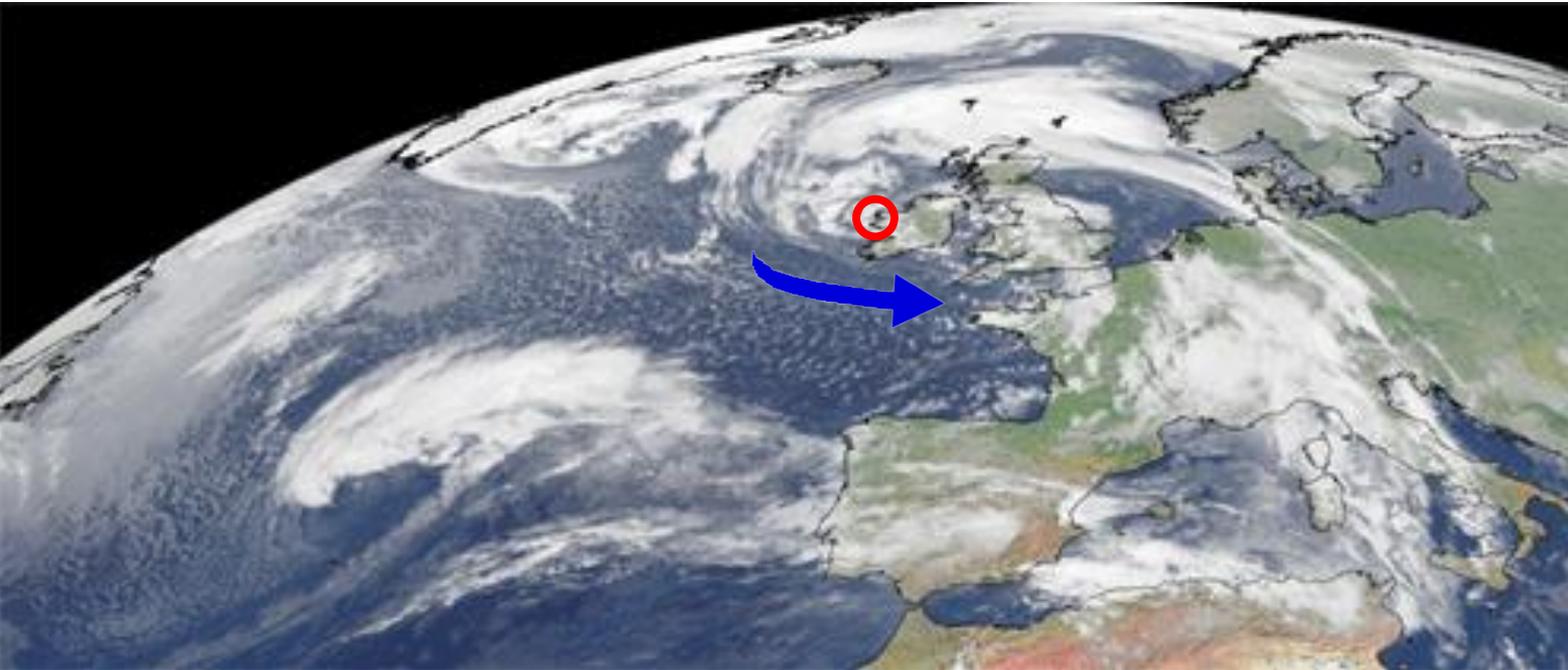
Définition d'une catégorie "Air marin" à partir des mesures de direction/vitesse du vent et de la stabilité horaire du CO₂.

S.Massart & A.Panareda, ECMWF

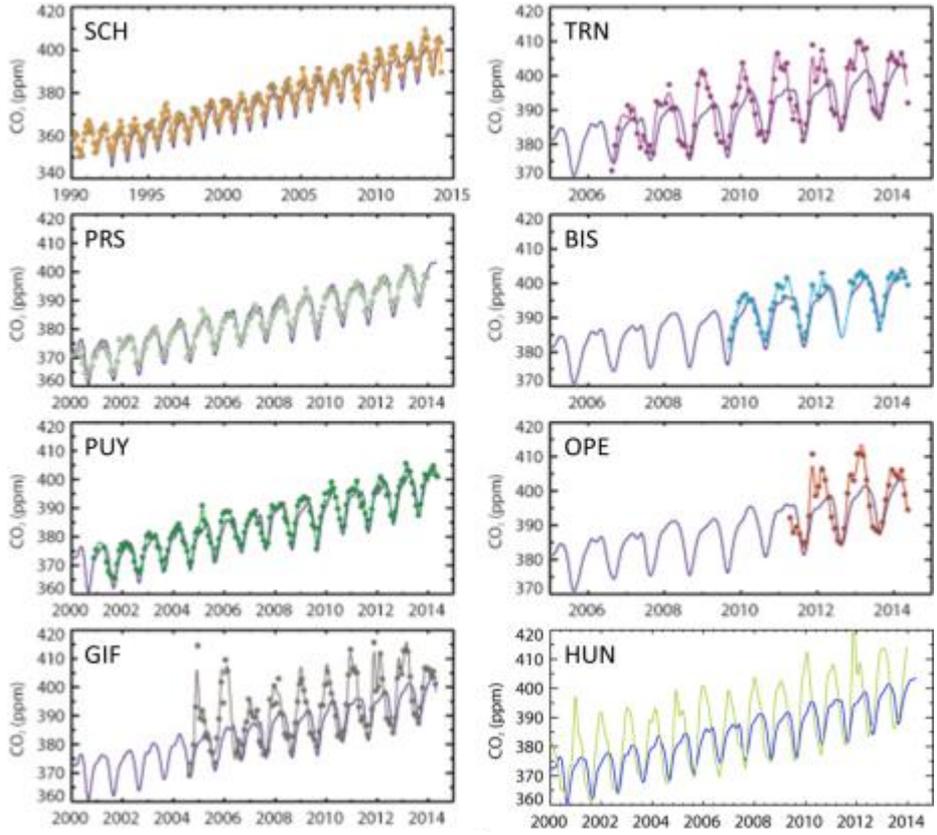
Classification des masses d'air à Mace Head, Irlande



Mace Head comme référence européenne



Mace Head comme référence européenne

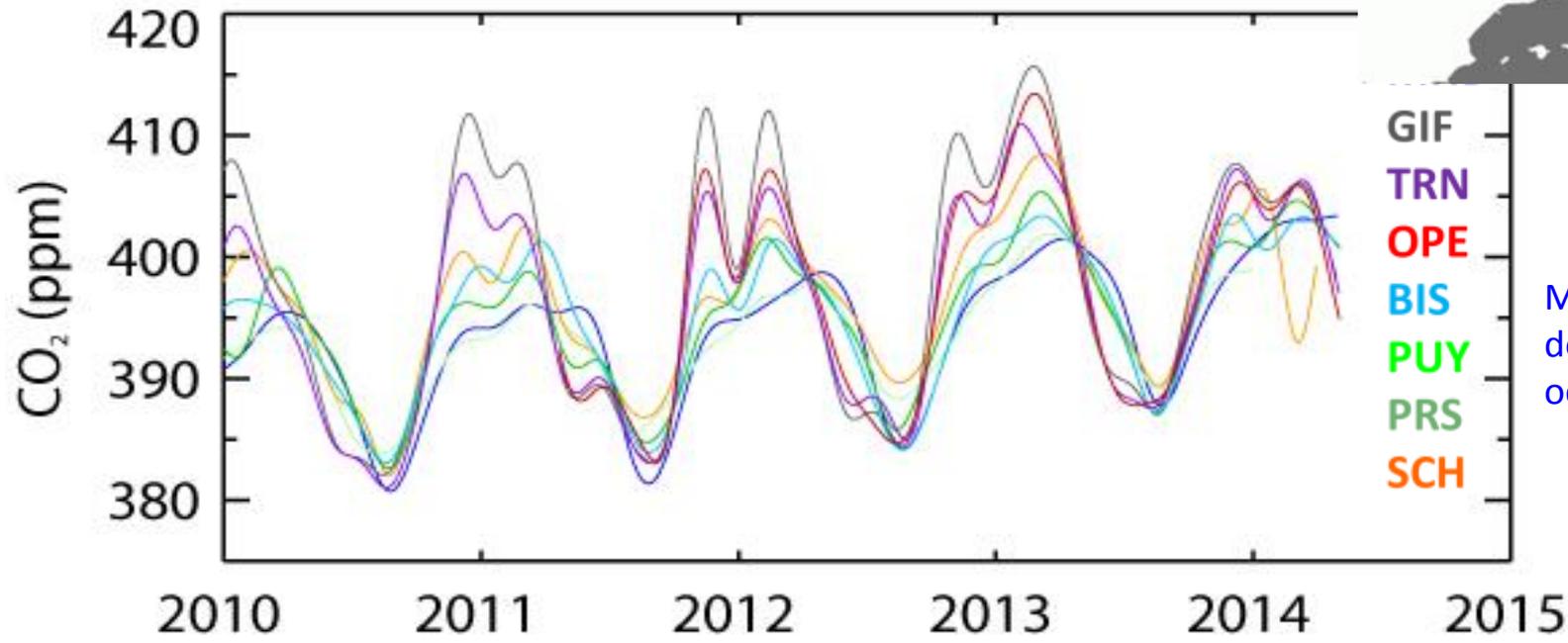
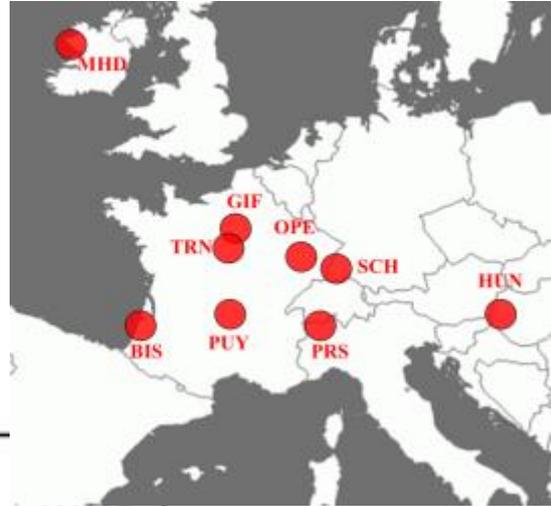


Même échelle de référence (WMO-X2007)

Séries de données sélectionnées pour réduire les effets locaux

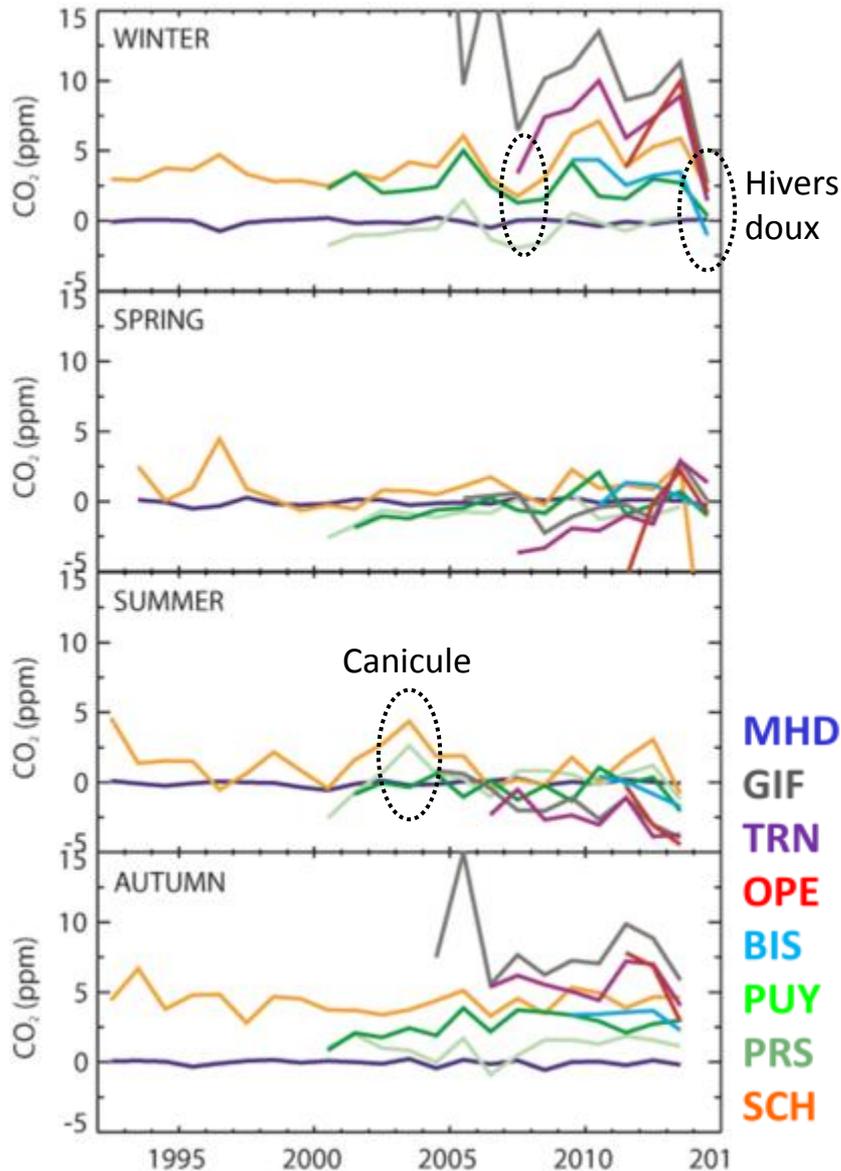


Mace Head comme référence européenne



MHD: sélection des données en secteur océanique

Mace Head comme référence européenne



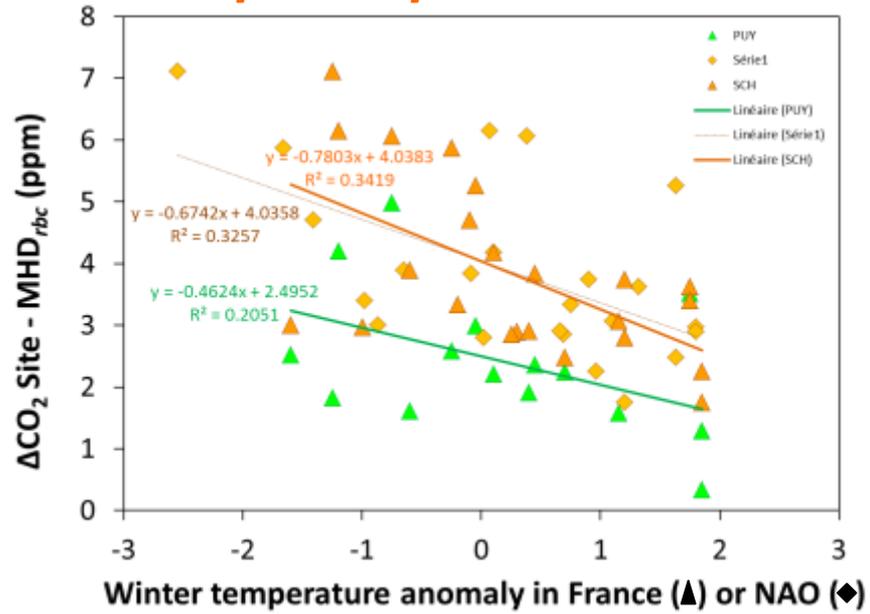
Gradients de +10 ppm (hiver) à -5 ppm (été) entre Mace Head et les stations d'Europe de l'Ouest

Variations interannuelles de 1 à 2 ppm (sauf extrêmes)

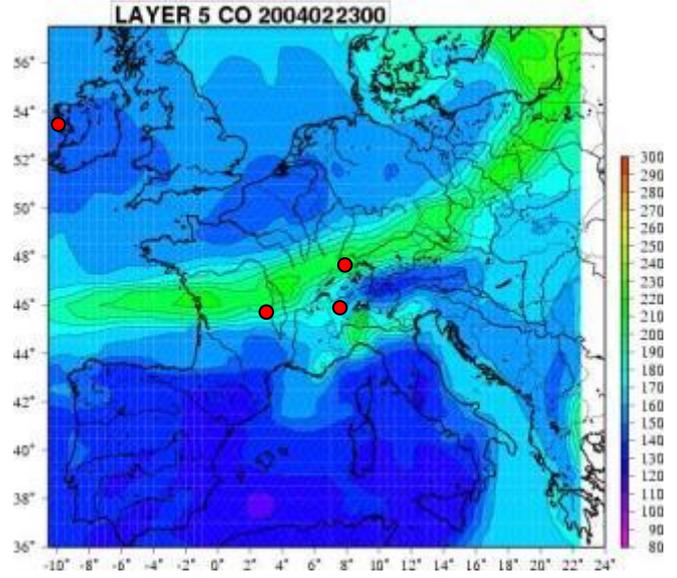
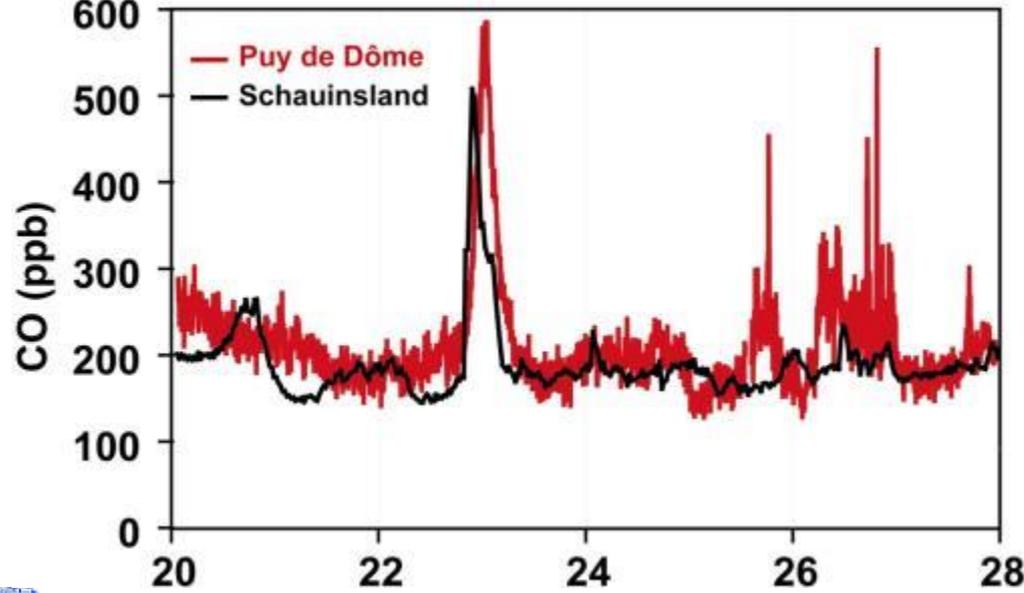
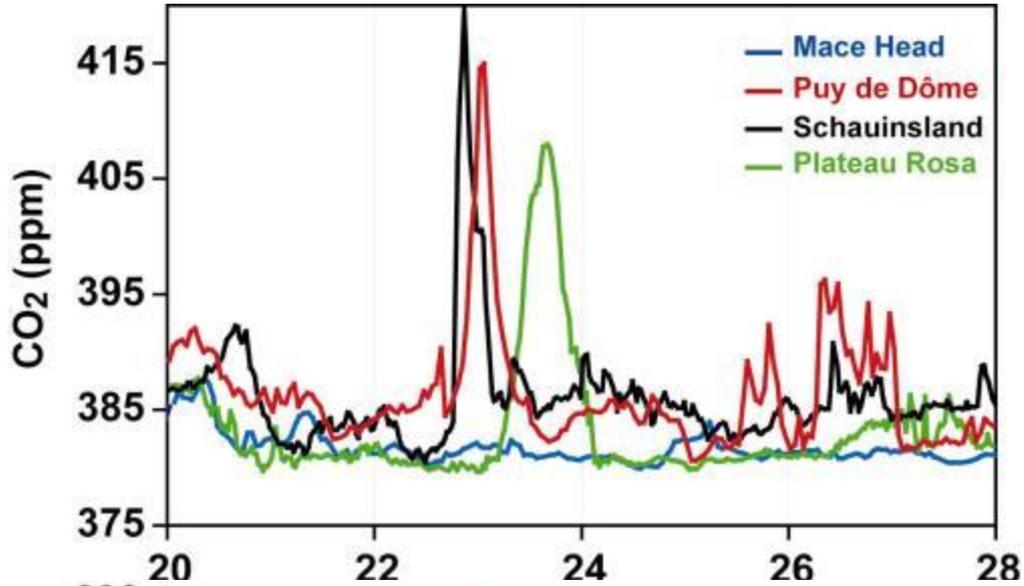
Gradients hivernaux minimums durant les hivers doux

PUY [2000-2014]

SCH [1992-2014]



Front de CO₂ au-dessus de l'Europe



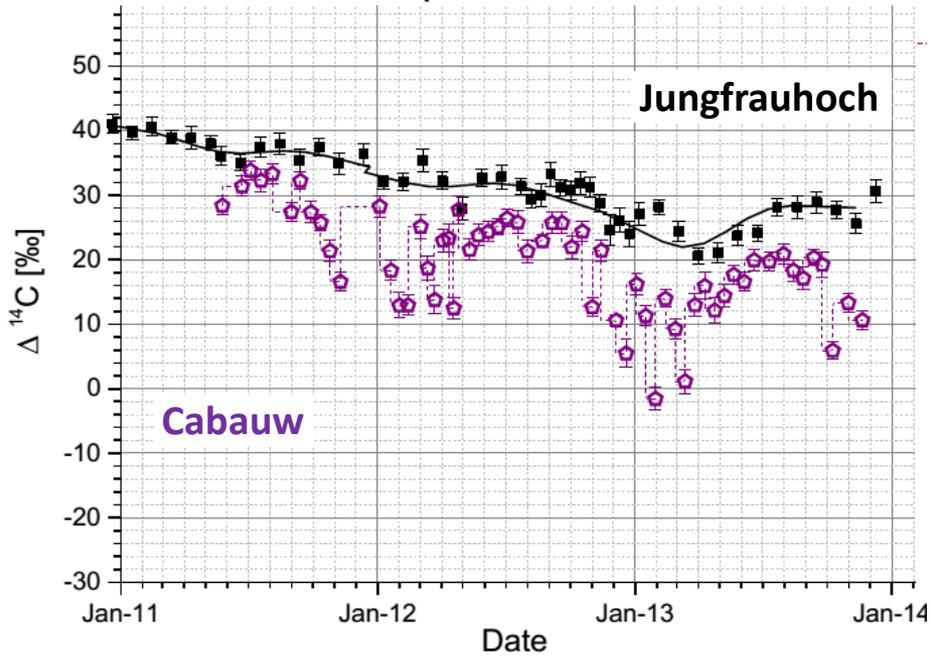
Variabilités diurnes à synoptiques > 10 ppm

Traceurs (ex. CO) pour différencier les contributions anthropiques et biosphériques

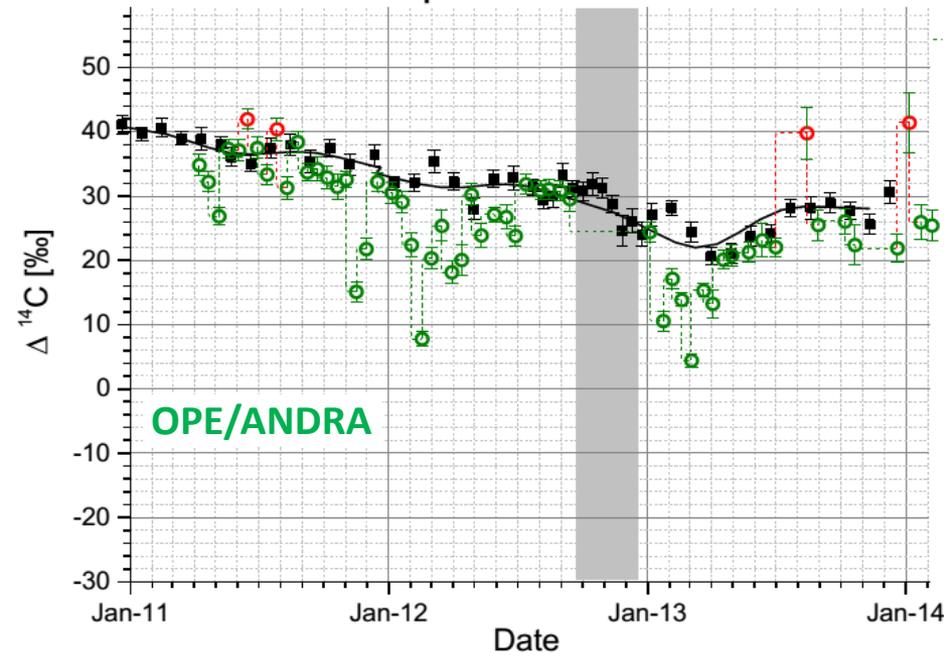
Mesures de $^{14}\text{CO}_2$ en Europe

- Le radiocarbon (^{14}C) décroît avec une demi-vie de 5730 ans
- Les combustibles d'origine fossile sont dépourvus de ^{14}C et leur utilisation produit du $^{12}\text{CO}_2$

atmospheric ^{14}C in CBW

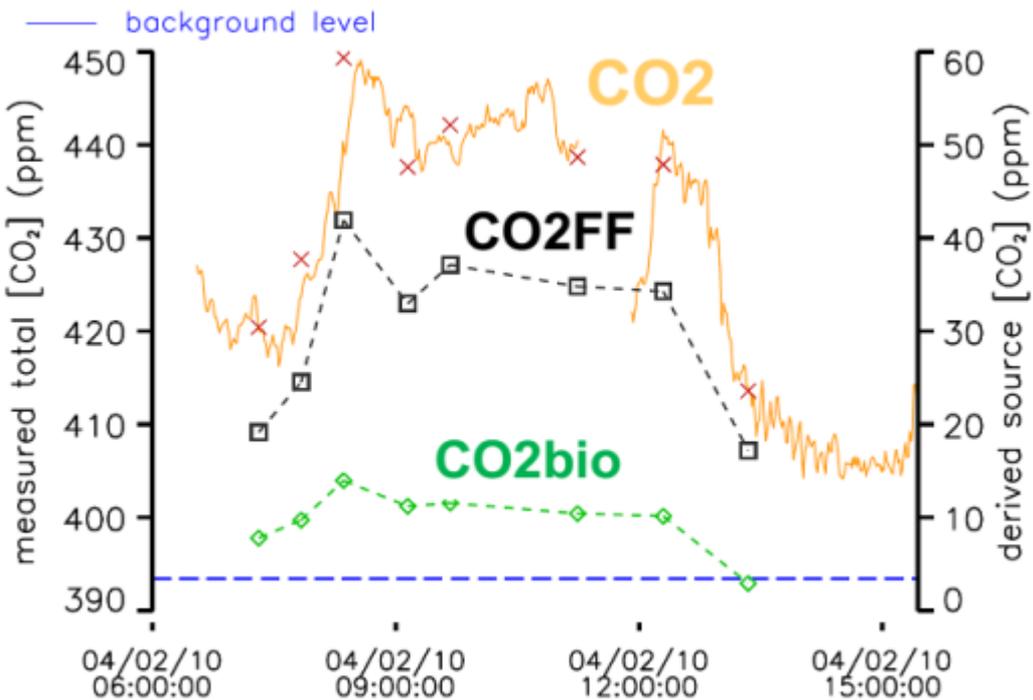


atmospheric ^{14}C in OPE

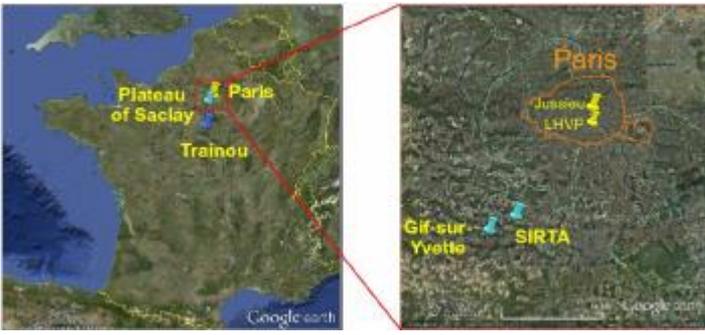


L'utilisation de traceurs pour l'attribution des sources

Etude de cas à Paris (hiver 2010)



$$CO_2ff = CO_{2meas} \times \frac{\Delta^{14}C_{bg} - \Delta^{14}C_{meas}}{\Delta^{14}C_{bg} + 1000}$$



¹⁴CO₂

23% des sources biosphériques
(biofuels, human and plant respiration)

77% des sources d'énergie fossiles
(liquid and gas combustion)

¹³CO₂

70% gas fuel



30% liquid fuel



Les programmes historiques de suivi du CO₂

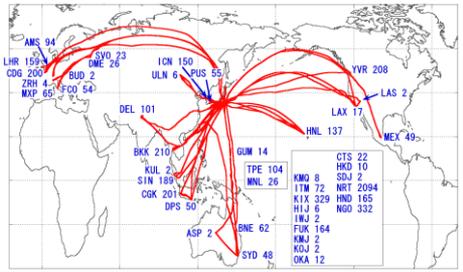
Mesures de surface in-situ



Prélèvements d'échantillons d'air

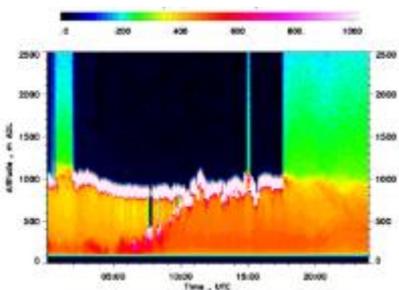


Mesures aéroportées



Super site Trainou (Forêt d'Orléans)

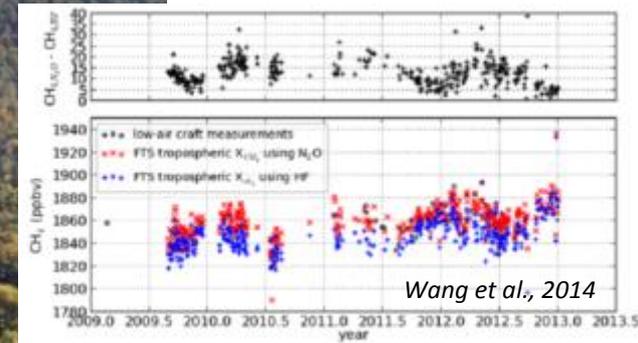
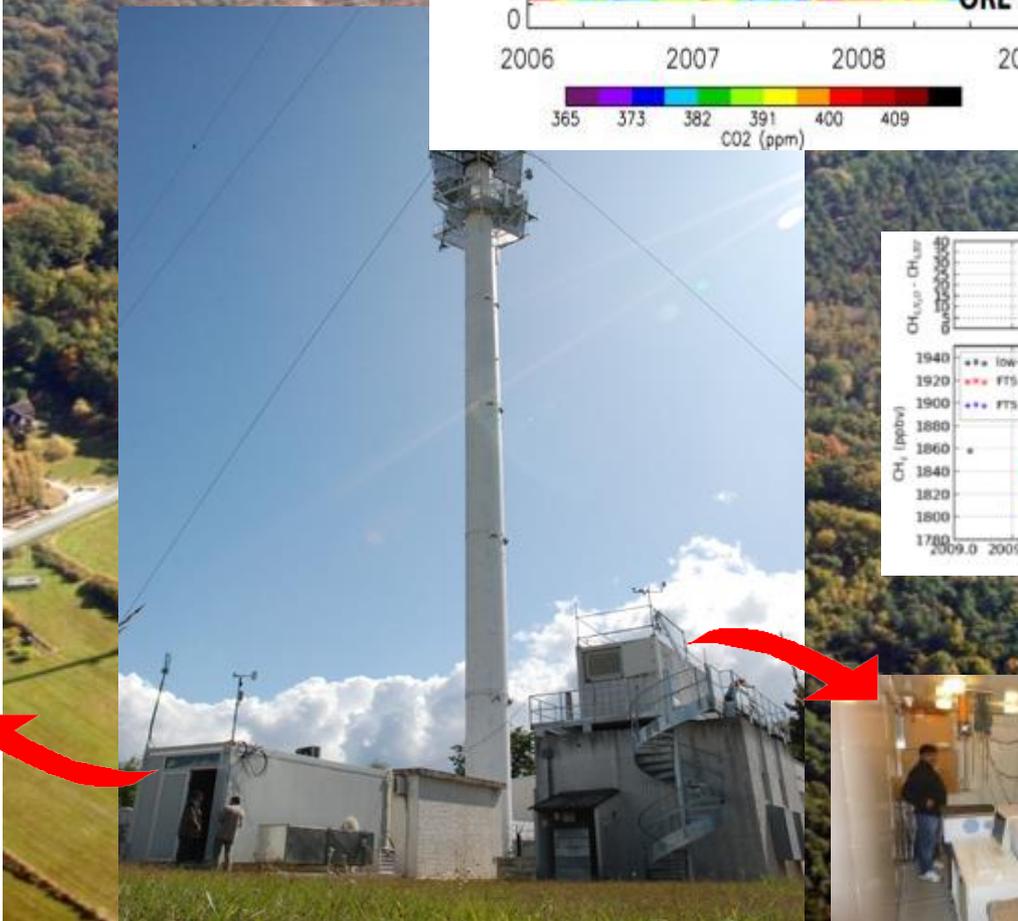
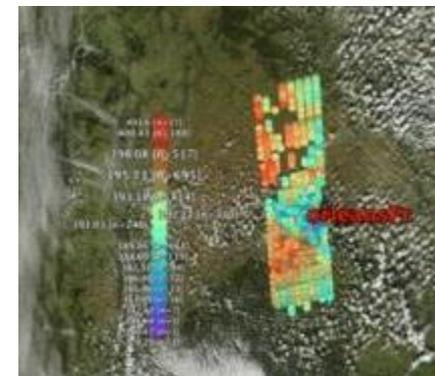
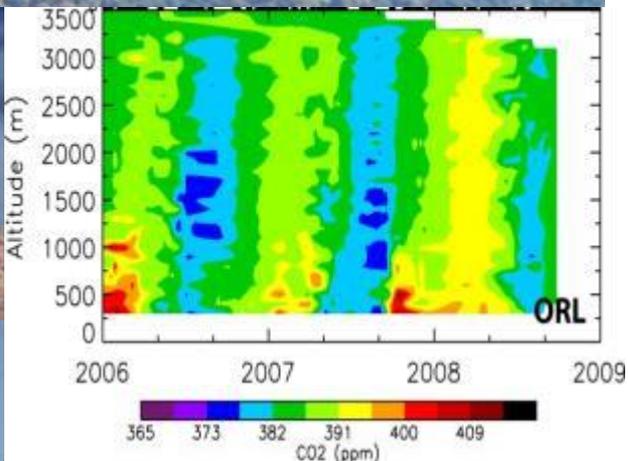
Regular vertical profiles up to 3 km
(CO_2 , CH_4 , CO , H_2O)



Boundary layer detection



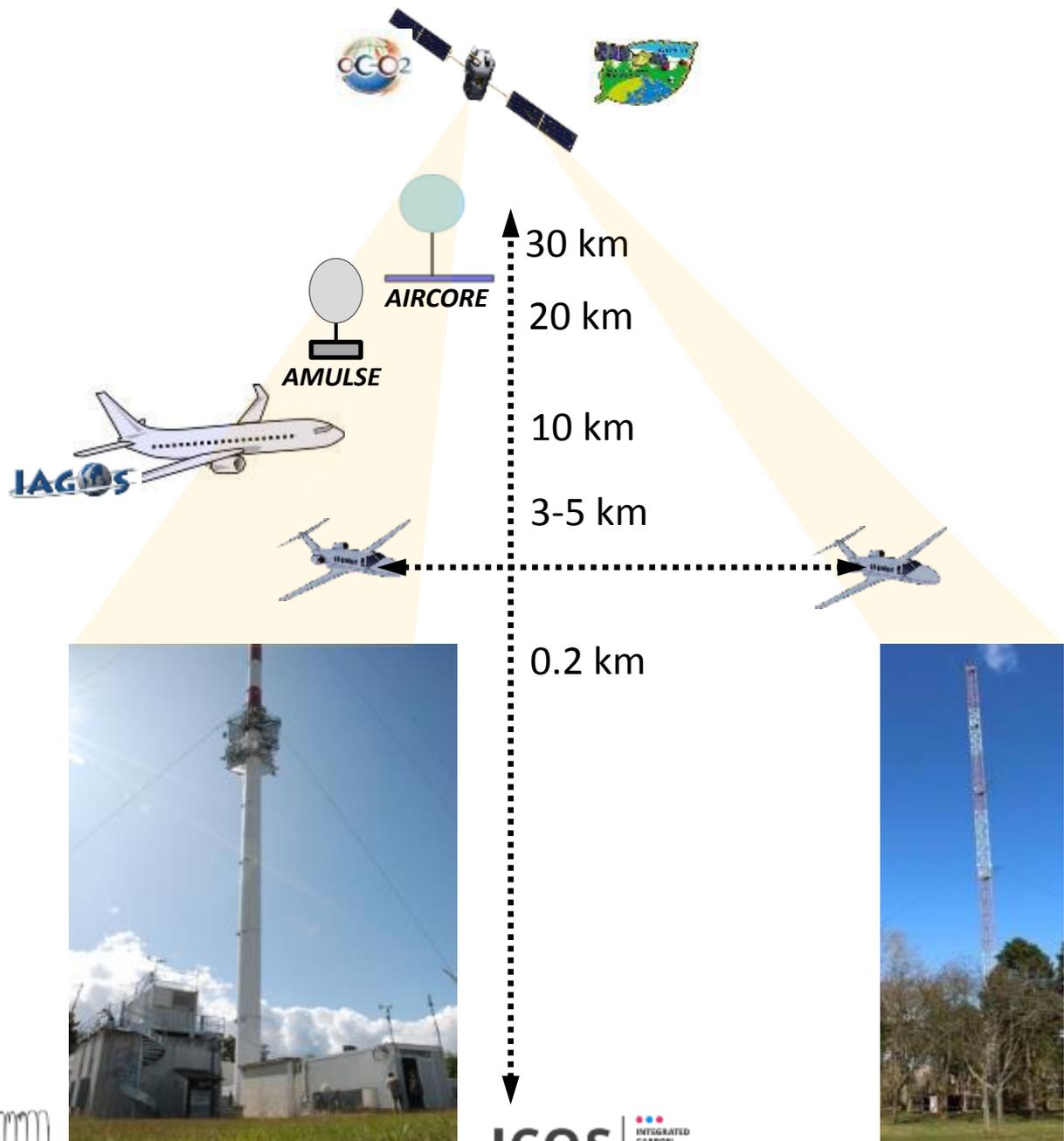
Measurements in the surface layer (5, 50, 100, 180 m)
(CO_2 , CH_4 , CO , H_2 , COS , $^{14}CO_2$, Radon, meteo)



Column-averaged dry-air mole fractions of CH_4



Total column (*rural*)



Total column (*urban*)



TRAINOU Tower



SACLAY Tower

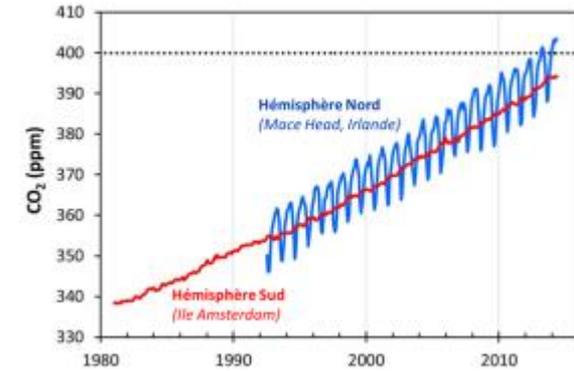


JUSSIEU

100 km

Perspectives

- ❑ 400 ppm sur toute la planète à partir de 2017...
- ❑ Possibilité de vérification des émissions par les mesures atmosphériques
- ❑ Développement des réseaux de mesure: continentaux, régionaux et urbains
- ❑ Développement des mesures en continu de traceurs et isotopes
- ❑ Emergence de nouvelles technologies (Lidar, ...)
- ❑ Miniaturisation des capteurs ...



Capteur de CO₂ (intérieur):
Plage de mesure: 0 à 5000 ppm
Précision: +/- 50 ppm



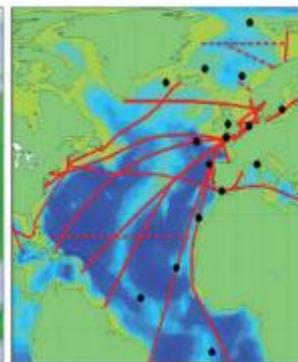
Atmosphere network

Ecosystem network

Ocean network

A EUROPEAN RESEARCH
INFRASTRUCTURE

to provide harmonised
high precision data
on carbon cycle and
greenhouse gas budgets



www.icos-ri.eu

<https://icos-atc.lsce.ipsl.fr>

ICOS Atmospheric Measurement Network

Click an ICOS station (yellow star) to get information and direct access to selected station Panel Board.

[Link](#) to ICOS-atmosphere interim data policy. To register, please contact admin (a) icos-atc.lsce.ipsl.fr

[Link](#) to preICOS station data.



Merci de votre attention

