



Mesures quasi-lagrangiennes d'ozone et d'aérosols sous ballon traceur dans la basse troposphère

François Dulac⁽¹⁾, Pierre Durand⁽²⁾,

Jean-Baptiste Renard⁽³⁾, François Gheusi⁽²⁾,

Marc Mallet⁽²⁾, et Nicolas Verdier⁽⁴⁾



LSCE

Laboratoire des Sciences du
Climat et de l'Environnement



Laboratoire d'Aérodynamique

(1) LSCE, CEA-CNRS-UVSQ, CEA Saclay, FR

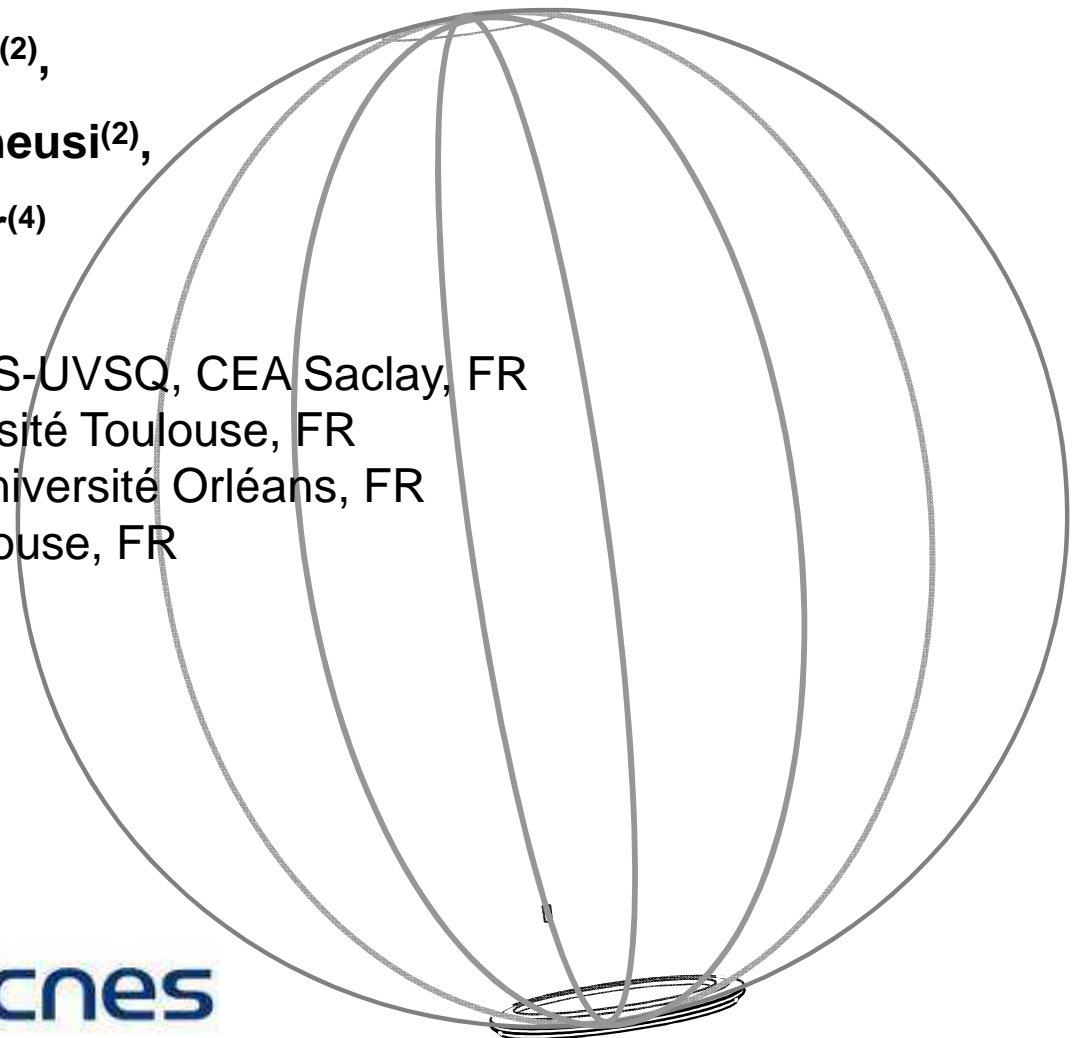
(2) LA, CNRS-Université Toulouse, FR

(3) LPC2E, CNRS-Université Orléans, FR

(4) CNES, CST Toulouse, FR



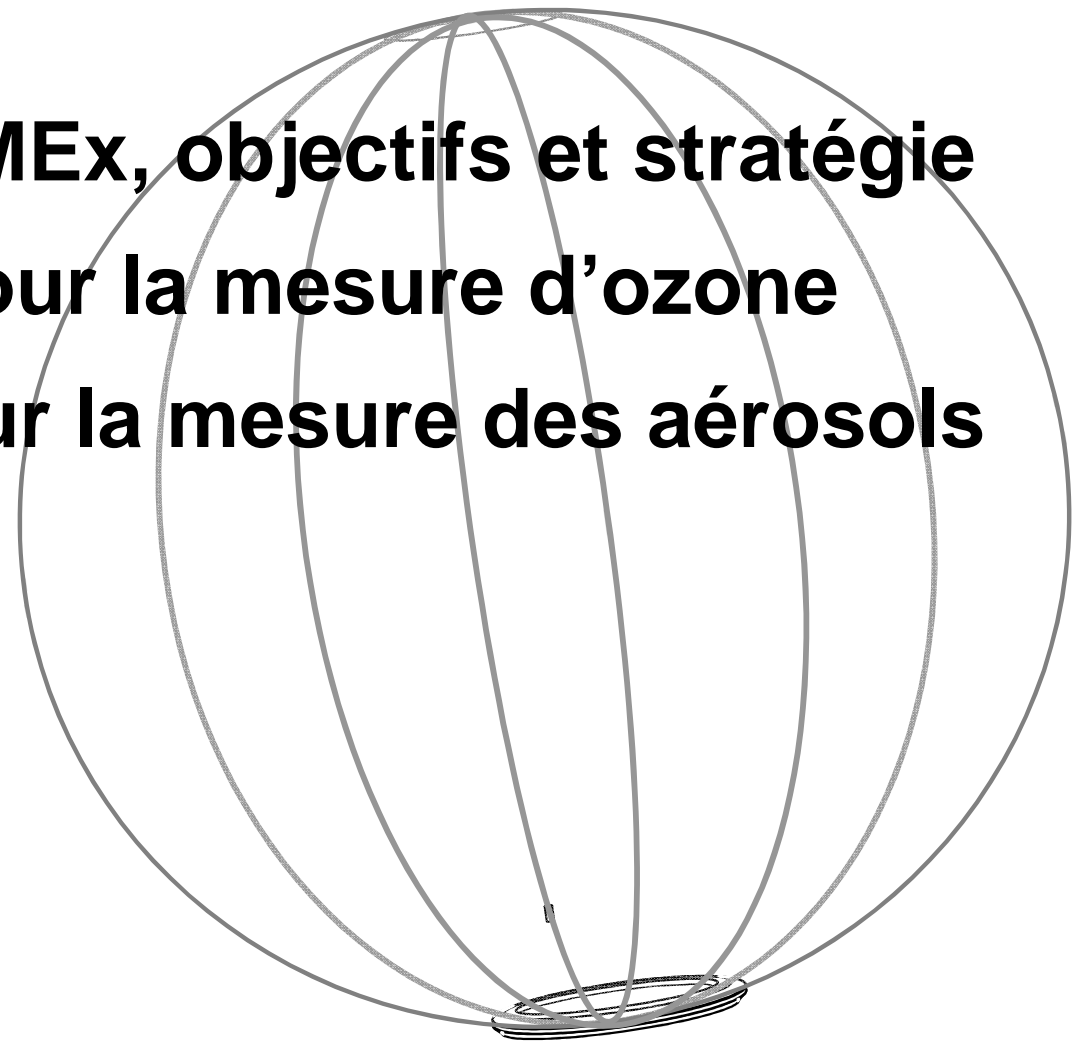
Laboratoire de Physique et Chimie
de l'Environnement et de l'Espace





Sommaire

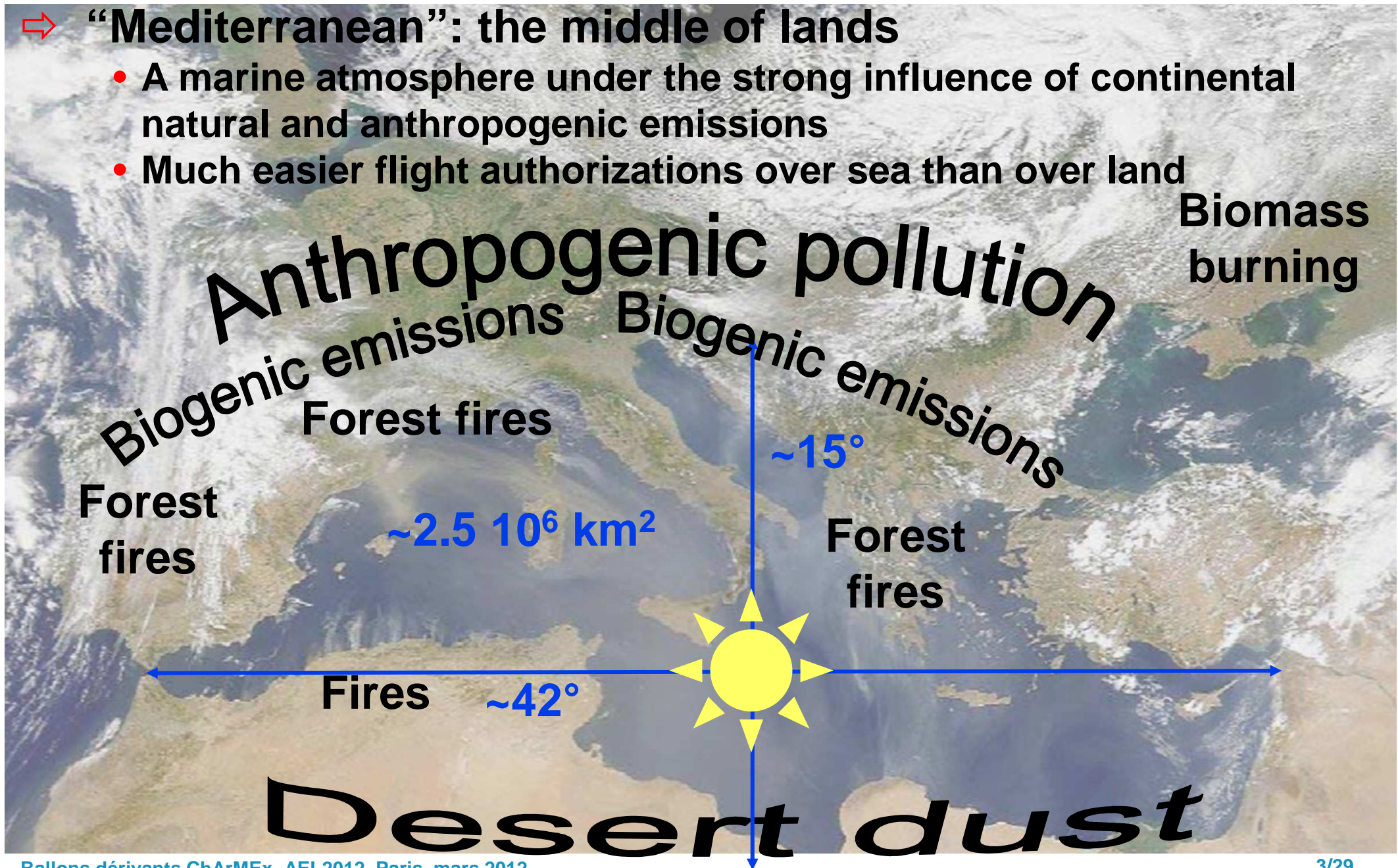
- (1) Ballons pour ChArMEx, objectifs et stratégie**
- (2) Développements pour la mesure d'ozone**
- (3) Développement pour la mesure des aérosols**
- (4) Trajectographie**



Cadre ChArMEx - the Chemistry-Aerosol Mediterranean Experiment

⇒ “Mediterranean”: the middle of lands

- A marine atmosphere under the strong influence of continental natural and anthropogenic emissions
- Much easier flight authorizations over sea than over land



requested from CNES by ChArMEEx



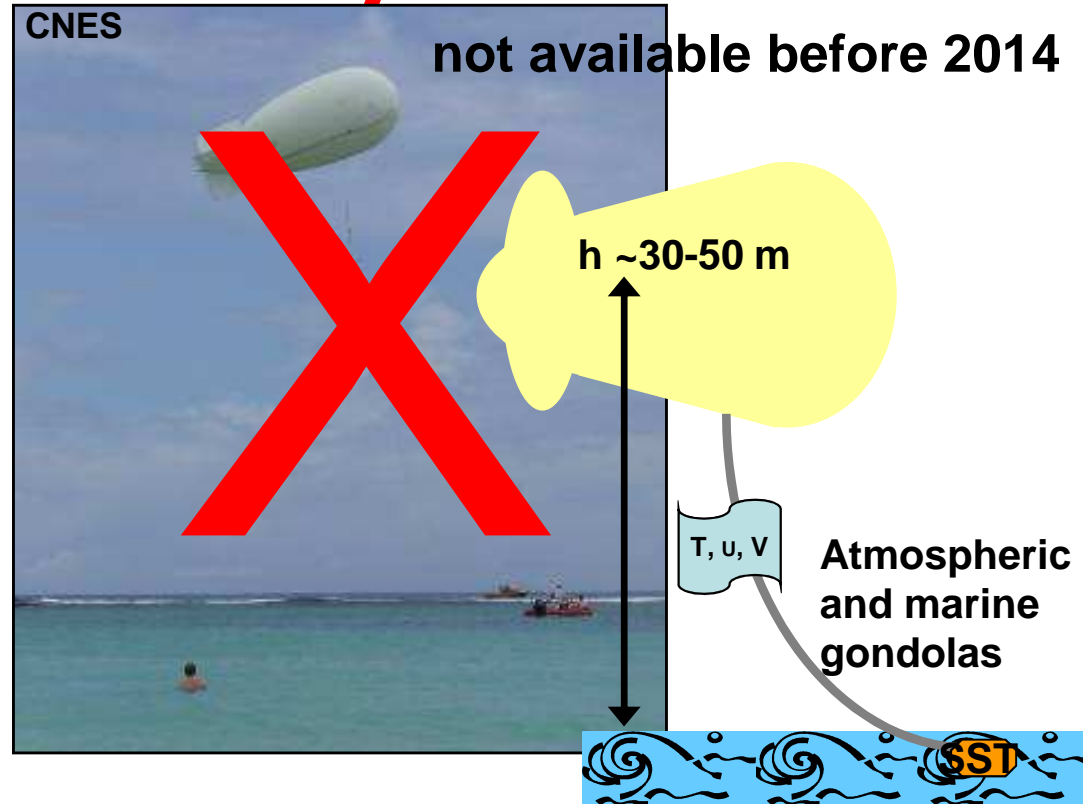
BPCL: ~8 m³ low altitude superpressure balloon

Up to ~3 km

GPS, P?, T, U

Broadband ↑ and ↓ shortwave fluxes,

LOAC aerosol optical, counter/sizer or O₃ sonde



Aeroclipper:

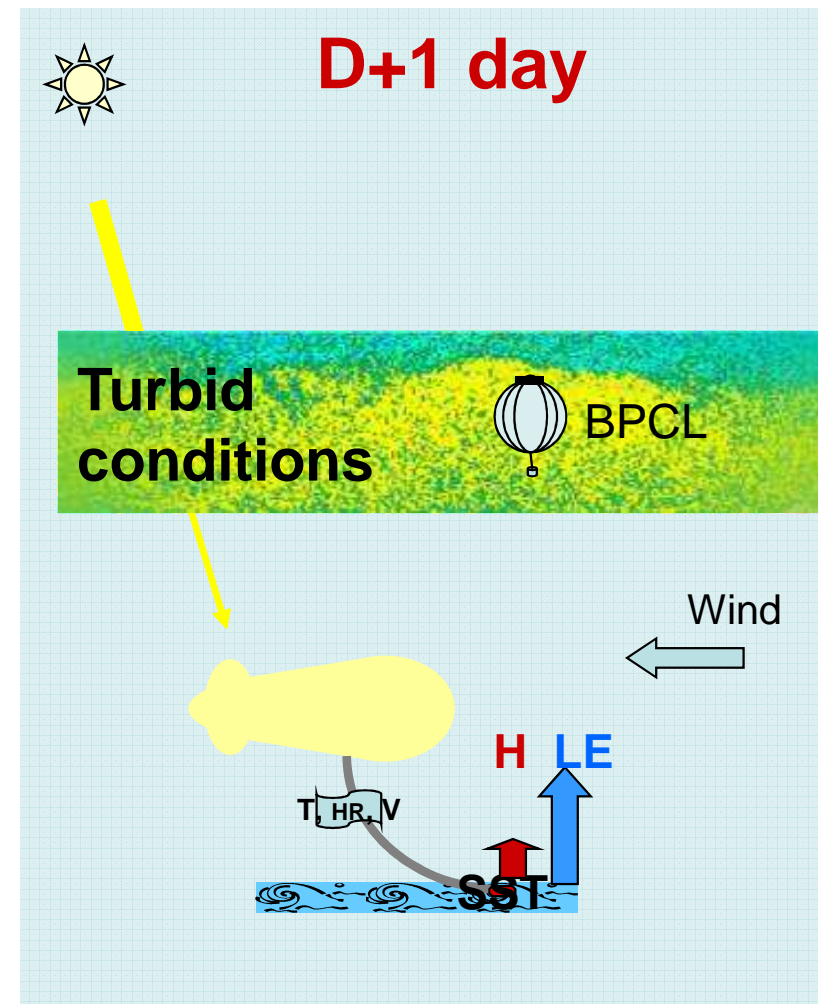
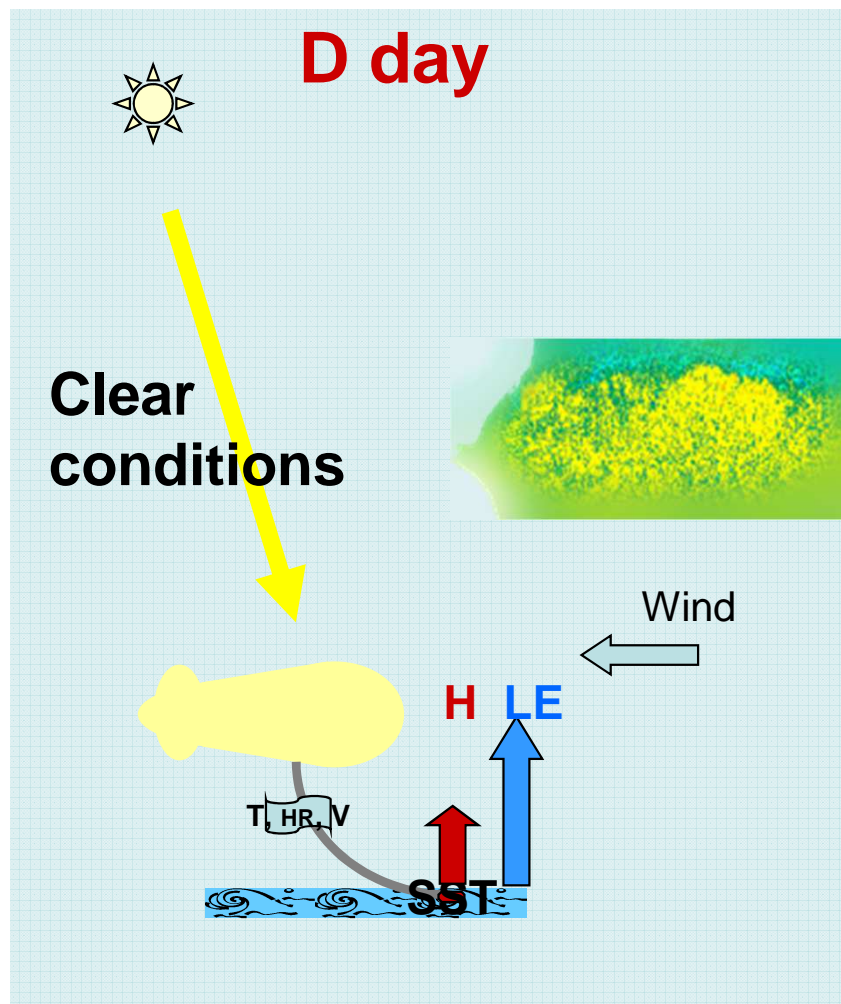
~50 m³ streamlined balloon

Air-sea interface

**GPS, SST, and T, U, V_{rel} at know height to derive surface turbulent fluxes from bulk formulae
? : radiation, aerosol counter/sizer and O₃**

(Aeroclipper general strategy)

- ⇒ Sensible Heat and turbulent Latent Energy (Evaporation) fluxes can be estimated from bulk formulas based on measurements at the sea surface and at a known height
- ⇒ The balloon drifts at a lower speed than wind due to its drag in water



ChArMEEx general scientific objectives relevant to balloon experiments

⇒ 1. Assessing the present state of the Mediterranean atmospheric environment

- sources and budgets of aerosols and precursors of secondary species
- chemical and dynamical processes
- atmospheric deposition

⇒ 2. Quantifying the impacts of aerosols and reactive gases on

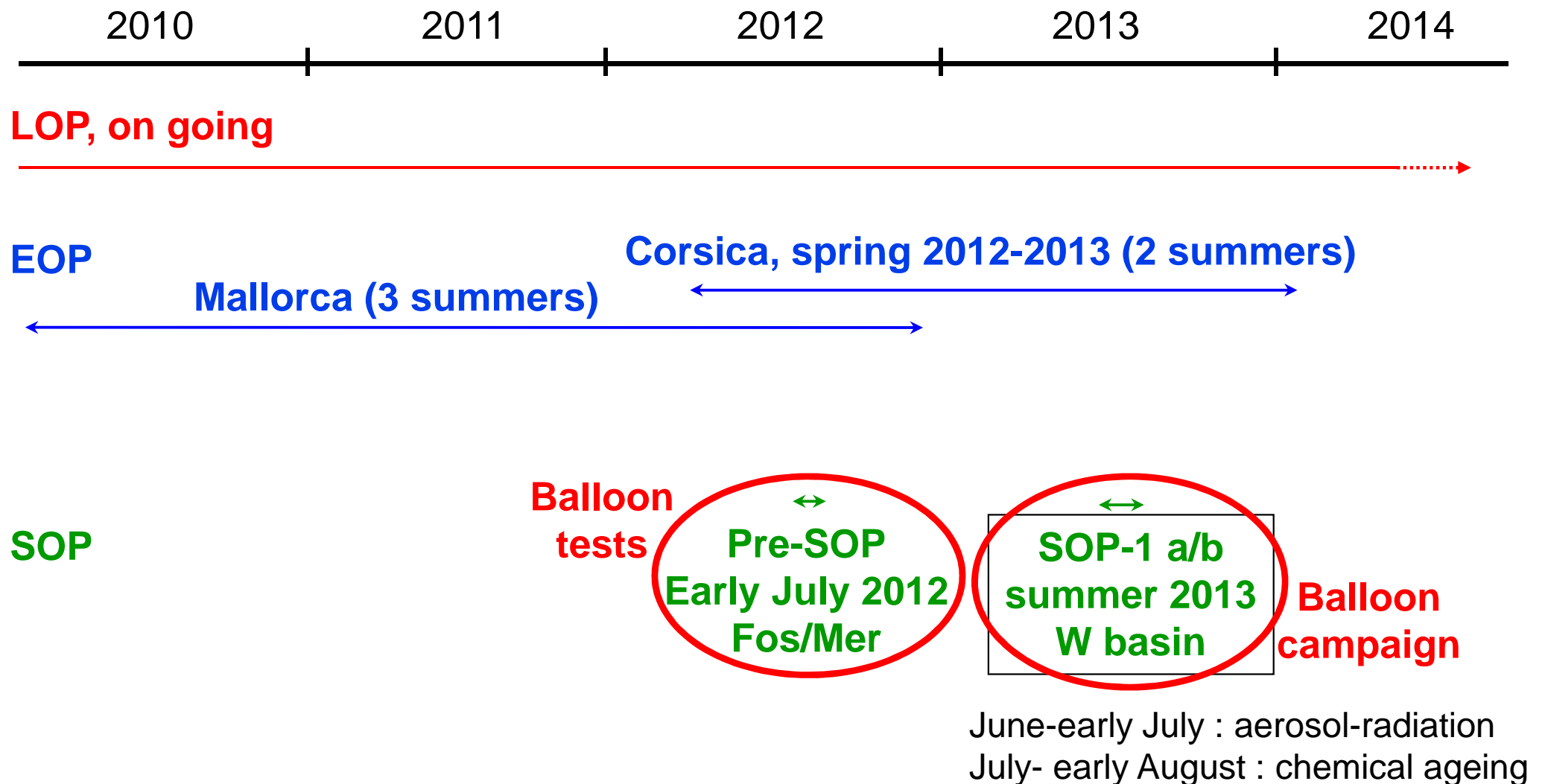
- the surface air quality (long range vs regional contributions)
- the Mediterranean radiative budget and regional climate (perturbation of incident radiation, SST, evaporation, atmospheric heating, cloud cover, heat waves, photochemistry/oxidizing capacity)
- the surface ecosystems (role of deposition, perturbation of incident radiation)

⇒ **A multi-scale exp. and model. integrated strategy**

- **3 levels of in situ field observation:**
 - **LOP: Long-term Observation Period (5-10+ yr)**
 - trends and interannual variability
 - **EOP: Enhanced Observation Period (2-3 yr)**
 - daily to seasonal variability
 - **SOPs: Special Observation Periods (field campaigns)**
 - detailed process studies at the regional scale
 - column and **lagrangian type observations**
 - intensive campaigns, extensive measurements, **airborne means including drifting balloons with a focus on summer**
 - support from real-time satellite products and model forecasts

ChArMEx operation planning

2012: new infrastructure for a Corsica observatory (cf Lambert et al., CORSiCA presentation)



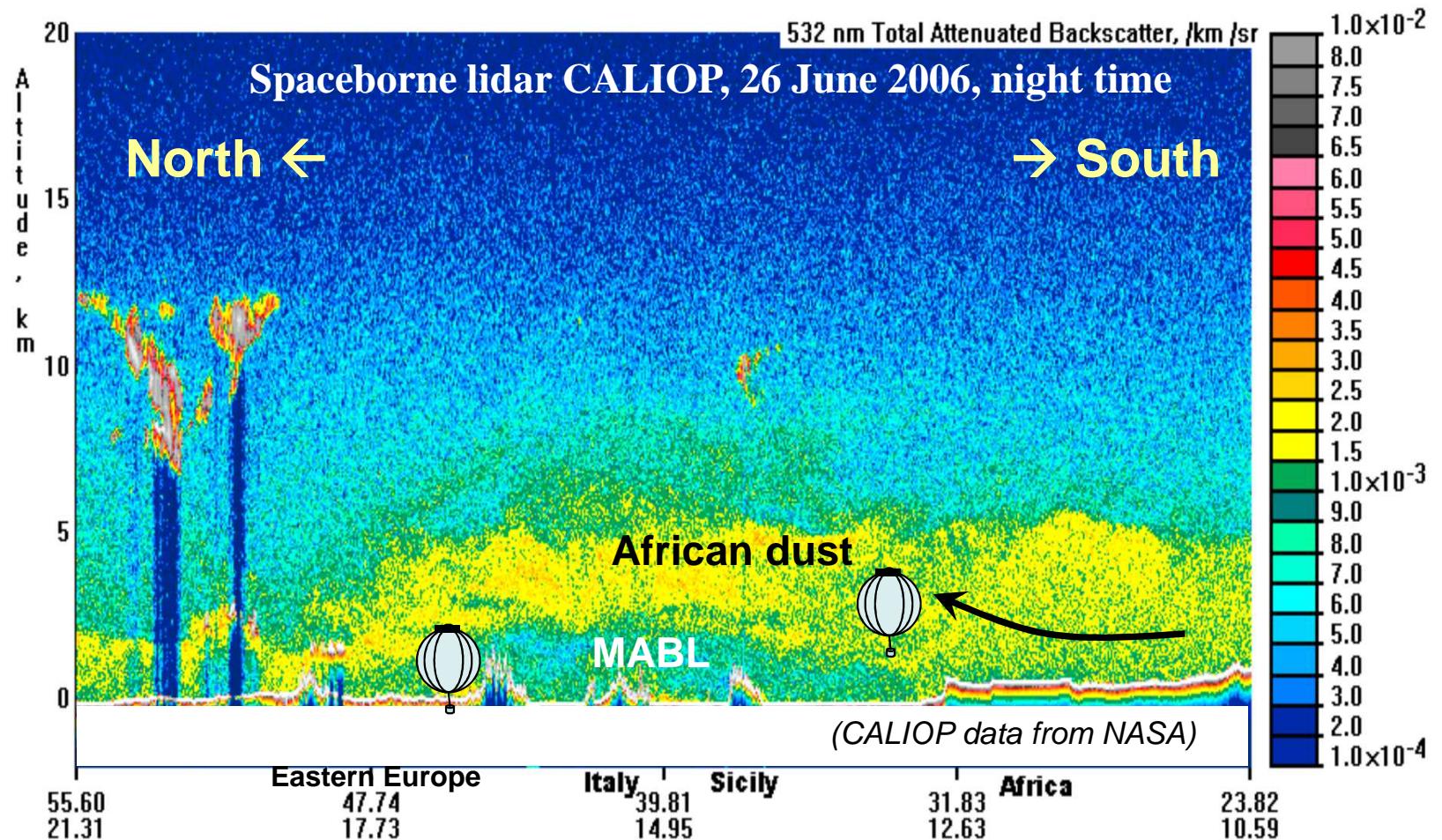
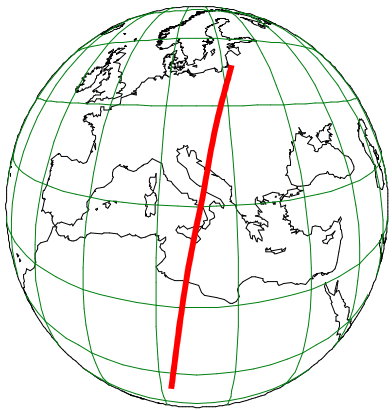
The role of BPCL balloons in ChArMEx

⇒ Balloons are part of the Lagrangian observation strategy to track European polluted or Saharan air masses over the basin



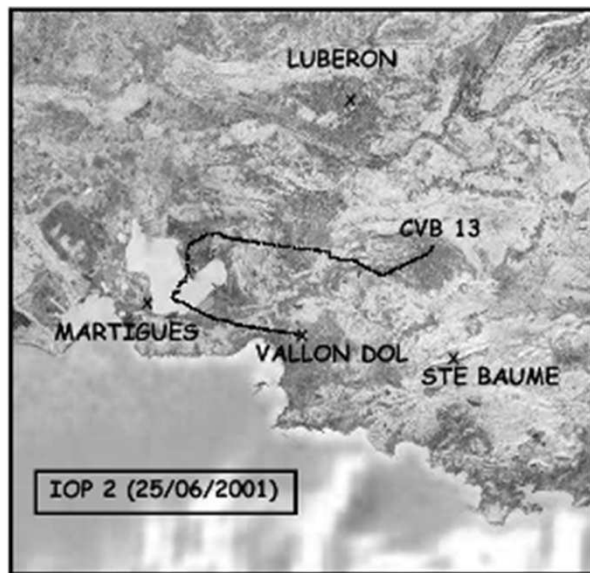
⇒ Measurement objectives:

- air mass trajectory (GPS) and thermodynamics (T, U)
- ozone concentration (production rate) or aerosol size distribution (fine secondary aerosol production, large dust particle sedimentation)
- radiation



- ⇒ Launches between 2 and 3 km from the southern shore during dust transport events: priority to dust size distribution (LOAC)
- ⇒ Launches in the Marine Atmospheric Boundary Layer (~1 km) from the northern shore during European pollution transport events: priority to ozone

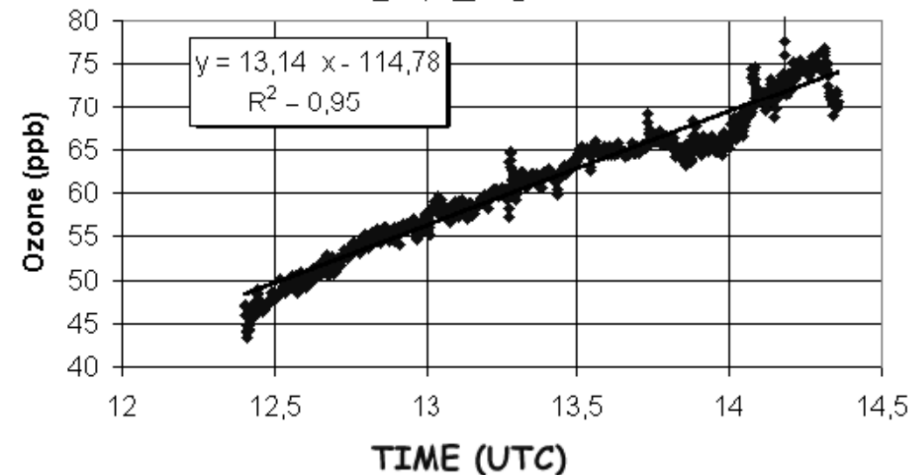
ESCOMPTE 2001 balloon-borne ozone



- 15 balloons with an ECC O₃ sonde
- 4-6 hr of O₃ measurements

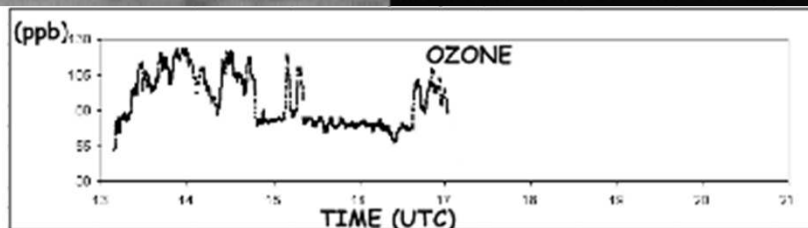
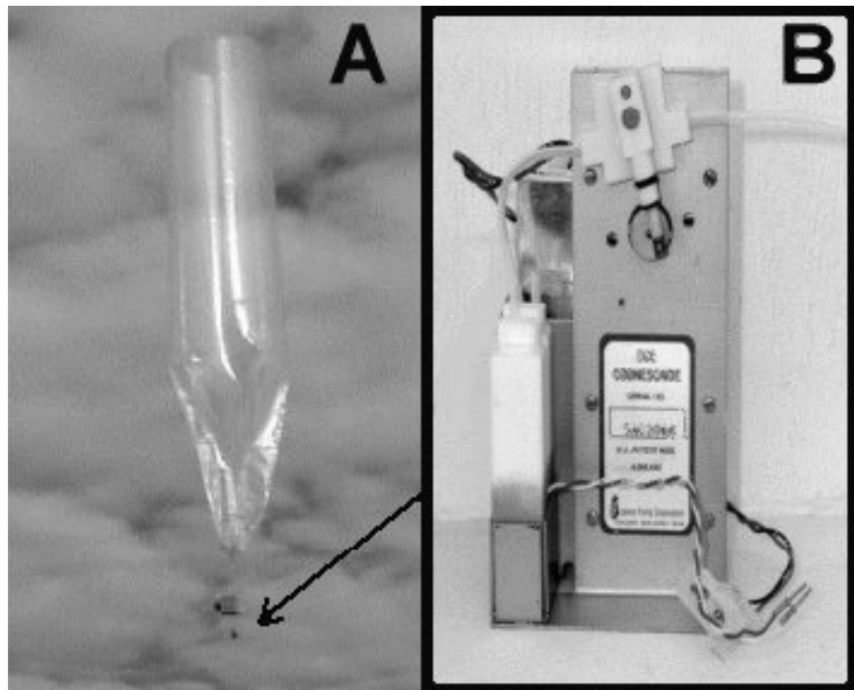
⇒ Derivation of the Lagrangian ozone production rate over “homogeneous” periods

CVB 3

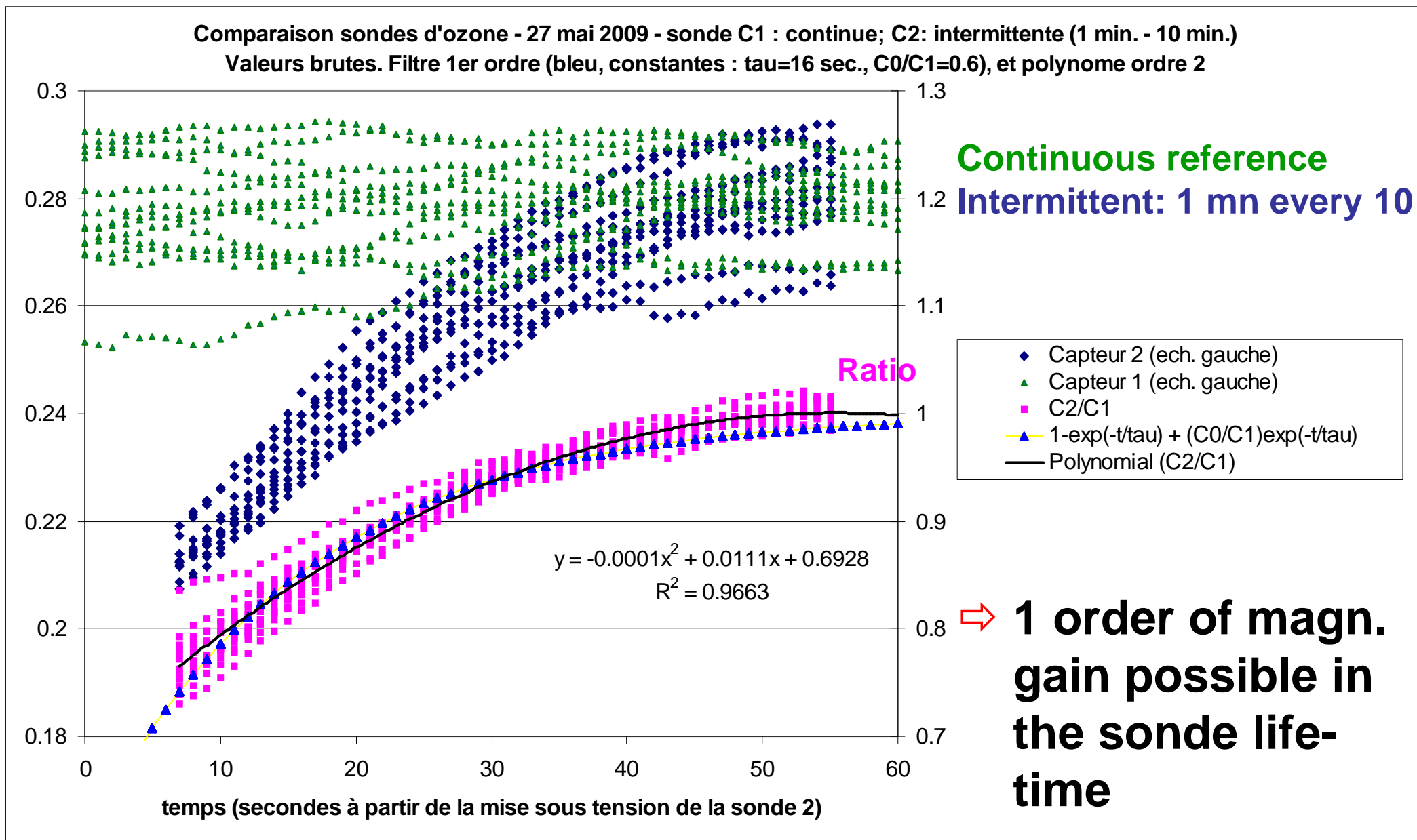


$$\frac{d[O_3]}{dt} \approx 13 \text{ ppb/h}$$

(After Bénech et al., *Atmos. Environ.*, 2008)



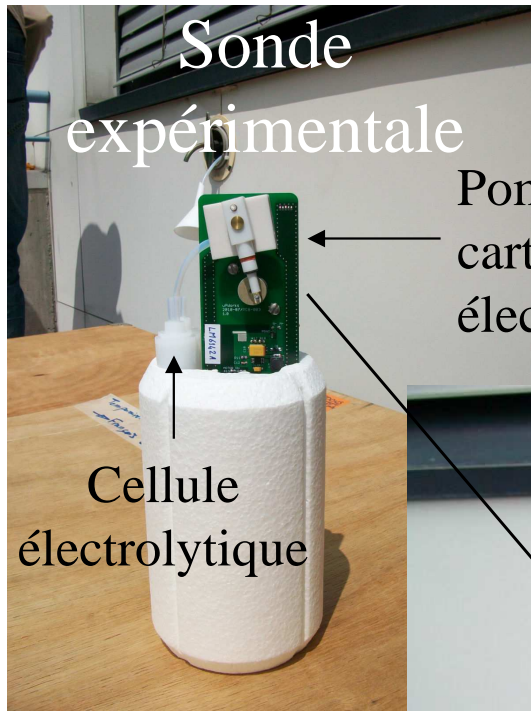
measurement. with an ECC sonde (2009)



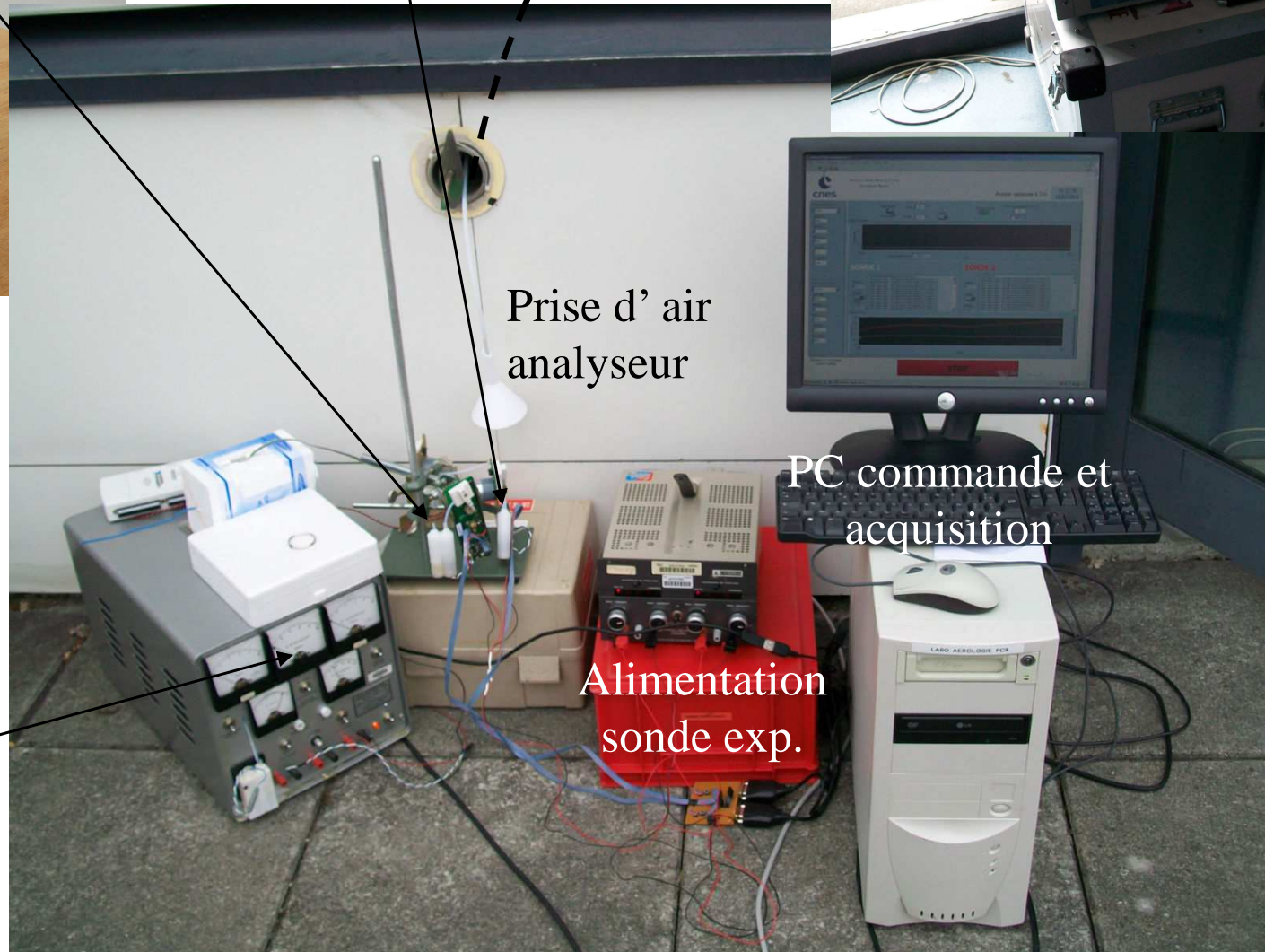
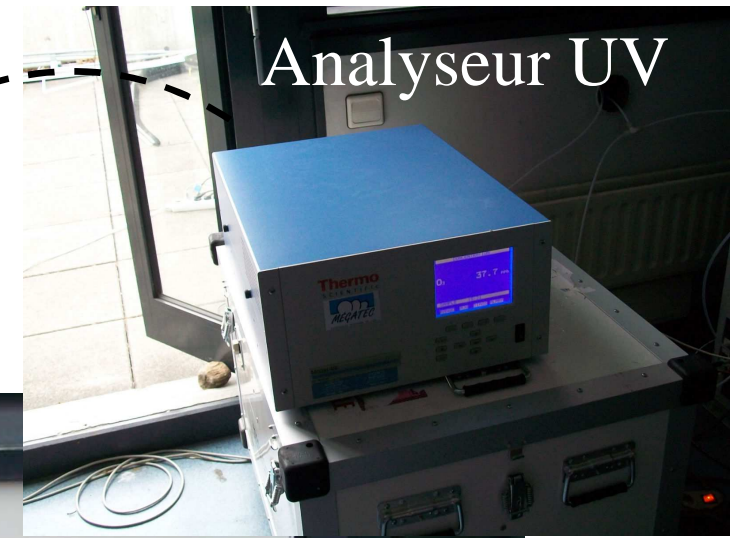
fonctionnement intermittent avec module de pilotage CNES/BPCL (2011)

⇒ Expérience test le 12 mai 2011 sur la terrasse du Labo d'Aérodologie :

- 1 analyseur d'ozone UV calibré
- 1 sonde ECC en fonctionnement standard (i.e. continu): sonde « de référence »
- **1 sonde ECC expérimentale en fonctionnement intermittent (10, 5 ou 3 mn)** commandée par l'interface développée par le CNES
- Durée du test : ~3h

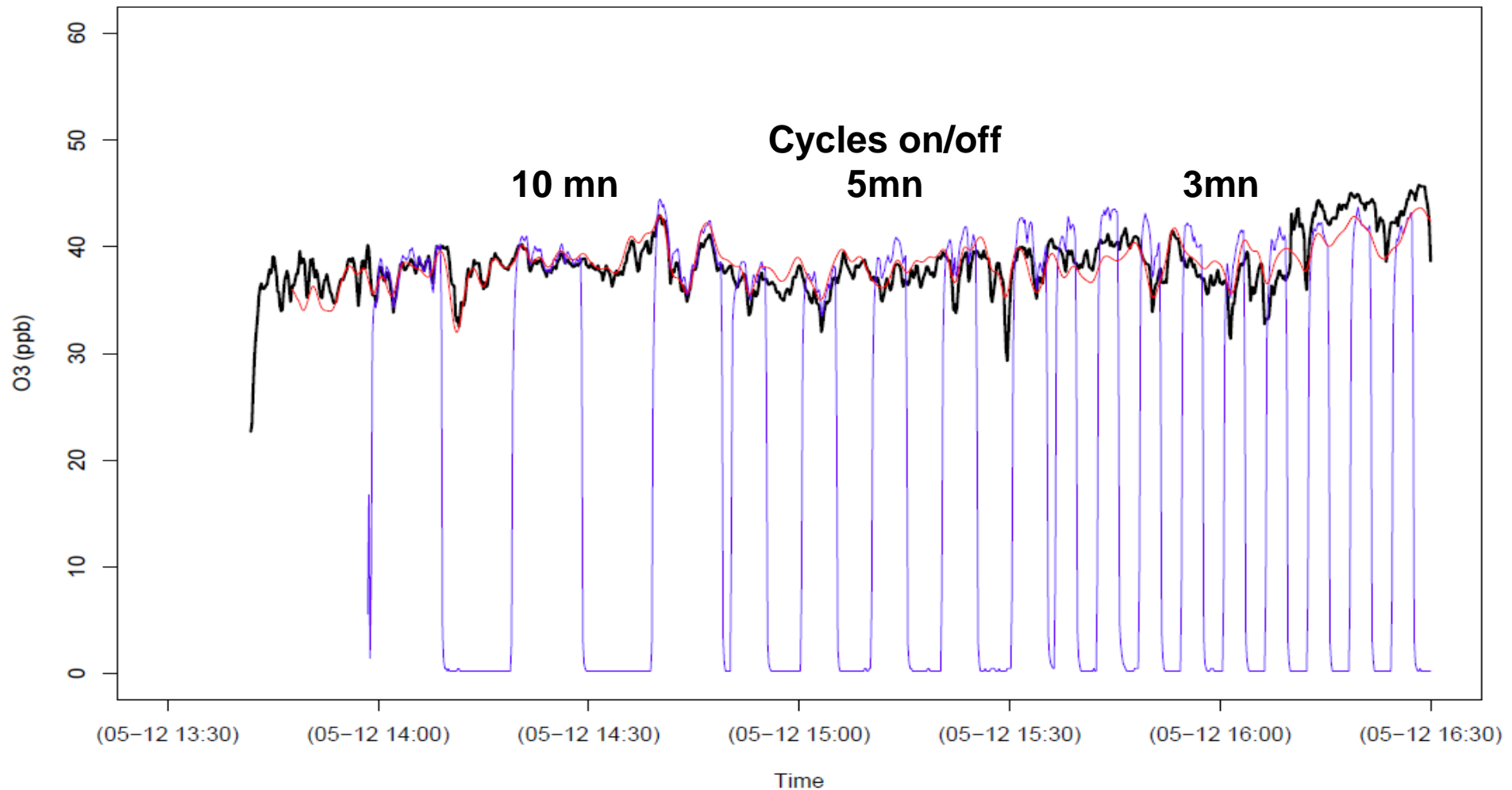


Sonde référence



(Banc de test ECC servant ici simplement à l'alimentation de la sonde réf.)

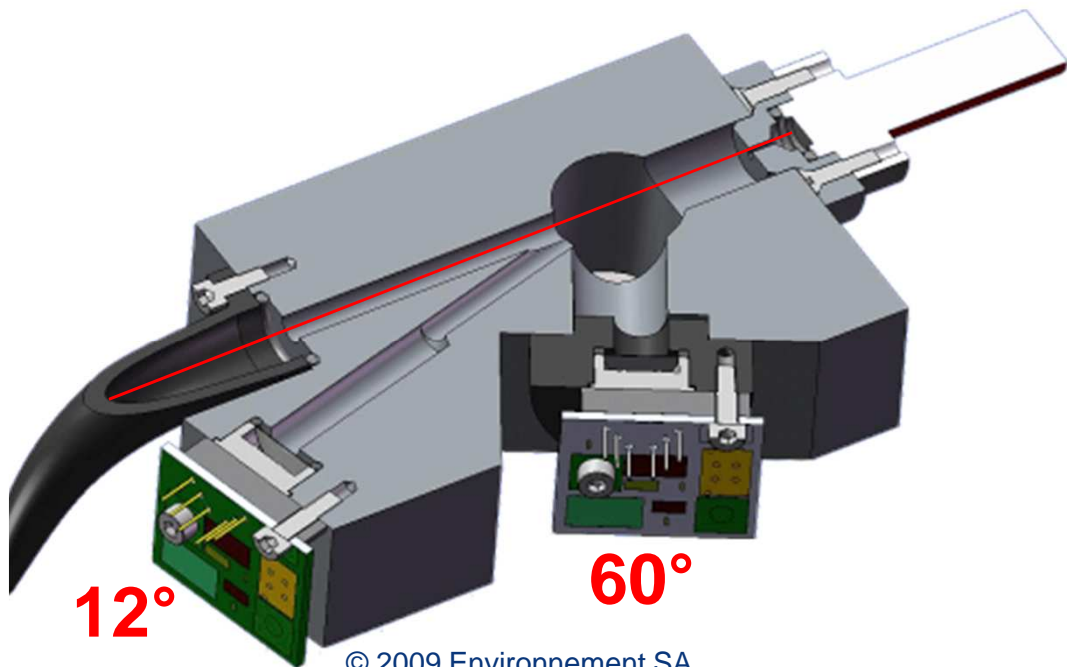
Ozone mole fraction from ref. sonde (black), sonde 1 (blue), and UV analyzer (red)



- ⇒ Fonctionnement alterné en mode piloté satisfaisant
- ⇒ Fonctionnement type BPC_L encore à tester (quelques mn toutes les demi-heures)

On-going development of a small aerosol counter/sizer (ANR/EcoTech "LOAC")

- ⇒ LPC2E, Environnement S.A., LA, LSCE, + CNES
- ⇒ Light scattering at 2 angles from a red laser diode
- ⇒ Aerosol number in 20 size classes from 0.5 (0.3?) to >20 μm in diameter

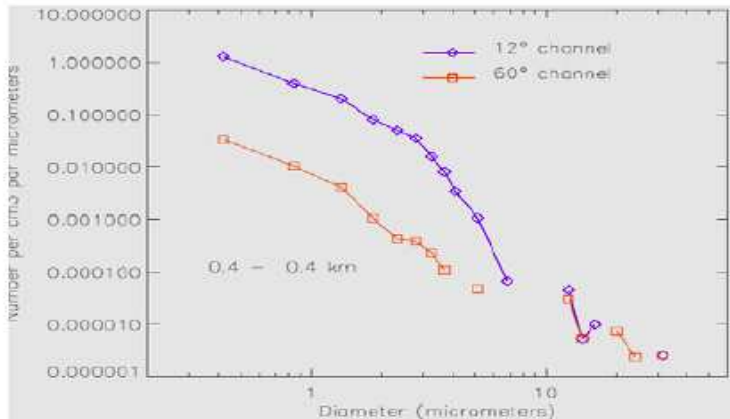


© 2009 Environnement SA

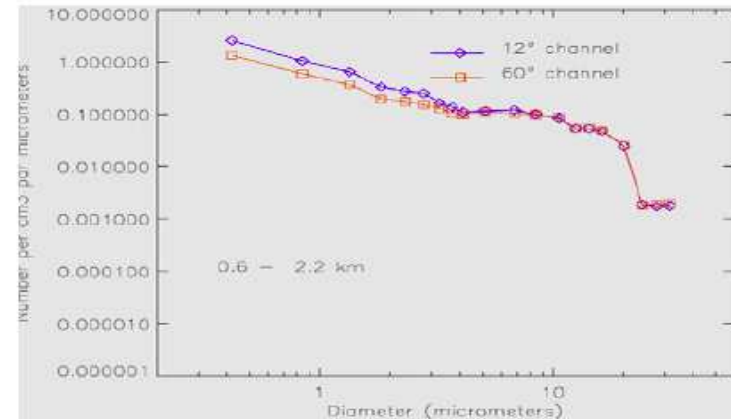
- ⇒ Sizing at low angle where particle size controls scattering
- ⇒ Indication of particle type based on the distribution in signal ratio at the 2 observation angles

Illustration de la variabilité entre les deux canaux liée à la spéciation des particules

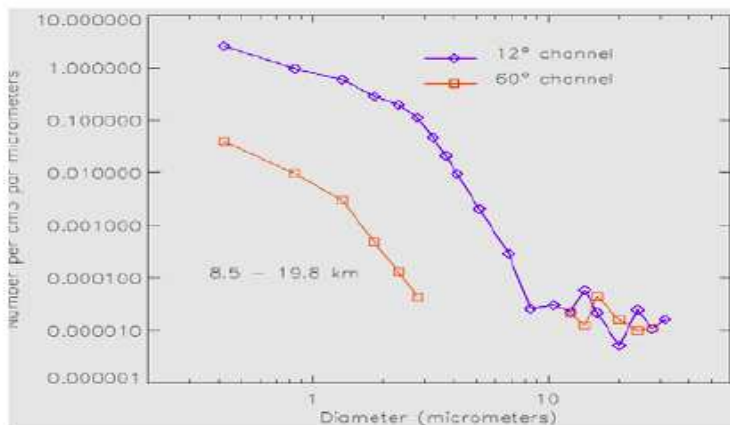
12°
60°



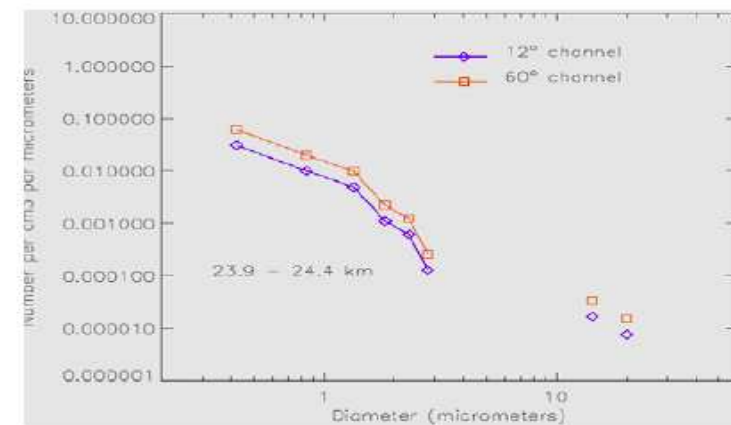
Sol, suies diesel



Troposphère, brume



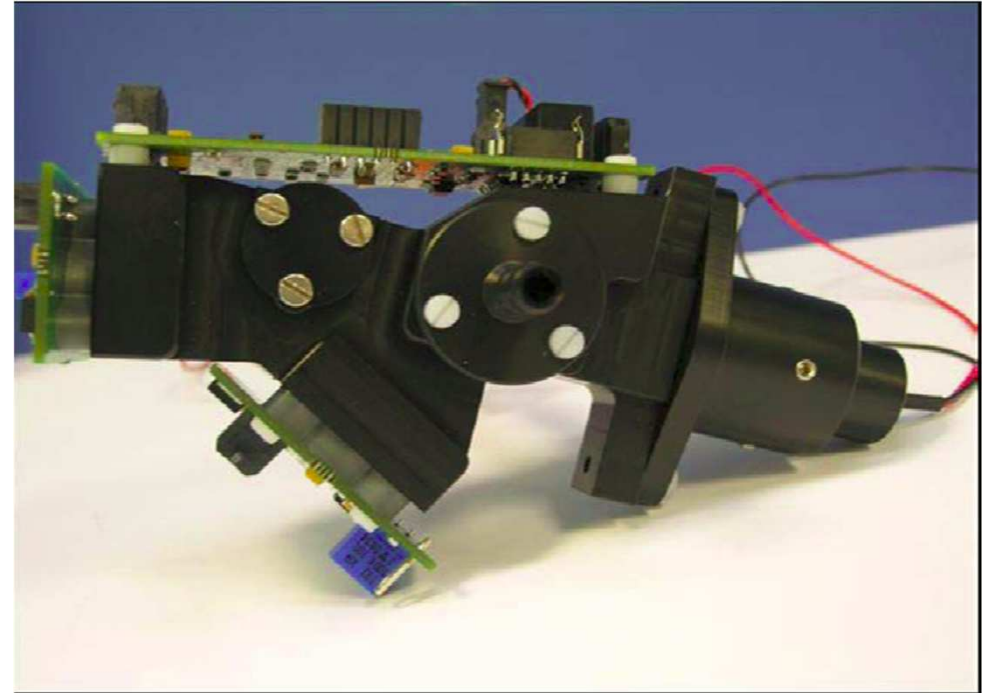
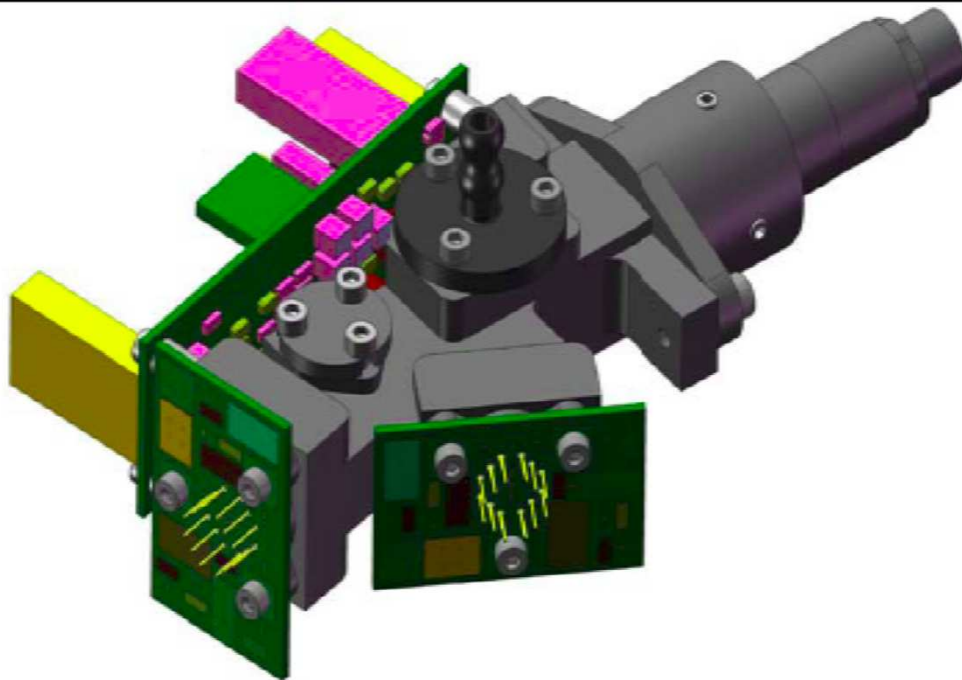
*Stratosphère, suies
+ grains interplanétaires*



*Stratosphère,
aérosols liquides*

⇒ Tests pendant pré-ChArMEEx : LOAC et autres OPC commerciaux, SMPS, DEKATI (chimie sur 13 classes de taille)

- ⇒ Correction temps réel de la lumière parasite
- ⇒ 20 classes de taille à choisir entre env. 0.4 et 100 μm
- ⇒ 475 g avec pompe externe et blindage (hors batterie)
- ⇒ Numérisation sur 16 bits (classes de 0.1 μm possibles)



- ⇒ Robuste : 1 an de fonctionnement (discontinu) sur le ballon captif parisien

Vols tests de courte durée

- ⇒ 2 vols stratosphériques à Kiruna (04/2011 & 02/2012)
- ⇒ 3 vols sous ballons sondes météo en Islande (07/2011)



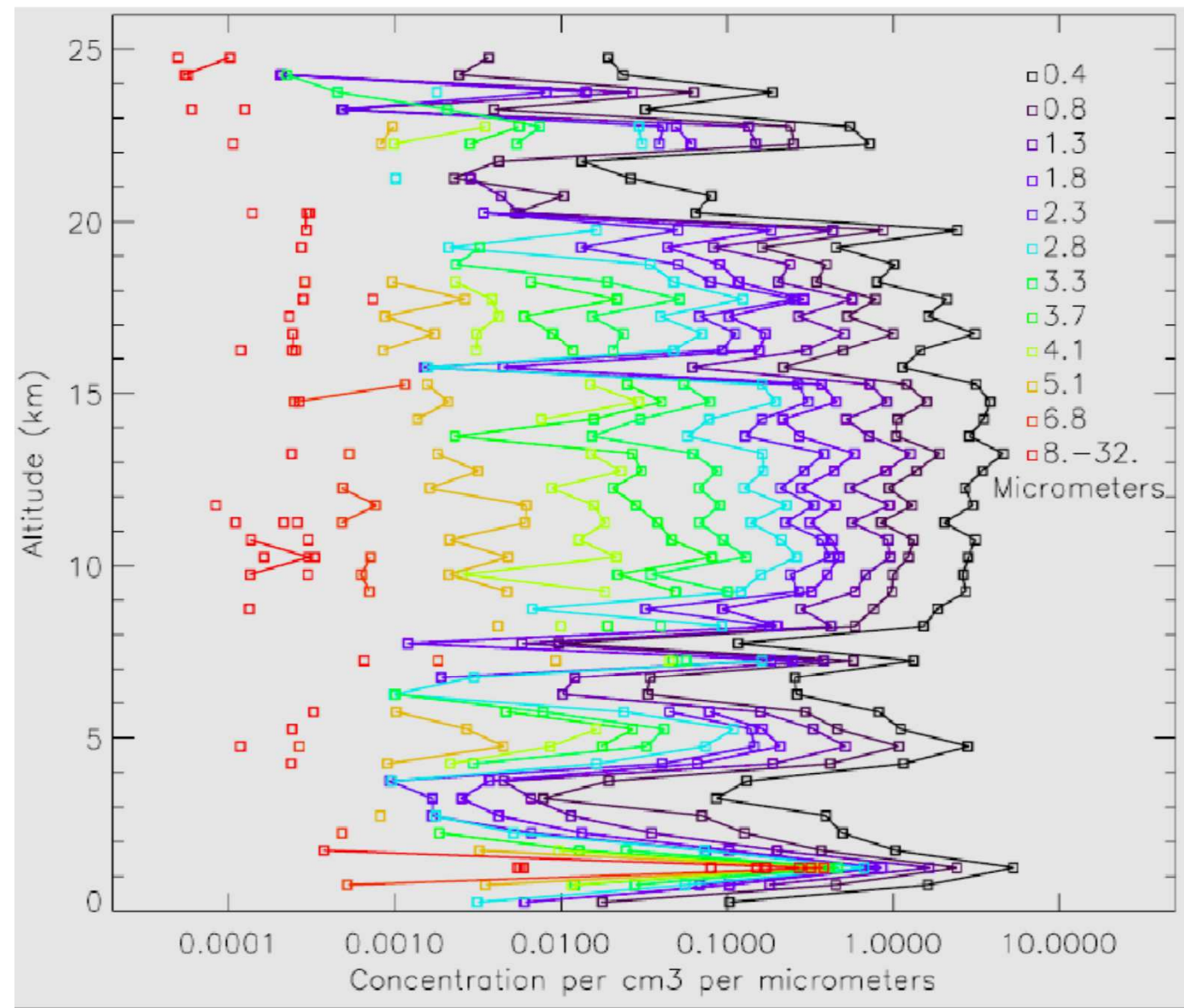
LOAC



- ⇒ Robuste : récupération après les vols stratosphériq.

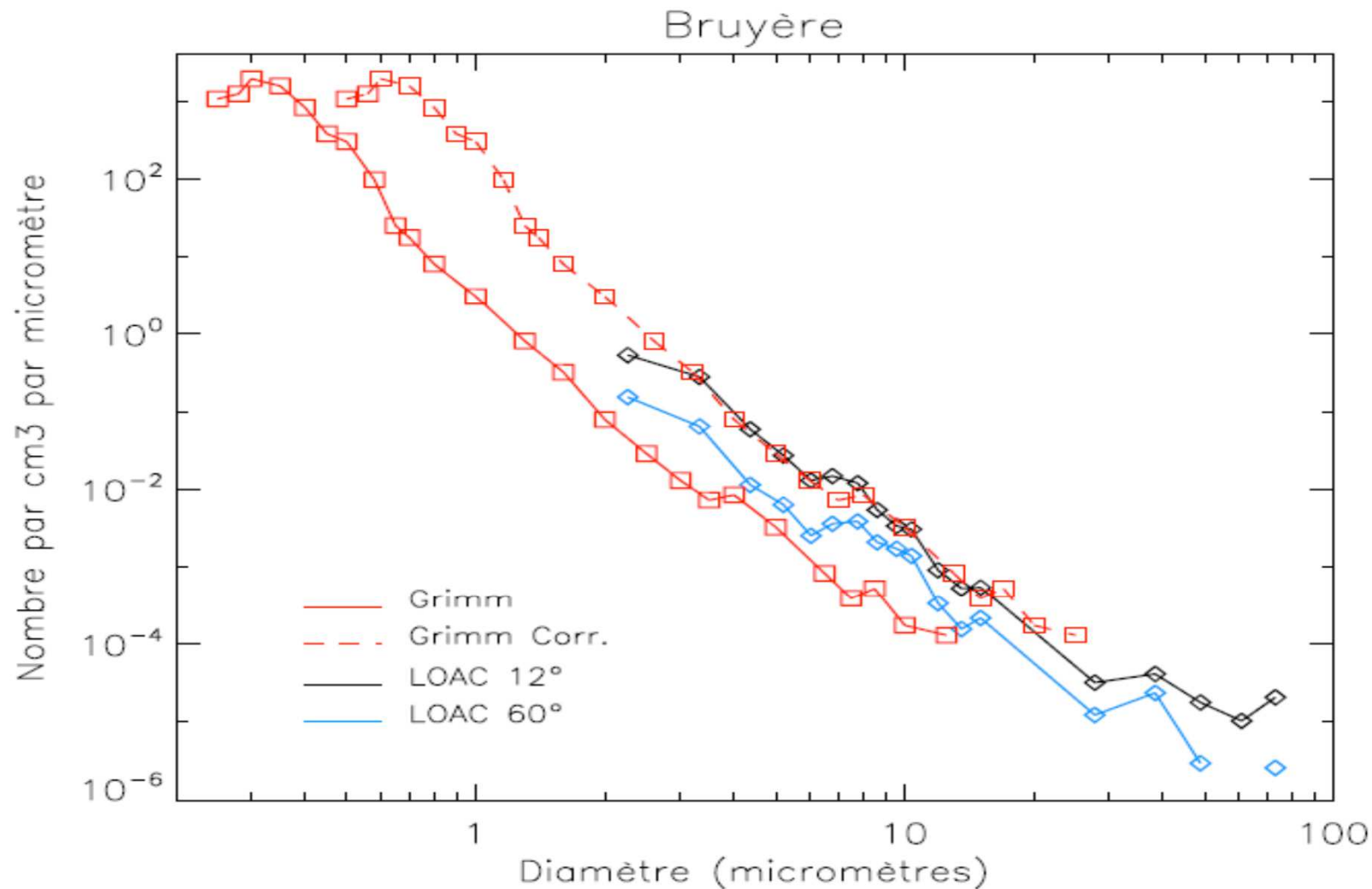
Résultats (strato)

Kiruna
1^{er} avril 2011
Bord du vortex



⇒ En accord avec la littérature

Intercomparaison avec un OPC commercial GRIMM en chambre de combustion (suie)



⇒ Les mesures du GRIMM doivent être corrigées d'un facteur 2 (absorption)

Mise en production d'une première série



- ⇒ Prix de commercialisation ~2.5 k€ unitaire (à conf.)
- ⇒ Vol de démonstration à l'EAC-2012 (Grenade, 09/2012)

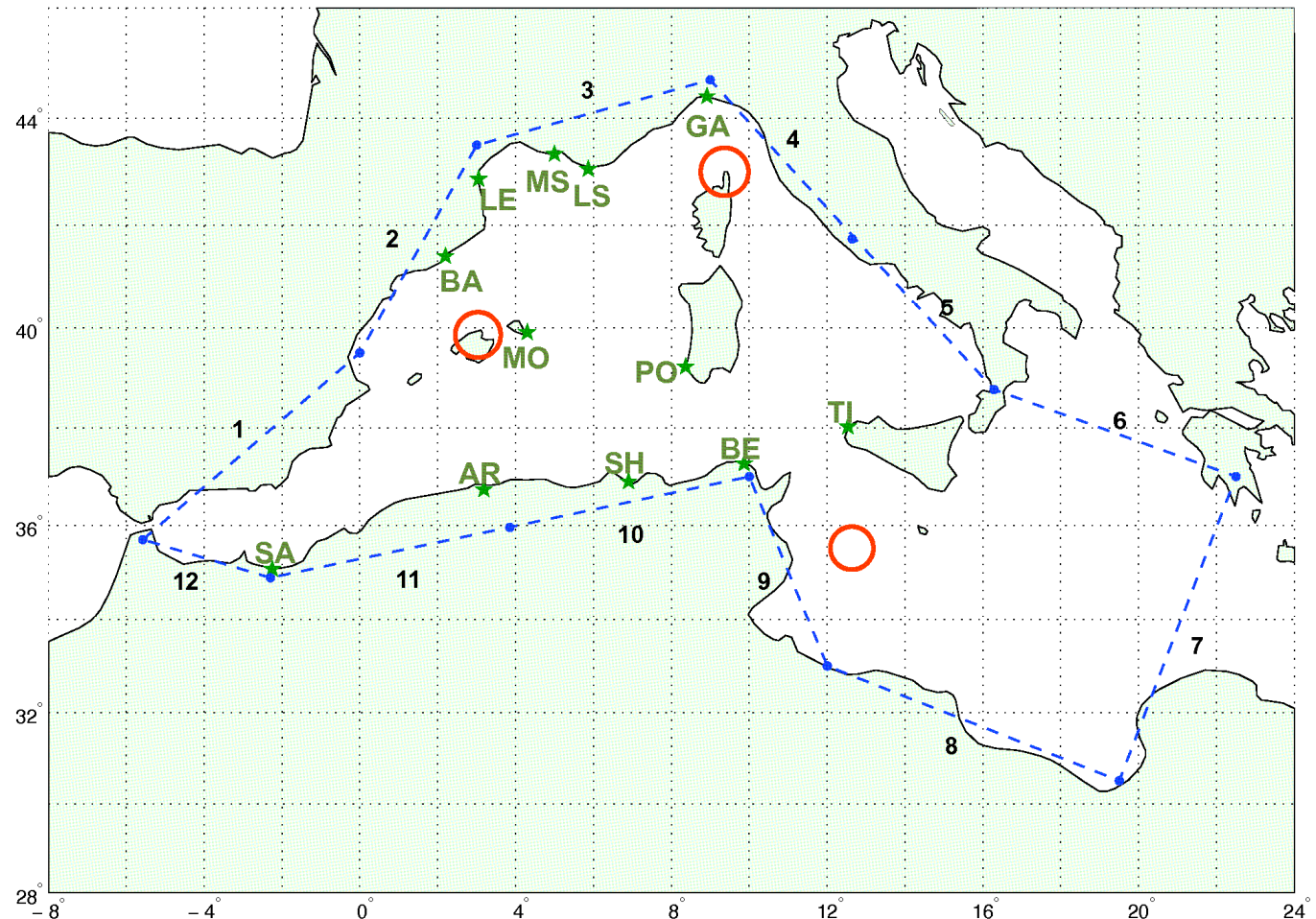
On-going tests of best launching sites based on air mass trajectories stats.

- ⇒ 1 trajectory every 2 h during the period 14 June to 14 Aug. and over several years based on ECMWF analyses at 0.25°
 - BPCCL: 925 hPa (~700 m alt.), 850 hPa (~1,5 km) and 700 hPa (~3 km)
 - Aeroclipper: 10 m

Coll. HyMeX/BaMed

Tests:

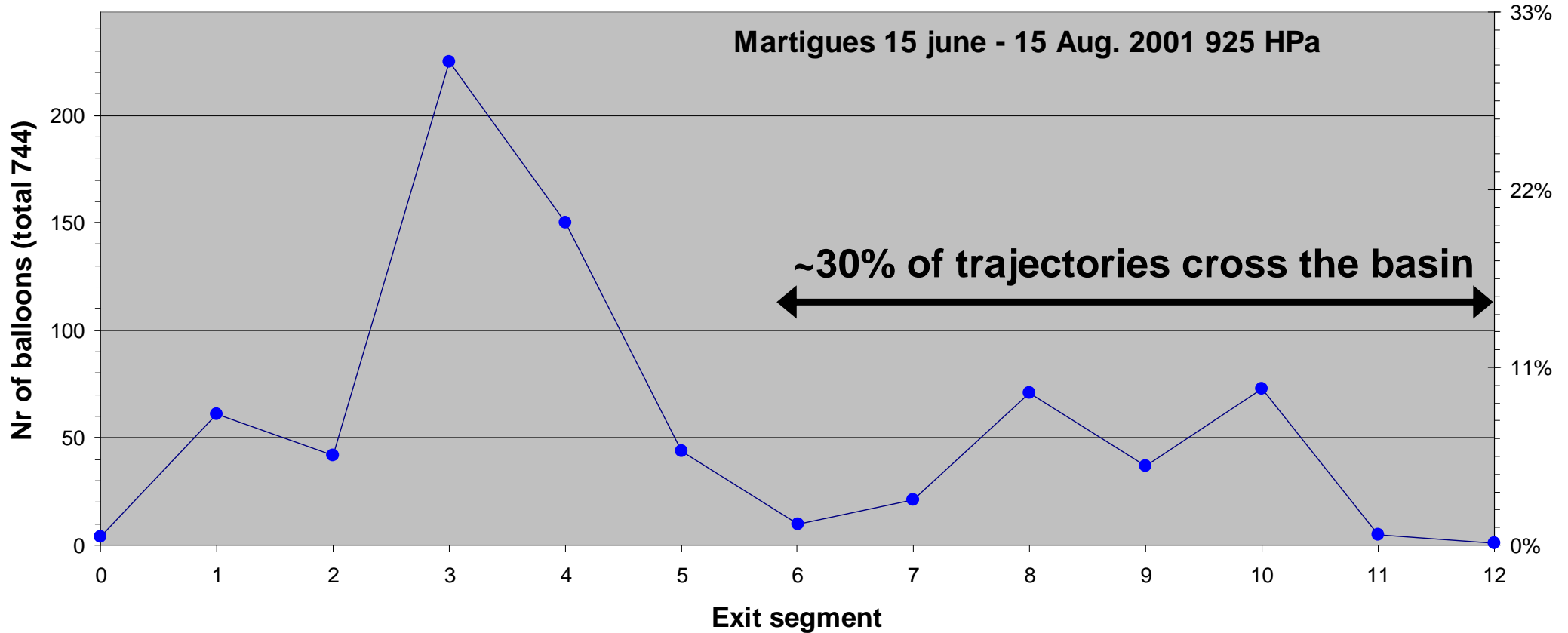
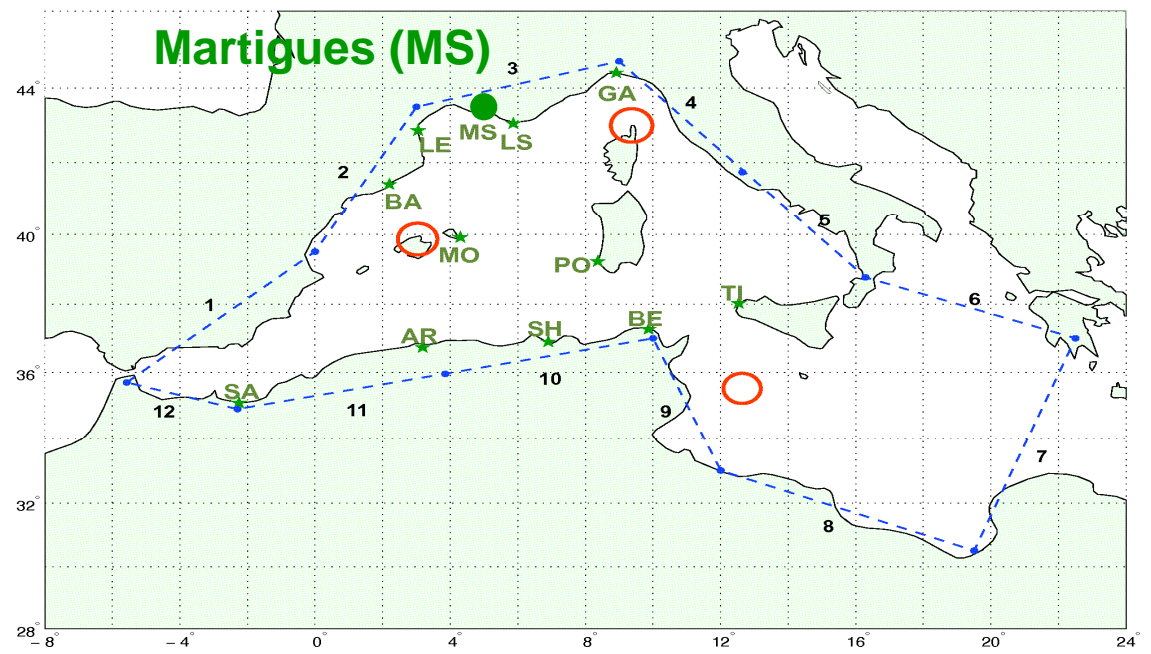
- X : 12 launch sites
- : approach of a background supersite
- - - : 12 segments of balloon loss



Ballons

Exit segments

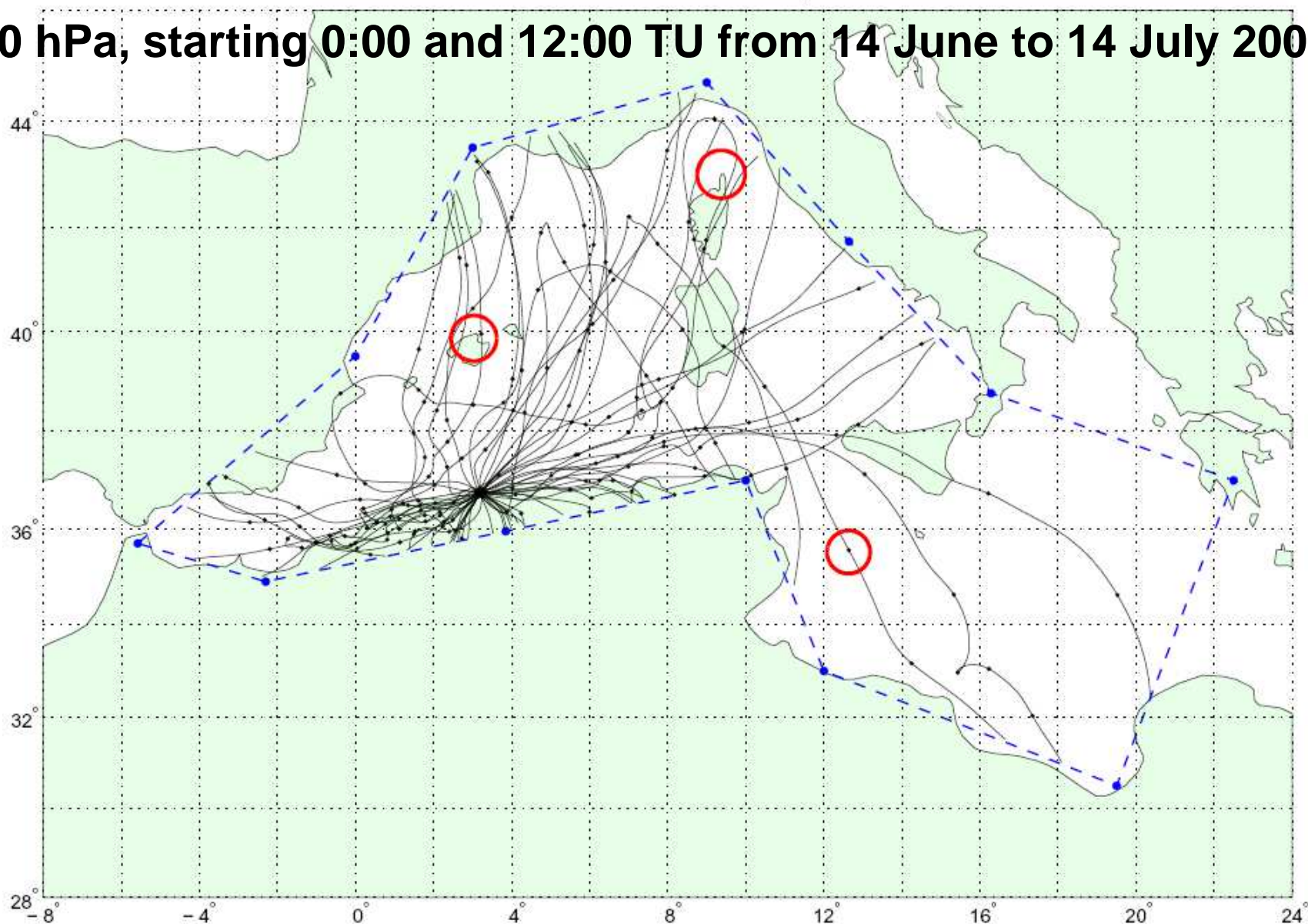
- 0: still present after 10 days
- 1-2: Spain
- 3: France
- 4-5: Italy
- 6-7: Greece, easternmost basin
- 8-12: North Africa



Trajectories at 850 hPa from Algiers

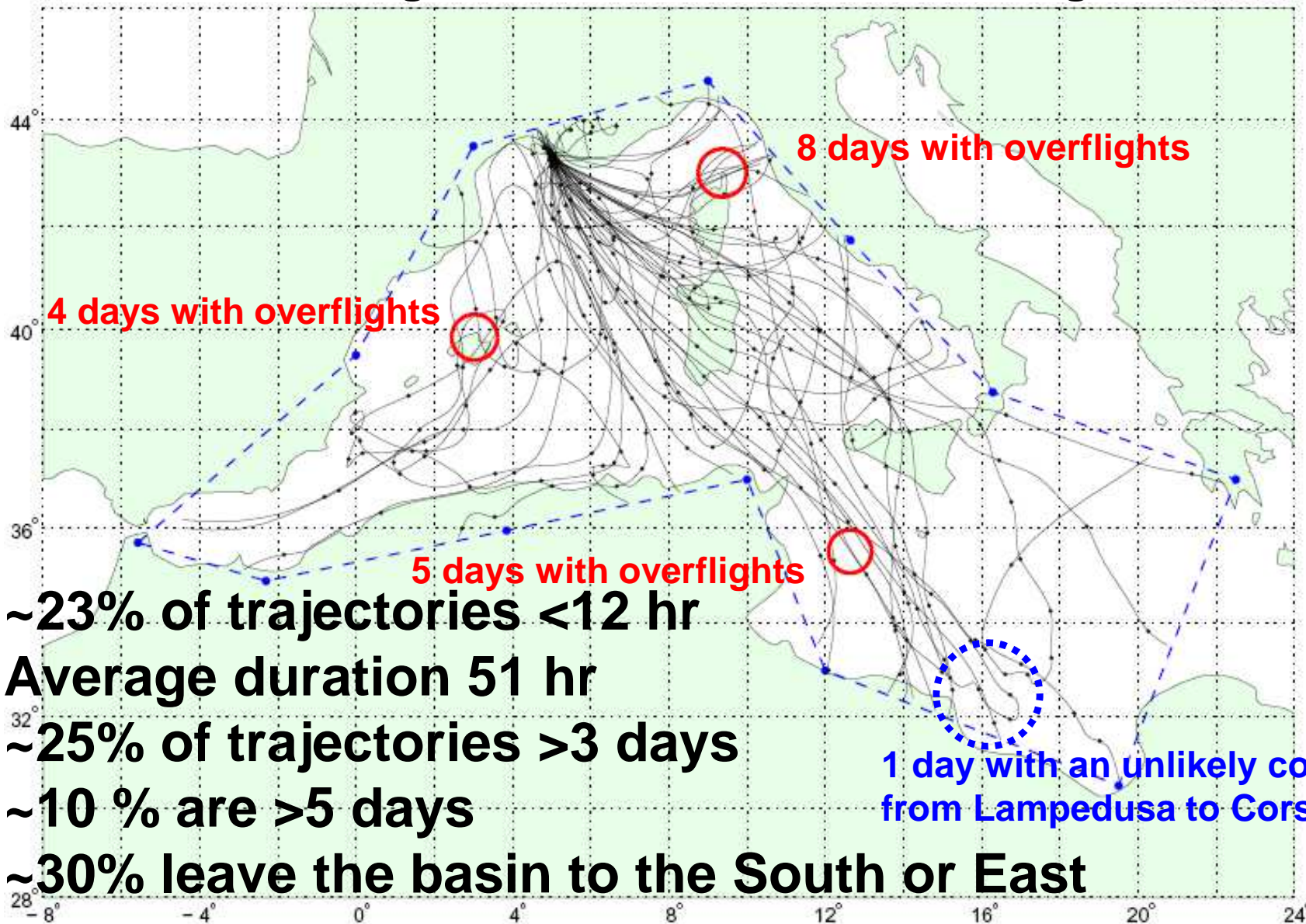
CHARMEX - BPCL - 15/6/2001 - 14/7/2001 - Alger niveau 850hPa

850 hPa, starting 0:00 and 12:00 TU from 14 June to 14 July 2001



Example: Martigues, mid-June to mid-July 2001 (test campaign 2011)

925 hPa, starting 0:00 and 12:00 TU from Martigues



~23% of trajectories <12 hr



Average duration 51 hr



~25% of trajectories >3 days



~10 % are >5 days



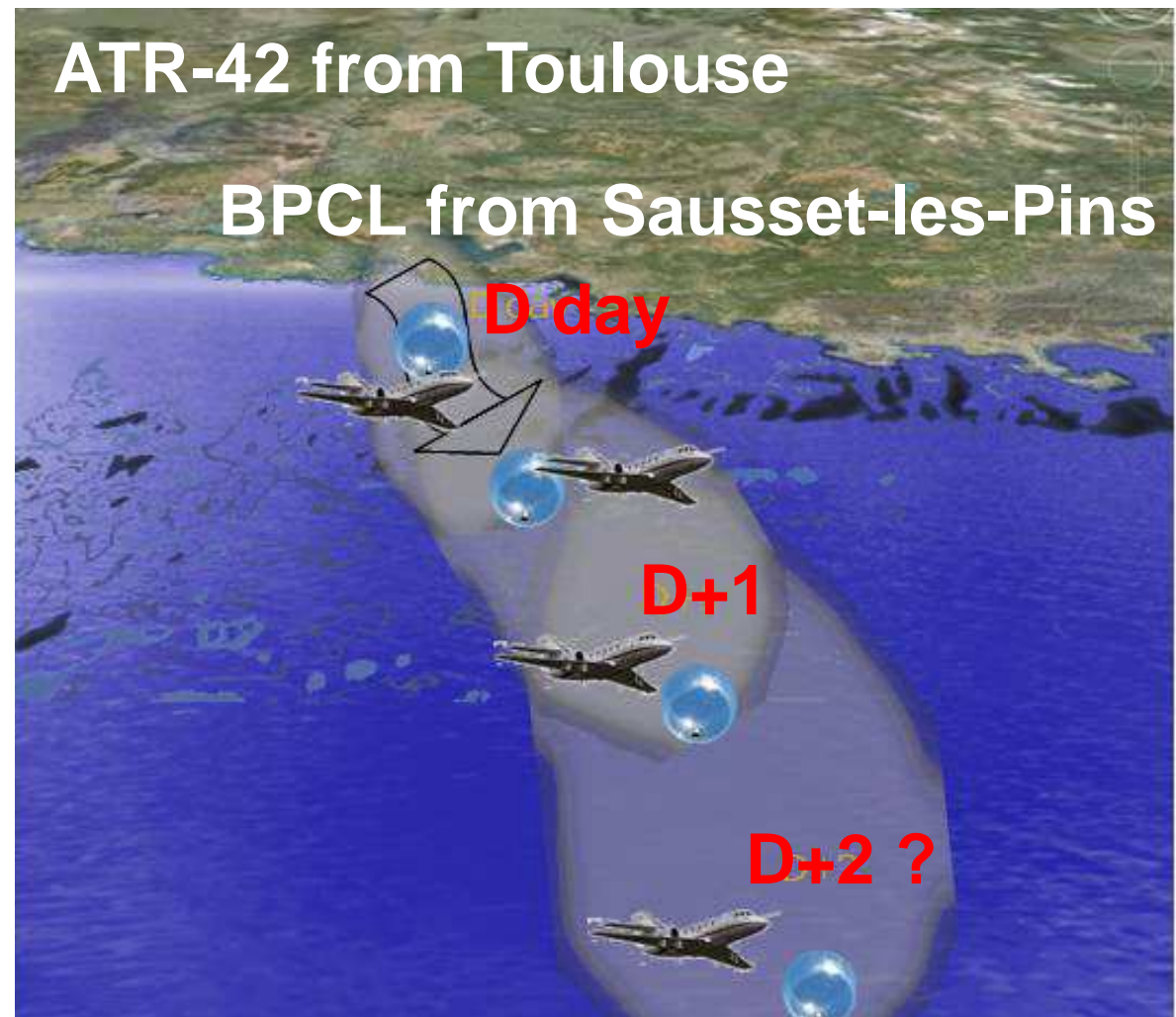
~30% leave the basin to the South or East

The ChArMex TRAQA (TRansport and Air Quality) test campaign (early July 2011)

⇒ Launch of BPCL balloons S-E of Fos-sur-Mer

- Technological tests by CNES on-going in Seychelles
- First scientific flight tests of the BPCL (4 O₃, 2 LOAC)

*TRAQA is co-funded by
ADEME/PRIMEQUAL, INSU/MISTRALS,
CNES/Balloons, OMP et LA, IPSL (TBC)
PI J.-L. Attié)*



Scénario de lâcher des ballons

- ⇒ *Point quotidien au Centre Opérationnel ChArMEx (ChOC) à Météo-France Toulouse*
- ⇒ *Le jour de l'expérimentation est confirmé la veille du lâcher, après mise en alerte à J-2*
- ⇒ Jour J : Lâcher de 3-4 BPCCL à quelques heures d'intervalle (typiquement 8AM, et/ou 14PM et/ou 20PM), possibilité de lâcher 2 ballons quasi simultanément (O3 et LOAC par ex.)
- ⇒ Jour J+1 : Lâcher de 2 BPCCL, intervalle ÀD
- ⇒ Les niveaux de vol seront définis au dernier moment en fonction de la hauteur de la couche limite (radiosondage dédié si possible)

Résultats: R-V à Cargèse en novembre

⇒ 3^{ème} Atelier International ChArME_x, 6-9 novembre 2012 à l'IES-Cargèse

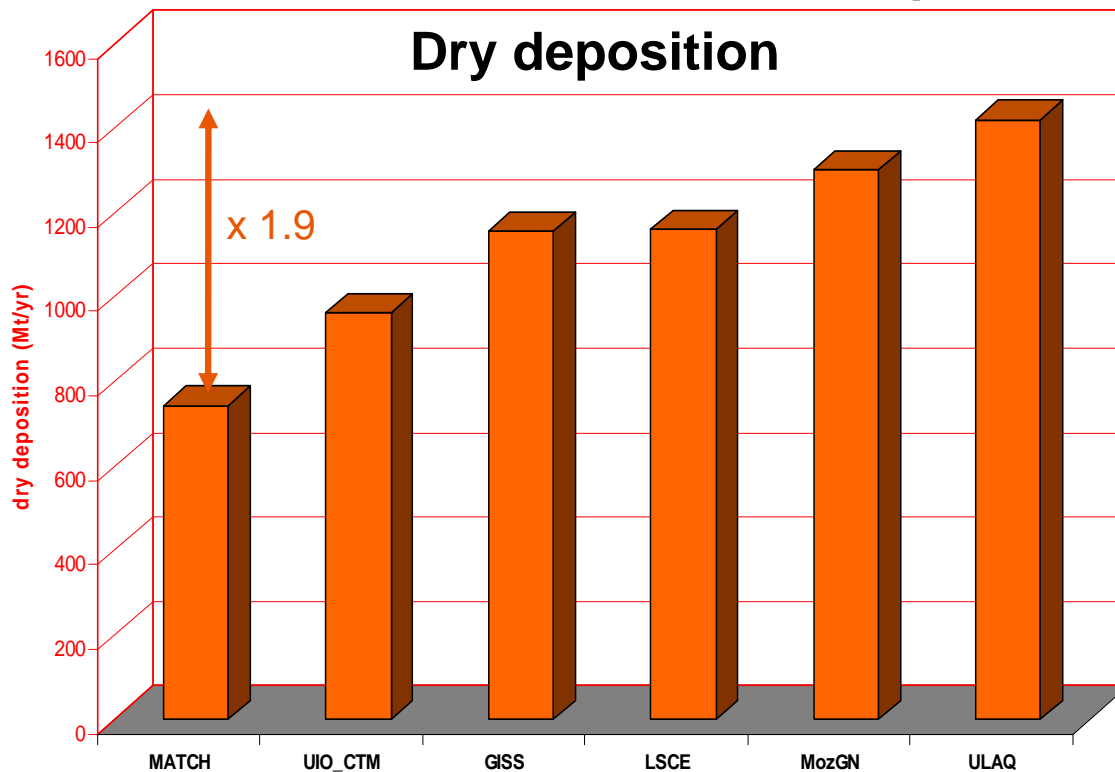


(Photo F. Dulac, LSCE)

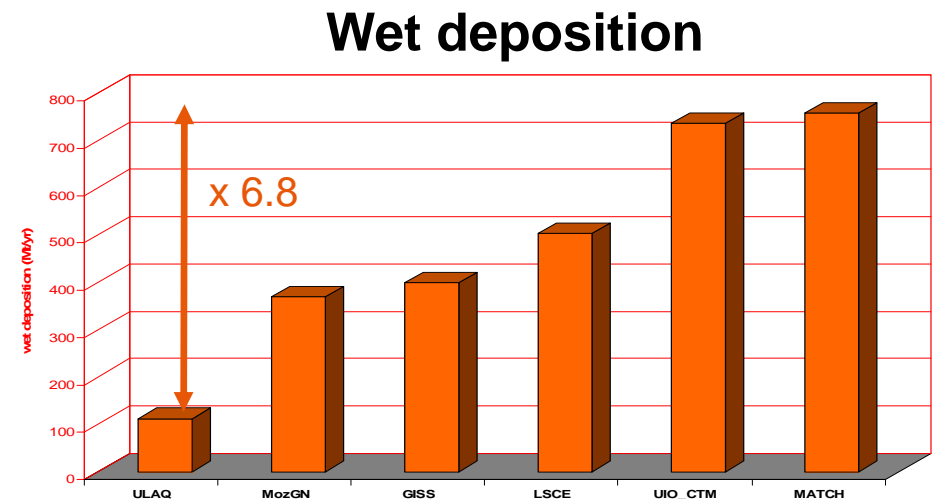
<http://charmex.lsce.ipsl.fr/>

Challenge : quantifying atmospheric deposition and its biogeochemical impact on low-nutrient, low-Chl. Med. waters

Global dust aerosol model intercomparison with prescribed mass fluxes, injection height and emitted particle size



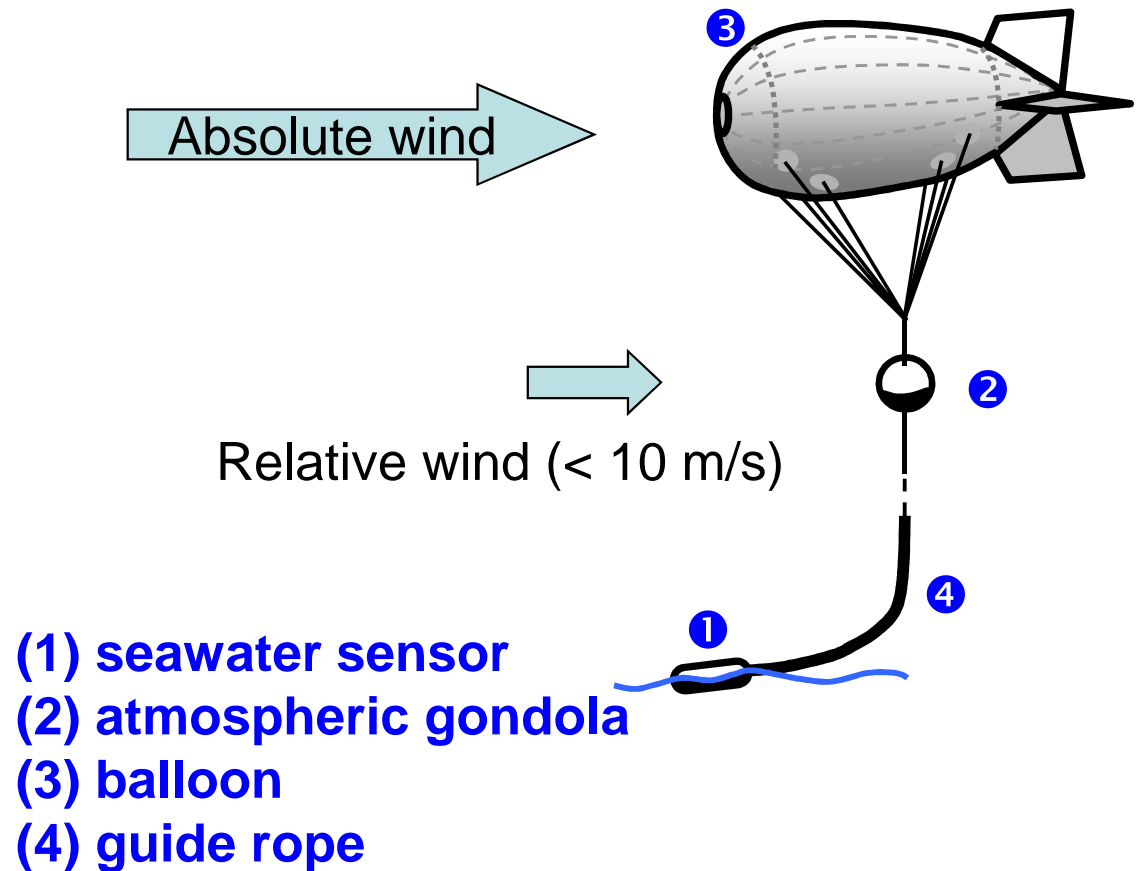
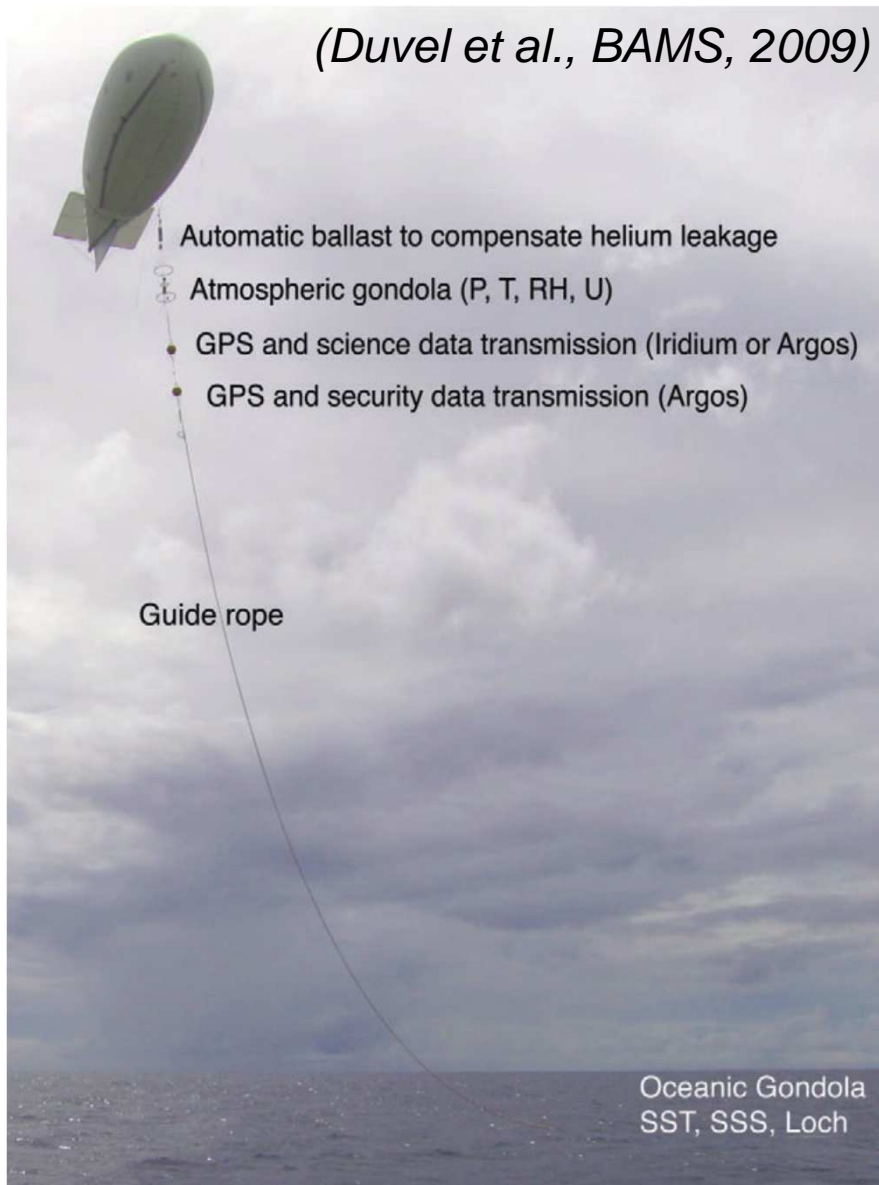
⇒ **AOD does not constrain aerosol mass budgets**



Adapted from AEROCOM (Aerosol Model Comparison; <http://dataipsl.ipsl.jussieu.fr/cgi-bin/AEROCOM/>; Textor et al., Atmos. Chem. Phys., 2006 and 2007)

⇒ **The huge model variability in deposition is a critical problem to address atmospheric input to surface waters**

Aeroclipper principle



⇒ The floating guide rope maintains the balloon close to the sea surface (30-50 m)

Estimation des coûts CHARMEX (Aéroclipper & BPCL), campagne 2012

<i>Coût h.mois (en k€) + transport</i>	
<i>Méditerranée</i>	10

	Nombre de ballons	Coût unitaire chaîne de vol (en k€)	Coût matériel (en k€)	Coût hélium (en k€)	Nombre personnes CNES	Durée mission (en mois)	Coût déploiement (en k€)
BPCL (évolution)	50	10	500	5	3	2	60
AEROCLIPPER	15	15	225	7.5	4	2	80

	BPCL	Aéroclipper
Coût totaux par composante (en k€)	565	312.5
<i>Coût moyen / aérostat</i>	11.3	20.8

Coût total	878
------------	-----

Estimation des coûts Probatoire **BAMED / CHARMEX** (Aéroclipper & BPCL) (2011) (N. Verdier, CNES)

<i>Coût h.mois (en k€) + transport</i>	
<i>Méditerranée</i>	10

	Nombre de ballons	Coût unitaire chaine de vol (en k€)	Coût matériel (en k€)	Coût hélium (en k€)	Nombre personnes CNES	Durée mission (en mois)	Coût déploiement (en k€)
BPCL (évolution)	5	12	60	0.5	3	1	30
AEROCLIPPER	4	18	72	2	3	1	30

	BPCL	Aéroclipper
Coût totaux par composante (en k€)	91	104
<i>Coût moyen / aérostat</i>	<i>18.1</i>	<i>26</i>

Coût total probatoire	195
-----------------------	------------

ChArMEx proposes a network of atmospheric background Mediterranean stations

Summer (JJA) 2007 aerosol optical depth at 865 nm from PARASOL

(courtesy of D. Tanré, J.-L. Deuzé and F. Ducos)

**New:
Balearic Isl.**

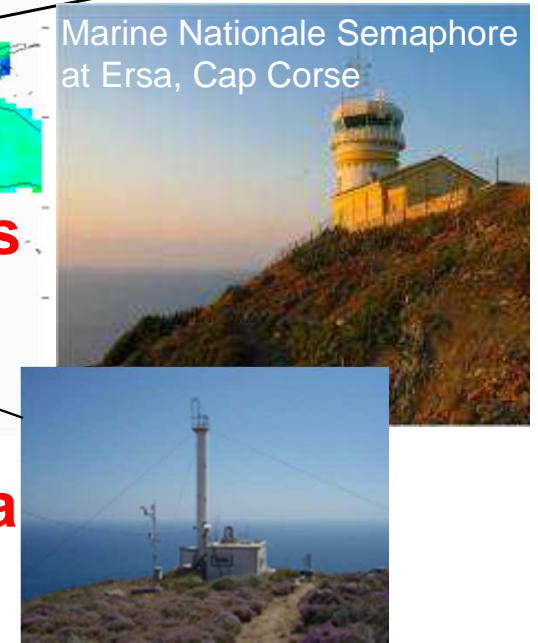
Lampedusa

New: Corsica

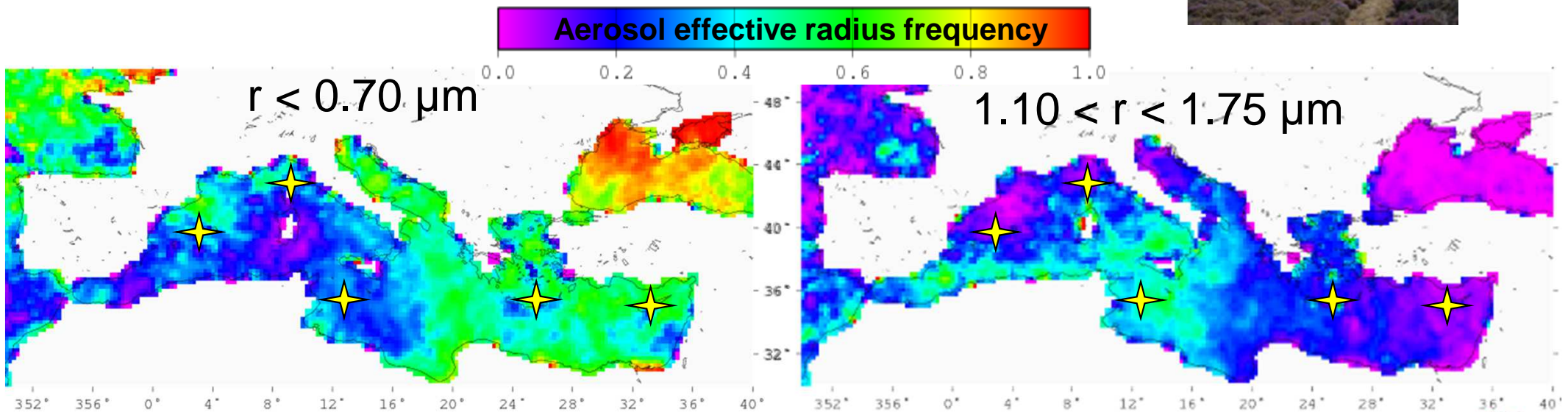
Marine Nationale Semaphore at Ersa, Cap Corse

**New:
Cyprus**

Finokalia



+ existing background observatories (e.g. PAES, IAGOS...)



TRAQA

⇒ Instrumentation spécifique

- 3-4 vols avec Ozonomètre (en cours de développement)
 - *Développement en cours CNES-LA*
- 1 à 2 vols avec le compteur d'aérosols LOAC
 - *Développement par le LPC2E et Environnement SA*
 - *Adaptation sur BPCL à prendre en charge par le CNES*
- Cette instrumentation nécessite le développement d'un complément d'interface de pilotage sur le segment sol

⇒ Radiosondages associés

- Pour injecter les BPCL à un niveau de vol précis, des radiosondages sont souhaitables
 - *Les radiosondages classiques sont possibles coté CNES (pas de Dossier de soumission sauvegarde)*
 - *L'équipe scientifique demande de rajouter une sonde ozone (préparation de la sonde prise en charge par le LA)*
- Les scientifiques proposent de lancer les LOAC prévus au printemps en Méditerranée (demande initiale F. Dulac) à l'occasion de TRAQA de préférence en cas de passage de poussières désertiques (statistiquement 1 évènement vers début juillet), ou en cas de forte pollution particulaire le cas échéant.
 - *Les chaines de vol existent (LOAC V0, conf. Islande)*
 - *Il faut instruire une soumission sauvegarde (en cours)*

- ⇒ Dans le cadre du projet ChArMEx (the Chemistry-Aerosol Mediterranean Experiment, <http://charmex.lsce.ipsl.fr/>), il est prévu de lancer des ballons de type BPCL (Ballon Pressurisé de Couche Limite) dérivant à un niveau de densité constante fixé entre environ 800 et 2800 m d'altitude, pour suivre l'évolution physico-chimique de masses d'air continentales exportées au-dessus du bassin méditerranéen occidental. Outre leur instrumentation standard (PTU et GPS) les BPCL emporteront une sonde ozone ou un compteur-granulomètre aérosols pour des suivis éventuellement sur plusieurs jours en fonction des trajectoires. Les développements instrumentaux et les plans d'expériences seront détaillés.
- Il est prévu de suivre des masses d'air polluées depuis la rive nord et des masses d'air sahariennes depuis la rive sud. Ces mesures permettront de tester les modèles de chimie-transport de façon originale. La mesure d'ozone repose sur le fonctionnement intermittent d'une sonde électrochimique classique, la mesure des aérosol sur un nouveau compteur optique miniature (LOAC). Les premiers tests en vol sont prévus durant l'été 2012 avec des lancers dans le panache de Fos-Berre. La possibilité d'utiliser ces ballons comme traceurs pour rééchantillonner la même masse d'air avec un avion de recherche sera également testée pour la première fois.