

# Observations du Lidar IPRAL pour la mesure du profil vertical de vapeur d'eau pour l'étude des traînées de condensation des avions

Dunya Alraddawi<sup>(1)</sup>, Philippe Keckhut<sup>(1)</sup>, Florian Mandija<sup>(1)</sup>, Alexis Mariaccia<sup>(1)</sup>, Christophe Pietras<sup>(2)</sup>, Jean-Charles Dupont<sup>(2)</sup>, Alain Hauchecorne<sup>(1)</sup>, Alain Sarkissian<sup>(1)</sup>, Jacques Porteneuve<sup>(1)</sup>

(1) LATMOS/CNRS

(2) SIRT/IPS

(3) GORDIEN STRATO (Privé)



# Objectifs et intérêt de l'étude



## Objectif BeCoM:

Optimiser la planification des vols avions en tenant compte également des impact non-CO2 (comme la formation de traînées de condensation) et faire évoluer les algorithmiques d'impact sur le climat et sa faisabilité.

## Question scientifique:

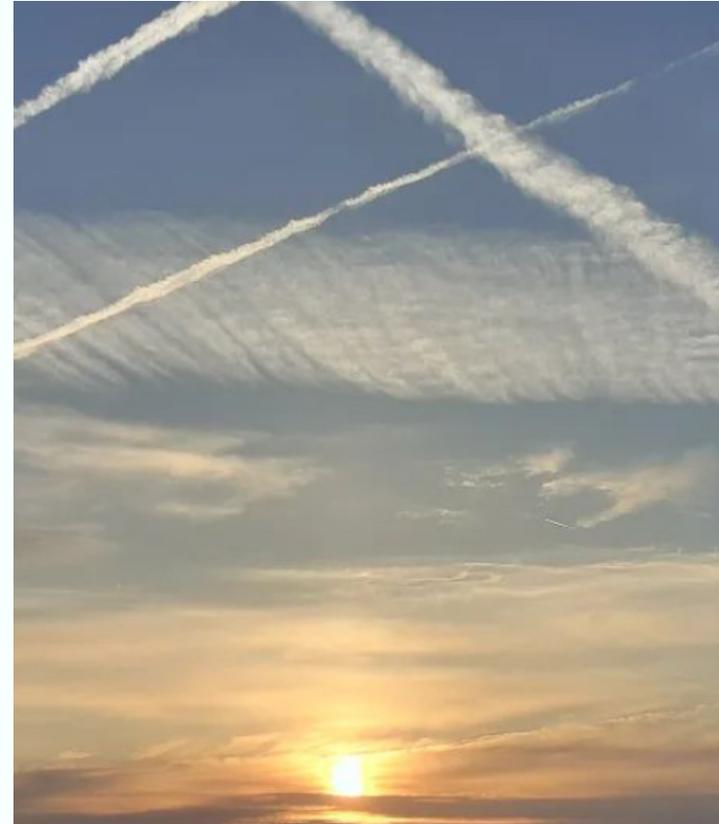
Améliorer la détermination des conditions de formations des traînées et leur évolution en cirrus.

Besoin d'une meilleure compréhension des processus thermodynamiques et du contenu en vapeur d'eau ambiante aux altitudes de vols (7-12 km).

Utilisation de IAGOS et de 4 Lidars Raman pour observer l'humidité.

## Objectif de cette étude:

Etalonnage et utilisation du lidar IPRAL



Saint-Malo 2024 (France) @Chacroune.M

# Table de matière

---



- IPRAL Raman lidar
- Des signaux Raman au profil de rapport de mélange (WVMR)
- Stratégie d'étalonnage
  - Chaîne de traitement (WVMR)
  - Exemple
  - Facteurs périodiques
- Validation de profils calibrées :
  - Jeux de Données externes : ERA5, M10, GRUAN(M10)
  - Résultats de validation: Biais & distribution
- Conclusions

# IPRAL : Le Lidar (SIRTA 48.7°N 2.2°E)

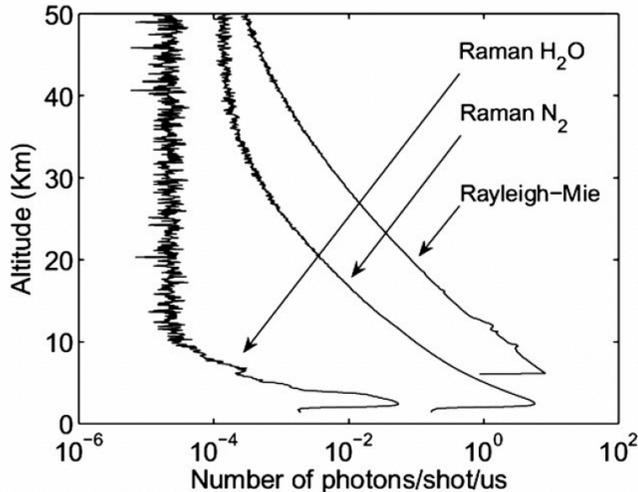


Système Lidar non-axial, Mesures nocturnes/diurnes en absence de nuages bas  
 Mode de lancement automatique activé à partir du 20 mars 2024

Le faisceau Laser émis a une longueur d'onde de 355 nm:

- Retrodiffusion (élastique): effet Reyleigh-Mie : distribution et extension verticale des nuages
- Retrodiffusion (inélastique): effet Raman (WVMR profiles)

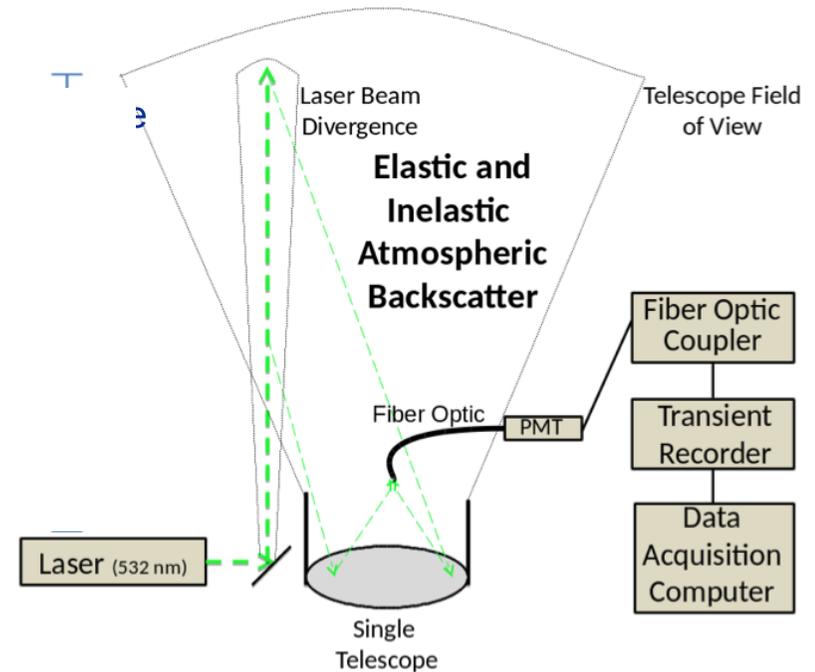
Le signal de rétrodiffusion Raman collecté par le télescope est de 4 ordres de grandeur plus faible que le Rayleigh → Détectés en comptage de photon et enregistrés en fonction de temps (Altitude)



Hoareau et al., 2009



© Gordien Strato



Credit: Gordien Strato.

# Des Signaux Raman IPRAL au profil WVMR (1):équation



Signaux bruts sont enregistrés par période d'intégration de 30 secondes et pas d'altitude de 15m

Le rapport de deux signaux Raman H<sub>2</sub>O & N<sub>2</sub> (nettoyés du bruit de fond de ciel) est proportionnel au profil non calibré du rapport de mélange de vapeur d'eau (WVMR) par un facteur d'étalonnage:

$$WVMR(z) = C \cdot T(z) \cdot \frac{S_{H_2O}(z) - B_{H_2O}(z)}{S_{N_2}(z) - B_{N_2}(z)}$$

$S_{H_2O}(z)$ : Signal Raman rétrodiffusé H<sub>2</sub>O à 408 nm.

$S_{N_2}(z)$ : Signal Raman N<sub>2</sub> à 387 nm

$B_{H_2O}(z)$ : Bruit de signal H<sub>2</sub>O (médiane de signal aux Alt > 20km)

$B_{N_2}(z)$ : Bruit de signal N<sub>2</sub> (médiane de signal aux Alt > 50km)

$T(z)$ : La transmission différentielle atmosphérique dues aux cirrus effets (négligeable aux altitudes > 4 km , Sherlock et al. 1999a)

**C: Le facteur d'étalonnage**

Hoareau et al.,2009

# Des Signaux Raman au profil WVMR (2):Pré-traitement



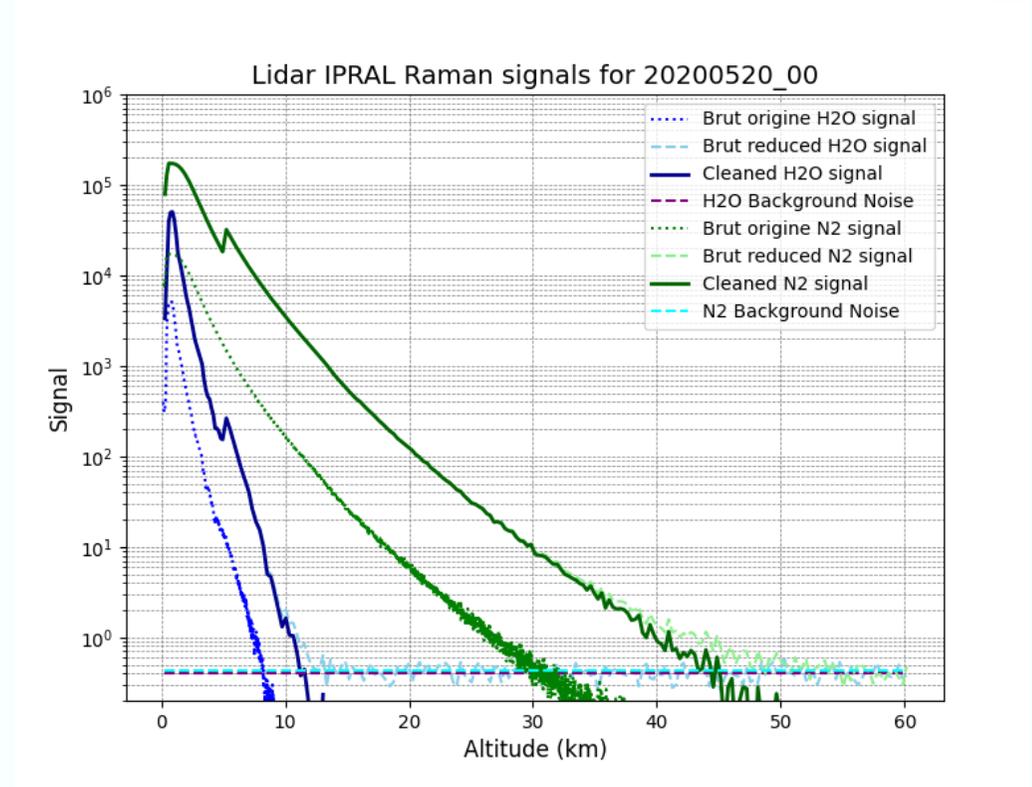
## 1. Période nocturne seulement

Le système IPRAL fonctionnant en continu, les périodes nocturnes sont déterminées à l'aide des informations sur les levers et couchers de soleil fournies par l'observatoire de Laval

## 2. Résolution temporelle & verticale réduites

Profils de signaux sommés horaires et avec une résolution verticale dégradée: 10 fois plus grande soit 150m ou 300m selon l'altitude au lieu de 15m.

- Mieux exprimer la stabilité de masse d'air
- Augmenter le rapport signal bruit pour des profils à porté suffisamment haute (> 6 km)
  - Etude de trainées de condensations aux échelle locales
  - Possible calibration avec des références horaires



Signaux Raman brut de l'heure de minuit sommé (pointés);  
 Signaux à résolution verticale réduite aussi (tirés);  
 Signaux nettoyés de bruits aussi (continues);  
 Niveau de bruits en lignes horizontal.

# Stratégie d'étalonnage(1): Chêne de traitement

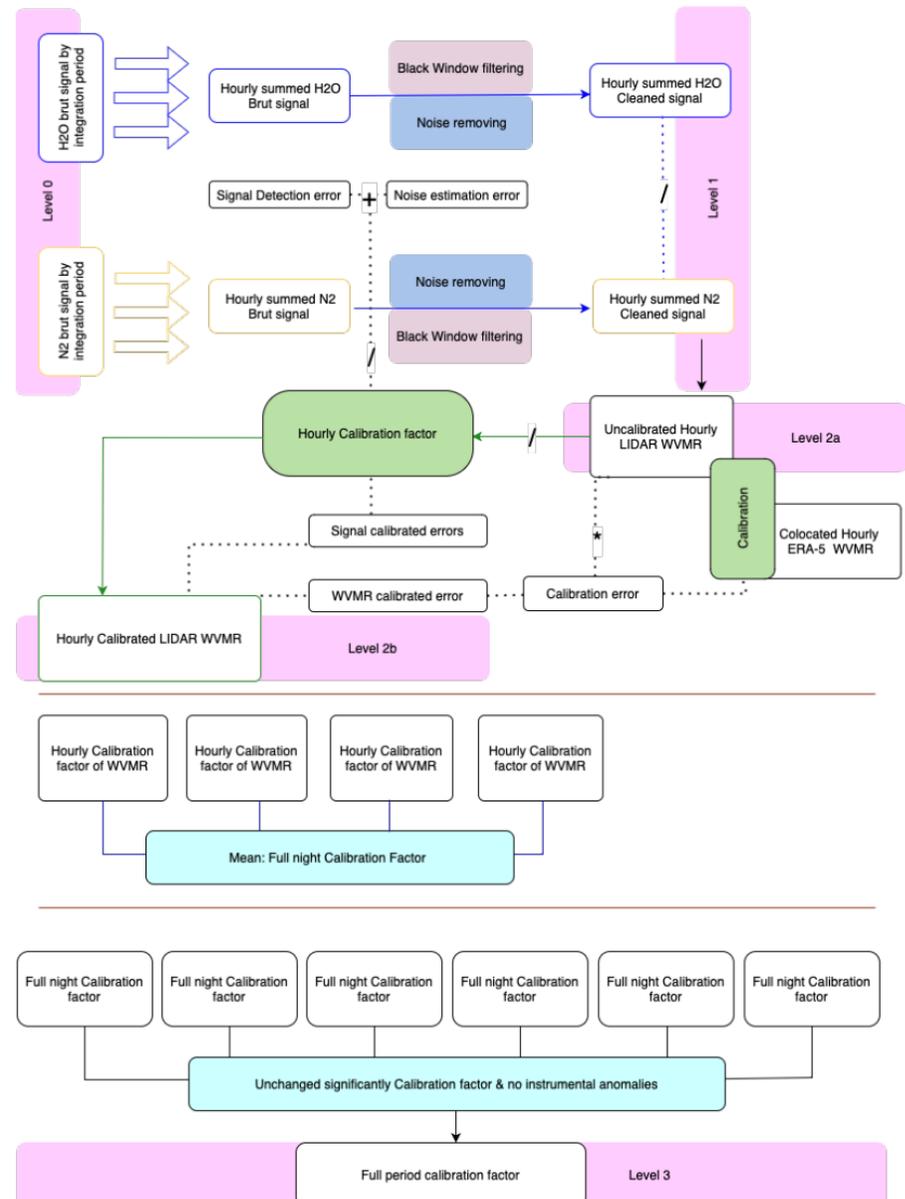
Meilleure détection de signal H<sub>2</sub>O depuis 2017 →  
 Profils donnant une plus grande extension verticale

L'étalonnage externe est effectué par rapport aux mêmes périodes et co-localisées avec les analyses du modèle européen ERA5 entre 3 et 5 km → un facteur d'étalonnage unique par heure

Le facteur d'étalonnage de la nuit entière est calculé comme la moyenne des facteurs horaires valides de la nuit

Un facteur de calibration unique pour chaque période stable sur plusieurs jours en l'absence de modifications instrumentales, à appliquer à tous les profils WVMR horaires non calibrés → produit final calibré.

Estimations d'erreurs



# Stratégie d'étalonnage(2a): Profile horaire/erreurs



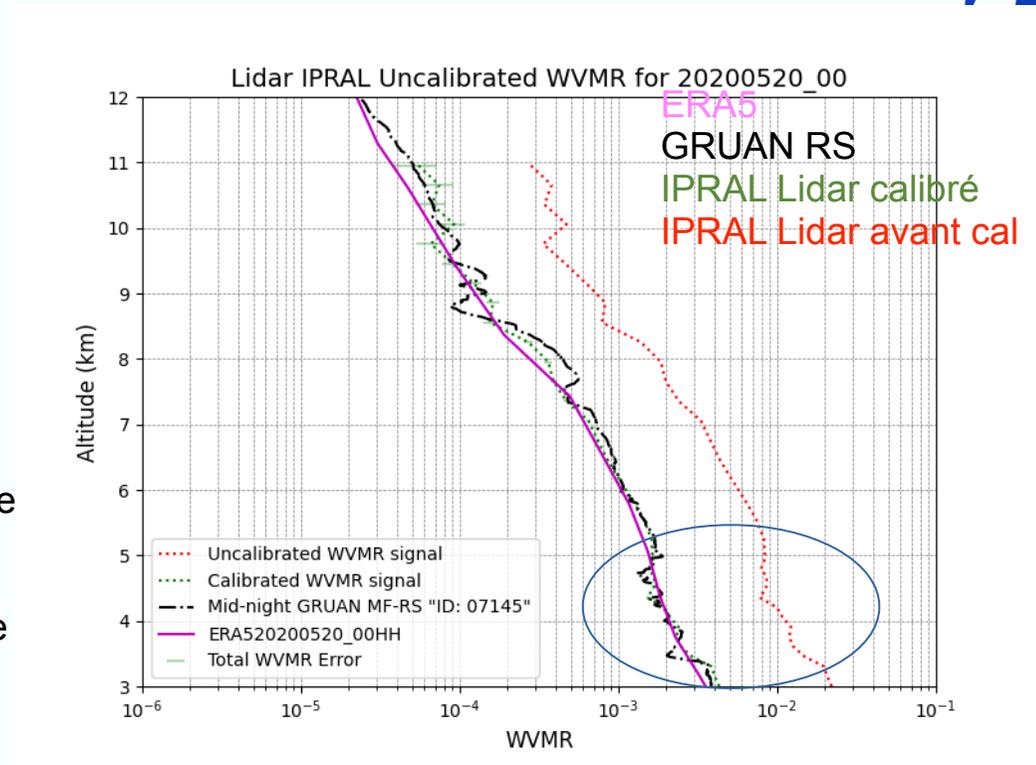
L'erreur aléatoire totale du rapport de mélange de vapeur d'eau (WVMR) est composés de

- Erreur de détection de signal
- Erreur d'estimation du bruit de signal
- Erreur de calibration

Une accord général meilleur que 70% par rapport à ERA5 et avec les traitements réalisés dans le cadre de GRUAN (M10 corrigé Dupont et al.).

L'objectif porte sur l'évaluation de l'humidité à l'altitude de formation des traînées de condensation (7-11 km)

Vérifions statistiquement !



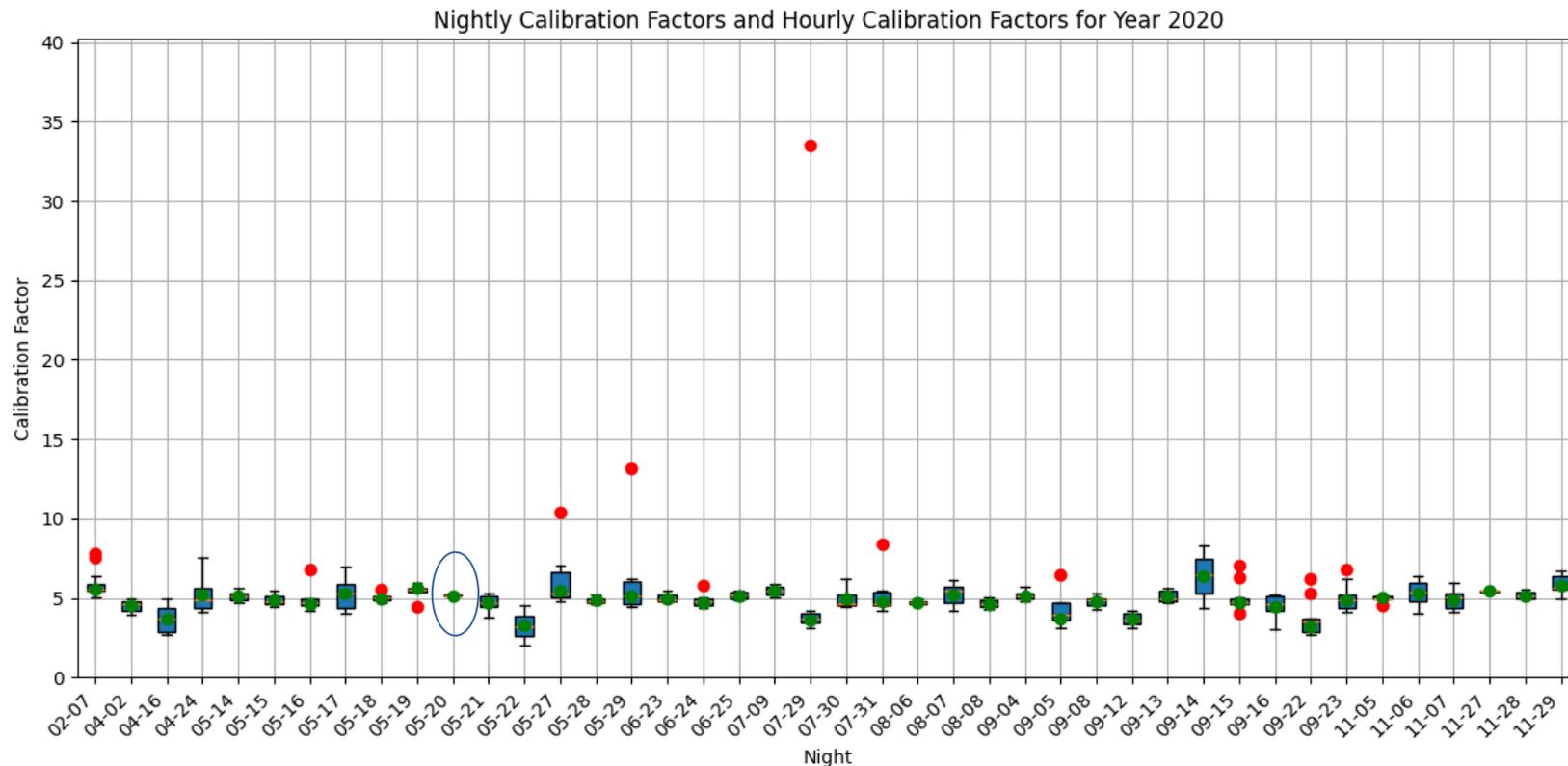
Profile du WVMR à minuit , non calibré (rouge), calibré (vert) , ERA5 (violet), RS (noir). Le rond bleu indique la zone utilisée pour calculer le facteur d'étalonnage de cette heure (5).

# Stratégie d'étalonnage(2b): Profile nuit



Profile WVMR de nuit extrait des signaux sommées (nuit complète)

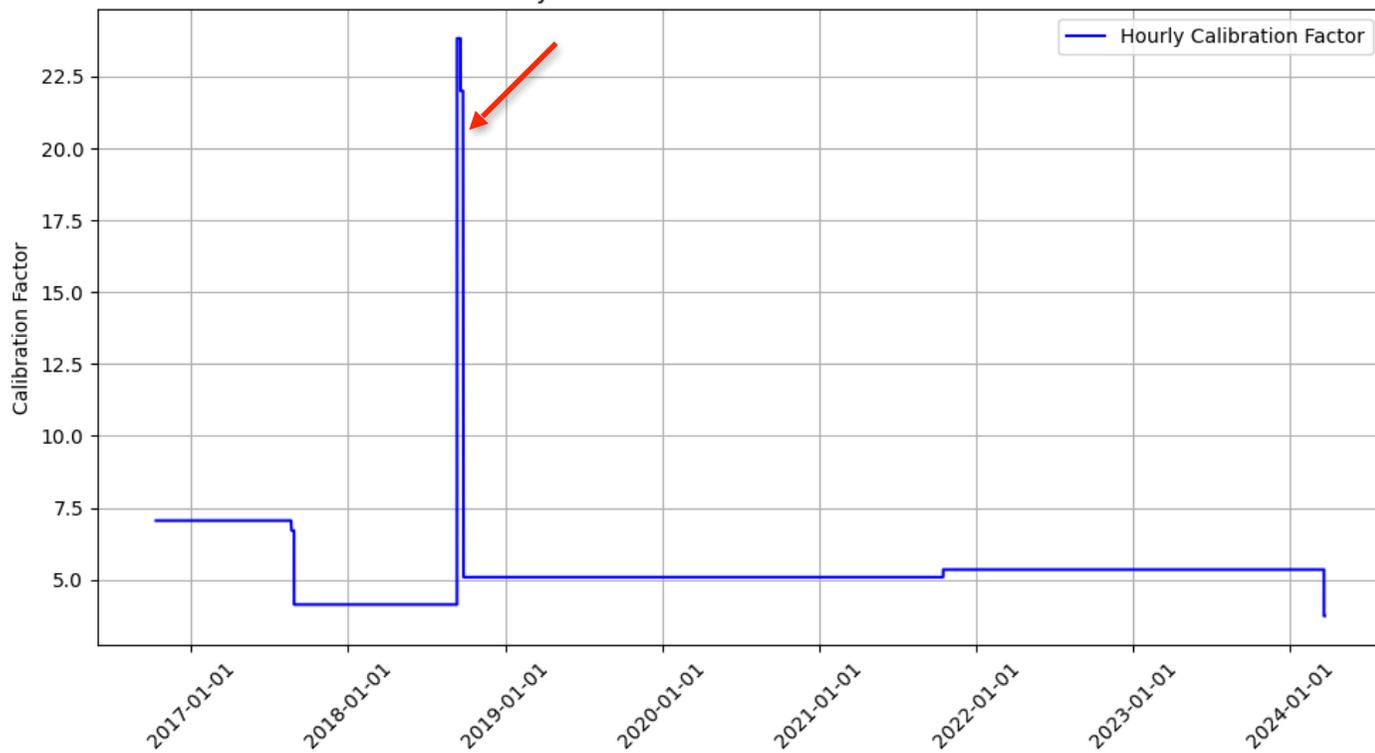
Le facteur de calibration de nuit est calculées à partir de la moyenne des facteurs de calibrations de tous les facteurs horaires



# Stratégie d'étalonnage(3): Facteurs périodiques



Evolution temporelle du facteur d'étalonnage final retenu pour le traitement de la base de données, montrant les périodes stables et les changements instrumentaux ayant impacté la calibration.



Valeurs de facteurs d'étalonnage généralisés par périodes stables

# Validation de profils Lidar Calibrés (1): Données

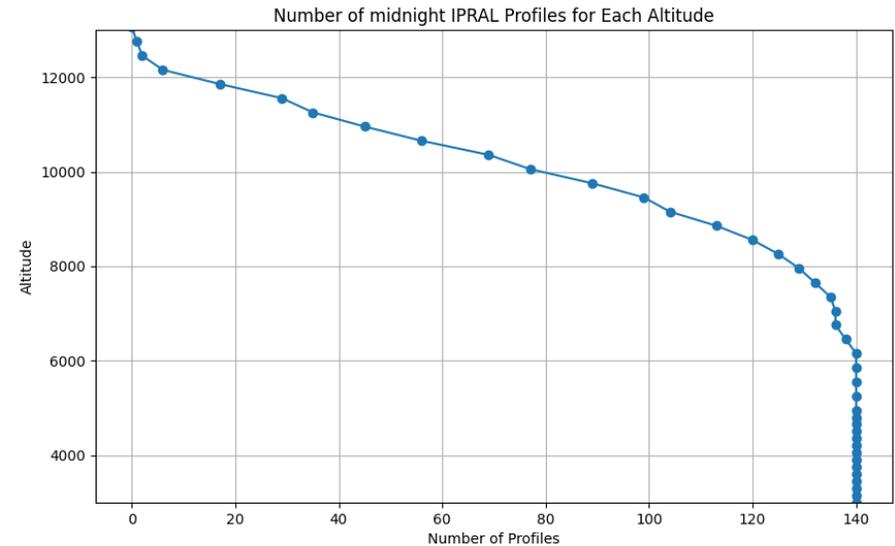


140 Profils WVMR lidar horaire minuit extrait des signaux sommés (heure de minuit) calibrés avec les facteurs d'étalonnage finaux par période.  
La résolution verticale est dégradée avec l'altitude pour améliorer le SNR et la portée.

140 Profils ERA5 horaires minuit collocalisés aux observations lidar (0.1°): calculés à partir de l'humidité spécifique

138 Profils Radiosondages Modem M10 Météo-France archivées: lancement nocturnes (minuit) à Trappes, calculé à partir du point de rosé en fonction des niveaux de pression.

79 Profils GRUAN RS: minuit de Trappes M10 corrigés disponibles depuis mars 2018 (Dupont et al., 2020)



Nombre de profils horaires minuit participants a la validation par altitude

# Validation (2a): Lidar Vs ERA5 Vs GRUAN



Accord général, Corrélation mieux que 90 %

biais global négatif < 10% aux altitudes < 9 km

Excellent accord entre les données lidar et les sondages GRUAN entre 9-11 km

**Biais positif par rapport aux analyses météorologiques ERA5 (18%) aux altitudes > 10 km**

(ERA 5 pas assez humide en haute troposphère)

$$\text{Relative Bias} = \left( \frac{\text{WVMR}_{\text{lidar}} - \text{WVMR}_{\text{other}}}{\text{WVMR}_{\text{lidar}}} \right) \times 100$$

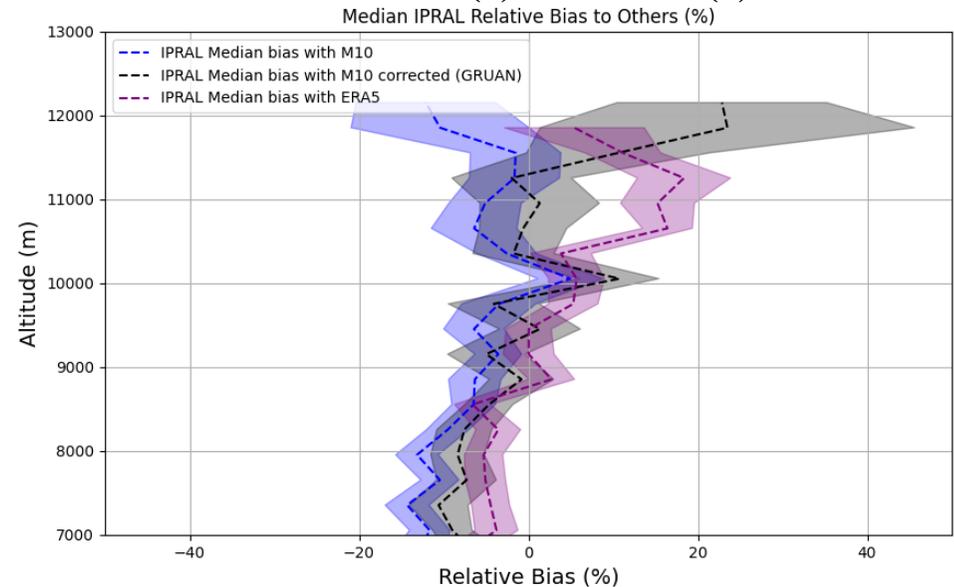
$$\text{Erreur}(z) = \frac{\text{pseudo}(\sigma_{\text{Relative Bias}(z)})}{\sqrt{N(z)}}$$

$$\text{pseudo}(\sigma_{\text{Relative Bias}}) = \frac{\text{IQRT}}{1.397} \quad (\text{Lanzant 1996})$$

$$\text{IQRT} = Q3 - Q1$$

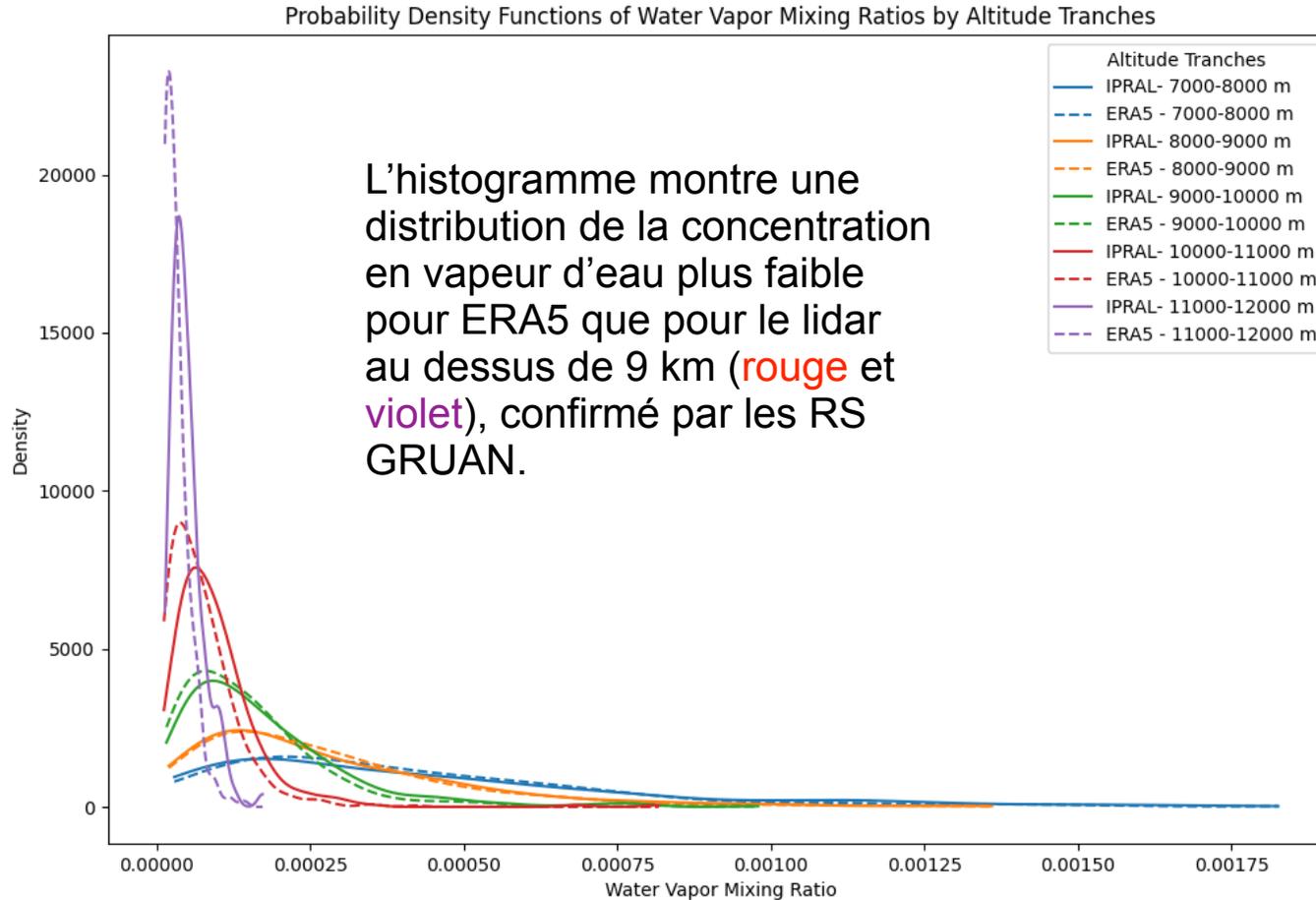
$N(z)$ : nombre de paires de profils comparés par niveau d'altitude

## Biais relatif(z) ± Erreur(z)



Médiane de biais relatif (%) de profils lidar par rapport au:  
ERA5(violet), M10(bleu), GRUAN-M10(noir)

# Validation (2b): Lidar Vs ERA5



PDF de profils Lidar IPRAL et ERA5 aux altitudes > 7 km par tranche d'altitude de 1 km

# Conclusions

---



Mise en place d'une stratégie d'étalonnage « universelle » indépendante de la géométrie et du mode d'acquisition des systèmes lidars à partir d'ERA5 (globale et horaire)

Les profiles IPRAL calibrés sont comparés aux profiles minuit d'ERA5, RS:

- Bon accord général: Corrélation mieux que 90 %
- Biais négatif < 10% aux altitudes < 9 km
- Excellent accord entre 9 -11 km avec les radiosondages analysés par GRUAN
- Biais positif par rapport à ERA5 (jusqu'au 18%) aux altitudes de croisière des avions > 9 km

Perspectives: comparaison avec ERA5 et la correction déterminée à partir des analyses des données avions IAGOS.