

La plate-forme d'étalonnage pour sondes microphysiques actuellement au service de la Plate-forme de Mesures Aéroportées (Instrument National INSU)

C. Gourbeyre, G. Febvre, F. Ogheard, R. Dupuy, D. Leroy, J.-F. Fournol et A. Schwarzenboeck.

Laboratoire de Météorologie Physique, Centre National de la Recherche Scientifique / Université Blaise Pascal, Aubière, France.

OBJECTIFS

Le Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP) dispose de sondes aéroportées permettant de **mesurer les propriétés microphysiques in-situ du nuage** (taille, forme, concentration des gouttelettes d'eau et/ou des cristaux de glace). L'ensemble de ces instruments de mesure composent la Plate-forme de Mesures Aéroportées (PMA).

La vérification de l'étalonnage des sondes est indispensable. **Il existe des techniques et systèmes d'étalonnage en taille** (billes de verre,...) mais ces **procédés commercialisés n'ont pas vocation à étalonner les sondes en concentration** et ceci pour des particules échantillonnées en vol jusqu'à des vitesses de 200 m.s⁻¹.

C'est pourquoi **un banc d'étalonnage pour sondes microphysiques a été réalisé au LaMP**. Celui-ci se compose d'une table optique offrant un support stable pour y positionner les sondes ainsi que leurs systèmes d'étalonnage optique. L'idée est de **simuler le passage des particules** grâce à :

- un **élément tournant** : des prototypes ont été développés et/ou sont en cours de développement pour les sondes 2D-S (disques optiques) et CDP/CPSPD (disque avec micro-forages),
- un **injecteur quantitatif de particules** : ces systèmes sont en projet de développement pour les sondes CDP (générateur de gouttelettes d'eau calibrées), CPSPD (gouttelettes d'eau, analogues de glace) et CPI (analogues de glace, billes de verre).

DISQUES OPTIQUES

Le système optique décrit ci-après est utilisé pour les sondes de type imageur (Optical Array Probe, OAP) de la PMA permettant d'enregistrer les images 2D de diffraction des particules nuageuses (de 10 µm à plus de 6 mm de diamètre).

Principe de fonctionnement des sondes OAP concernées :

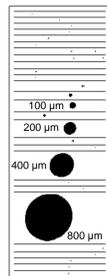
Un rayon laser éclaire le flux de particules à étudier dont l'ombre noircit un réseau linéaire de photodiodes échantillonnant à la vitesse de déplacement de l'avion, permettant ainsi de reconstituer les images avec une résolution de 10 à 100 µm par pixel.



Élément tournant et sonde 2D-S



Plaquette avec motifs étalons



Images enregistrées

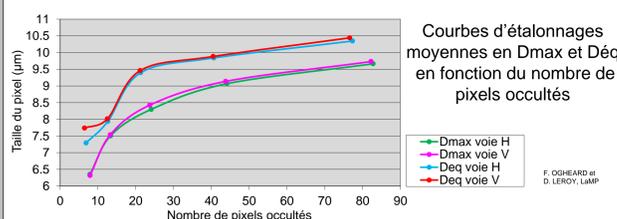
Outil d'étalonnage :

Le prototype développé au LaMP pour la sonde 2D-S s'inspire de systèmes existants. Il permet grâce à des motifs étalons de simuler le passage de particules à travers le faisceau laser avec une vitesse linéaire maximale de 90 m.s⁻¹. Les motifs étalons sont composés de 6 disques de chrome déposés sur des plaquettes de verre (20, 50, 100, 200, 400 et 800 µm de diamètre). L'ensemble est monté sur un positionneur micrométrique 3 axes.

L'étude consiste à vérifier la réponse de la sonde 2D-S en matière de :

- comptage (concentration) et classification en taille,
- mesure du temps d'arrivée entre deux particules,
- exploration sur la profondeur de champ,
- étude des effets de coïncidence (particules multiples sur une image),
- trajectoire des particules.

EXEMPLE DE RESULTATS



Plusieurs séries de mesures ont été réalisées sur la totalité de la profondeur de champ sur chaque voie de la sonde 2D-S. Les premiers résultats permettent d'introduire des facteurs correctifs dans les algorithmes de calcul des diamètres en ce qui concerne la taille du pixel en fonction du nombre de pixels occultés.

BILAN ET PERSPECTIVES

Les premiers résultats obtenus nous confortent dans l'intérêt de disposer de notre propre plate-forme d'étalonnage pour toutes les sondes de la PMA. En effet, en dehors des gains en précision sur la mesure ainsi qu'en coûts d'entretien des sondes, ces différentes techniques nous permettront de vérifier fréquemment les étalonnages des fabricants, d'améliorer l'analyse de nos mesures (formes des spectres de distribution en taille des particules), d'explorer de nouvelles possibilités de mesure des formes des petits cristaux de glaces (diamètres inférieurs à 50 µm) et d'améliorer notre

connaissance des limites de fonctionnement de nos instruments.

Enfin, dans le but de réaliser un étalonnage pendant les campagnes de mesures intensives lorsque les sondes sont montées sur avion, il est prévu d'adapter certains des prototypes afin de les rendre utilisables directement sur le terrain (cf. photo de l'élément tournant monté sur la sonde 2D-S installée sous l'aile de l'avion Falcon 20 de SAFIRE).

Remerciements : cette étude bénéficie en particulier d'un soutien financier du CNES et de l'assistance du Service de Développement Technologique de l'OPGC pour la conception mécanique.

DISQUE AVEC MICRO-FORAGES

Le système décrit ci-après est utilisé pour les sondes de la PMA basées sur le principe de la mesure de la diffusion de la lumière par des particules nuageuses dans le but de mesurer le spectre dimensionnel de ces particules (de 1 à 50 µm de diamètre).

Principe de fonctionnement des sondes CDP et CPSPD concernées :

Un rayon laser éclaire le flux de particules dont la diffusion (avant/arrière) est mesurée à l'aide de photodiodes. Les amplitudes mesurées permettent de déduire, à partir de la solution de Mie, le diamètre des gouttelettes d'eau échantillonnées.



Disque micro-foré et sonde CDP

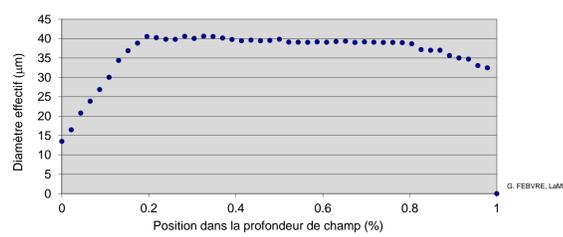
Outil d'étalonnage :

Le prototype développé au LaMP pour la sonde CDP est basé sur la diffraction de la lumière à travers un orifice. Un disque métallique percé de 5 micro-forages calibrés (20, 50, 70, 100 et 200 µm) est entraîné par un moteur électrique autorisant une vitesse linéaire asservie maximale au point de mesure de l'ordre de 60 m.s⁻¹. L'ensemble est monté sur un positionneur micrométrique 3 axes.

L'étude consiste à vérifier la réponse des sondes CDP et CPSPD en matière de :

- comptage (concentration) et classification en taille,
- mesure du temps d'arrivée entre deux particules,
- exploration sur la profondeur de champ,
- étude des effets de coïncidence.

EXEMPLE DE RESULTATS

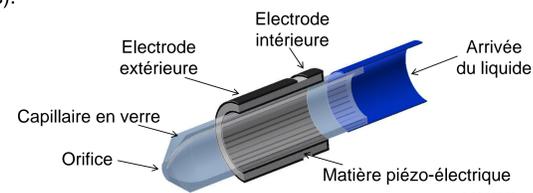


L'exemple, ci-dessus, montre la variabilité de la mesure du diamètre en fonction de la position de l'élément diffusant dans la profondeur de champ. Ce type de résultat est important pour la compréhension de la dispersion des mesures et permet de réaliser des modèles de correction.

GENERATEUR DE GOUTTELETTES D'EAU CALIBREES

Outil d'étalonnage :

La technologie utilisée est la micro-impression de fluides basée sur la méthode jet d'encre à la demande (jet d'eau dans notre cas).



Coupe longitudinale d'un micro-distributeur

Le micro-distributeur (ou buse) est composé d'un capillaire en verre rempli de liquide et entouré par un actionneur piézo-électrique qui va convertir des impulsions électriques en contrainte mécanique sur le capillaire. La surpression induite provoque l'expulsion d'une petite quantité de liquide par l'orifice qui forme une gouttelette.

La taille de la gouttelette dépend de la taille de l'orifice du micro-distributeur et peut être ajustée suivant la forme (créneau, sinusoïde ou autre forme complexe), l'amplitude, la largeur et la fréquence de l'impulsion de tension appliquée au piézo-électrique.



Gouttelettes d'eau capturées à différentes distances

Une mesure des caractéristiques des gouttelettes durant leur formation est réalisée. Une diode stroboscopique synchronisée aux impulsions de tension du piézo-électrique éclaire les gouttelettes à la sortie du micro-distributeur, permettant de figer leur position. Une optique placée entre une caméra CCD et le plan de la buse d'impression permet d'enregistrer les images et, après analyse, de déterminer la vitesse, le volume, le diamètre ainsi que la direction des gouttelettes.

La justesse, la fidélité, la répétabilité et la reproductibilité sont les avantages de cette technologie.

Le système complet sera à monter sur un positionneur micrométrique 3 axes couplé à un support adapté aux différentes sondes à étalonner.

Vitesse des gouttelettes : jusqu'à 10 m.s⁻¹.

Flux : jusqu'à 10 kHz.

Gamme de la dimension des micro-distributeurs : 10 à 100 µm.

L'étude consiste à vérifier et à élargir les réponses obtenues par les disques optiques et avec micro-forages (particules 3D au lieu des motifs 2D).

Sondes concernées : CDP, CPSPD et aussi 2D-S pour les faibles diamètres, selon les dimensions des micro-distributeurs utilisés.

A terme, il est envisagé de pouvoir remplacer le générateur de gouttelettes par un générateur de particules solides (non-sphériques, voire les analogues de glace).