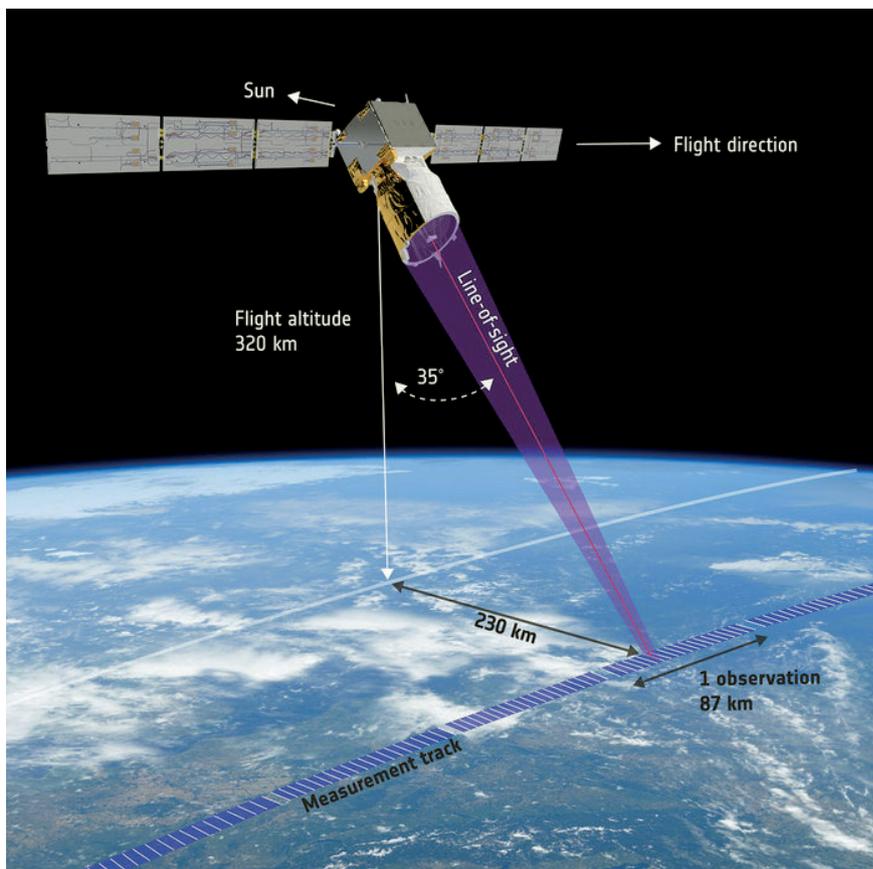


Le réseau mondial de radiosondages est maintenant renforcé dans sa capacité à mesurer des profils verticaux de vent par les mesures d'avions (atterrissages, décollages) ainsi que les mesures télédéteectées de profilers (radars ou lidars) opérant à partir du sol. Mais les premières ne sont effectuées que près des aéroports, et les deuxièmes ne sont disponibles que sur les zones habitées. Donc elles n'aident pas à compenser le manque de profils observés sur les zones océaniques et désertiques. Depuis les années 80, cette lacune a amené les scientifiques à réfléchir à la possibilité d'observer le vent depuis l'espace, en particulier par la technique du lidar.

Que mesure le lidar Aladin embarqué sur Aeolus ?

Pour mesurer les vents depuis l'espace, Aeolus va tester une technique lidar nouvelle mise au point par Airbus Defence and Space (précédemment « Matra Marconi Space (MMS) » puis « Astrium »). Il s'agit d'un laser de forte puissance qui va sonder les couches atmosphériques depuis une trentaine de kilomètres d'altitude jusqu'au sol. Il envoie des impulsions depuis le satellite à une longueur d'onde unique fixée à 355 nm (dans l'ultra-violet), selon un angle de visée s'écartant de 35° du nadir, sur la droite par rapport au mouvement du satellite. La principale mesure du lidar Aladin est donc un ensemble de valeurs du vent le long de cette ligne de visée inclinée à 35°, valeurs obtenues à partir des échos reçus en retour par l'instrument depuis différentes couches de l'atmosphère (et du décalage Doppler de ces échos). Les cibles principales du laser sont essentiellement les molécules des principaux constituants de l'air (azote et oxygène) en ciel clair. Toutefois sa forte résolution spectrale lui permet d'identifier aussi plusieurs types d'aérosols ainsi que le sommet des nuages.

Seule la composante du vent le long de la ligne de visée (LOS – Line Of Sight) est obtenue par cette technique. Elle est appelée « vent LOS » (« LOS wind » en anglais). De plus, afin d'obtenir une bonne précision les signaux Doppler sont accumulés et moyennés sur une distance de l'ordre de 87 km (voir figure) le long de la tra-



Principe de la mesure du vent par la mission spatiale Aeolus. Crédit ESA (www.esa.int).

jectoire du satellite (ou plutôt de sa trace au sol selon la ligne de visée) afin de produire un profil de vent LOS. A cette échelle horizontale, le vent vertical est généralement négligeable devant le vent horizontal, ce qui permet d'extraire tous les 87 km environ des vents horizontaux selon la ligne de visée appelés « vent HLOS » (Horizontal Line Of Sight winds). Ce vent horizontal est le produit qui intéresse le plus les utilisateurs, en particulier ceux s'occupant de l'assimilation pour les modèles de prévision numérique du temps et pour les réanalyses climatiques. On espère pouvoir le produire sur une vingtaine de niveaux en ciel clair le long de la ligne de visée.

Les principales limitations de ce système d'observation sont les suivantes :

- une seule composante du vent observé, celle dans la direction de visée (qui est perpendiculaire à la trajectoire du satellite Aeolus).
- Peu de points d'observation du fait de la ligne de visée unique et de l'interdistance de 87 km entre profils observés ; donc couverture globale en données peu dense si on la compare aux autres instruments spatiaux

sondant l'atmosphère en température et humidité.

– Comme pour les sondeurs infrarouges satellitaires, le lidar Aladin ne pénètre pas les nuages, et donc les observations sont limitées aux parties de l'atmosphère en ciel clair ou situées au-dessus des nuages.

La vidéo de l'ESA, visible sur le site suivant explique très bien à la fois le fonctionnement de l'instrument et l'intérêt de mesurer le vent sur toute la planète

http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2018/08/Why_measure_wind

Aeolus : une mission résultant d'un long processus, pouvant déboucher sur plusieurs autres missions spatiales

Le lidar a été utilisé en météorologie depuis un demi-siècle pour étudier à partir du sol la composition chimique de l'atmosphère, les aérosols, les nuages et le vent. Dans ce domaine, la communauté scientifique française s'est montrée très active. A partir des années 80, la plupart des campagnes

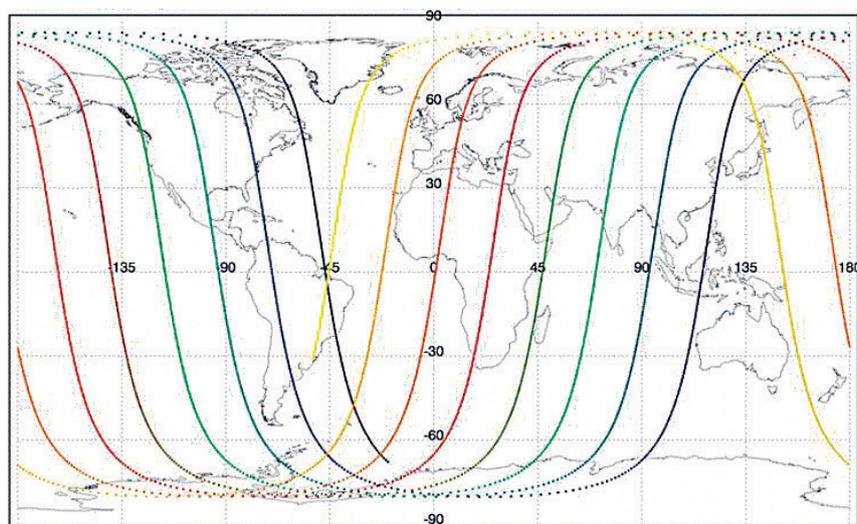
de mesures en météorologie ont utilisé différents types de lidars, d'abord installés au sol, puis souvent aussi embarqués sur des avions de recherche. Dès le début du XXI^e siècle, ils ont commencé à fonctionner régulièrement dans le contexte des réseaux de profilers opérationnels en météorologie. En 2018, Météo-France opère en routine une dizaine de stations profilers-lidars observant les aérosols (cendres volcaniques en particulier) ou le vent. Voir : <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/moyens/les-lidars-et-sodars>

La technologie du lidar a mis beaucoup plus de temps à se développer de façon à être utilisée à bord d'un satellite, ce qui explique qu'il a fallu attendre 2018 pour voir le premier lidar-vent dans l'espace, alors que plusieurs projets étaient déjà étudiés dans les années 1980. C'est en 1999 que l'ESA a décidé de développer la mission spatiale expérimentale Aeolus. 2007 était alors la date envisagée pour le lancement. La mission a été confiée à Airbus Defence and Space qui a mis au point l'instrument et le satellite dans son centre toulousain. Dès 2003 une maquette de l'instrument a été réalisée, produisant des observations de vent correctes à partir du sol. Mais elle n'a plus fonctionné dès qu'on l'a mise dans les conditions de l'espace, et il a fallu plusieurs années de reconfigurations, de réajustements et de tests pour aboutir au lancement d'août 2018.

Deux problèmes au moins contribuent à expliquer les difficultés techniques des missions spatiales embarquant des lidars par rapport aux instruments basés au sol :

- le lidar-vent est un instrument actif gros consommateur d'énergie ; ceci explique en particulier que la durée de vie estimée pour Aeolus soit de 3 ans, alors que par exemple le premier satellite *Metop*, lancé en 2006, voit fonctionner encore la plupart de ses instruments 12 ans plus tard.

- Aladin est un type d'instrument très sensible au milieu dans lequel il se trouve plongé et à ses variations. Il est donc très difficile de s'assurer qu'il fonctionnera bien dans l'espace par des tests au sol simulant l'environnement spatial. Ainsi, le transport d'Aeolus depuis l'Europe jusqu'à Kourou, avant son lancement, a dû être effec-



Couverture de données simulées Aeolus sur une période de 12h. Image : CEPMMT (Michael Rennie)

tué en bateau plutôt qu'en avion, pour lui éviter les brusques variations de pression atmosphérique au moment du décollage et de l'atterrissage de l'avion.

Aeolus est une mission expérimentale. Il s'agit de vérifier si un lidar spatial est capable de mesurer le vent sur une épaisseur de l'atmosphère de l'ordre de 30 km avec suffisamment de précision et de fiabilité. La durée de vie du satellite a été estimée à 3 ans. Le compromis choisi par les concepteurs du projet a été de favoriser plus la qualité de la mesure que la quantité d'observations produites, en particulier en effectuant une moyenne des signaux sur 87 km et en produisant seulement une composante de vent tous les 87 km, selon une ligne de visée unique. La couverture de données (représentée ici sur une période de 12 h) est peu dense (quelques milliers de points d'observation) comparée à celle des sondeurs atmosphériques tels que IASI (quelques centaines de milliers d'observations, mais très rapprochées et très redondantes). Notons que le nombre d'observations (profils verticaux) de Aeolus est du même ordre que le nombre de stations du réseau mondial de radiosondages, principale source directe d'information sur le profil vertical du vent jusqu'à maintenant, mais avec une répartition sur le globe plus homogène.

La mission Aeolus sera un plein succès si des données lidar sont finalement produites en temps réel sur une période proche de 3 ans, si elles s'avèrent suffisamment fiables et précises, et si

elles peuvent être assimilées dans un modèle en améliorant la prévision globale de manière significative.

C'est le CEPMMT qui doit se charger du prétraitement des données brutes fournies par l'ESA, de la production des vents (sous forme de composantes HLOS) et de leur diffusion en temps réel auprès des divers utilisateurs (autres centres météorologiques et communauté scientifique en général). C'est donc le CEPMMT qui est en première ligne pour le monitoring des futures données (évaluation en temps réel de leur disponibilité et de leur qualité), pour tester leur impact sur la prévision, et pour les utiliser en les assimilant dans le modèle global si les tests se révèlent positifs. Les mêmes opérations de monitoring et d'assimilation doivent être effectuées dans plusieurs autres centres météorologiques équipés de modèles globaux (Météo-France et son modèle Arpège par exemple) à partir des mêmes données fournies par le CEPMMT. Notons que le produit principal d'Aeolus (des composantes de vent HLOS plutôt que des vecteurs vent) est difficilement utilisable autrement que dans une assimilation globale conçue pour traiter des types d'observation très variés.

La mission expérimentale Aeolus ne sera pas pérennisée, du moins pas tout de suite. Mais si elle est un plein succès elle ouvrira la voie à plusieurs autres missions qui devraient permettre à partir des années 2020 ou 2030 de bien couvrir le globe en données de vent pleinement opérationnelles. En renforçant le nombre total d'observations et

donc la couverture de données par rapport à Aeolus, on peut espérer une avancée majeure dans l'observation globale du vent, dans la qualité des prévisions et des réanalyses climatiques.

Comment s'informer sur les principaux satellites météorologiques ?

Le web *Oscar* de l'Organisation Météorologique Mondiale, maintenu en temps réel, permet de s'informer de la situation concernant tous les satellites météorologiques et environnementaux, avec une fiche technique concernant chaque instrument. Ainsi, tous les détails concernant Aeolus et Aladin sont accessibles à partir de :

<https://www.wmo-sat.info/oscar/satellites/view/4>

et à partir d'une page du même site :
<https://www.wmo-sat.info/oscar/spacecapabilities>

On peut y découvrir les satellites récemment lancés (cliquer sur « Recently launched »), les satellites qui doivent être bientôt lancés (cliquer sur « Planned launches 20xx »). Pour s'informer sur un satellite ou un instrument particulier, il suffit d'introduire son nom dans la case « Quick search » en haut à droite.

Ainsi, en cliquant sur « Planned launches 2018 » on découvre une liste impressionnante de satellites devant être lancés à l'automne 2018. Parmi eux on trouve le 3e satellite de la série européenne Metop (programme Eumetsat) : Metop-C, prévu pour novembre 2018. Les deux premiers (Metop-A lancé en 2006 et Metop-B lancé en 2012) sont toujours opérationnels avec la quasi-totalité de leurs instruments.

Jean
Pailleux