© PLANET-C Project Team



Combler le fossé entre les données et la connaissance dans l'étude de l'atmosphère de Vénus

Le projet VAMOS

Arianna Piccialli, Jan Sermeus, Simon Lejoly, Sandy Claes, Jakub Stepanovic, Arnaud Mahieux, Karolien Lefever, Stéphanie Fratta et Ann Carine Vandaele

Vénus est non seulement notre plus proche voisine dans le système solaire, mais elle est aussi incroyablement semblable à la Terre de par sa structure rocheuse et de par sa taille. Elle est et a toujours été présentée comme la 'sœur jumelle' de la Terre. Pourtant, les conditions qui règnent à la surface de Vénus sont très éloignées de celles que nous connaissons sur Terre. L'atmosphère y est dense, créant des pressions élevées (100 fois la pression à la surface de la Terre) et des températures importantes (jusqu'à 500 °C). Son atmosphère est aussi très acide. Comprendre pourquoi cette atmosphère est si différente de la nôtre est un défi scientifique de longue haleine. Des missions spatiales d'étude de l'atmosphère ont été lancées pour percer ce mystère. La Belgique a participé à plusieurs de ces missions spatiales planétaires. A l'IASB, l'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique, où aéronomie est la science qui étudie toutes les atmosphères planétaires, des scientifiques et des ingénieurs ont participé à la mission Venus Express. En orbite autour de Vénus pendant près d'une décennie, de 2006 à 2014, cette mission a fourni une série de données sans précédent, qui n'ont pas encore toutes été analysées en profondeur à ce jour. De plus, les scientifiques de l'IASB collaborent toujours à la mission Akatsuki (JAXA), unique sonde spatiale encore actuellement en orbite autour de la planète et ils continuent de participer à des campagnes d'observation au sol à l'aide de grands télescopes pour scruter Vénus.

L'année dernière, la Politique scientifique fédérale (Belspo) a accordé à l'IASB, à l'UNamur, à la KU Leuven et à la LUCA School of Arts un financement pour le projet VAMOS dans le cadre de son programme BRAIN-be 2.0. Cette initiative vise à approfondir notre compréhension de l'atmosphère de Vénus et à préparer la prochaine mission EnVision, qui a récemment été sélectionnée comme la prochaine mission de l'ESA vers Vénus. Là encore, l'IASB est impliqué dans cette mission.

Le programme de recherche BRAIN-be 2.0 (Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks) est un programme-cadre réalisé sous la responsabilité de la Politique scientifique fédérale (Belspo) depuis 2018. Il s'articule autour de 3 piliers allant des défis et connaissances du monde vivant et non vivant, de la science du patrimoine, jusqu'aux défis sociétaux fédéraux. Actuellement, plus de 170 projets de recherche ont été financés. Pour plus d'informations : www.belspo.be/belspo/brain2-be/program_fr.stm

Dans ce qui suit, nous illustrerons comment VAMOS nous offre de nouvelles expériences d'apprentissage passionnantes. Tout d'abord, l'équipe de science planétaire de l'IASB expliquera comment elle utilise les données disponibles pour mieux comprendre l'atmosphère de Vénus. Ensuite, l'équipe de l'UNamur détaillera l'utilisation de l'intelligence artificielle dans la création d'un modèle global de l'atmosphère de Vénus. Enfin, les équipes conjointes de la KU Leuven et de la LUCA School of Arts exposeront leur stratégie de communication destinée au grand public autour de ce projet ambitieux et de l'atmosphère de Vénus.

Étudier les tendances à long terme et la climatologie de l'atmosphère de Vénus

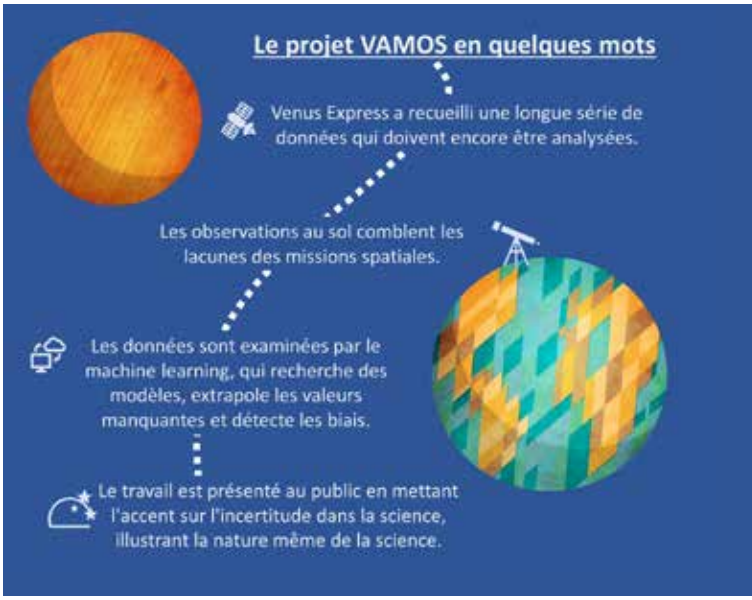
Après la réussite de sa mission en décembre 2014, Venus Express continue de présenter un intérêt majeur grâce à la grande quantité de données inexplorées collectées tout au long de son voyage. Parmi ces ensembles de données figurent les informations recueillies par le spectromètre SOIR (Solar Occultation in Infrared), dont l'IASB assure la gestion en tant que PI (Principal Investigator). En observant les levers et couchers de soleil vénusiens, SOIR a sondé les différents niveaux atmosphériques de Vénus et continue de fournir des informations précieuses même après la fin de la mission. Le traitement et l'interprétation d'informations aussi riches restent des tâches essentielles pour faire de nouvelles découvertes sur l'atmosphère mystérieuse de Vénus.

Jusqu'à présent, l'atmosphère de Vénus semble assez complexe. Les données à long terme de l'instrument SOIR seront utiles pour analyser (et éventuellement comprendre) les changements atmosphériques à court et à long terme. En combinant ces données avec les observations terrestres obtenues depuis la Terre, qui offrent une vue de l'atmosphère de Vénus dans son ensemble, il est possible d'obtenir une vision globale.

Dans l'atmosphère de Vénus, certains phénomènes représentent un véritable casse-tête pour les scientifiques. Il s'agit notamment des abondances très variables des gaz à l'état de traces dans l'atmosphère (où apparaissent-ils et où disparaissent-ils ?), du rôle des vents à l'échelle de la planète et des turbulences locales, sans oublier les ondes gravitationnelles dans la haute atmosphère.
Les scientifiques de l'IASB travaillent actuellement sur l'analyse minutieuse des données, en recherchant des modèles et des corrélations entre les quantités observées et les variables externes (par exemple, l'activité du Soleil au moment des observations).

Appliquer du machine learning pour étudier les atmosphères planétaires

Alors qu'à l'IASB on privilégiera des méthodes conventionnelles pour analyser les données, à l'UNamur, on misera sur l'apprentissage automatique (machine learning-ML). Cette approche innovante permettra de mieux comprendre l'atmosphère de Vénus et de faire progresser les techniques d'intelligence artificielle (IA).



Les différentes étapes du projet VAMOS impliquant des équipes de quatre institutions belges (adapté de ©Europlanet Society).

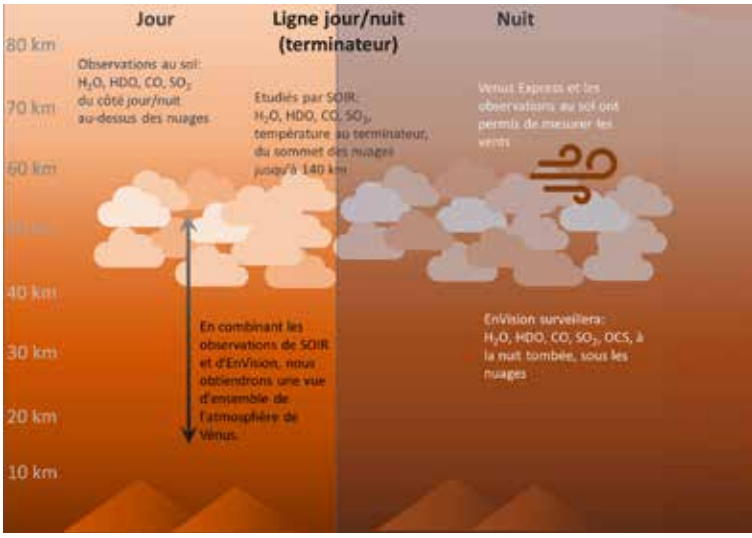


Schéma représentant les régions d'observation de SOIR (au-dessus des nuages au terminateur), les observations au sol (au-dessus des nuages à toutes les heures solaires) et EnVision (au-dessous des nuages à toutes les heures solaires) et les quantités surveillées par les deux instruments.

Le machine learning suscite désormais un fort engouement populaire grâce à des applications concrètes telles que la production de textes (avec Chat-GPT) ou de visuels (avec DALL-E). Néanmoins, il est largement utilisé depuis des années et intervient régulièrement dans notre existence quotidienne. Dans le milieu de la recherche, en particulier, les chercheurs appliquent régulièrement les méthodes de ML à de nombreux domaines scientifiques. Leurs modèles peuvent tirer parti de vastes ensembles de données pour extraire des connaissances de phénomènes complexes dans des domaines comme la chimie, la biologie, la physique et les sciences de l'atmosphère (par exemple, dans les prévisions météorologiques).

Dans VAMOS, les modèles de ML seront utilisés pour identifier des caractéristiques au sein des profils atmosphériques, facilitant ainsi la compréhension de phénomènes spécifiques ou la comparaison des données provenant de différents instruments, à l'instar de ce que font les scientifiques de l'IASB. L'enjeu crucial réside cependant dans la capacité à exploiter ces connaissances acquises par les modèles pour en déduire des valeurs probables là où les données manquent.

L'extrapolation est toujours une opération délicate. Si elles ne sont pas conçues de manière réfléchie, les solutions d'intelligence artificielle peuvent introduire des données complètement fausses, ce qui réduit notre confiance vis-à-vis des profils atmosphériques complétés. C'est pourquoi il est important de mettre en place l'intelligence artificielle de manière à pouvoir expliquer les résultats. Cette explicabilité permet de se démarquer de la plupart des modèles de ML, qui sont essentiellement des boîtes noires dont le fonctionnement interne est difficile (voire impossible) à comprendre. L'accent mis sur l'explicabilité permet la validation par des experts, ce qui donne l'occasion aux physiciens d'examiner minutieusement les prédictions générées par l'IA et de s'assurer que ce que le modèle a appris sur les interactions atmosphériques est effectivement plausible.

Outre l'explicabilité, le deuxième défi pour l'équipe de l'UNamur consiste à contrôler l'incertitude des données et des modèles prédictifs. Les observations atmosphériques sont accompagnées de toutes sortes d'erreurs, d'approximations et d'incertitudes. Les modèles de ML typiques sont entraînés pour maximiser un certain score de performance global (par exemple, la précision en classification). Dans notre cas, cela n'est pas suffisant pour discerner la confiance que nos modèles ont dans les données qu'ils génèrent. Nous voulons que nos modèles soient capables de faire la distinction entre l'incertitude intrinsèque des phénomènes observés et l'incertitude causée par la rareté des données. À cette fin, l'équipe étudie les modèles probabilistes, tels que les processus gaussiens, afin d'extraire un maximum d'information tout en délimitant précisément l'inconnu.

Soutenir l'interprétation collaborative des données scientifiques

L'intégration des méthodes d'apprentissage automatique (ML) dans les activités scientifiques exige de trouver un équilibre délicat, en préservant la confiance des spécialistes et des non-spécialistes. L'équipe VAMOS souhaite donc communiquer ouvertement sur son travail, en reconnaissant l'incertitude typique de la science et les éléments supplémentaires dus à l'introduction de l'apprentissage automatique dans le processus scientifique. Cela est d'autant plus important que, dans le paysage actuel de l'information, la perception de la science par le public va déjà d'une profonde méfiance à des attentes irréalistes - deux attitudes extrêmes finalement assez candides. C'est ce qui est apparu clairement lors de la crise du COVID-19, lorsque certains voulaient confier la prise de décision aux virologues, tandis que d'autres s'abstenaient de se faire vacciner. Face à l'essor du ML et de l'IA, cette divergence refait surface dans le dialogue citoyen. Notre volonté est d'éduquer et de sensibiliser le public à la science, contribuant ainsi à former un jugement nuancé et à lutter contre les fake news relatives à celle-ci.

Une fois de plus, le projet VAMOS constitue une excellente plateforme pour promouvoir le développement de l'enseignement et de la communication scientifiques. Le concept de la nature de la science (NoS), qui se concentre sur les règles de base régissant l'évolution, les découvertes et les idéologies scientifiques, est particulièrement fascinant. Cette notion va au-delà de la simple présentation de la science dans les salles de classe comme un ensemble rigide de connaissances. Elle stimule au contraire la discussion sur les approches scientifiques, les valeurs et traditions partagées et leurs limites.

Le Planétarium de Bruxelles



Bien qu'établi dans les années 1980, ce cadre reste un sujet de discussion parmi les spécialistes de l'enseignement des sciences. En combinant plusieurs ensembles de données et en utilisant le machine learning, le projet VAMOS offre une occasion unique d'explorer en profondeur un aspect de la NoS, à savoir le concept d'incertitude. Plus précisément, il ouvre des discussions sur la compréhension des données manquantes et éparses dans la science classique. Parallèlement, il encourage le dialogue autour des méthodologies particulières employées par le machine learning dans le domaine scientifique, avec un intérêt marqué pour sa gestion de l'incertitude.

Nous allons concevoir plusieurs visualisations scientifiques destinées au Planétarium de Bruxelles. Lieu passionnant, il accueille à la fois un dôme de 23 mètres où le public peut partager une expérience immersive unique, et des dispositifs technologiques individualisés dans le hall (par exemple, la réalité virtuelle, une table multitouch, un globe interactif, une table à hologrammes). Ces technologies permettent aux individus et aux petits groupes d'interagir par le biais de la technologie et d'explorer le contenu par eux-mêmes. L'évaluation des résultats de ces visualisations fournira des informations sur la NoS et les bonnes pratiques pour communiquer sur (l'incertitude dans) la recherche atmosphérique et le ML. Notre objectif est de créer des expériences d'apprentissage attrayantes qui permettent non seulement d'enseigner la science de VAMOS et de Vénus, mais aussi d'inspirer la curiosité pour la science dans son ensemble.

Note

(1) Bien qu'il y ait plus de données que ce à quoi les scientifiques de l'aéronomie sont habitués, il y en a beaucoup moins que ce à quoi les scientifiques du ML sont habitués.

Plus

VAMOS est un projet de quatre ans financé par le programme de recherche BRAIN-be 2.0 du Service public fédéral de programmation Politique scientifique (Belspo) (2023-2027). Il est dirigé par l'Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique (IASB) en collaboration avec la LUCA School of Arts, l'Université de Namur (UNamur) et la Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven).

- Site web du projet VAMOS : https://vamos.aeronomie.be/
- Planétarium de Bruxelles : https://planetarium.be/fr
- Programme de recherche BRAIN-be 2.0 : https://www.belspo.be/belspo/brain2-be/
- Groupe de recherche Atmosphères planétaires : https://planetary.aeronomie.be/
- Équipe HuMaLearn de l'UNamur : https://humalearn.info.unamur.be

Les auteurs

Arianna Piccialli et Arnaud Mahieux font partie du groupe de recherche Atmosphères planétaires de l'IASB. Ann Carine Vandaele y dirige le département Rayonnement solaire dans les atmosphères. Karolien Lefever et Stéphanie Fratta font partie de la cellule de communication de l'IASB.
Simon Lejoly fait partie de l'équipe HuMaLearn à l'UNamur.
Jan Sermeus et Jakub Stepanovic font partie du département de physique et d'astronomie de la KU Leuven.
Sandy Claes fait partie de la LUCA School of Arts.

L'équipe VAMOS
IASB: Arianna Piccialli, Arnaud Mahieux, Ann Carine Vandaele, Stéphanie Fratta, Lucie Lamort, Karolien Lefever, Umar Sayyed
KU Leuven: Jan Sermeus, Jakub Stepanovic
LUCA School of Arts: Sandy Claes
UNamur: Benoît Frénay, Simon Lejoly

