

Ammoniac et dioxyde de carbone : une nouvelle clé pour décrypter l'océan caché du satellite Europe

Marseille, le 10 janvier 2025 – Une équipe de recherche internationale, dont des chercheurs du laboratoire d'astrophysique de Marseille (LAM, CNRS/Aix Marseille Université) et du laboratoire Physique des interactions ioniques et moléculaires (PIIM, CNRS/Aix Marseille Université) au sein de l'Institut Origines, et du Southwest Research Institute (San Antonio, Texas, USA), a récemment souligné le rôle clé de l'ammoniac et du dioxyde de carbone dans les modèles d'évolution de l'océan d'Europe, satellite naturel de Jupiter. Les résultats montrent que le rapport d'abondance entre l'ammoniac et le dioxyde de carbone joue un rôle clé dans l'équilibre entre l'océan et l'atmosphère primordiale. Cette avancée scientifique constitue une étape majeure pour contraindre les scénarios de formation d'Europe et pourra être mise à l'épreuve grâce aux données futures des missions JUICE (ESA) et Europa Clipper (NASA). Les résultats de ces travaux ont été publiés le 2 janvier 2025 dans *The Planetary Science Journal*.

Europe, quatrième plus grand satellite naturel de Jupiter et l'une des lunes galiléennes, fascine les planétologues par son potentiel d'habitabilité. Sous sa surface glacée, un vaste océan d'eau salée pourrait être en contact direct avec le manteau rocheux du satellite^{1,2,3}. Une telle configuration pourrait permettre des phénomènes comme l'hydrothermalisme, propices à l'apparition de formes de vie similaires à celles que nous connaissons. Cet intérêt astrobiologique place Europe au centre de la mission Europa Clipper (NASA) et parmi les objectifs de la mission JUICE (ESA), toutes deux prévues pour explorer cette lune au cours de la prochaine décennie. Afin de mieux comprendre la composition actuelle de cet océan et son origine, les scientifiques développent des modèles visant à retracer son évolution. Une attention particulière est portée à la phase primordiale d'Europe, lorsque son atmosphère primitive était directement en contact avec son océan, en l'absence de croûte glacée. Cette configuration aurait permis un équilibre entre les composés volatils présents dans l'atmosphère et ceux dissous dans l'océan.

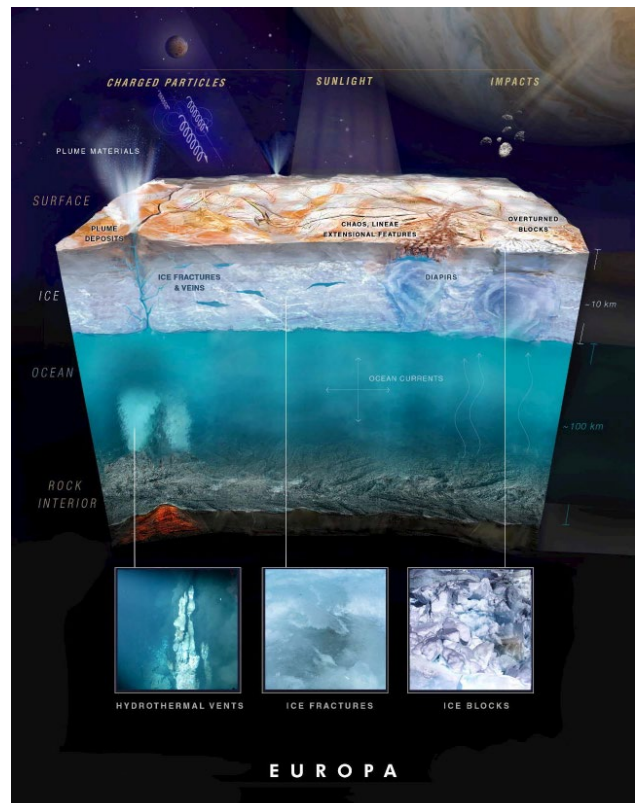


Figure 1 : Vue d'artiste de l'intérieur d'Europe. L'océan en contact avec le manteau rocheux d'Europe est recouvert d'une épaisse couche de glace. Les planétologues suspectent la présence de fractures au sein de la glace, permettant à l'eau liquide de remonter jusqu'à la surface et de se sublimer. La surface glacée de la Lune est constamment bombardée par des particules chargées, des impacteurs et la lumière du soleil. Crédits : NASA/JPL/SwRI

En s'appuyant sur des scénarios de formation d'Europe, l'équipe a calculé la distribution des volatils dans cette hydrosphère primitive. Leur modèle, basé sur les principes d'équilibre thermodynamique, évalue la répartition des gaz entre les phases liquide et vapeur à une température donnée, tout en intégrant l'équilibre chimique entre l'eau, le dioxyde de carbone (CO₂) et l'ammoniac (NH₃). Dans l'océan, le CO₂ et le NH₃ se dissolvent en ions, qui réagissent entre eux et influencent la fraction de ces composés restant dans l'atmosphère.

En supposant que l'eau de l'hydrosphère primitive provient majoritairement de glaces similaires à celles des comètes, telles que 67P/Churyumov–Gerasimenko visitée par Rosetta (ESA)⁴, l'équipe internationale de chercheurs a considéré une atmosphère initiale enrichie en volatils comme le CO₂, le méthane, l'ammoniac, et d'autres. Lorsque l'atmosphère est dominée par une composition analogue à 67P, où le CO₂ représente 4% des volatils, l'équilibre chimique avec le NH₃ entraîne une diminution drastique du CO₂ atmosphérique à seulement 0.009%. Ce dernier se retrouve principalement sous forme de carbonates dissous dans l'océan, rendant son pH basique. À l'inverse, lorsque le rapport d'abondance initiale du CO₂ sur le NH₃ dépasse un certain seuil, le CO₂ maintient une pression partielle importante dans l'atmosphère, tandis que l'ammoniac est majoritairement ionisé dans l'océan, induisant un pH acide à sa surface.

Ces résultats démontrent que le rapport des abondances initiales de CO₂ et NH₃ joue un rôle clé dans la répartition de ces volatils entre l'océan et l'atmosphère primitive. Ce rapport détermine ainsi le pH de l'océan et influence l'évolution chimique de l'hydrosphère d'Europe. Cette nouvelle étude met en lumière l'importance cruciale de l'ammoniac dans la régulation des conditions chimiques de l'atmosphère primitive et de l'océan, offrant des perspectives inédites sur les processus ayant façonné l'habitabilité de ce satellite⁵.

Références :

- 1 : Khurana, K., Kivelson, M., Stevenson, D. et al. Induced magnetic fields as evidence for subsurface oceans in Europa and Callisto. *Nature* 395, 777–780 (1998)
- 2 : Pappalardo, R. T., et al. (1999), Does Europa have a subsurface ocean? Evaluation of the geological evidence, *J. Geophys. Res.*, 104(E10), 24015–24055
- 3 : Margaret G. Kivelson et al., Galileo Magnetometer Measurements: A Stronger Case for a Subsurface Ocean at Europa, *Science* 289,1340-1343 (2000).
- 4 : Martin Rubin et al., Elemental and molecular abundances in comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 489, Issue 1, October 2019, Pages 594–607
- 5 : Amsler Moulanier, A., Mousis, O., Bouquet, A., & Glein, C. R., The influence of ammonia in the distribution of volatiles in the primordial hydrosphere of Europa, *Planetary Science Journal*, 6, 1 (2025)
<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/PSJ/ad9925>

Contacts chercheurs :

Alizée Amsler Moulanier, chercheur Aix Marseille Université

alizee.amsler@lam.fr, tél : 04 91 05 59 80

Olivier Mousis, chercheur Aix Marseille Université

olivier.mousis@lam.fr, tél : 06 60 85 33 92

Alexis Bouquet, chercheur CNRS

alexis.bouquet@univ-amu.fr

Contacts presse :

Direction de la communication d’Aix Marseille Université

Clara Bufi – Directrice de la communication

clara.bufi@univ-amu.fr

06 28 43 04 92

Bureau de presse CNRS

presse@cnrs.fr

01 44 96 51 51