

# 10A001 - ASTRONOMIE GÉNÉRALE

La Terre, une planète vivante dans le cosmos

7. L'atmosphère

28 octobre 2025

<https://mediaserver.unige.ch/play/284825>



Sylvia Ekström  
Département d'Astronomie  
Université de Genève



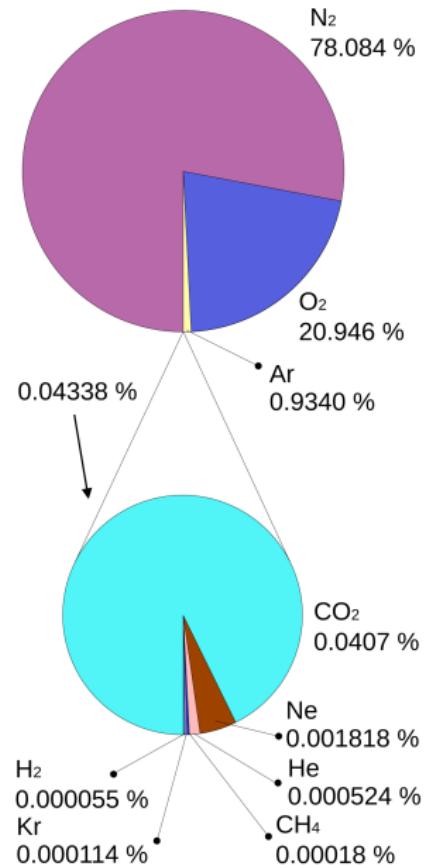
# Notre atmosphère aujourd’hui

Composition :

|                 | (volume) | (masse) |
|-----------------|----------|---------|
| N <sub>2</sub>  | 78,08%   | 75,52%  |
| O <sub>2</sub>  | 20,95%   | 23,14%  |
| Ar              | 0,93%    | 1,29%   |
| CO <sub>2</sub> | 0,04%    | 0,06%   |

La masse de l’atmosphère est de  $5,1480 \cdot 10^{15}$  tonnes, soit 1/1'200'000 celle de la Terre

50% en dessous de 6 km



## 7. L’atmosphère

Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de l’atmosphère

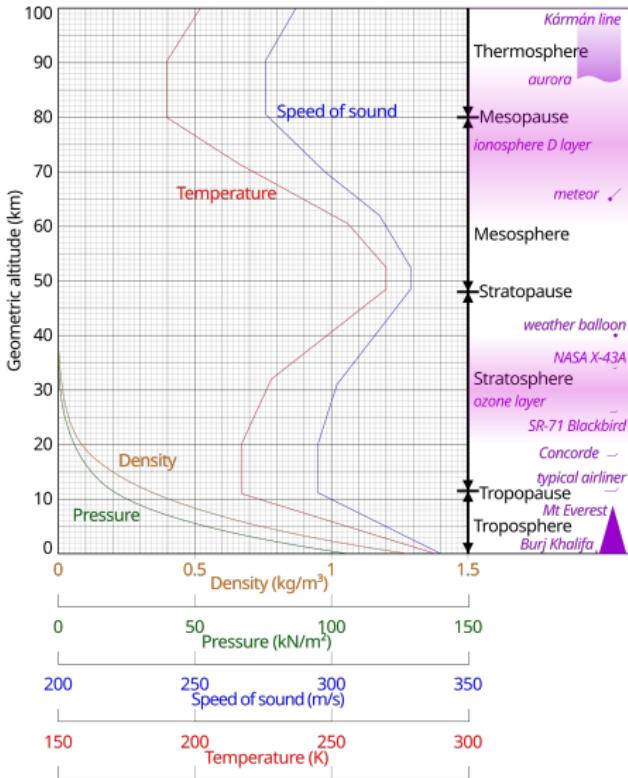
Préservation de l’atmosphère

Références

# La stratification de l'atmosphère

On distingue 5 (4) couches différentes (comportement de la température) :

- ① **troposphère**  
 $dT/dz < 0$
- ② **stratosphère**  
 $dT/dz > 0$
- ③ **mésosphère**  
 $dT/dz < 0$
- ④ **thermosphère**  
 $dT/dz > 0$
- ⑤ **exosphère**  
 $dT/dz = 0$   
(parfois déjà considéré comme l'espace interplanétaire)



## 7. L'atmosphère

### Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de l'atmosphère

Préservation de l'atmosphère

Références

# La troposphère

Couche turbulente

0 – 12 km  
aplatis (pôles 6 km,  
équateur 18 km)

Contient 80% de la  
masse de  
l'atmosphère, 99% de  
l'eau et des aérosols



Lieu où tous les phénomènes météo se passent (vents, nuages)

Diminution de la température :  $6,5^\circ/\text{km}$  ( $-50^\circ$  en haut)



## 7. L'atmosphère

### Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de  
l'atmosphère

Préservation de  
l'atmosphère

Références

12 – 50 km

Zone isotherme jusqu'à vers 15 – 20 km, puis température augmente avec l'altitude (chauffage UV), jusqu'à  $-15^{\circ}$  en haut

Couche d'ozone entre 20 – 40 km



Circulation à large échelle, monte de la troposphère à l'équateur et redescend aux pôles *Brewer 1949*

Emporte des microorganismes (bactéries, champignons), dont certains survivent *Smith+ 2011*

Au-delà de 20 km, les humains ont besoin d'une combinaison (limite d'Armstrong)



## 7. L'atmosphère

Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de l'atmosphère

Préservation de l'atmosphère

Références

# La mésosphère

50 – 80 km

Le haut de la mésosphère est la partie la plus froide de l'atmosphère terrestre ( $<-140^{\circ}$ )

Diminution de la température à cause de la raréfaction de l'ozone



Couche d'allumage des météores et des nuages noctilucents (cristaux de glace)

Ionosphère D (ionisation du NO) entre 50 – 90 km

À la limite haute, couche de 5 km de sodium (provenant des météores), sert d'étoile guide pour l'AO.



## 7. L'atmosphère

### Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de l'atmosphère

Préservation de l'atmosphère

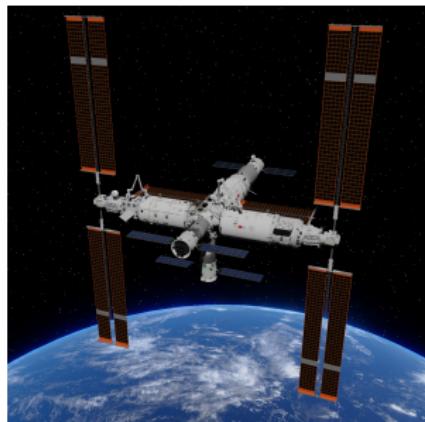
Références

# La thermosphère

80 – 700 km

Couche non mélangée :  
stratification des gaz  
selon leur poids  
moléculaire

Radiation solaire →  
photoionisation



C'est le lieu des aurores polaires  
(vertes en-dessous de 250 km, rouges  
au-dessus)

Limite de Kármán à 100 km, fin de  
l'aéronautique (vitesse de portance =  
vitesse orbitale)

Partie basse de LEO (180 – 2000 km),  
satellites +++

Orbites Tiangong (390 km), de l'ISS  
(420 km) et de HST (540 km)



## 7. L'atmosphère

### Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de  
l'atmosphère

Préservation de  
l'atmosphère

Références

## L'exosphère

>700 km, pas de vraie limite sup

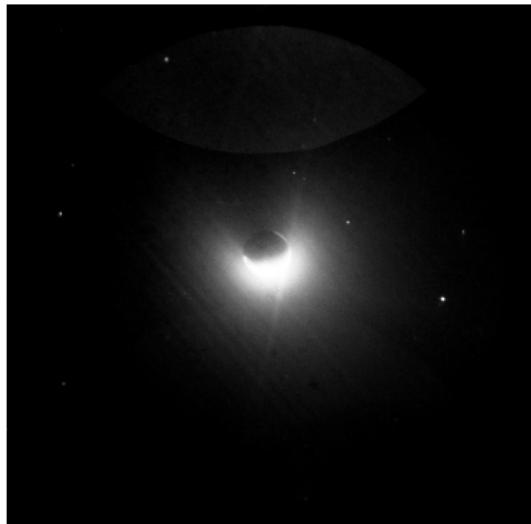
Limite inf varie avec l'activité solaire (500 – 1000 km)

Soleil actif → limite plus haute

Essentiellement H et He, densité proche de celle du milieu interplanétaire

Molécules / atomes toujours liés à la gravitation terrestre, mais probabilité de collision infime

Lumineuse en UV  
(géocouronne, jusque vers 100'000 km)



Géocouronne vue de puis la Lune, image en UV prise en 1972 par les astronautes d'Apollo 16)



### 7. L'atmosphère

#### Situation actuelle

Importance

Formation

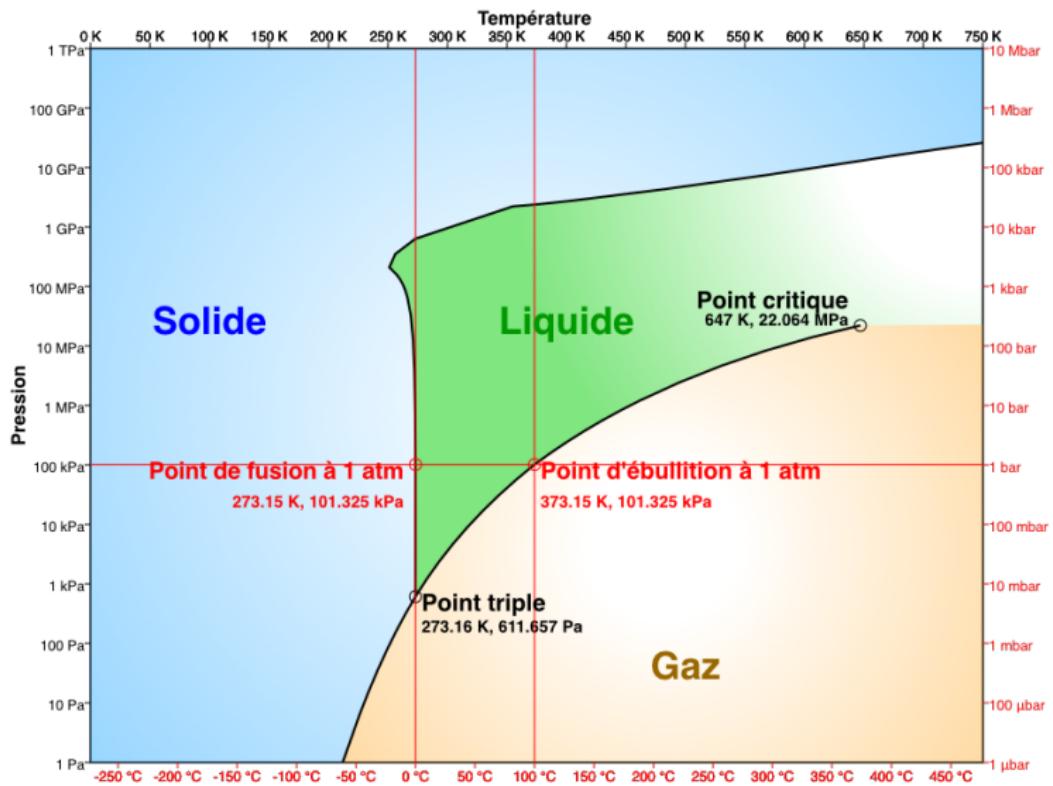
Evolution de l'atmosphère

Préservation de l'atmosphère

Références

# Maintien de l'eau liquide

(cf. Cours 4) Pression de 1 kg/cm<sup>2</sup>



La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



## 7. L'atmosphère

Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de  
l'atmosphère

Préservation de  
l'atmosphère

Références

# Protection contre les UV

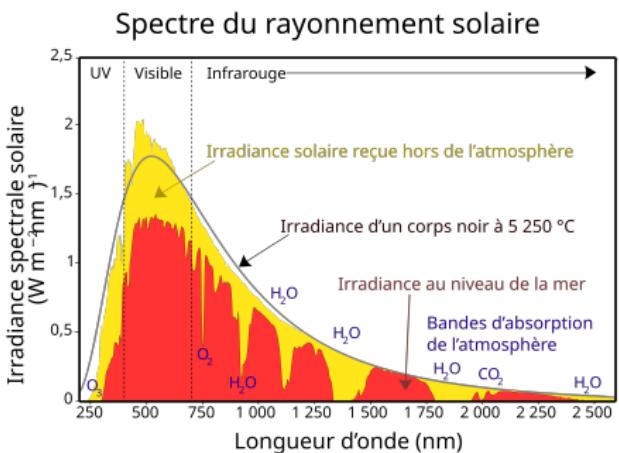
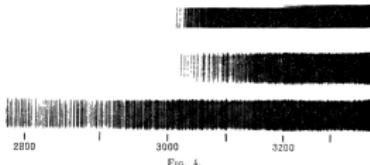
Couche d'ozone :

O<sub>3</sub> absorbe les UV  
(97% – 99%)

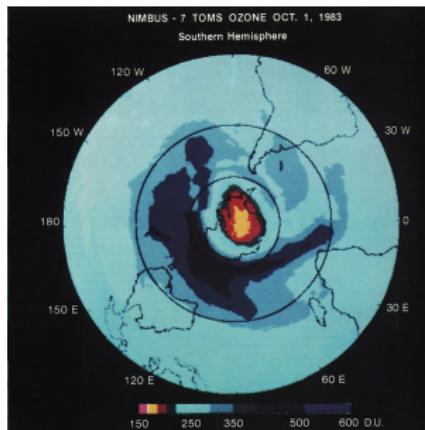
Couche épaisse de 20 km, dans la stratosphère

À la pression du niveau de la mer : seulement 3 mm !

Découverte par *Fabry & Buisson 1913*



# La couche d'ozone



Dès les années 1970, découverte de la diminution de la couche d'ozone

Particulièrement grave au-dessus de l'Antarctique

Chlore et brome contenus dans les CFC, libérés par les UV, déclenchent une chaîne de réactions détruisant l'ozone *Molina & Rowland 1974*

Protocole de Montréal signé le 16 septembre 1987  
Ratifié par les 198 pays membres de l'ONU  
Entrée en force au 1er janvier 1989

Premier (seul?) accord global, signé et respecté par tous les pays...



## 7. L'atmosphère

Situation actuelle

Importance

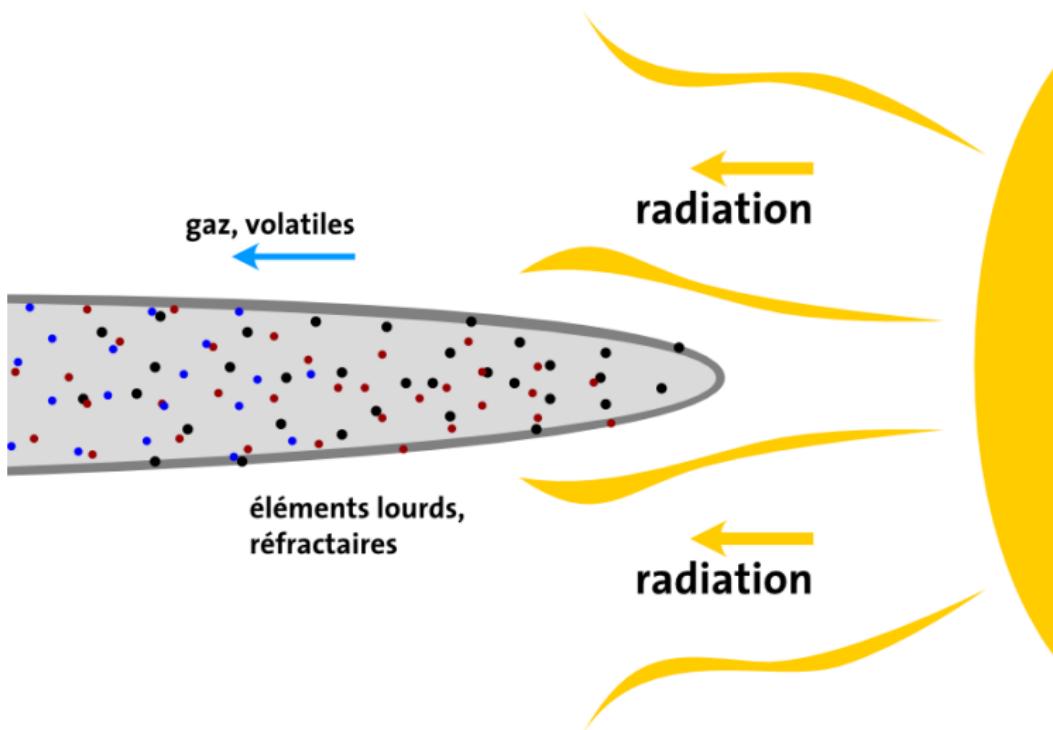
Formation

Evolution de l'atmosphère

Préservation de l'atmosphère

Références

## Formation de la Terre dans une zone sans volatils



Atmosphère primitive par dégazage



### 7. L'atmosphère

Situation actuelle

Importance

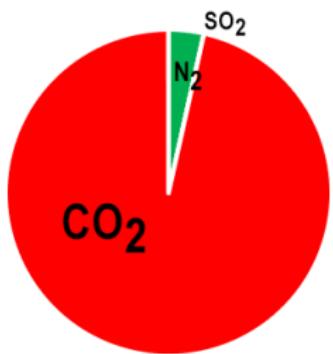
Formation

Evolution de  
l'atmosphère

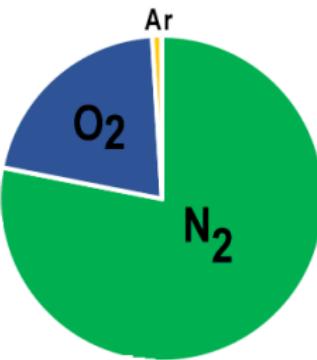
Préservation de  
l'atmosphère

Références

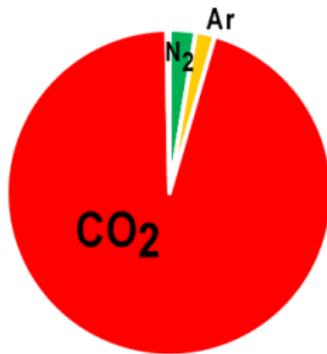
## Composition initiale



Vénus



Terre



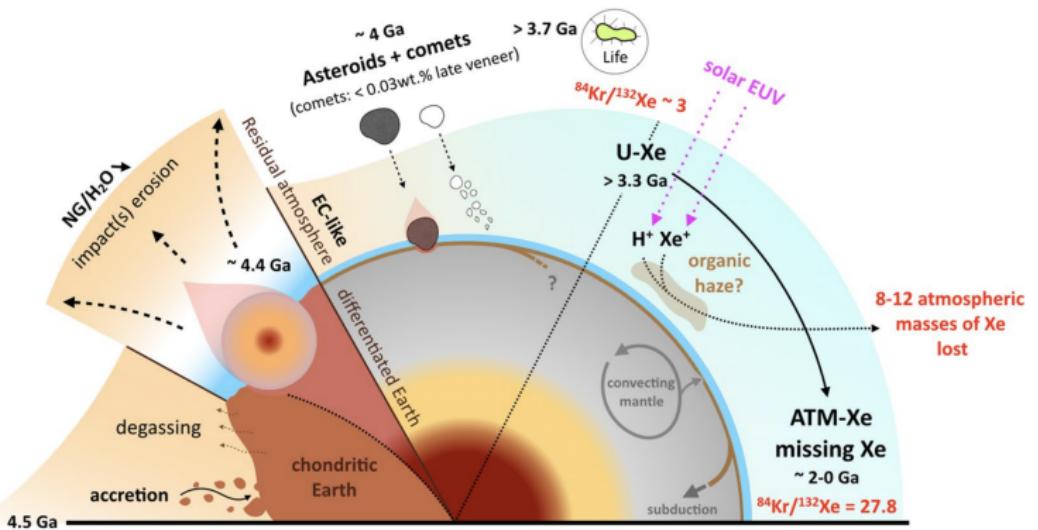
Mars

Atmosphère par apport secondaire grâce aux météorites [Marty 2012; Russell+ 2017; Bekaert+ 2020](#)

Aucune raison que la Terre ait eu une composition différente à l'origine (mêmes porteurs de volatils pour tout le Système solaire interne)



Bekaert+ 2020



Traces de l'historique d'évolution dans les gaz nobles (Xe, Kr)



## 7. L'atmosphère

Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de l'atmosphère

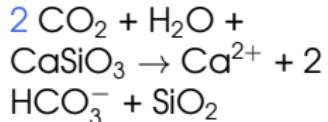
Préservation de l'atmosphère

Références

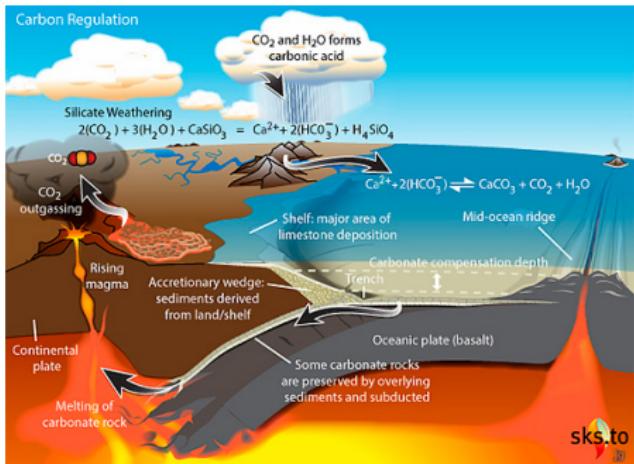
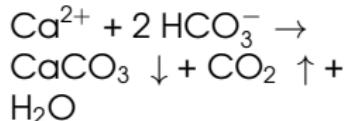
# Cycle du carbone

## piégeage du CO<sub>2</sub> :

- lessivage des sols par les pluies acides

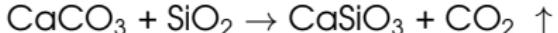


- transport dans les océans



## recyclage du CO<sub>2</sub> :

- subduction des sédiments calcaires et volcanisme



## 7. L'atmosphère

Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de l'atmosphère

Préservation de l'atmosphère

Références

# Modifications dues à la vie

- dès -2,7 Ga :  
cyanobactéries  
 $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$



$\text{O}_2$  piégé par Fe dissout, précipite au fond des océans  
(BIF, 100-1000 m d'épaisseur)

- dès -1,7 Ga :  
photosynthèse  
continentale  
 $\text{O}_2$  continue d'augmenter  
dans l'atmosphère.



## 7. L'atmosphère

Situation actuelle

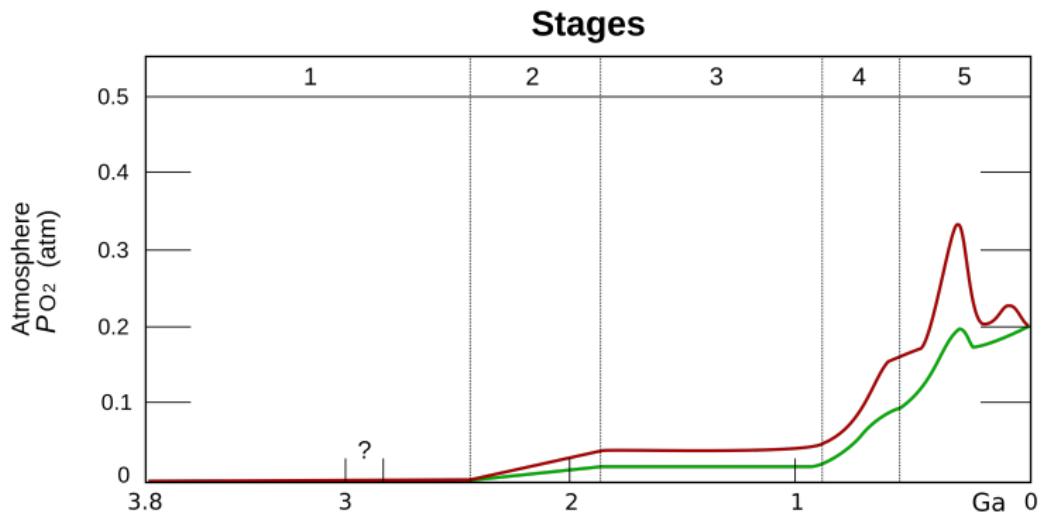
Importance

Formation

Evolution de  
l'atmosphère

Préservation de  
l'atmosphère

Références



- 1 niveau minimum initial,
- 2 la production d' $O_2$  par les cyanobactéries est absorbée au fur et à mesure par le Fe de l'océan et les fonds marins,
- 3 les puits d' $O_2$  sont progressivement saturés, mais l' $O_2$  qui dégaze enfin est absorbé par les roches émergées ou sert à fabriquer la couche d'ozone ( $O_3$ ),
- 4-5 l' $O_2$  s'accumule finalement dans l'atmosphère.

## 7. L'atmosphère

Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de  
l'atmosphère

Préservation de  
l'atmosphère

Références



# Garder son atmosphère

Gros défi pour une planète !

Dépend du rapport entre :

vitesse de libération

$$V_{\text{lib}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

vitesse thermique du gaz

$$V_{\text{th}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

Gouvernées par :

- distance étoile-planète → T
- masse de la planète → M
- type d'atmosphère → m



## 7. L'atmosphère

Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de l'atmosphère

Préservation de l'atmosphère

Références

# Vitesse thermique du gaz

La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



## 7. L'atmosphère

Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de  
l'atmosphère

Préservation de  
l'atmosphère

Références

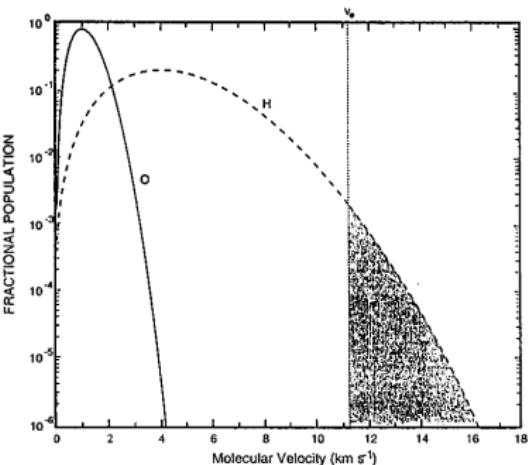
• H

- sur la Lune < 1h
- sur Mars 1000 ans
- sur la Terre 10'000 ans

• O

- sur la Lune 1 an
- sur Mars 1 Ga
- sur la Terre  $10^{32}$  ans

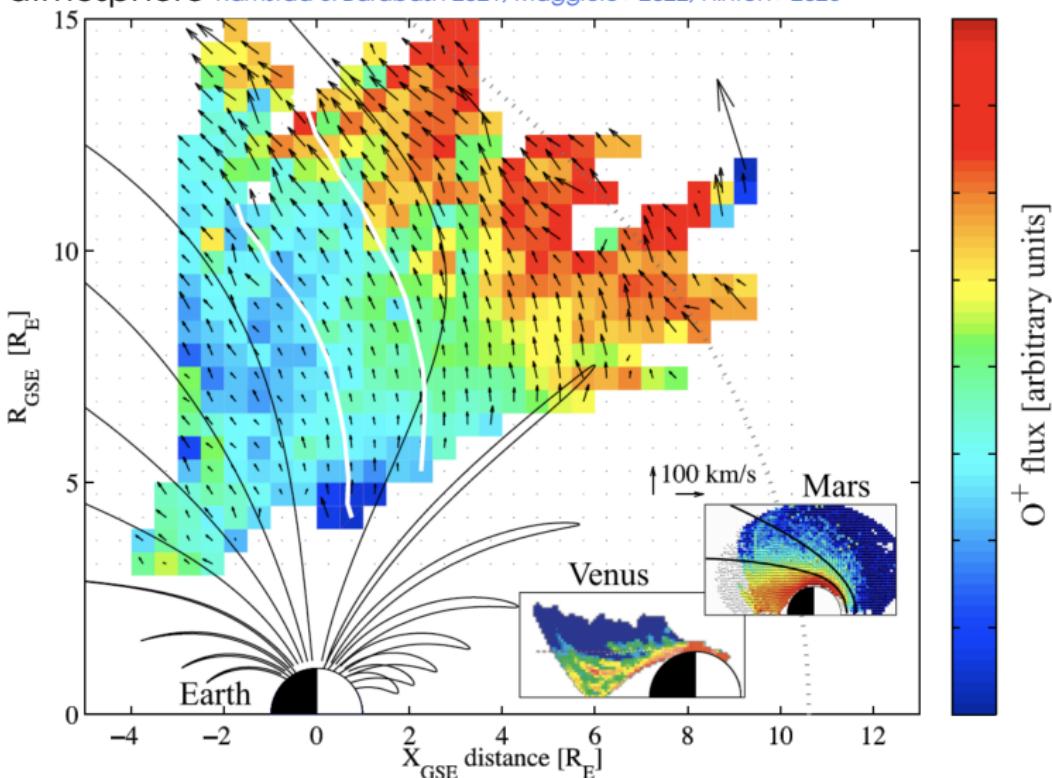
distribution Maxwellienne des vitesses



# Protection magnétique ?

La situation est plus complexe !

augmentation de la surface de connection entre atmosphère et vent solaire, et augmentation de l'énergie dissipée en haute atmosphère *Ramstad & Barabash 2021; Maggiolo+ 2022; Hinton+ 2025*



## 7. L'atmosphère

Situation actuelle

Importance

Formation

Evolution de l'atmosphère

Préservation de l'atmosphère

Références

## Références I

- Bekaert, Broadley, & Marty 2020, *Scientific Reports*, 10, 5796 (ADS)
- Brewer 1949, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 75, 351 (ADS)
- Fabry & Buisson 1913, *J. Phys. Theor. Appl.*, 3, 196
- Hinton, Brain, Schnepf et al. 2025, *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 130, e2024JA033663 (ADS)
- Maggiolo, Maes, Cessateur et al. 2022, *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 127, e2022JA030899 (ADS)
- Marty 2012, *Earth and Planetary Science Letters*, 313, 56 (ADS)
- Molina & Rowland 1974, *Nature*, 249, 810 (ADS)
- Ramstad & Barabash 2021, *Space Sci. Rev.*, 217, 36 (ADS)
- Russell, Ballentine, & Grady 2017, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A*, 375, 20170108 (ADS)
- Smith, Griffin, McPeters, Ward, & Schuerger 2011, *Aerobiologia*, 27, 319 (ADS)