

Devoir en temps libre n° 10

Des lacs sur Titan ?

Titan est le plus grand satellite de Saturne, et la seconde plus grande lune du système solaire après Ganymède (satellite de Jupiter). Son rayon est de 2575 km soit davantage que celui de la planète Mercure. Il a été découvert par Christian HUYGHENS en 1655. Les informations les plus récentes concernant le système de Saturne proviennent de la sonde Cassini de la NASA, arrivée à proximité de Saturne en 2004. Titan, qu'on voit sur la photographie ci-dessous¹, est un corps céleste particulier puisqu'il est le seul satellite du système solaire à posséder une atmosphère dense.

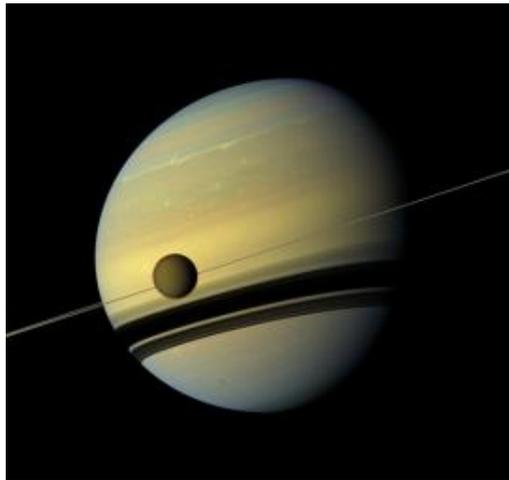


FIGURE 1 – Titan devant Saturne.

L'atmosphère de Titan^a

À la différence de celle des autres satellites du système solaire, l'atmosphère de Titan est bien développée, comprise entre 200 et 880 km d'épaisseur^b. La pression à la surface du satellite est de 1,47 bar, soit une fois et demi la pression atmosphérique à la surface de la Terre. L'atmosphère comporte des couches de brouillard opaques qui bloquent la majorité de la lumière du Soleil, à tel point que la sonde Huygens a été incapable de détecter la direction du Soleil pendant sa descente vers la surface. La température moyenne de l'atmosphère est de 94 K (−179 °C) ; elle atteint un minimum de 72 K (−201 °C) au niveau de la tropopause (à une altitude de 40 km).

L'atmosphère de Titan est la seule atmosphère dense riche en diazote du système solaire en dehors de la Terre ; elle comporte en outre du méthane en proportion notable, et des traces d'autres gaz comme des hydrocarbures (dont l'éthane, le diacétylène, le méthylacétylène, l'acétylène, le propane, le cyanoacétylène et le cyanure d'hydrogène), du dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone, du cyanogène, de l'argon et de l'hélium.

gaz	diazote	méthane	autres hydrocarbures	dioxyde de carbone
proportion	95 à 98,4%	1,6 à 5%	traces	traces

TABLE 1 – Composition de l'atmosphère de Titan.

^a. Source : article Wikipedia *Atmosphère de Titan*, https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_de_Titan

^b. À titre de comparaison, 99,999% de la masse de l'atmosphère terrestre est confinée au-dessous de 100 km d'altitude.

1. Photo disponible sur le site de la mission Cassini de la NASA, https://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/main/index.html

Ontario Lacus, un lac de méthane sur Titan ? ^a

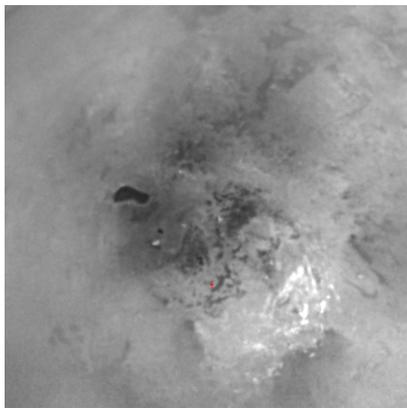
L'imagerie radar à synthèse d'ouverture de la sonde Cassini a permis d'identifier en été 2005 près du pôle sud de Titan une surface plane, nommée le lac Ontario, et interprétée comme une étendue liquide de méthane (CH_4) et d'éthane (C_2H_6). Le spectromètre infrarouge et visible de Cassini a permis par la suite de préciser la nature de cette surface et d'établir qu'il s'agit bien de méthane liquide mélangé à de l'éthane et d'autres hydrocarbures légers, ainsi qu'à du diazote liquide.

Paradoxalement, alors que le premier d'entre eux a été repéré près du pôle sud, la plupart des lacs identifiés par la suite à la surface de Titan sont situés près du pôle nord de l'astre, où ils ne seraient peut-être pas permanents mais migreraient d'un pôle à l'autre au gré des saisons, voire en un cycle de 45000 ans. Le plus grand lac actuellement identifié sur Titan est Kraken Mare.

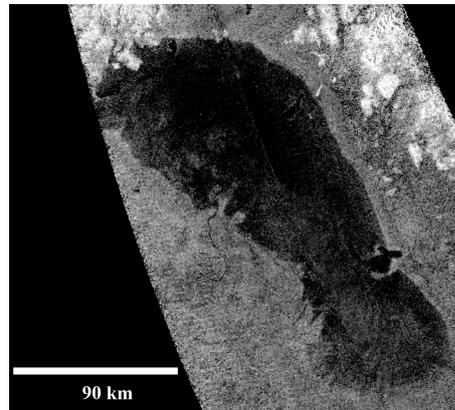
Titan est, à ce jour, le seul endroit en dehors de la Terre où du liquide a été formellement caractérisé en surface.

Le lac Ontario, en latin *Ontario Lacus*, est un lac d'hydrocarbures légers et de diazote liquide d'une température ne dépassant pas 85 K (-190°C) sous une pression d'environ $1,47 \cdot 10^5$ Pa situé sur le satellite Titan de la planète Saturne par 72°S et 183°W . Long d'environ 230 km pour 50 à 100 km de large ; sa superficie est de l'ordre de 15000 à 20000 km^2 , comparable à celle du lac Ontario situé sur Terre, auquel il ressemble également par la forme, d'où son nom.

Les images radar détaillées ^b prises par la sonde Cassini le 12 janvier 2010 indiquent que la côte nord du lac possède des collines, d'environ 1 km d'altitude, et des vallées fluviales inondées. Une côte douce et sculptée par les vagues est visible sur sa partie nord-est. La partie sud-est du lac présente une baie arrondie. Le centre de la côte occidentale présente le premier delta clairement observé sur Titan, indiquant que les hydrocarbures liquides descendant de la plaine ont modifié leur cours en formant au moins deux lobes.



(a) Pôle sud de Titan avec le lac Ontario en noir



(b) Image radar de Ontario Lacus

FIGURE 2 – Images du pôle Sud de Titan et du lac Ontario, prise par la sonde Cassini (NASA).

a. Source : article Wikipedia *Lac Ontario (Titan)*, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Lac_Ontario_\(Titan\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lac_Ontario_(Titan))

b. Images disponibles sur https://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/main/index.html

Diagramme de phases du méthane

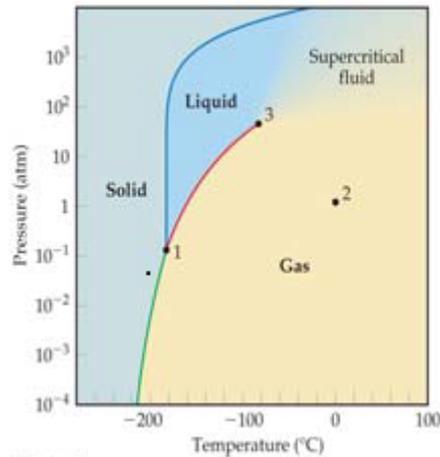


FIGURE 3 – Diagramme de phases du méthane.
(point 1 : -182,5 °C et 0,117 bar)

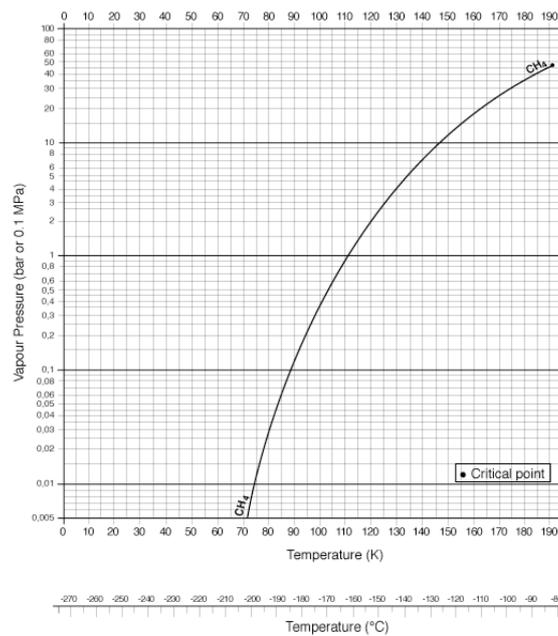


FIGURE 4 – pression de vapeur saturante du méthane.

Questions

1. Les conditions régnant à la surface de la Terre sont repérées par le point 2 sur le diagramme de phases de la figure 3. Quel est l'état physique attendu du méthane à la surface de la Terre ? Cela correspond-il à ce qui est observé ?
2. Quelle est la pression partielle du méthane dans l'atmosphère de Titan ?
3. Les conditions régnant à la surface de Titan sont-elles compatibles avec l'existence de méthane liquide à la surface de cette planète ?
4. Semble-t-il vraisemblable qu'il puisse exister du méthane solide à la surface de Titan ?
5. Quel est le lien entre la courbe de la figure 4 et le diagramme de la figure 3 ?
6. Sous quelles phases physiques le méthane a-t-il été identifié sur Titan ? Est-ce cohérent avec la position du point représentatif de la surface de Titan sur les figures 3 et 4 ?

Corrigé du devoir en temps libre n° 10

éléments de correction

1. Le point 2 est dans le domaine du gaz ou du fluide supercritique (selon la manière dont on le définit). Ceci est compatible avec ce qu'on observe : le méthane sur Terre est un gaz.
2. L'atmosphère de Titan contient 1,6 à 5% de méthane, soit une fraction molaire de l'ordre de $x_{\text{CH}_4} = 0,016$ à 0,05. La pression totale à la surface de Titan étant de $P = 1,47$ bar, on peut estimer la pression partielle du méthane entre $P_{\text{CH}_4} = x_{\text{CH}_4}P = 2,4 \cdot 10^{-2}$ bar et $7,4 \cdot 10^{-2}$ bar.
3. D'une part, la courbe de fusion a pour abscisse celle du point triple, soit environ $-183^\circ\text{C} = -90\text{K}$; le liquide existe au-dessus de cette température. D'autre part, la température moyenne de l'atmosphère de Titan étant de -179°C et celle du lac Ontario de -190°C . Il est donc possible qu'il existe du méthane liquide sur Titan.
4. Les températures régnant à la surface de Titan sont compatibles avec l'existence de méthane solide.
5. La courbe de la figure 4 donne la pression de vapeur saturante du méthane. Il s'agit donc de la courbe séparant le domaine du gaz de ceux du liquide (entre le point critique et le point triple) et du solide (en-dessous du point triple), soit la courbe de vaporisation entre les points 3 et 1 sur la figure 3 et la courbe de sublimation.
6. Le texte précise qu'on a identifié du méthane vapeur (puisque'on connaît sa fraction molaire dans l'atmosphère) et sous forme liquide dans le lac Ontario.

Les coordonnées du lac Ontario sur le diagramme de phases sont : en abscisse 85 K et en ordonnée la pression partielle de méthane calculée plus haut. Or la pression partielle calculée est inférieure à la pression au point triple, ce qui tend à montrer que les états stables du méthane sont l'état gazeux et l'état solide. La plage de conditions régnant au niveau du lac Ontario est indiquée sur le diagramme ci-dessous ; elle s'étale bien sur les domaines du gaz et du solide.

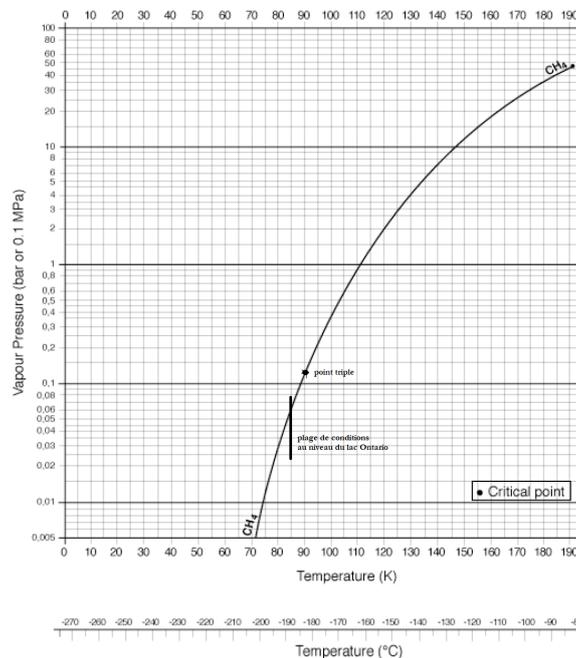


FIGURE 5 – conditions au niveau du lac Ontario.

La présence de liquide peut alors s'expliquer de deux façons. D'une part, les valeurs calculées ne prennent pas en compte les fluctuations de température au cours du temps ; il se peut que du liquide se forme par « beau temps » et reste liquide par inertie (le refroidissement d'une grande masse de liquide n'est pas instantané). Par ailleurs, le raisonnement se fait sur les diagrammes relatif au méthane pur, ce qui n'est pas le cas du lac Ontario qui contient aussi du diazote et d'autres hydrocarbures. Notons tout de même que les conditions au niveau du lac Ontario sont proches du domaine du liquide.