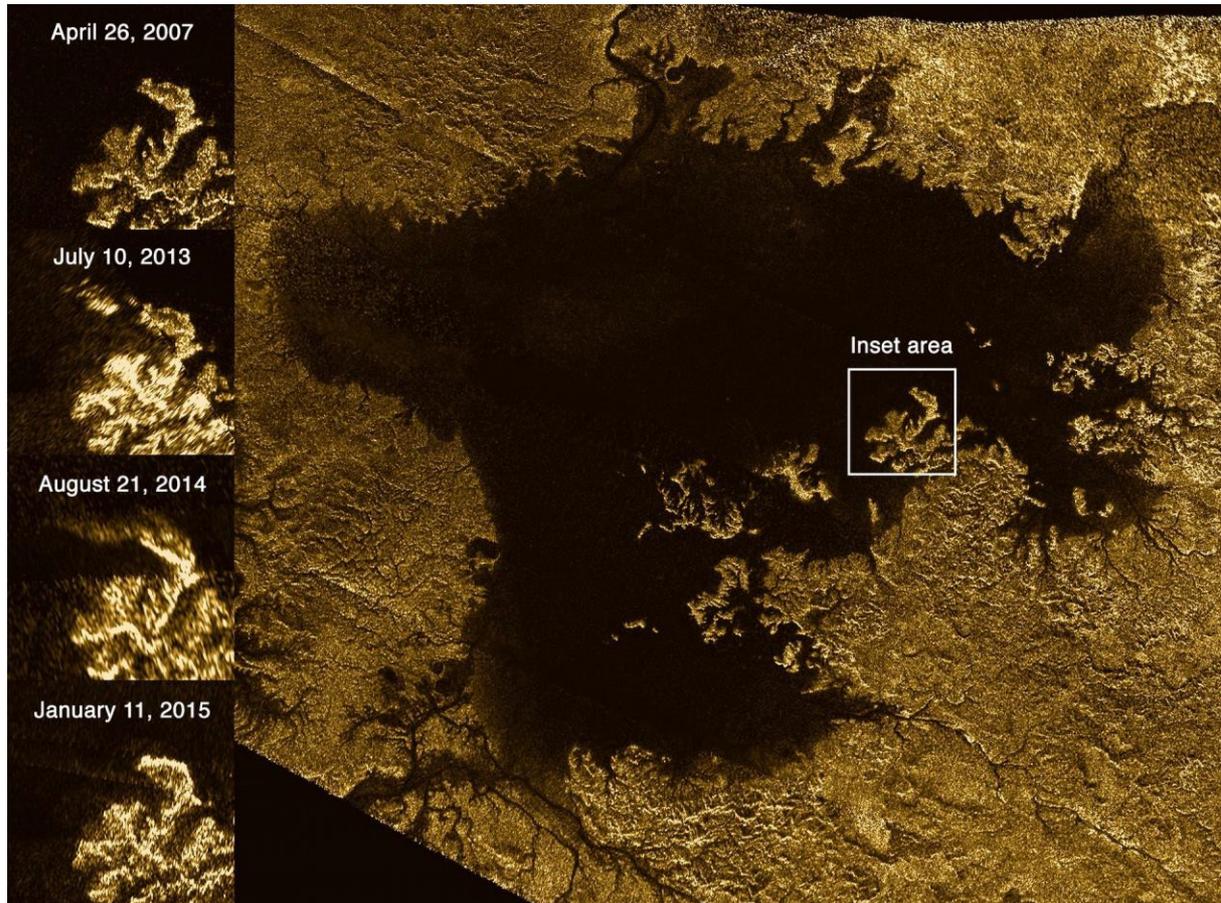


# Des mers effervescentes sur Titan

Parmi les dizaines de lunes que comptent l'ensemble des planètes de notre système solaire, Titan occupe une place bien particulière. En effet, ce satellite, le plus massif orbitant autour de Saturne, est le seul de notre système planétaire à disposer d'une atmosphère dense. Cette dernière, composée principalement d'azote et de méthane, est le siège d'une photochimie complexe. Dans les couches de basse altitude, un cycle « hydrologique » du méthane est à l'œuvre, similaire à celui de l'eau sur Terre. Depuis l'atterrissage de la sonde *Huygens* en 2005, et la poursuite de la mission par le vaisseau *CASSINI* qui survole régulièrement Titan, on a pu faire de nombreuses découvertes. En 2007, grâce au RADAR de *CASSINI*, des mers et des lacs ont été découverts dans les régions polaires. Leur composition est très probablement dominée par un mélange de diazote, méthane et éthane, maintenu liquide grâce à une température au voisinage de 90K (-183°C). Au cours des différents survols de *Cassini*, *Ligeia Mare*, une des plus grandes mers, a montré un phénomène aussi étrange qu'éphémère. D'une observation à l'autre, de vastes zones de cette mer, se sont montrées extrêmement brillantes au RADAR, avant de reprendre leur aspect sombre originel. Ce type d'événement, dont l'origine était totalement mystérieuse jusqu'à présent, vient de trouver une explication originale. Une équipe internationale, menée par un chercheur du *Groupe de Spectrométrie Moléculaire et Atmosphérique (GSMA)* de Reims, vient de montrer que le mélange  $N_2 + CH_4 + C_2H_6$  est instable aux pressions, et températures, attendues pour les profondeurs de *Ligeia Mare*. L'étude, publiée dans *Nature Astronomy*, indique que cette instabilité engendrerait des flux de bulles de diazote, facilement détectables par le RADAR.

Les molécules de diazote et de méthane, présentes dans la haute atmosphère de Titan, sont dissociées par les rayons ultraviolets solaires, et les particules énergétiques circulant dans la magnétosphère de Saturne. Les radicaux très réactifs, produits par ces dissociations, sont à l'origine d'un réseau étendu de réactions chimiques. Dans les années 70-80, les premiers modèles numériques de chimie atmosphérique ont indiqué que le principal produit de cette chimie est l'éthane, aujourd'hui détecté sans ambiguïté. A cette époque, grâce notamment aux sondes *Voyager*, les conditions de pression et de températures à la surface de Titan ont pu être précisées. Leurs valeurs, aux alentours de 1,5 atmosphères et 94 kelvins (environ -180°C), ont alors permis d'imaginer l'existence d'un océan global constitué d'un mélange de méthane, d'éthane et de diazote dissout. Des observations RADAR, conduites depuis la Terre, ont cependant rapidement démenti cette existence, ceci au moins à l'échelle globale. Cette incertitude concernant la présence de mers « titaniennes » a donc ensuite persisté jusqu'à l'arrivée de la mission *Cassini-Huygens* dans le système de Saturne. Rapidement, les images fournies par l'instrument ISS (Imaging Science Subsystem), à bord de l'orbiteur *Cassini*, ont révélé des motifs mystérieux dans les zones polaires. Leur nature n'a pas été comprise immédiatement. Il a donc fallu attendre les observations réalisées en 2006 par le RADAR de la sonde, pour identifier ces motifs

comme des étendues de liquides. Cette découverte importante, la première de ce type ailleurs que sur Terre, a alors suscité de nombreuses autres observations.



*Fig. 1 : Image RADAR de la mer Ligeia Mare qui se situe dans la région polaire nord de Titan.*

*Sur la gauche, des images de la région indiquée par le carré « Inset area » sont reportée. Réalisées lors de « flybys » de Cassini allant d'avril 2007 à janvier 2015, ces images montrent clairement l'apparition, puis la disparition, d'une « Magic Islands » à la surface de Ligeia Mare. (Image : NASA/JPL).*

Lors du survol du 10 juillet 2013, le RADAR de Cassini a détecté une région de surbrillance à la surface de la mer *Ligeia Mare*. Cette surbrillance RADAR, d'une superficie d'environ 40 km<sup>2</sup>, n'avait pas été détectée lors des survols précédents s'échelonnant de février 2007 à mai 2013. De même, le phénomène est absent sur les images réalisées le 26 juillet 2013, puis en septembre et octobre de la même année. L'événement, rapporté dans un article de *Nature Geoscience*, a été surnommé «*Magic Islands*». Des hypothèses sur l'origine physique du phénomène ont été rapidement émises : solides flottant ou sédiments soulevés par le courant, vagues, bulles... mais aucune n'étaient étayée. Le 21 août 2014, un deuxième événement similaire, est enregistré dans une autre région de *Ligeia Mare*, s'étalant cette fois-ci sur une superficie d'environ 320 km<sup>2</sup>. Le mystère, concernant la nature de ce qui était observé, restait entier. Une seule chose était bien établie : la taille des objets réfléchissant les ondes RADAR. Celle-ci devait être d'une valeur au moins égale à celle de la longueur d'onde utilisée, à savoir 2,2 cm.

Sur Terre, le gaz naturel contient du méthane et de l'éthane, de l'azote atmosphérique vient également s'y mêler. Son intérêt énergétique a motivé de nombreuses études de mélanges binaires, ou ternaires, basés sur ces trois composés. Dans la perspective du transport et du stockage de ce gaz, certains travaux ont été réalisés à basse température, domaine où ces espèces sont à l'état liquide. Dans des conditions bien particulières, le mélange liquide se sépare en plusieurs phases. Une coexistence entre deux liquides de compositions différentes, et d'une vapeur, a alors été observée. On parle d'équilibre liquide-liquide-vapeur (ELLV). Malheureusement, les données expérimentales issues de ces travaux ne sont pas représentatives des conditions des mers de Titan.

Dans l'étude publiée dans *Nature Astronomy*, des simulations numériques, basées sur une analyse en stabilité de l'équation d'état PC-SAFT, prolongent les données de laboratoire vers les pressions et températures attendues aux plus grandes profondeurs de *Ligeia Mare*. Il a donc été montré que dans un intervalle situé entre 2 et 3 bars, pour une température de 90 K ou légèrement inférieure, le mélange méthane, diazote, éthane, démixe et forme un ELLV. Ceci implique, dans le contexte des mers de Titan, l'apparition de bulles de diazote pratiquement pur en profondeur. Selon le scénario proposé, la circulation « océanique » alimente les couches profondes en mélange enrichi en N<sub>2</sub>. En atteignant, dans ces profondeurs, les conditions de température et de pression requises, le liquide subit une séparation de phase. Sous l'effet de la poussée d'Archimède les phases les plus denses coulent, alors que les plus légères montent vers la surface, processus particulièrement efficace pour le diazote gazeux. Le phénomène est contrôlé dans le temps par la circulation « océanique » et la composition du liquide initialement en surface. Ce dernier, se trouve plus ou moins enrichi en N<sub>2</sub>, au grès de la météorologie marine de Titan. Ceci explique le caractère éphémère des surbrillances RADAR observées.

Un calcul simple montre que, à la surface de Titan, la taille des bulles peut aller jusqu'à 4 cm, ce qui est largement suffisant pour produire un fort écho RADAR. Ainsi, les « Magic Islands » seraient le fruit d'un dégazage épisodique, une propriété exotique de ces mers extraterrestres.

Ces résultats encouragent une exploration *in situ* de Titan. Des missions incluant une exploration via un ballon ou un atterrisseur ont été envisagées. Très récemment, un concept de sonde sous-marine, a été proposé. Cette idée, très excitante, repose sur un mini sous-marin déposé à la surface d'une mer par un planeur hypersonique. L'alimentation en énergie reposerait sur un générateur thermoélectrique à radioisotopes. Cette première exploration d'une mer extraterrestre devrait réserver encore bien des surprises. Dans un futur lointain, des océans d'hydrocarbures seront peut être découverts sur des « exo-Titans », hypothétiques exoplanètes ressemblant à Titan. Ces objets pourraient alors présenter des mers aux caractéristiques étranges, dont les « Magic Islands » de *Ligeia Mare* auront été les précurseurs.