

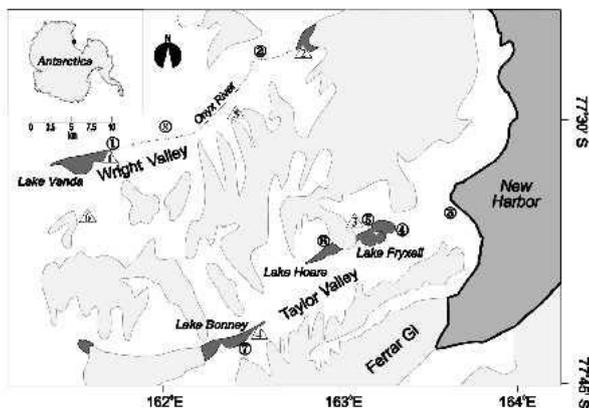
L'exploration des biotopes terrestres étranges : des leçons pour Mars ?

L'un des objectifs scientifiques principaux de l'exploration martienne robotique ou humaine est la recherche de traces passées de vie voire même de traces présentes. Il est déjà difficile de stériliser les sondes que nous envoyons sur Mars, opération dont on comprend bien la nécessité pour ne pas polluer la planète par des microorganismes ou traces organiques d'origine terrestre. Mais comment pourra-t-on opérer lorsque l'homme visitera Mars ? Cette question est aussi importante que celle de la propulsion et des lanceurs pour entreprendre le voyage, que celle de la durée du voyage avec les problèmes associés de comportement psychologique de l'équipage ou que celle de la protection contre les radiations.

En Août 2002, l'exobiologiste Chris Mac Kay, l'un des membres fondateurs de la Mars society, lors du congrès annuel de cette organisation à Boulder, proposait même que l'exploration humaine de Mars soit stoppée si on découvrait des microorganismes martiens dont la nature serait différente de celle des microorganismes terrestres. Lors de la présentation finale des études d'architecture d'exploration 2006-2008 de l'ESA en janvier 2009 à Frascati, Jean Claude Worms de l'European Science Foundation rappelait que les grands principes pour étudier les traces de vie passées ou présentes sur Mars sans perturber l'étude par des apports terrestres reposaient sur le « phasage » et le « zonage » : Le phasage c'est l'échelonnement judicieux dans le temps des moyens de recherche avec des robots stérilisables qui précéderaient l'arrivée de l'homme. Nous sommes déjà dans cette période. Puis lorsque sera introduite par la présence humaine une perturbation, à minimiser certes, mais impossible à annuler totalement, il faudra alors la cantonner à certaines zones et poursuivre l'exploration en dehors de ces zones avec des robots stérilisés.

Les vallées sèches de l'Antarctique

Il existe sur Terre des biotopes particuliers, fragiles, peut être aussi étranges que ce que l'on pourrait trouver sur Mars et pour lesquels la présence de l'homme et ses activités peuvent constituer des menaces. Les vallées sèches de l'Antarctique situées à l'Ouest de la mer de Ross, et leurs lacs protégés par des couches permanentes de glace font ainsi l'objet d'études depuis des décennies.



Les vallées sèches de l'Antarctique en bordure de la mer de Ross et leurs lacs dans lesquels une vie s'est réfugiée. La carte montre les vallées de Taylor et Wright ; la troisième vallée, Victoria est située plus au nord. (doc. D.R..)

Ces vallées sèches s'étendent sur 50 à 100 km de long. Elles sont désignées sèches car il n'y tombe pas de neige. Le sol y est débarrassé de glace depuis 2 à 10 millions d'années. Il est chargé de sels et les lacs le sont également à des niveaux très

variables. La mare désignée Salina ou Don Juan, découverte seulement en 1961, est même si chargée en sels divers, chlorure, bromure, nitrates qu'elle pourrait ne jamais geler malgré les températures hivernales à -50 C. Sa teneur en sels est 18 fois supérieure à celle des océans. Des scénarios impliquant de telles saumures sont étudiés pour expliquer les écoulements épisodiques encore actuels sur Mars.

La vie est présente dans les vallées sèches de l'Antarctique, mais avec une fluctuation d'activité très importante entre l'hiver et l'été, une biodiversité très réduite et des chaînes alimentaires courtes. D'ailleurs le sommet de la pyramide alimentaire y est constituée d'organismes aussi petits que les tardigrades (acariens) et les nématodes (vers) ! L'appellation vallée sèche n'est d'ailleurs pas exacte car des cours d'eau y coulent pendant l'été quand le soleil n'est pas caché derrière les montagnes. C'est d'ailleurs dans ces vallées que se trouve la plus grande rivière de l'Antarctique, l'Onyx.



La vallée de Wright, l'une des trois vallées sèches de l'Antarctique, avec Taylor et Victoria. Dans ces vallées les traces des interventions humaines peuvent subsister de très nombreuses années. Dans certaines zones abritées, des traces de pas de 1950 seraient même encore visibles ! (doc. C. Mc Kay)

Les précautions écologiques à prendre dans les vallées sèches font l'objet d'une annexe au traité de l'Antarctique de 1959, le protocole de Madrid de 1991, entré en vigueur en 1998. Les vallées y ont été classées comme Zone Gérées Spéciales de l'Antarctique (ZGSA).



700 atterrissages et décollages d'hélicoptères par an dans les vallées !

Comment contrôler et contenir les interférences avec l'environnement des camps scientifiques pérennes ? (doc. R. Wharton)

L'objectif de la réglementation est de ne laisser aucune trace des activités humaines ; tous les déchets doivent être remportés ; les consignes vont jusqu'à préciser l'interdiction des marquages de rochers par des peintures, précisent que tous les bricolages doivent être effectués dans les tentes pour contenir les débris, donnent des distances minimales par rapport aux cours d'eau pour les posés d'hélicoptères, précisent la manière de marcher selon la nature des terrains ; les quads ne sont autorisés que sur les couvertures de glace ; autrement sur la terre ferme les déplacements ne sont autorisés qu'à pied ; la collecte d'échantillons fait l'objet de permis, etc., etc.

Il était temps que des règles précises soient adoptées. En 1996 on a compté 700 atterrissages/décollages d'hélicoptères

dont 306 autour du seul lac Hoare. En 1998 sept camps étaient en activité dans les vallées.



Ci dessous, Chris Mc Kay s'apprêtant à plonger dans le lac Hoare, dans la vallée de Wright . (doc.C. Mc Kay)



Ci-dessus à gauche, un tête à tête entre un plongeur et un tapis de microorganismes dans le lac Hoare. Quelles sont les différences entre une telle rencontre et celles qu'un astronaute pourrait faire sur Mars ? Quels sont les risques de part et d'autre ? Des interactions ne sont elles pas plus probables sur Terre que sur Mars ? (doc. Andersen field journal)



Cyanobactéries (organismes monocellulaires procaryotes c'est à dire sans noyau) telles qu'on les trouve dans les lacs des vallées sèches. Elles occupent la partie supérieure des tapis de microorganismes. (doc. Cyanosite)

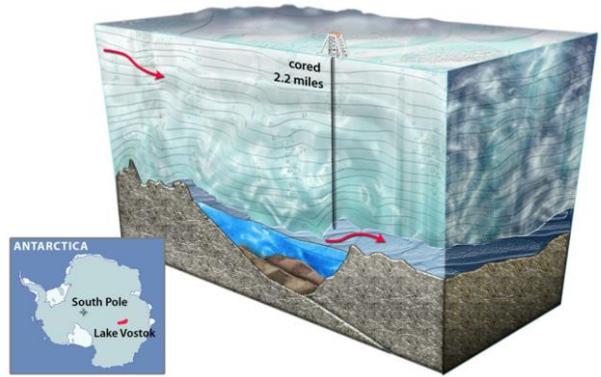
Mais la réglementation continue bien sûr à autoriser la présence des hommes, et des microbes qu'ils véhiculent involontairement. Pour l'instant cela ne paraît pas avoir affecté les biotopes. La réglementation met en évidence que les craintes les plus grandes concernent la possible modification des sols avec des apports de matière organiques, que ce soient des fuites d'huiles d'engins, des gaz d'échappement, des déchets organiques divers dus à l'homme.

Le forage du lac Vostok

Il existe d'autres opérations dans l'Antarctique qui présentent des analogies fortes avec des opérations que des astronautes pourraient avoir à conduire sur Mars : les forages profonds vers des couches d'eau liquide où peuvent se trouver des microorganismes dont on souhaite ne pas perturber le biotope. Le plus connu des forages est celui de la base russe Vostok située sur le lac du même nom.

L'existence de ce lac n'a été soupçonnée que dans les années 70 et confirmée par les images radar prises par des satellites, en particulier par le satellite européen ERS 1 en 1993, alors que la station Vostok y était déjà implantée depuis les années 50. Il a la taille du lac Ontario (14000 km²), est profond de 500 m et serait isolé de la surface depuis plus d'un million d'années. La partie liquide est située sous plus de 3 km de glace. En 2007 le forage a atteint 3668 m et il resterait 85 m avant d'atteindre la poche liquide. Le forage a en fait déjà atteint une zone de glace de 200 m d'épaisseur directement issue de l'eau du lac, car la couverture glaciaire est en écoulement lent et l'apport de frigidités ainsi réalisé gèle la couche d'eau liquide en interface puis l'entraîne par delà les « berges » sous glaciaires du lac. On estime que l'eau du lac est renouvelée tous les 85000 ans. On sait aussi que la teneur en oxygène du lac est 50 fois supérieure à la normale.

Pour situer l'ampleur des risques de pollution, il faut savoir que le trou de forage est actuellement rempli d'un mélange de kérosène et fréon pour éviter le regel (il faut 60 tonnes de mélange pour remplir le trou !). On voit mal l'injection d'un tel mélange dans les eaux du lac. En fait les russes imaginent



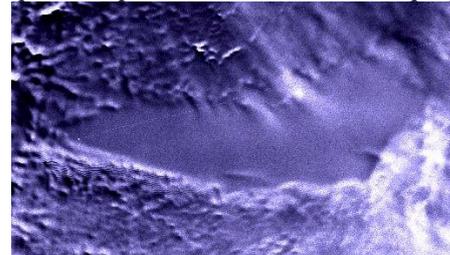
La situation du lac Vostok sur le continent antarctique (à gauche) et une coupe montrant, à l'échelle, l'épaisseur de glace et la profondeur du lac ainsi que la couche de glace provenant du gel des eaux supérieures du lac et dans laquelle ont pu être prélevés des échantillons. (doc. NSF)

forer les derniers mètres au moyen d'une petite sonde très chaude, la température étant suffisante pour stériliser la sonde. Au débouché dans le lac la pression importante (théoriquement de 380 bars) régnant dans le lac va faire remonter l'eau dans le trou de forage. Cette eau va geler et sceller le trou puis un deuxième forage ira capturer la glace



Les carottes de glace en provenance du lac, ont révélé des fragments d'ADN de microorganismes vivants dans des sources chaudes qui pourraient se trouver au fond du lac. Mais 70 % des traces organiques trouvées provenaient de contaminations ! (doc. L. Ménard / CNRS)

ainsi issue de l'eau liquide du lac qui aura peut être emprisonné quelques microorganismes. Mais la procédure n'est pas sans risque ; elle pourrait être expérimentée d'abord sur des lacs moins importants et en particulier dans les environs de la station franco-italienne Concordia. On voit là que les expérimentations en Antarctique préfigurent directe-



Le lac Vostok vu par le radar du satellite Radarsat malgré les 3 km de glace qui le recouvrent. De telles structures n'ont pas été détectées sur Mars. (doc. NASA)

ment ce qui pourrait se jouer sur Mars avec un forage dans des terrains très chargés en glace jusqu'au niveau où la montée en température en fonction de la profondeur (ce qu'on appelle le gradient géothermique sur Terre) autorise la présence d'eau à l'état liquide et peut être une vie élémentaire.

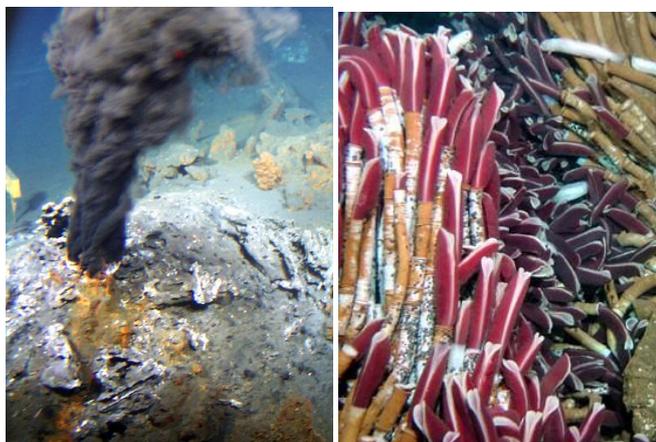
L'environnement des fumeurs noirs

Au fond des océans des engins avec ou sans hommes à bord ont approché les oasis de vie qui se développent autour des sources hydrothermales en l'absence de tout éclairage solaire. Il n'a pas apparemment été pris de précautions semblables à celles que l'on s'impose sur les sondes planétaires. Probablement car on considère qu'il n'y a pas de barrière physique entre la surface et le fond, que les échanges biologiques ont eu lieu depuis longtemps et ont conduit au biotope particulier présent autour de la source qui est tellement particulier qu'un apport direct de la surface ne saurait y subsister et le perturber. Et la contamination des

organismes de surface par des organismes en provenance du fond reste tout aussi improbable.



Le Nautille de l'IFREMER.
Les submersibles qui vont observer et rechercher des échantillons dans les oasis de vie autour des fumeurs noirs ne font l'objet d'une décontamination particulière ni au départ ni au retour. (doc. IFREMER)



Les apports en hydrogène sulfuré des sources hydrothermales sous-marines désignées fumeur noir pour des raisons évidentes (à gauche) permettent le développement d'une vie indépendante de l'éclairage solaire. Le ver Riftia (à droite) qui peut atteindre 3m de long vit en symbiose avec des bactéries qui se nourrissent de l'hydrogène sulfuré. (doc. Ifremer/Pico/Daniel)

Les règles de protection planétaire

Le traité sur l'exploration de l'espace des Nations Unies (1967) précise qu'il ne faut contaminer ni les corps célestes explorés ni la Terre par introduction de matières extraterrestres. Le COSPAR (Committee on Space Research) en 2002 et 2005 a édicté des règles de protection planétaires avec des sévérités différentes selon les risques. Les atterrissages relèvent de la catégorie 4 et les retours d'échantillons de la catégorie 5. Des corps célestes comme Mars ou Europa susceptibles d'avoir connu ou de connaître encore des phénomènes biologiques font l'objet de définitions de précautions particulières dans ces catégories. Et les règles sont encore plus sévères pour des régions de



Le submersible robot Victor de l'Ifremer procédant à une collecte d'échantillon autour d'une source hydrothermale. Sur Mars dans les mêmes conditions le véhicule devrait présenter moins de 30 germes sur toute sa surface. (doc. Ifremer)

Mars où des microorganismes terrestres pourraient se propager ainsi que des microorganismes martiens avoir existé (ou exister encore). La définition de ces zones n'est pas achevée mais en première approximation ce sont celles où de l'eau liquide pourrait se trouver à faible profondeur ou

apparaître épisodiquement. La norme est d'atteindre le niveau de décontamination qui avait été atteint par les sondes Viking de 1976. Pour le retour d'échantillons la surface extérieure du conteneur ne doit jamais avoir été en contact avec l'environnement martien directement ou indirectement. La NASA a, de son côté, précisé les règles élaborées par le COSPAR. Dans une zone martienne non critique, il est autorisé un maximum de 300 germes par mètre carré et un total de 300 000 germes sur l'ensemble des surfaces du véhicule. Pour les zones critiques le total des germes présents sur les surfaces libres du véhicule ne doit pas dépasser 30. Quant aux germes contenus dans l'ensemble du véhicule, dans les matériaux non métalliques, aux interfaces d'assemblages, etc, leur nombre ne doit pas dépasser 500 000, que l'on soit en zone critique ou non critique. On voit bien que les astronautes, leurs habitats, leurs scaphandres, ne pourront tenir de telles spécifications. Comme indiqué au début de ce texte, il faudra pratiquer phasage et zonage .



La sonde Phoenix posée sur de la glace sur Mars. Une zone critique selon la définition du COSPAR où la décontamination des surfaces doit être portée à son maximum. (doc. NASA)

Les véhicules automatiques utilisés ces prochaines années, obéissant à des règles strictes de propreté biologique doivent établir un premier diagnostic sur les traces passées voire présentes de vie. Après ce premier diagnostic une nouvelle politique pourra être établie. La surface de Mars est réputée stérile en raison du rayonnement ultraviolet, voire de la présence de superoxydes. La première question est de savoir à quelle profondeur ces conditions de stérilité pourraient disparaître. Si la surface de Mars est stérile sur de fortes épaisseurs, les expéditions humaines pourront opérer sur des bases de non pollution et non contamination semblables à ce qui se pratique dans l'antarctique.

Le problème de la contamination que cet article ne prétend pas traiter, est complexe : il faut éviter d'implanter des traces biologiques terrestres que l'on pourrait prendre pour des traces martiennes, éviter d'implanter des organismes qui masqueraient ou modifieraient les éventuels biotopes martiens actuels ou passés, éviter de se faire contaminer en retour même si les risques sont limités puisque l'on aurait affaire à une vie pas du tout « habitée » à interférer avec l'homme. Reste bien sûr le spectre des mutations...

Les futures missions lunaires permettront de mesurer le niveau de contamination lié à la présence et l'activité humaine mais aussi de roder les mesures visant à la limiter.

Si dans quelques années le diagnostic sur certaines zones de Mars n'est pas clair, l'homme devra se cantonner à des périmètres bien délimités hors de ces zones et continuer l'exploration robotique avec des engins stérilisés. Etant sur place il pourra plus facilement suivre et piloter en temps réel ses émanations robotiques alors que le temps de transmission des signaux entre la Terre et Mars ne le permet pas depuis la Terre.

A. Souchier

