

Entretien



Le Dr. C. Michael Foale est le cinquième astronaute de la Nasa à avoir séjourné dans la station Mir. Il est entré à la Nasa en 1983 et, quatre ans plus tard, il est devenu astronaute. Avant de rejoindre Mir, il a participé à trois missions dans l'espace à bord de la navette. Il est actuellement

directeur technique au Johnson Space Center de la Nasa et doit participer à la troisième mission d'entretien du télescope Hubble. Marsha Freeman, du magazine *21st Century Science & Technology*, a rencontré le Dr Foale le 13 mai 1998 ; celui-ci a décrit les expériences réalisées avec la serre Svet et lui a également fait part de ses projets.

L'un des aspects importants du programme spatial, et souvent passé sous silence dans la presse, concerne les expériences scientifiques menées à bord de Mir. Tout en ayant vécu beaucoup d'événements inattendus, cette mission a également permis d'accomplir des travaux techniques et scientifiques d'une grande portée. Je m'intéresse particulièrement à ce que vous avez réalisé avec les serres. J'ai vu les expériences en milieu contrôlé réalisés au Kennedy Space Center, mais travailler dans des conditions de microgravité doit être bien différent. Pourriez-vous nous décrire vos expériences avec les serres Svet et ce que vous avez pu réaliser ?

Foale : Pour résumer les choses simplement, l'expérience avec les serres était un projet commun entre Russes et Américains et elle a été élaborée à partir de nombreux travaux antérieurs qui ont duré plusieurs années. Elle s'est déroulée dans une installation à bord de Mir, disposée à l'intérieur du module Kristall depuis que celui-ci a été envoyé.

Cette expérience est connue sous le nom de module *Svet oranzhereza*, ce qui signifie en russe « serre lumineuse ». Cette serre, construite à l'origine en Bulgarie, n'est rien d'autre

qu'une boîte contenant une rangée de lumières fluorescentes qui irradient sur les meilleures longueurs d'onde pour les plantes, et dotée d'un réseau de tubes apportant l'eau en quantité mesurée dans ce que l'on appelle les « modules racines ». C'est dans ceux-ci que se trouvent les plantes que l'on essaye de faire pousser. Au départ, ce n'était qu'un dispositif destiné à étudier la croissance de différents types de plantes à partir du semis.

Shannon Lucid a accompli un travail considérable, poursuivi ensuite par John Blaha qui a récolté du blé. Ils sont parvenus à produire une végétation luxuriante lors de leur expérience mais sans produire de graines viables. Je pense qu'ils ont effectué une pollinisation, obtenant ainsi une certaine floraison et pollinisation. Toutefois, les graines étaient stériles.

En ce qui concerne l'expérience que je devais réaliser, l'objectif des chercheurs de l'université de Louisiane, de l'Institut pour les problèmes biomédicaux de Moscou et de l'université d'Utah, était de faire pousser de la *Brassica rapa*, qui est, autant que je sache, une sorte de brocoli ; et cela du début de la semence jusqu'à la flo-

raison, puis à la pollinisation et enfin à la récolte des graines pour ensuite les replanter.

Le cycle complet devait durer environ un mois. C'est pourquoi l'on espérait, durant mon séjour sur Mir prévu pour durer quatre mois et demi, que je puisse reproduire trois fois ce cycle, obtenant ainsi deux générations de graines dans l'espace à partir desquelles, à leur tour, on produirait des plantes dans l'espace. Le but n'était pas seulement la germination mais la pollinisation puis la production de graines.

Pour l'essentiel, nous avons réussi. Nous avons réalisé cette expérience à partir de modules racines. Un module nous permettait d'avoir quatre rangées de plants arrosés par paire, chaque rangée ayant treize plants, nous pouvions obtenir cinquante-deux plants en un coup, ce qui était le but de l'opération.

Le module racines est une boîte qui contient de la zéolite en poudre constituée de petits et de gros granulés. C'est important de ne pas avoir une poudre uniforme car on s'est rendu compte, lors des expériences spatiales, qu'il ne fallait pas laisser les racines inondées dans l'eau ni les lais-

ser trop sèches. Lorsque vous arrosez, il faut que l'eau fasse des flaques sans pour autant immerger totalement la zéolite.

Il n'y a pas de gravité permettant de séparer l'eau des racines. Lorsque l'on arrose sur Terre, l'eau se condense vers le bas. Les racines peuvent ainsi trouver des endroits où il y a de l'air, d'autres où il y a de l'eau, et choisir leur milieu.

Dans l'espace, durant des années, le module Svet a connu peu de succès car le matériau constituant le sol n'était pas approprié. Il s'agissait toujours d'une poudre fine de la même dimension, 70 microns. Soit les racines étaient inondées soit elles étaient sèches, avec dans les deux cas un même résultat : aucune plante ne survivait. Le problème a été en partie résolu grâce à l'université d'Utah, qui a conçu un système d'arrosage des racines plus adéquat.

Au-dessus du matériau composant le sol, on a placé des mèches qui s'étendent jusque dans la zéolite. Après avoir placé dans la serre ce module racines, qui mesurait environ 50 cm sur 50 cm, je connectais les tubes d'eau et les senseurs électriques. Je relevais la température à plusieurs niveaux du sol ainsi que celle de l'eau. L'objectif de ce travail était de mesurer le taux d'humidité, c'est-à-dire le niveau d'eau retenu à différents endroits du module racines, près des plantes. De cette manière, la machine pouvait contrôler par elle-même le taux d'humidité.

J'ai mis en place l'équipement le premier jour de l'expérience, ce qui m'a demandé pas mal de temps car j'ai eu des difficultés à retrouver toutes les pièces laissées lors de la mission précédente. J'ai monté l'appareil de contrôle électronique de la température du sol et mis de longues bandes adhésives en cellophane sur les graines. J'ai ensuite placé dans la mèche, à l'aide d'une pince, les graines longues d'environ 1 mm.

Je devais alors arroser, ni trop ni trop peu, la zéolite et le module racines. Nous n'avions aucun relevé de taux d'humidité durant les douze premières heures, c'est alors que les chercheurs et moi-même avons décidé d'ajouter davantage d'eau. C'est alors que l'on a vu le taux d'humidité passer la barre des 50 %, nous faisant craindre d'avoir inondé le module.

La situation s'est améliorée les deuxième et troisième jours. De plus,



Le Dr Shannon Lucid à bord de Mir. Elle surveille les plants de blé qu'elle a plantés dans la serre Svet.

nous avons laissé, durant les premiers jours, la lumière continuellement allumée pendant vingt-trois heures pour l'interrompre durant une heure.

Comment les plantes ont-elles réagi ?

Foale : Il n'y a pas de haut ou de bas en apesanteur. Lorsque les graines ont commencé à germer, près de la moitié d'entre elles avaient une petite pousse — celle qui monte en milieu terrestre — qui s'enfonçait dans la mèche et la racine commençait à émerger. C'était plutôt déconcertant. L'autre moitié poussait normalement, comme on le voulait, c'est-à-dire la pousse en haut et la racine en bas. On a rencontré ce problème surtout lors de la première semence parce que j'avais placé les graines trop profondément dans les mèches, les empêchant de recevoir assez de lumière. Comme les mèches étaient faites d'un matériau blanchâtre, un peu de la lumière parvenait tout de même.

Lorsque finalement leurs têtes sont apparues au-dessus des mèches — je les aidais en les redressant à l'aide d'une pince — alors l'action phototropique de la lumière a attiré les plantes dans la bonne direction.

Sur l'ensemble, entre 50 à 80 % des rangées ont germé. En fait, je pense que presque toutes les graines ont germé. Je ne suis pas un expert et quand je dis « germé », cela veut dire qu'une petite pousse est apparue.

En une semaine ou deux, elles ont commencé à avoir une ou deux peti-

tes feuilles et ensuite des bourgeons. Ce n'est seulement qu'après un mois — lorsque la plante a atteint 5 ou 6 cm — que les bourgeons ont écloré en une pléthore de petites fleurs jaunes qui avaient du pollen sur les étamines.

Chaque jour, je mettais par écrit les étapes accomplies par les plantes : leur apparence, combien avaient des bourgeons et combien n'en avaient pas. Je notais aussi la hauteur maximale et minimale moyenne par rangée et, bien sûr, j'enregistrais soigneusement la température et le taux d'humidité dans le module racines.

Il faut aussi savoir que de l'air s'introduit dans la serre. Durant la première expérience, avant la collision du module Progress et de Spektr, les graines avaient commencé à germer. Lorsque les plantes ont atteint 3 ou 4 cm, nous les avons enfermées dans des sacs en polyéthylène. Le gaz qui passait de la cabine à la serre, puis aux plantes, était expulsé à travers un analyseur de gaz. On a ainsi mesuré la quantité de gaz carbonique entrant et sortant, le taux de respiration des plantes, durant la phase de croissance.

C'est seulement durant la phase de pollinisation que j'enlevais les sacs. Je prenais alors un bâtonnet au bout duquel on avait collé une abeille. C'est en fait une technique connue que j'ignorais. Dans beaucoup d'écoles, on apprend aux enfants à polliniser de cette manière. Ils attrapent des abeilles, ils en coupent l'abdomen et les collent sur un petit bout de bois et voilà vous avez un bâtonnet-abeille

que vous passez dans les rangées.

Je m'étais entraîné sur Terre et je me suis plutôt bien débrouillé en milieu spatial. Vous collectez le pollen sur les étamines et vous le déposez sur les pistils. Vous essayez de reproduire ce que font les abeilles, vous passez dans les rangées afin d'apporter le pollen sur la partie femelle de la plante.

Comme c'est une plante à cycle de croissance très rapide, il n'y a qu'un jour ou deux où la fleur est prête pour la pollinisation. Et ce n'est pas au même moment qu'elle est prête à donner du pollen. C'est pourquoi la pollinisation nous aura pris environ une semaine, autour de quatre semaines pour l'ensemble des plantes.

Après cela, nous remettons les sacs sur les plantes afin qu'il soit possible à nouveau de mesurer leur consommation de CO₂. Sur Terre, le cycle complet est de quatre semaines mais, dans l'espace, il a duré deux semaines supplémentaires. Il faut savoir aussi que les conditions étaient devenues plus difficiles sur Mir. La température n'était plus du tout constante ; elle était beaucoup plus basse ce qui a ralenti tout le processus.

Après six semaines, d'assez longues cosse — comme les cosse à pois — ont poussé à la place des fleurs. On voyait bien qu'elles étaient pleines de graines. Quand on m'a enfin demandé de récolter, j'ai simplement démonté l'expérience et placé les plantes dans une boîte à gants. Toutefois, il n'était pas possible d'évaluer la qualité de cette récolte.

Ces petites plantes étant devenues très fragiles, il fallait donc que je sois très méticuleux durant la récolte, surtout lorsque je mettais les cosse de graines dans des fioles contenant un déshydratant. En même temps, j'ai pris le reste des plantes et les ai mises dans une boîte hermétique pour y verser du formaldéhyde afin de les fixer et de pouvoir les étudier sur Terre.

Tout cela m'a demandé trois journées d'efforts. Après cinquante jours de séchage, j'ai repris les fioles et j'ai soigneusement disposé ces cosse craquantes entre deux bandes adhésives, me permettant ensuite, en séparant les deux bandes, de récupérer les graines.

Ces graines mesuraient un demi-millimètre. C'étaient des graines plus petites que sur Terre et également moins résistantes. Quelques-unes s'échappaient très vite, m'obligeant à les rattraper et à les coller, à leur tour,

sur une bande adhésive.

Ayant récupéré toutes les graines produites dans l'espace, j'en replantais la moitié dans le module suivant. Dans chaque rangée, j'alternais une graine produite dans l'espace avec une graine d'origine terrestre.

Et l'ensemble de l'expérience recommençait.

C'est lors d'une reprise de l'expérience qu'a eu lieu la collision. Malheureusement, les sacs en plastique qui me servaient à couvrir les plants et mesurer la consommation de CO₂ étaient stockés dans le module Spektr. Ils n'étaient plus accessibles. En fait, le travail s'est avéré, pour moi, plus facile car j'avais accès aux plants tous les jours. Je n'avais pas à deviner ce qui se passait sous l'enveloppe plastique. Et si une plante poussait de travers, je pouvais plus facilement tenter de la redresser.

Lors du deuxième semis, j'ai perfectionné plusieurs techniques. En particulier, j'ai appris à saisir les graines avec une pince pour les planter dans la mèche sans qu'elles s'envolent. De plus, en les plantant moins profondément, les graines ont plus facilement trouvé leur chemin vers la lumière qu'à la première récolte.

Malgré tout, seulement trois ou quatre graines produites dans l'espace ont germé. Nous avons produit entre quinze et vingt graines dans l'espace, mais elles étaient si faibles et fragiles que deux ou trois seulement méritaient d'être replantées. J'en ai plantées six ou sept et je pense que deux d'entre elles ont donné une plante viable.

La seconde génération de plants était-elle en meilleure santé que la première ?

Foale : Non, elle ne l'était pas, elle était plus petite. Il est difficile pour les plants de capter les nutriments à travers la mèche, et ce sont toujours les graines les plus grosses qui résistent le mieux. Le poids des graines est vraiment déterminant. C'est la quantité d'hydrocarbonates qui détermine jusqu'où peut aller une graine. Si vous avez un sol et un environnement très nutritifs, alors il importe moins que la graine soit forte.

Les Russes ont tenté de telles expériences depuis fort longtemps. Quels sont les principaux problèmes techniques qu'ils ont rencontrés ?

Foale : Le contrôle de l'humidité a représenté le problème technique

majeur. Et la plus grande percée a été le sol, la zéolite.

L'université d'Utah a conçu un appareil de mesure du taux d'humidité bien plus perfectionné, en surface comme en profondeur. Toutefois, ce dispositif n'a fait que corroborer les mesures plus simples effectuées par le dispositif bulgare. Ils nous ont confirmé qu'un ou deux senseurs, comme prévu au départ, s'avéraient suffisants. Ce qu'ils ne savaient pas, c'est quel niveau il fallait contrôler.

Les premiers jours, les gens tenaient à trop arroser le module racines. Une manière d'y remédier était de laisser l'éclairage plus longtemps car la chaleur des lampes permettait de sécher le sol.

Dans les nombreuses expériences menées sur Terre, en plus de déterminer les meilleurs temps d'éclairage et les meilleures longueurs d'onde, il me semble qu'il y avait beaucoup d'attention portée sur la variation de concentration en gaz carbonique. Était-ce également le cas sur Mir ?

Foale : Non, ce n'était pas le cas. Je crains que les chercheurs doivent s'en contenter car le niveau de gaz carbonique varie considérablement sur Mir.

Il n'est pas contrôlé dans la serre ?

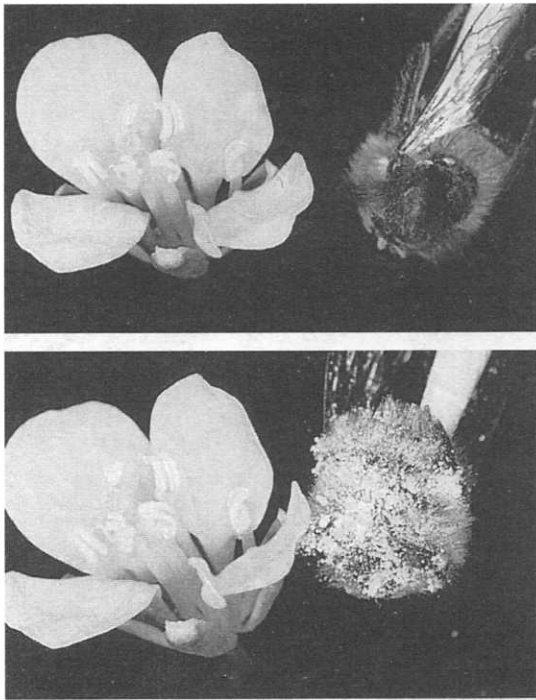
Foale : Ni dans la station.

Et leurs atmosphères sont les mêmes ?

Foale : En fait, l'atmosphère de la serre est la même que celle que nous respirons, et le [niveau de] gaz carbonique a subi de fortes variations. En conséquence, on ne peut pas savoir quel a été l'effet du gaz carbonique sur les plants.

Les variations de température, dans ce module, ont aussi été très importantes. Après la collision, sur le moment et après, la température est tombée jusqu'à 5 °C, alors qu'il était prévu de travailler à des températures comprises entre 20 et 25 °C.

Le second semis a été très lent. En effet, nous étions en train de nous démener avec la remise en état après la collision et notre module était privé d'électricité. La seule chose qui restait allumée sur le module Kristall, c'était le Svet. Je m'appliquais à l'alimenter avec une grande rallonge depuis l'élément de base. Bref, cette expérience a connu un environnement plutôt rude. C'est formidable d'avoir obtenu de si bons résultats dans ces



Foale utilisait un bâtonnet au bout duquel on avait collé une abeille. Il passait ce bâtonnet-abeille dans les rangées afin de collecter le pollen sur les étamines. Le but était de reproduire ce que font les abeilles dans la nature.

conditions car, malgré tout, je crois que les chercheurs ont été très satisfaits.

Que dit l'analyse des plants que vous avez ramenés ?

Foale : Apparemment, ils sont viables. Je n'en sais pas plus. Le rapport préliminaire dit que les graines ont une structure semblable à celle des graines terrestres. Les plants semblent bons, viables et que nous avons une bonne récolte pour analyse.

Pensez-vous que ces expériences seront poursuivies à bord de la Station spatiale internationale ?

Foale : Il est sûr que les Russes continueront et nos groupes sont enthousiastes à l'idée d'une telle collaboration. Alors, je pense que le partenariat continuera entre l'Institut des problèmes biomédicaux de Moscou et les universités d'Utah et de Louisiane.

Ce qui serait sans doute important dans l'espace, d'un point de vue psychologique, c'est d'avoir quelque chose qui pousse et qui change, contrairement aux objets qui vous entourent. Est-ce que cela vous a réconforté ?

Foale : Je ne veux pas exagérer — ma situation à bord de Mir n'aurait sans doute pas été très différente — mais comme je n'ai rien eu d'autre à faire pendant près d'un mois après la collision, et l'expérience de la serre m'a procuré beaucoup de quiétude.

S'occuper de ses plantes, se mettre dans leur situation, à leur écoute, tout ce travail de jardinier, quoique romantique, a en fait son utilité dans l'espace car cela procure une activité et un décor bien différents de l'existence normale dans l'espace, qui est de nature très technique et fondamentalement artificielle. Je pense que c'est un lien avec la Terre que l'on emporte avec soi et qui vous apporte un certain réconfort.

Aussi, j'ai beaucoup apprécié ma visite de contrôle matinale dans la serre. Cela ne me prenait que vingt minutes chaque jour mais je m'asseyais là, et je prenais le temps de savourer ce moment. Pour les vols de longue durée ou pour une station spatiale, je crois que faire pousser quelque chose de visible comme une plante peut être utilisé non seulement à des fins de recherche scientifique mais aussi comme réconfort psychologique. J'imagine que les animaux peuvent être d'un même apport, mais c'est plus compliqué.

Pensez-vous raisonnable d'emporter une plante, non pour une expérience scientifique mais juste pour en prendre soin ?

Foale : Oui, absolument. De la même façon que nous avons des plantes d'appartement sans autre raison que de les voir là, je pense — et c'est encore plus justifié — que nous serons valorisés à emmener des plantes dans l'espace simplement parce qu'elles sont belles et qu'elles nous

rappellent la Terre.

Lors de grands voyages, l'aspect pragmatique est évidemment l'auto-suffisance en terme de production de nourriture. Et la seule manière d'y parvenir, c'est par un programme technologique volontariste consistant à mettre en culture des serres spatiales ou à la surface de Mars. Il s'agit là d'aspects essentiels concernant l'exploration spatiale car, à un moment ou à un autre, il sera trop difficile d'emmener toute la nourriture nécessaire de la Terre. Si on ne sait pas produire *in situ*, fournir continuellement les vivres deviendra une tâche insurmontable.

Comme vous le savez probablement, nous avons ici, au Johnson Space Center, une salle de soixante jours où trois ou quatre personnes s'enferment pour soixante jours, puis quatre-vingt dix jours. Ils vivent là dans un système totalement clos. Je pense que 25 % de leur CO₂ est lavé par les plantes qu'ils ont fait pousser. C'est plutôt important. Et je pense qu'ils ont mangé la plupart des plantes. Il est plutôt spectaculaire de penser que 25 % de l'oxygène a été produit par les plantes. C'est sûr que mes plantes, elles, n'ont produit qu'une quantité insignifiante d'oxygène.

Quels sont vos projets pour l'avenir ?

Foale : Mes projets sont de continuer ce que j'ai entrepris, c'est-à-dire de profiter de ma famille, d'élever mes enfants et de continuer d'envoyer des gens dans l'espace et, si possible, moi-même.

D'ici deux ans, peut-être, j'aimerais repartir pour un vol de longue durée à bord de la Station spatiale internationale.

C'est, pour moi, une période assez stimulante qui s'annonce. Sans parler des programmes, je pense que nous allons rencontrer d'importants problèmes que nous n'avions même pas encore envisagés. Cela mettra à l'épreuve nos talents, notre capacité de travailler avec les Russes et notre bonne humeur pour tout faire marcher. Mais nous y parviendrons.

Pour l'instant, ma tâche est d'utiliser ce que j'ai acquis les deux dernières années de ma vie — travailler avec les Russes et apprendre leur langue, vivre à bord de Mir — pour résoudre certains problèmes posés par la Station spatiale internationale, et communiquer mon expérience aux nouveaux astronautes. ■