

La recherche agronomique à bord de Mir

Les moissons de l'espace

MARSHA FREEMAN

Un programme international d'étude de l'influence de la microgravité sur la croissance des plantes a produit des résultats importants et quelquefois surprenants.

Pour accomplir de longues missions spatiales, il sera indispensable, entre autres, de pouvoir faire pousser des plantes dans l'espace. Sur certains corps célestes, comme la Lune ou Mars, la tâche sera assez similaire à ce que nous faisons sur Terre. En effet, on dispose d'un sol porteur et même la faible gravité offre des conditions de croissance bien différentes que celles trouvées en absence quasi totale de gravité.

En ce qui concerne la vie à bord d'une station spatiale autour de la Terre, de la Lune ou d'une planète quelconque, ainsi que les voyages plus longs que les deux jours nécessaires aux astronautes d'Apollo pour rejoindre la Lune, il faudra envisager de compléter les rations alimentaires préparées à Terre avec de la nourriture que l'on aura fait pousser *in situ*.

Le grand avantage sera évidemment d'alléger la charge du vaisseau. Mais pas seulement. Les plantes peuvent rendre un service assuré jusqu'à

présent par des équipements mécaniques et chimiques : « nettoyer » l'atmosphère viciée par le gaz carbonique provenant de la respiration de l'équipage. Alors qu'aujourd'hui on est obligé d'embarquer des réserves d'oxygène pour régénérer l'atmosphère, les plantes pourraient à l'avenir jouer ce rôle puisqu'elles utilisent le gaz carbonique pour leur métabolisme et rejettent de l'oxygène comme déchet. Enfin, il faut aussi prendre en compte — et cela ne doit pas être sous-estimé — l'effet psychologique stimulant de prendre soin et de cultiver son jardin bien loin de la Terre verdoyante.

En 1984, avec la perspective de voyages interplanétaires, l'Institut des problèmes biomédicaux de Moscou a coordonné, sous les auspices du programme soviétique Intercosmos, des travaux scientifiques sur « *les moyens et les méthodes pour utiliser les plantes supérieures, les algues et les animaux dans un système biologique afin de subvenir aux besoins des équipages spatiaux* ». Les programmes soviétiques et ceux qui ont suivi portaient principalement sur la conception de systèmes d'alimentation en oxygène à cycle fermé, dans lesquels l'eau pourrait être recyclée et les plantes remplaceraient, ou du moins complèteraient, les dispositifs de régénération chimique de l'atmosphère.

Le Dr Tania Ivanova de l'Institut de recherche spatiale de l'Académie des sciences bulgare explique que certains scientifiques du bloc de l'Est ont contribué, dans les années 80, à concevoir et développer différentes expériences afin d'étudier la croissance des plantes en microgravité spatiale. C'est en 1985 que la toute première expérience a été réalisée à bord de la station spatiale soviétique Saliout 7.

Son objectif était de tester, dans l'espace, les caractéristiques hydrodynamiques d'une zéolite appelée « balkanine » et destinée à servir de milieu nutritif pour les plantes. Les zéolites sont des structures cristallines tridimensionnelles d'aluminosilicate qui peuvent gagner et perdre de l'eau de manière réversible. La balkanine a été choisie car c'est une zéolite naturelle que l'on trouve aussi bien sur la Lune que sur Mars. Elle est « préparée » ou dopée avec des sels minéraux pour fournir les nutriments aux plantes.

Au même moment, des modules de serres étaient conçus et testés sur Terre. Une importante étape fut franchie en juin 1990, quand la serre Svet (« lumière »), développée par le Dr Ivanova et ses collègues en Bulgarie, a été envoyée sur la station Mir et intégrée au module laboratoire Kristall. Dès le 15 juin, les premières expériences avec Svet (baptisées Serre 1) ont commencé.

En 1996, dans le cadre du programme conjoint Navette-Mir, un système américain de mesure des échanges gazeux (Gas Exchange Measurements System ou GEMS) a été ajouté à la serre Svet. Ainsi, on a pu mesurer précisément les paramètres liés à l'environnement affectant la croissance des plantes, en particulier l'absorption du gaz carbonique et l'humidité du substrat.

Lors de ce même programme, les astronautes ont effectué les expériences Serre 2 et 3 qui consistaient à cultiver du blé super nain ainsi qu'une plante de la famille de la moutarde. Du fait que toutes les expériences n'ont pas réussi, les scientifiques ont appris à quel point l'agriculture en microgravité diffère de celle sur la Terre et développent des moyens pour résoudre les problèmes que représente l'environnement spatial.



La croissance du blé à bord du module Svet paraît mature et normale. Notez les têtes au bout de nombreux plants, que les scientifiques croyaient contenir des graines.

Les premières expériences avec Svet

Avec une surface cultivée d'environ 1 m², la serre Svet tient peu de place. Le module racines où sont semées les graines est divisé en quatre rangées côte à côte. Chaque module racines est monté sur rails et tient comme un tiroir dans le fond de la serre. Il y a assez de place pour que les plantes croissent jusqu'à une hauteur de 40 cm.

L'eau est injectée sur le substrat de baltanine à partir de tubes et de diffuseurs, ou de mèches, qui sont entourés d'un produit imprégné de chlorure. Ces mèches empêchent les particules du substrat de s'envoler dans la cabine et accroît la surface de mouillage du substrat. Dès le début des expériences, les physiologistes des végétaux travaillant sur le projet ont admis que le principal défi pour faire pousser des plantes en microgravité serait de réussir à alimenter uniformément les racines en eau.

Le taux de transpiration de la plante, ou échange gazeux des plantes (absorption de gaz carbonique et libération d'oxygène), est directement proportionnel à la quantité d'eau disponible à la racine ; trop ou trop peu

d'eau perturbe la « respiration » de la plante. De son côté, le taux de transpiration conditionne le taux de formation de matière sèche de la plante, ou le taux de croissance. L'eau est également importante pour rafraîchir la plante, surtout sous la lumière intense d'un éclairage de serre artificiel. Doubler l'éclairage pour forcer la croissance de la plante nécessitera aussi de doubler la quantité d'eau que les racines de la plante doivent absorber.

L'expérience Serre 1 a été réalisée peu après que Svet soit arrivé à bord de Mir, en 1990. Dans un article de 1992, le Dr Ivanova rapporte que les premiers végétaux à racines fraîches ont été cultivés dans l'espace à cette occasion. Il s'agissait de radis rouges à bout blanc et de choux chinois. On observa que les végétaux accumulaient de la biomasse en fonction de la durée d'exposition à la lumière et qu'il n'était pas utile de simuler les « jours » et les « nuits ». Toutefois, la durée expérimentale de Serre 1 a été limitée par les capacités énergétiques à 16 h par jour.

Les chercheurs ont remarqué un retard dans les temps de croissance de certaines plantes, et cela dû aux difficultés d'humidification du substrat. En plus, quand l'équipage a ramené sur Terre des racines fraîches de vingt-trois et cinquante-quatre jours ainsi que des racines séchées de vingt-neuf

jours afin de les analyser, les scientifiques ont constaté que les plantes de la Svet étaient deux fois plus petites que celles du groupe témoin resté sur Terre, assujetti aux mêmes conditions d'éclairage que sur Mir. A titre d'exemple, les plantes de radis et de choux chinois avaient atteint, après vingt-trois jours dans l'espace, la taille de celles sur Terre après dix ou onze jours de croissance.

De ces caractéristiques, le Dr Ivanova et ses collègues ont conclu que la photosynthèse avait été réduite de quatre fois dans l'espace. Lors d'une conférence en octobre dernier en Italie, le Dr Ivanova rapporta que les analyses physiologiques et chimiques ont montré que les plantes ont subi un « stress hydrique et alimentaire significatif ». Il était clair qu'un contrôle en temps réel des conditions environnementales aiderait à mieux adapter l'irrigation et, en conséquence, réduire le stress des plantes.

L'expérience Serre 2

En 1994, la Nasa et l'Agence spatiale russe ont signé un accord destiné à mener un certain nombre de missions communes Navette-Mir, permettant aux astronautes américains d'effectuer des vols de longue durée à bord de la station russe. De plus, chaque équipage américain amènerait avec lui de nouveaux équipements scientifiques afin d'augmenter les moyens déjà disponibles sur la station.

En mai 1995, le nouveau module Spektr était lancé vers Mir et, le 30 juin, la navette Atlantis s'amarre à la station, amenant un nouveau module de végétation, développé en Bulgarie, ainsi que le GEMS, élaboré et construit à l'université de l'Utah. Le GEMS a été conçu pour contrôler l'environnement dans la serre Svet ainsi que dans le module Kristall.

Le GEMS est équipé d'un ensemble de seize détecteurs d'humidité pour contrôler la distribution de l'eau dans le substrat de la serre. Le dispositif mesure et enregistre les données toutes les trois secondes, que ce soit sur l'humidité du substrat, la lumière, les températures de l'air et des feuilles, l'oxygène et les pressions et températures de l'air de la cabine.

L'expérience serre 2 a été menée à

bord de Mir entre le 10 août 1996 et le 17 janvier 1997. Le premier jour, l'astronaute Shannon Lucid planta des graines de blé super nain dans la Svet, avec comme objectif de parvenir à un cycle complet de « semence à semence ». A cette fin, tous les composants de la Svet ont été remplacés, y compris l'installation d'une nouvelle lumière fluorescente.

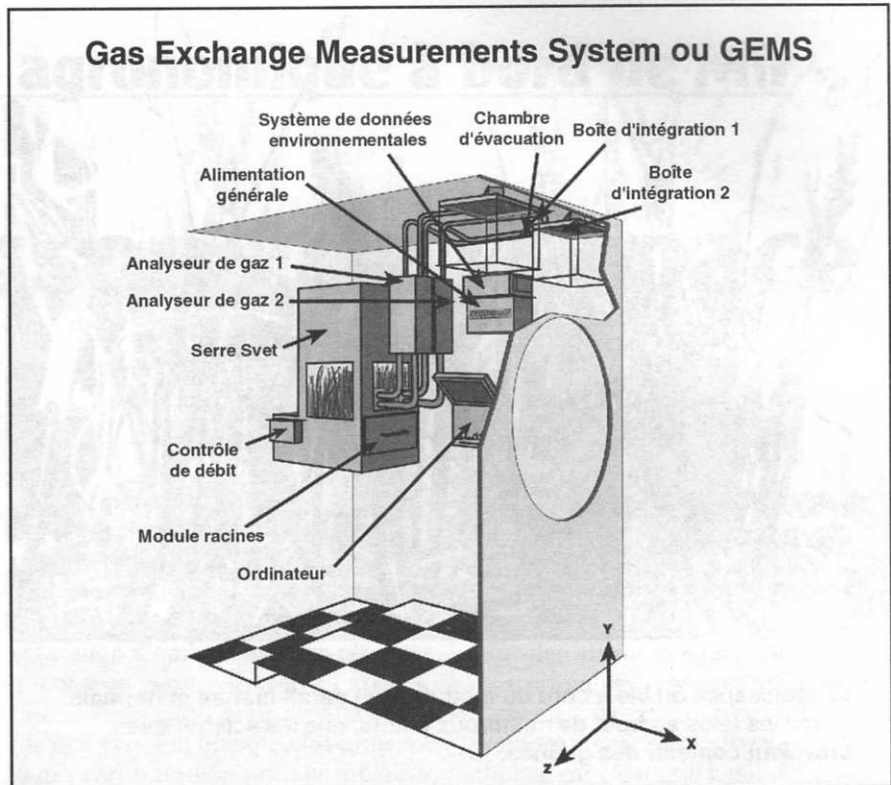
Dans la parution de mai 1998 du *Scientific American*, Lucid décrit l'expérience et explique que « chaque jour on photographiait les pousses de blé et on contrôlait leur croissance. Régulièrement, on récoltait quelques plantes que l'on conservait dans une solution fixative pour analyses ultérieures sur Terre. [...] Un soir, après quarante jours de croissance, j'ai remarqué les premières graines au sommet des pousses. J'ai appelé de toutes mes forces les autres membres de l'équipage qui se sont précipités pour jeter un coup d'œil. »

L'astronaute John Blaha prit la relève de Lucid à bord de Mir le 16 septembre, avec pour responsabilité de récolter le blé nain.

Le 12 décembre 1996, la Nasa annonça que Blaha avait réalisé la première récolte de plantes saines cultivées dans la Svet et ayant bouclé leur cycle de reproduction de « semence à semence ». Le communiqué de presse de la Nasa faisait part de l'avis optimiste des scientifiques du projet, estimant que les plantes « paraissent avoir leur pleine maturité pour produire des têtes contenant les graines que l'on espérait ».

Mais le 21 février 1997, quand Blaha revint sur Terre avec le blé, les scientifiques découvrirent que les têtes ne portaient pas de graines. Toutes les 296 têtes qui s'étaient formées étaient stériles et elles avaient arrêté leur croissance au moment de la formation des pollens, alors que le reste de la plante avait poursuivi normalement sa croissance.

Certains dans la presse ont immédiatement affirmé que l'expérience était un « échec ». Néanmoins, selon un des chercheurs, le Dr David Bubenheim de l'Ames Research Center de la Nasa, « les résultats des expériences de Mir ne justifient pas ces conclusions. L'échec potentiel de la germination des plants de blé dans l'espace a été anticipé car il est connu que la stérilité des têtes peut être provoquée au sol par divers stress environnementaux. » Restait à déterminer ce qui



avait causé le problème.

Des études furent menées à l'université de l'Utah et à l'Ames Center de la Nasa pour reproduire les conditions sur Mir et déterminer les causes de la stérilité des plants. En novembre 1998, le Dr William Campbell de l'université de l'Utah a rapporté les conclusions des équipes scientifiques lors du troisième Symposium sur les résultats de la Phase I [Navette-Mir]. A cette occasion, il a expliqué que l'exposition des plants à une atmosphère contenant 1 à 2 parties par million de gaz éthylène a non seulement abouti à des graines pollinisées petites et desséchées mais aussi à la stérilité. Le Dr Campbell a rappelé que « la littérature abonde au sujet de l'utilisation de l'éthylène pour stériliser les plantes mâles des céréales ». Ce qui confirme les données de Mir.

Cela soulève la question suivante : qu'en est-il des *Brassica rapa* plantés par Michael Foale à bord de Mir, dans le cadre de l'expérience Serre 3 ?

Des plantes à partir de graines nées dans l'espace

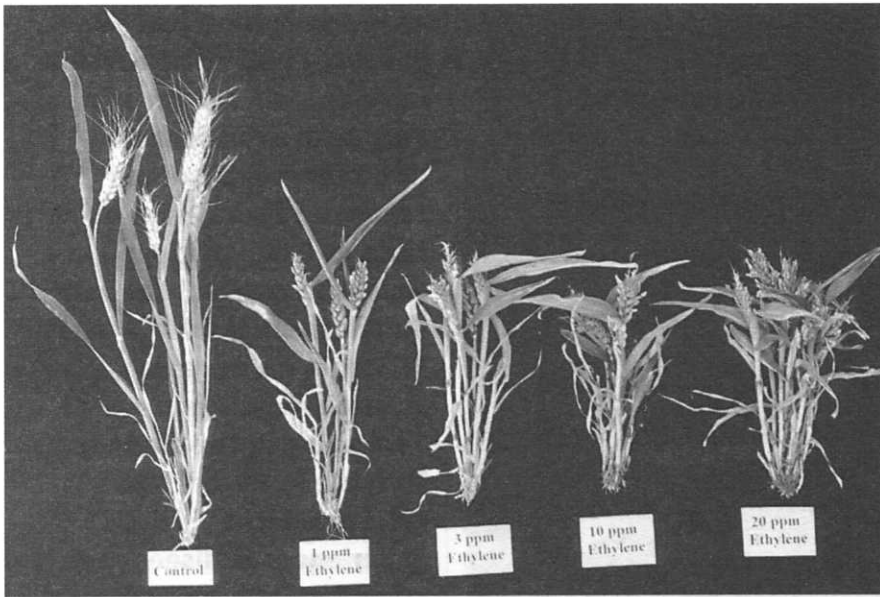
Quand Foale s'envola à bord d'Atlantis pour atteindre Mir le 15 mai 1997, il ne s'attendait pas à vivre qua-

tre mois d'événements imprévus, dans bien des sens.

Foale embarquait avec lui des graines de *Brassica rapa* qu'il devait planter dans le module Svet. Le Dr Mary Musgrave du Centre agronomique de l'université de Louisiane, maître d'œuvre de l'expérience tentée par Foale, ainsi que le Dr Margarita Levniskikh de l'Institut des problèmes biomédicaux de Moscou, décrivent *Brassica rapa* comme un dérivé de la moutarde.

Avant le départ de Foale, le Dr Musgrave précisa que le but de l'expérience était « l'étude d'un cycle de vie complet d'une plante en microgravité afin de mieux comprendre ses effets sur la reproduction des plantes ». La plante devait être replantée trois fois successivement dans la Svet : « Il s'agit de partir de graines desséchées provenant de la Terre, puis de les planter dans l'espace pour obtenir une seconde génération et, utilisant les graines de celle-ci, obtenir une troisième génération. »

Quatorze jours après avoir été semées, les plantes se sont mises à fleurir et l'idée était que Foale passe sept jours à polliniser une plante avec l'autre. Pour cela, il utilisa un petit bâton où l'on avait attaché un corps d'abeille à une extrémité. Après quarante-cinq jours, les plantes devaient être récoltées et les graines de la pre-



Après la découverte de la stérilité des plants de la Svet à leur retour sur terre, des tests de contrôle furent menés ici simulant l'atmosphère de Mir. La présence d'éthylène en concentrations croissantes montre l'impact négatif du gaz contaminant sur les plants.

mière génération pouvaient être semées. Dans l'interview que Foale donna avant son départ, il fit les remarques suivantes : « Je n'ai jamais été fermier mais je suis prêt à le devenir maintenant. Je suis physicien de formation mais cette idée de faire pousser des semences jusqu'à leur stade de floraison [...] les polliniser d'abord puis collecter les graines, me passionne. Je suis impatient de faire cela. »

Alors que l'expérience était en bonne voie, le vaisseau de ravitaillement télécommandé Progress entra en collision le 25 juin avec la station Mir. Cet accident provoqua la décompression du module Spektr et le rendit inutilisable. Il contenait des effets personnels de Foale et des équipements scientifiques. L'une des conséquences de l'accident a été un surcroît de stress tant pour l'équipage que pour les plantes de moutarde. Il s'ensuivit des changements dans la composition et la pression atmosphériques ainsi que trois jours d'obscurité pour les petites plantes.

Selon le Dr Musgrave, Foale et les plantes ressuscitèrent à cette occasion. Comme elle le fit savoir le 1er août 1997, des semences obtenues dans l'espace avaient, pour la première fois, été replantées et avaient germé : « C'est véritablement un moment historique pour nous. On peut considérer cela comme une pier-

re angulaire de la biologie spatiale des plantes. Ma première réaction a été d'être vraiment très contente pour tout le groupe qui a été impliqué dans ce projet et, en particulier, pour l'astronaute Mike Foale. »

Dans un rapport préliminaire récent, le Dr Musgrave a expliqué que lors de précédentes expériences à courte durée avec la navette spatiale, des « milieux gazeux identiques ont eu des conséquences très différentes pour la croissance des plantes selon que l'on soit sur Terre ou dans l'espace ». Il n'y a pas, pour celles qui sont dans l'espace, de mouvements convectifs de l'air ambiant et, en l'absence de ventilation, il se forme des couches d'air stagnantes autour des plantes.

Lors de la collision de juin, les plantes ont dû subir soixante-douze heures de nuit totale. Pour évaluer les effets sur les plantes et « conseiller l'astronaute Foale sur le futur des opérations », le Dr Musgrave et ses collègues ont reproduit les mêmes conditions pour les plantes témoins sur Terre. Les plantes du laboratoire terrestre affichèrent un poids plus faible et un pourcentage accru de pousses non mûres en comparaison avec celles qui ont reçu un éclairage continu.

Il faut aussi mentionner que Mir a connu d'importantes variations de températures lors des réparations ;

les concentrations en gaz carbonique ont atteint jusqu'à quinze et même vingt fois la normale sur Terre. De plus, l'expérience précédente Serre 2 avec du blé avait fait apparaître le problème d'un excès de gaz éthylène. Néanmoins, Foale a réussi à terminer deux cycles complets de culture.

Fin août, le Dr Musgrave annonça que son équipe venait de terminer une expérience de contrôle de quatre mois et demi sur Terre, reproduisant les conditions que les plantes avaient subies dans la Svet. Comme celles de la Svet, les plantes de référence étaient plus petites.

Les scientifiques russes de l'Institut des problèmes biomédicaux envisagent de débiter bientôt une expérience sur Mir, Serre 4, utilisant une variété de blé développée par l'université de l'Utah. Est-ce que cette expérience aura lieu ? Cela dépend des capacités du gouvernement russe à entretenir convenablement Mir, et la crise financière fait planer des doutes à ce sujet.

Les Russes continuent à mener des études sur Terre pour évaluer le rôle que les plantes peuvent jouer dans un système d'alimentation en oxygène en circuit fermé. D'après certains communiqués de presse, les Russes sont à la recherche de volontaires pour passer deux cent quarante jours, à partir de juin 1999, dans une chambre d'isolation identique au module russe qui équipera la Station spatiale internationale (ISS). Des études d'isolation avaient déjà été menées avec des volontaires russes et européens sur cent vingt jours.

En discutant avec un participant d'une expérience d'isolation précédente, le Dr Musgrave a compris que l'effet psychologique lié à l'observation et à l'entretien de plantes lors de la simulation d'une mission spatiale, était aussi important, sinon plus, que la possibilité de régénérer l'atmosphère avec des plantes ou même apporter un complément de nourriture.

Tous les scientifiques qui ont travaillé avec les expériences Svet sont impatients de profiter des possibilités qu'offrira l'ISS. Comme le dit le Dr Musgrave, « De longs séjours à bord de plates-formes orbitales et l'implication d'astronautes bien entraînés sont indispensables pour accumuler les données de base pour atteindre l'objectif technologique d'un système d'alimentation en air utilisant les plantes ».