



SURVIVRE DANS UN ENVIRONNEMENT FERMÉ : LA VIE AU-DELÀ DE LA TERRE

Objectifs didactiques

On a conçu cette activité dans le but de permettre aux enseignants et aux étudiants d'étudier certains principes liés à l'exploration de l'espace et plus particulièrement de proposer des solutions à des problèmes d'ordre pratique, d'analyser et d'interpréter des données ainsi que de prévoir des résultats. Le présent document vise à susciter des échanges d'opinions et à mener à la formulation de questions intéressantes comme : « La Terre est-elle le seul endroit où les humains peuvent vivre? ».

Attentes précises

Les étudiants :

- a) démontreront qu'ils comprennent bien ce qu'est un écosystème fermé, y compris les cycles de transformation;
- b) examineront les facteurs qui limitent l'exploration de l'espace par les humains;
- c) évalueront les contributions de la recherche menée dans la Station spatiale internationale pour notre compréhension des systèmes biologiques.

On pourra étudier notamment : la microgravité, la chute libre, les orbites, le rayonnement, les systèmes écologiques ouverts et fermés, la transformation de la matière, l'énergie et les interrelations.

CONTEXTE

La Station spatiale internationale (ISS) est un laboratoire orbital à 450 km au-dessus de la Terre, à une inclinaison de 51,6 degrés. Cette orbite offre des vues exceptionnelles sur plus des trois quarts de la surface du globe, où se trouve 95 % de la population terrienne.

Si l'on ne tient pas compte de la lumière du Soleil et des objets qui nous arrivent occasionnellement de l'espace, la Terre est, en fait, un système écologique fermé dans lequel la matière et l'énergie passent d'un état à un autre par l'action d'éléments biotiques et non biotiques. Le système écologique ou, écosystème, est une notion conceptuelle sur laquelle on peut fonder des prévisions sur les interrelations. Un environnement fermé est circonscrit par des limites.



La Station spatiale internationale est une entité en elle-même qui orbite autour de la Terre. Heureusement pour ceux qui l'habitent, elle est un environnement viable qui nécessite toutefois l'apport de matière et d'énergie, fonction à laquelle contribuent les astronautes canadiens. Dans le cadre de la mission STS-96, Julie Payette sera responsable du rangement des ressources, y compris des aliments et des autres matières essentielles à la survie. Marc Garneau, lors de la mission STS-97, fixera les panneaux solaires à la Station spatiale internationale. On disposera dès lors d'une source d'électricité qu'on utilisera pour toutes sortes de travaux et de transferts d'énergie. Chris Hadfield, lorsqu'il prendra part à la mission STS-100, fera une sortie dans l'espace dans son propre environnement fermé, retenu à la Station par un filin. Il installera le bras spatial canadien, le Télémanipulateur de la Station spatiale (SSRMS).

Les astronautes auront besoin d'un système de survie à bord de la Station spatiale internationale. De plus, pour qu'ils puissent pousser plus loin leur exploration de l'espace, il leur faudra pouvoir compter sur un système de survie régénérateur. Pourquoi?

Les systèmes de survie des engins spatiaux sont conçus pour des missions de courte durée et des équipages peu nombreux. Le système de survie en milieu fermé (CELSS pour *Closed Environment and Life Support System*) est une application technologique relativement simple qui dépend des sources indispensables d'oxygène, d'eau et de nourriture stockées à bord. Les déchets sont ramenés sur Terre ou relâchés dans l'espace. À bord de la navette spatiale, le dioxyde de carbone est éliminé chimiquement au moyen d'hydroxyde de lithium (LiOH) contenu dans de grands contenants. Ce processus est inefficace et coûteux parce qu'il constitue de la masse et occupe du volume au lancement. Le lancement de la navette spatiale coûte environ 20 000 \$CAN le kilogramme. Des missions de plus longue durée à destination de la Lune ou de Mars devront, pour être menées à bien, se faire à bord d'engins autonomes qui nécessiteront un minimum de réapprovisionnement et offriront un environnement semblable à celui de la Terre.

L'ENVIRONNEMENT SPATIAL : PAS TRÈS AGRÉABLE

À 20 km au-dessus de la Terre, on a déjà traversé plus de 90 % de l'atmosphère et l'obscurité commence à envahir le ciel. À l'altitude à laquelle se trouve la Station (450 km au-dessus de la Terre à une inclinaison de 51,6 degrés), les molécules d'hydrogène et d'hélium se raréfient et se mêlent graduellement aux gaz interplanétaires. La pression exercée étant presque nulle, comparativement aux 101 kilopascals qu'on trouve sur Terre au niveau de la mer, le voyageur de l'espace doit emporter avec lui sa propre atmosphère dans une cabine ou dans une combinaison étanche.



À l'extérieur de la Station spatiale internationale ou de la combinaison d'astronaute, la température peut atteindre 120 degrés Celsius du côté exposé au Soleil et descendre jusqu'à -100 degrés Celsius du côté opposé. Les véhicules et les combinaisons doivent donc être munis d'un système actif de thermorégulation afin de maintenir une zone de confort assez restreinte.

Parmi les autres facteurs nuisibles on trouve les rayons ultraviolets, les particules chargées provenant du Soleil, les rayons cosmiques galactiques ainsi que de petites particules appelées micrométéorites qui voyagent à très grande vitesse. Le corps humain n'est pas conçu pour survivre dans l'espace si l'environnement fermé dans lequel il se trouve n'est plus étanche. Le vide provoquerait immédiatement des effets désastreux sur l'organisme. Il y aurait expansion rapide des gaz dissous, ce qui provoquerait une déstructuration des corps solides et des liquides. Des bulles d'air s'échapperaient et se formeraient dans les tissus et dans le sang. La peau gonflerait comme les parois d'un ballon et il y aurait rupture des tissus sous-jacents. Le « mal des caissons », ou accident de décompression, se caractérise par des douleurs articulaires et musculaires et, dans les cas extrêmes, par un affaissement cardio-vasculaire ou un choc. En moins de 15 secondes, les dommages aux tissus, le gonflement et le manque d'oxygène au cerveau provoqueraient une perte de conscience.

Tout environnement, pour permettre la survie dans l'espace, doit offrir une température, une pression, une humidité relative et une atmosphère gazeuse appropriées. Il doit protéger les astronautes ou les cosmonautes des rayons nocifs, du vide spatial, des températures extrêmes ainsi que des impacts des micrométéorites et des autres débris spatiaux.

UN ENVIRONNEMENT VIABLE DANS L'ESPACE

Il faut beaucoup d'oxygène, d'eau et de nourriture pour assurer la survie des astronautes dans l'espace. Le tableau 1 ci-dessous indique les éléments requis à bord de la Station spatiale internationale pour assurer la survie de ses occupants. En orbite, il faut consacrer plus de 24 kg de ressources par jour aux besoins élémentaires de chaque personne. Chez l'humain, les réactions métaboliques transforment les aliments en déchets qui, à défaut d'être recyclés, doivent être stockés.

Pour les missions de longue durée, les végétaux peuvent constituer une composante importante d'un système de survie régénérateur. Ils constituent certes une source de nourriture, mais ils peuvent aussi régénérer l'air en transformant le dioxyde carbone en oxygène et, par évapotranspiration, transformer les eaux usées en eau potable. En microgravité, cependant, la culture des végétaux pose certaines difficultés. Comment définit-on le haut et le bas? Comment poussent les tiges et les racines? Comment peut-on combler efficacement les besoins des plantes en eau et en matières nutritives?



Quelles sont les plantes qui poussent le mieux dans ce genre d'environnement?

PRÉPARATION DE L'ACTIVITÉ

Dans le cadre de cette activité, on élabore le concept d'un écosystème fermé ou d'un environnement isolé. On peut déterminer le rôle des organismes vivants, des producteurs, des consommateurs ainsi que leurs rapports avec certains facteurs physiques comme la température, les conditions atmosphériques et les éléments nutritifs du sol. On peut illustrer les interrelations à l'aide d'un schéma montrant le flux énergétique et le cycle nutritif.

Une fois les concepts de base établis, les étudiants sont prêts à créer leur propre écosystème fermé. Cela peut être fait de nombreuses façons, selon l'intérêt de l'étudiant. On peut créer des écosystèmes fermés individuels pour imiter certains des processus et des cycles existant à bord de la Station spatiale internationale (voir activité n° 1 des étudiants). Les étudiants pourraient concevoir et construire un grand module d'habitation complet comportant des systèmes de contrôle de l'éclairage ou d'autres facteurs. À l'aide d'une pellicule de mylar ou de plastique et de ruban adhésif en toile, on peut créer des structures gonflables pour simuler une mission spatiale complète, expériences et exigüité des lieux y compris.

D'autres travaux plus avancés pourraient porter sur les procédures utilisées par les scientifiques du Canada et des États-Unis pour mettre au point des systèmes de survie régénérateurs. Les spécialistes du laboratoire BIO-Plex du *Johnson Space Center* travaillent actuellement à la mise au point de caissons de bioproduction qui fourniront en permanence 95 % des aliments nécessaires à un équipage composé de quatre personnes. Pour les systèmes de production alimentaire des véhicules spatiaux, on a cerné, par ordre de priorité, les productions végétales suivantes : tomate, carotte, laitue, radis, chou, épinards, bette et oignon. On procède actuellement à des essais sur le blé comme culture de base pour des systèmes planétaires de production alimentaire.

Des chercheurs de la *Utah State University* ont mis au point une variété de blé de l'ère spatiale désignée sous l'appellation de *USU Apogee*, qui pourrait être cultivée dans l'espace, sous éclairage constant et sous de fortes concentrations de CO₂, à l'étroit et par cycles courts. Sur Internet, les étudiants pourront voir comment on construit les caissons et suivre le développement de la production végétale depuis l'espace. On fournit des données réelles sur cette expérience comme l'absorption du carbone et la production d'oxygène. Cela pourrait servir de modèle pour les recherches des étudiants.



Tableau 1 — Exigences concernant le maintien de la vie d'un membre d'équipage de la Station spatiale

Produits de consommation	kg/pers./jour	Déchets	kg/pers./jour
Gaz	0,8	Gaz	0,1
Oxygène		Dioxyde de carbone	1,00
Eau	23,4	Eau	23,7
Eau potable	1,62	Urine	1,50
Eau contenue dans la nourriture	1,15	Transpiration/ respiration	2,28
Préparation de la nourriture	0,79	Eaux fécales	0,09
Douche et hygiène des mains	6,82	Douche et hygiène des mains	6,51
Lavage des vêtements	12,50	Lavage des vêtements	11,90
Chasse d'eau-urine	0,50	Chasse d'eau-urine	0,50
		Condensation	0,95
Solides	0,6		0,2
Nourriture	0,62	Urine	0,62
		Matières fécales	0,03
		Transpiration	0,02
		Douche et hygiène des mains	0,01
		Lavage des vêtements	0,08
Total :	24,8	Total :	24,9

Source : NASA

