

## À la recherche des civilisations extra-terrestres (6)

### La colonisation de la Galaxie

Dans le premier article de cette série [1], je discutais de la classification des civilisations technologiques proposée par l'astronome russe N. S. Kardashev. Selon lui, une civilisation de type I est capable d'utiliser autant de puissance que celle qu'elle reçoit de son étoile. Dans le troisième article de cette série, je décris comment une civilisation peut atteindre le stade II en construisant une sphère de Dyson [2], ce qui lui permet de capter une fraction importante de la puissance émise par son étoile. Il est maintenant temps d'évoquer la possibilité pour une société d'atteindre le stade III, c'est-à-dire la capacité d'utiliser la totalité de la puissance émise par la galaxie qui l'abrite.

Comme je l'ai déjà signalé dans le premier article, une civilisation de type III ne doit pas être confondue avec ce que les auteurs de science-fiction appellent un « empire galactique », c'est-à-dire de vastes régions d'une galaxie soumises à un pouvoir central, éventuellement distant de plusieurs centaines, voire de plusieurs milliers d'années-lumière. Les distances entre les étoiles et la vitesse des communications par radio (à la vitesse de la lumière) rendent impossible la cohésion de mondes trop distants ; un message émis de la planète capitale à destination d'une planète éloignée de 300 années-lumière ne sera reçu que 3 siècles après son envoi. Cela n'empêche nullement les échanges culturels et scientifiques à travers le vide interstellaire, pour autant que certaines sociétés soient prêtes à partager gracieusement leurs connaissances. Il est même possible qu'il résulte de ces échanges une véritable communauté d'esprit à l'échelle d'une galaxie [3].

La création d'une société de type III n'est possible que si le transport de personnes et de matériels peut être réalisé entre deux étoiles. Il n'y a encore aucune certitude que cela sera possible un jour. J'ai toutefois présenté dans un numéro précédent de *Galactée* [4] des arguments en faveur de la faisabilité du voyage interstellaire. Pour examiner le problème, imaginons que l'espèce en route vers le stade III soit la nôtre et, donc, que nous ayons pu maîtriser la technologie du voyage interstellaire. Cela soulève une question importante : combien de temps faudrait-il à l'espèce humaine pour se répandre dans la Galaxie et s'installer même dans les régions les plus lointaines ?

Il est naturellement très difficile de donner une réponse sensée à une telle question. Une limite inférieure est donnée par la taille de la Galaxie, dont le diamètre vaut environ 100 000 années-lumière. Même avec des astronefs voguant à une vitesse proche de celle de la lumière, il faudrait des centaines de milliers d'années pour simplement la traverser. Avec des vaisseaux plus lents, le temps de traversée peut devenir des centaines ou des milliers de fois plus grand. Le temps de colonisation sera forcément plus important, mais de combien ?



*Vision de la Galaxie, reconstituée par ordinateur, telle qu'elle apparaîtrait à un observateur situé à 60 000 années-lumière du centre galactique, faisant un angle de 10° avec le plan galactique. Le Soleil (invisible sur cette représentation) est localisé au centre de l'image<sup>1</sup>.*

Pour évaluer la durée présumée de colonisation de la Galaxie, différents modèles ont été établis [5-9], inspirés de la démographie humaine. L'idée de base est assez simple. Un système solaire, ayant développé un haut niveau de technologie et possédant des ressources économiques suffisantes, envoie plusieurs missions de colonisation vers ses plus proches voisins. Là, les colons fondent de nouvelles civilisations qui vont voir leur population et leurs ressources économiques progresser. Lorsqu'elles auront atteint un stade de développement suffisant, elles enverront à leur tour des missions de colonisation interstellaire. Sous ces hypothèses simples, la vitesse  $V$  de propagation du front de colonisation est donnée par la formule suivante :

$$V = \frac{D}{T_D + T_C}$$

où  $D$  est la distance moyenne entre deux colonies,  $T_D$  le temps nécessaire pour franchir cette distance, et  $T_C$  la durée qui s'écoule entre le moment où la colonie se fonde et celui où elle peut envoyer de nouvelles missions de colonisation.  $(T_D + T_C)$  est donc bien le temps nécessaire pour que le front de colonisation franchisse la distance  $D$ . Plus le temps de voyage entre deux étoiles ou le temps d'évolution de la colonie est grand, plus la vitesse de

---

<sup>1</sup> Cette peinture, réalisée grâce à la collaboration de l'artiste Jon Lomberg avec plusieurs astronomes, est disponible sous forme de poster auprès de l'association «The Planetary Society» (<http://planetary.org/society/society.html>).

propagation du front est lente. Il est à noter que c'est le temps le plus long ( $T_D$  ou  $T_C$ ) qui domine la dynamique d'expansion.

Le temps de voyage entre deux sites de colonisation dépend de la vitesse moyenne  $V_A$  des vaisseaux interstellaires. Il est donné par la formule :

$$T_D = \frac{D}{V_A}$$

La population  $N_0$  amenée par le ou les vaisseaux interstellaires de colonisation sera sans doute assez faible. On peut supposer que la colonie ne sera capable de lancer de nouvelles missions interstellaires que lorsque sa population aura suffisamment augmenté jusqu'à atteindre un nombre  $N_c$  important. Si on suppose une loi de croissance de la population classique, de type exponentiel, avec un taux de croissance  $\alpha$ , alors le temps  $T_C$  de croissance de la colonie, pour passer de  $N_0$  à  $N_c$  membres, est donné par la relation :

$$T_C = \frac{1}{\alpha} \ln \left( \frac{N_C}{N_0} \right)$$

où « ln » représente la fonction logarithme naturel ou népérien<sup>2</sup>. On peut supposer une loi d'augmentation exponentielle car les ressources dans le nouveau système solaire seront abondantes et la place ne manquera pas.

Essayons maintenant de chiffrer cette vitesse d'expansion. Le Soleil se trouve dans une région de relativement faible densité d'étoiles, avec une distance moyenne entre étoiles d'environ 7 années-lumière. On peut faire l'hypothèse minimaliste que les missions de colonisation ne s'intéresseront qu'aux étoiles les plus proches. On peut donc prendre pour le paramètre  $D$  une valeur moyenne de 5 années-lumière. Dans l'hypothèse où l'astronef de Dyson, décrit dans la référence [4], est finalement choisi comme moyen de transport, on obtient une vitesse  $V_A$  approchant les 5 000 km/s. Tout ceci nous donne un temps de voyage  $T_D$  de l'ordre de 3 siècles.

Toujours dans l'hypothèse du vaisseau de Dyson, la population initiale  $N_0$  de la colonie pourrait atteindre 2 000 personnes. Pour déterminer la valeur de  $N_c$ , on peut remarquer qu'une nation comme les États-Unis a réussi à elle seule à financer un vaste programme spatial comprenant des missions lunaires. On peut raisonnablement supposer qu'une société du futur de 1 milliard d'individus, encore mieux armée du point de vue de la technologie et de la robotique, puisse lancer au moins une mission interstellaire de colonisation. Le temps de croissance de la colonie va en fait dépendre de manière critique du taux de croissance  $\alpha$ . Le taux de croissance mondial actuel est estimé à près de 2% par an. Dans les sociétés primitives agricoles des débuts de l'humanité, le taux de croissance devait avoisiner 1‰ par an. Une valeur comprise entre ces deux extrêmes semble raisonnable pour une société dynamique (il

---

<sup>2</sup>  $N_C = N_0 \exp(\alpha T_C)$ , écrit sous la forme habituellement rencontrée de la loi de croissance des populations.

faut certainement l'être pour entreprendre une telle aventure) en pleine expansion. Cela nous donne un temps de croissance  $T_c$  qui va de 700 ans à 13 000 ans. Il est clair que la dynamique d'expansion sera contrôlée par le taux de croissance de la colonie, à moins que les vaisseaux de colonisation soient extrêmement lents.

Finalement, ces chiffres nous donnent une vitesse de propagation du front de colonisation qui va de  $4 \cdot 10^{-4}$  à  $5 \cdot 10^{-3}$  année-lumière par an. Autrement dit, la Galaxie peut être colonisée par l'espèce humaine en une durée comprise entre 16 et 200 millions d'années. Il peut paraître absurde de spéculer sur des intervalles de temps aussi longs, alors que personne ne peut prédire l'évolution de notre société, même sur des périodes de quelques années seulement. Les chiffres donnés ici sont des ordres de grandeur, imposés par des contraintes physiques et biologiques.

Certains ont cru pouvoir établir un parallèle entre la colonisation éventuelle de la Galaxie et l'expansion humaine dans les îles de l'océan Pacifique [9]. Un peuple de marins aventuriers, utilisant des innovations technologiques (le canoë « bicoque »), a mis plusieurs siècles (25 environ) pour traverser l'immense océan et découvrir des îles vierges, sur lesquelles il s'est installé. Cette extraordinaire aventure du peuple polynésien est certes impressionnante, mais on peut se demander s'il est vraiment possible de la comparer à l'expansion humaine dans l'« océan » interstellaire. La durée des voyages entre deux colonies est très différente dans les deux cas de figure, de quelques semaines dans le Pacifique à plusieurs générations entre deux étoiles. De plus, la pression démographique, sans doute le principal moteur de l'expansion polynésienne, n'existera pas dans le cas des colons de l'espace. En effet, d'une part on peut supposer que des sociétés très évoluées seront capables de contrôler leur démographie. D'autre part, il est peu probable que les voyages interstellaires servent à déplacer les excédents de population. La capacité des astronefs ne dépassera sans doute pas quelques milliers ou dizaines de milliers de colons. De plus, une étoile complètement entourée d'autres systèmes habités n'offrira plus de possibilité de colonisation.

Si la pression démographique ne peut pas être invoquée, quels pourraient être les motifs poussant des hommes et des femmes à se lancer dans une périlleuse entreprise de colonisation galactique ? Une première raison qui vient à l'esprit serait la menace de destruction du Système solaire par une catastrophe cosmique comme la mort du Soleil ou l'explosion d'une supernova proche (les radiations émises par l'explosion d'une étoile située à quelques dizaines d'années-lumière de la Terre pourraient y détruire les formes de vie supérieure). Dans ce cas, le déplacement de population se limiterait sans doute au premier système solaire accueillant. Personnellement, je crois que la raison qui fera que l'humanité se répandra dans l'espace est tout simplement l'esprit d'aventure, le besoin pour l'homme d'atteindre de nouveaux horizons, quel qu'en soit le prix, quels qu'en soient les risques. Ce moteur de l'espèce humaine ne s'éteindra pas avec l'avènement de la technologie et continuera, comme par le passé, à faire reculer les limites du possible. Dans un prochain article de cette série, je développerai un scénario possible pour le futur de l'humanité conduisant assez naturellement à l'expansion vers les espaces interstellaires.

Deux raisons ont parfois été avancées pour nier la possibilité de la colonisation galactique. Une première raison est la nécessité de trouver des planètes accueillantes dans un système solaire étranger pour pouvoir fonder une colonie viable. Il n'est en effet pas certain que des planètes de type terrestre soient monnaie courante dans la Galaxie. En fait des hommes ayant passé toute leur vie dans l'environnement artificiel et parfaitement contrôlé d'un vaisseau spatial n'ont probablement pas besoin de planètes habitables pour vivre. Il leur sera seulement nécessaire de trouver des matériaux en grande quantité pour construire de nouveaux habitats spatiaux plus vastes et plus confortables [9,10]. Ces matériaux, sous forme d'astéroïdes ou de comètes, doivent pouvoir se trouver autour de chaque étoile, en vertu des théories modernes de formation des systèmes solaires. Une deuxième raison invoquée est que l'espèce humaine pourrait finir par se désintéresser des vols spatiaux. Je ne crois pas que cette raison soit valable car si l'homme arrive à essaimer sur quelques systèmes, il me paraît très peu probable que toutes les nouvelles sociétés ainsi formées connaissent une évolution culturelle convergente. Il suffit à un moment donné qu'une seule civilisation décide de poursuivre la colonisation pour que celle-ci ne s'arrête qu'avec l'occupation totale de la Galaxie.

Ces considérations nous amènent à penser que la durée de colonisation de la Galaxie pourrait être assez courte vis-à-vis de l'âge de la Galaxie, qui est évalué à environ 10 milliards d'années. Les conséquences importantes de cette remarque seront discutées dans le dernier article de cette série consacrée aux éventuelles civilisations extra-terrestres.

Dans l'article consacré aux sphères de Dyson [2], j'ai signalé qu'une civilisation de stade II pourrait être détectée sur de grandes distances (par ce qu'on appelle des « fuites d'astrotechnique »), à condition qu'elle ne soit pas située dans une région trop éloignée de nous dans la Galaxie, ou qu'elle n'occupe pas un emplacement qui nous soit masqué par des nuages de gaz ou de poussières. Une civilisation de type III, ayant donc « domestiqué » sa galaxie par la construction d'un grand nombre de sphères de Dyson, serait détectable sur des distances intergalactiques de plusieurs millions d'années-lumière. En effet, la luminosité intrinsèque d'une galaxie, son rayon, ainsi que la vitesse moyenne de déplacement des étoiles à l'intérieur de cette galaxie, sont des caractéristiques mesurables depuis la Terre. Ces deux dernières quantités sont liées à la masse de cette galaxie tandis que la première dépend de cette même masse émettant de la lumière sous forme d'étoiles. Si une civilisation habitant cette galaxie capte une fraction appréciable de cette lumière pour ses besoins propres, les liens naturels existant entre ces trois quantités n'existeront plus et la galaxie présentera des caractéristiques inhabituelles. Une récente étude menée sur un échantillon de 137 galaxies [11] ne semble pas indiquer qu'une civilisation de type III existe dans notre environnement galactique proche. Toutefois des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ou infirmer ces conclusions.

Claude Semay (UMH)

## Références

- [1] Claude Semay, *À la recherche des civilisations extra-terrestres (1) : la classification des civilisations technologiques*, *Galactée*, n° 7, février 1998, p. 31-35.
- [2] Claude Semay, *À la recherche des civilisations extra-terrestres (3) : les sphères de Dyson*, *Galactée*, n° 9, juin 1998, p. 15-20.
- [3] Carl Sagan, *Cosmic Connection, ou l'appel des étoiles*, Éditions du Seuil, 1975, coll. « Points Sciences ».
- [4] Claude Semay, *À la recherche des civilisations extra-terrestres (5) : les transports interstellaires*, *Galactée*, n° 13, février 1999, p. 32-39.
- [5] Eric M. Jones, *Estimates of Expansion Timescales*, in *Extraterrestrial: Where are They?*, ed. Ben Zuckerman and Michael H. Hart, Cambridge University Press, 1995, p. 92-102.
- [6] Robert Rood et James Trefil, *L'univers : sommes-nous seuls ?*, Éditions Belfond, 1985.
- [7] Freeman J. Dyson, *Les dérangeurs de l'univers*, Éditions Payot, 1986, coll. « Espace des Sciences ».
- [8] Marshall T. Savage, *The Millennial Project: Colonizing the Galaxy*, Empyrean Publishing Ltd, 1992.
- [9] Nicolas Prantzos, *Voyages dans le futur : l'aventure cosmique de l'humanité*, Éditions du Seuil, 1998, coll. « Sciences Ouvertes ».
- [10] Gerard K. O'Neil, *The High Frontier, Human Colonies in Space*, Space Studies Institute Press, 1989.
- [11] James Annis, *Placing a limit on star-fed Kardashev type III civilisations*, *Journal of the British Interplanetary Society*, Vol. 52, 1999, p. 33-36.