# Homo icarus : Evolution biologique de l'homme dans l'espace

Pereda-Loth Veronica, Tisseyre Lenka, Heiske Margit, Ginibrière Didier, Alva Sanchez Omar, Bensafi Moustafa, Thierry Letellier, Gauquelin-Koch Guillemette, Courtade-Saïdi Monique, Pierron Denis

▶ **To cite this version:**

Pereda-Loth Veronica, Tisseyre Lenka, Heiske Margit, Ginibrière Didier, Alva Sanchez Omar, et al.. Homo icarus : Evolution biologique de l'homme dans l'espace. Homo futurus Quelles évolutions biologiques pour l'espèce humaine?, 2021. hal-03451510

**HAL Id: hal-03451510**
**https://hal.science/hal-03451510**

Submitted on 26 Nov 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# *Homo icarus* : Evolution biologique de l'homme dans l'espace.

Pereda-Loth Veronica[1,2], Tisseyre Lenka[1,2], Heiske Margit[2], Ginibrière Didier[1,2], Alva Sanchez Omar[2], Bensafi Moustafa[3], Letellier Thierry[2], Gauquelin-Koch Guillemette[4], Courtade-Saïdi Monique[1], Pierron Denis[2]

Veronica Pereda-Loth est ingénieur de Recherches travaillant sur la plateforme de Biologie Spatiale (GSBMS) et au sein du laboratoire AMIS sur de thématiques transversales de Médecine Evolutive.

1. GSBMS Faculté de Médecine Rangueil University of Toulouse III, Toulouse, France.
2. Laboratoire d'Anthropologie Moléculaire et Imagerie de Synthèse, UMR 5288 CNRS, Université de Toulouse, 31073 Toulouse, France.
3. Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon Inserm U1028 - CNRS UMR5292 Université Claude-Bernard
4. CNES, Sciences de la Vie.

## 1- RESUME

Aujourd'hui, la vie dans l'espace, et demain, la colonisation de Mars, vont confronter l'homme à des contraintes environnementales inédites. Nous proposons ici une revue des contraintes environnementales auxquelles sera exposé l'homme dans l'espace et présenterons les expériences que nous réalisons pour pouvoir étudier leurs effets, dans le but de pouvoir découvrir de possibles contre-mesures.

## 2- INTRODUCTION

Au cours de l'évolution, la physiologie humaine s'est adaptée à son environnement. Peu à peu les progrès techniques ont permis à l'homme de s'écarter de sa niche écologique initiale et lui ont permis de survivre dans de nouveaux milieux pour lequel son corps n'était pas initialement adapté. En fonction du milieu, du climat, de la température rencontrée, l'homme s'est adapté biologiquement et culturellement (Pierron et al., 2018). Aujourd'hui, la vie dans l'espace et demain, la colonisation de Mars vont confronter l'homme à des contraintes environnementales inédites. Ainsi, la micropesanteur et l'exposition aux radiations cosmiques vont représenter les principaux défis et pourront influencer de façon significative la physiologie des futures générations humaines qui vivront dans ce milieu. Nous proposons ici, une revue des contraintes environnementales auxquelles seront exposés les spationautes lors des possibles missions de longue durée et présentons les expériences que nous réalisons pour pouvoir étudier leurs effets dans le but de découvrir de possibles contre-mesures à ces effets.

## 3- LES CONTRAINTES SPATIALES

L'environnement spatial est non seulement hostile à la survie de l'espèce humaine, mais aussi à l'ensemble des autres espèces avec lesquelles nous avons co-évolué (des bactéries aux espèces animales domestiques en passant par les végétaux). L'évolution et la survie de la lignée humaine dans l'espace dépend donc non seulement des effets des contraintes spatiales sur notre physiologie mais aussi sur l'ensemble de l'écosystème embarqué dans les futurs vaisseaux spatiaux. La NASA dénombre 5 catégories principales de dangers pouvant atteindre le voyageur de longue durée dans l'espace (Lloyd et al., 2018)

1. *Micropesanteur* : Une des principales caractéristiques des voyages spatiaux est le changement de pesanteur en fonction du lieux ou se trouve le voyageur (planète de tailles

différentes, orbites). L'expérience acquise grâce aux astronautes montre qu'il est en fait difficile de s'adapter à un nouveau niveau de gravité : l'orientation spatiale du corps, l'équilibre, et la coordination entre les yeux et les mains peuvent être affectés. Ces effets vont influencer la vie quotidienne mais peuvent aussi être primordiale pour la réalisation d'actes techniques ayant besoin d'une bonne coordination comme lors de l'arrimage entre deux vaisseaux spatiaux. A plus long terme, la diminution de la gravité influence le corps humain par la perte de minéraux et une diminution de la densité osseuse s'accompagnant d'un risque accru de fractures liées à l'ostéoporose. De plus, en l'absence d'exercice et d'une alimentation appropriée, s'ajoute un risque de déconditionnement cardio-vasculaire (Vico et al., 2000; Gunga et al., 2016).

2. *Isolement et confinement* : Les voyages interplanétaires supposent inévitablement l'enfermement d'un groupe de personnes dans un environnement réduit pendant une longue durée. Cette promiscuité va influencer inévitablement sur le long terme leur comportement de façon générale : des problèmes de sommeil, d'humeur, voire de cognition et bien sûr des problèmes d'interaction entre individus. Des effets psychologiques peuvent apparaître du fait d'être isolés dans des espaces confinés, bruyants et peu accueillants. Les voyages dans l'espace vont alterner des moments stressants avec une grande charge de travail et de longues périodes sans activité (Stuster et al., 2010).

3. *Environnement clos* : Le vaisseau spatial se comporte comme un 'écosystème isolé' qui va influencer la vie du spationaute. Dans cet environnement clos, les microbes peuvent être transmis plus facilement entre les individus et le risque de mutation des micro-organismes est plus élevé en raison d'un taux de rayonnements ionisants plus important. Dans l'espace, il peut également être difficile de réguler la chaleur, le froid, le bruit, ce qui peut rendre l'activité physique difficile.

4. *Rayonnements ionisants spatiaux* : Les *rayonnements ionisants* représentent sans conteste le plus grand risque pour les voyageurs effectuant un vol dans l'espace vers Mars. Il a été mesuré dans la Station Spatiale Internationale (SSI), que les astronautes reçoivent environ 0.5 mSv/jour (Cucinotta et al., 2008), ce qui représente une multiplication importante des doses reçues sur terre. Notre Terre possède un champ magnétique qui protège des radiations cosmiques et notre physiologie n'est pas adaptée à subir de telles quantités de radiations. Ces radiations peuvent augmenter le risque de cancer mais aussi endommager le système nerveux central (incluant les fonctions cognitives et motrices) et peut aussi élever le risque de cataractes et maladies circulatoires et cardiaques - ainsi que sur le système immunologique. (Wieling et al., 2002 ; Martinez, E.M., et al., 2015)

5. *Distance* : Enfin les voyages dans l'espace supposent des éloignements importants en temps et en distance entre les voyageurs et d'éventuels lieux de présences humaines avec des ressources (comme la Terre). Cela suppose une incapacité de ravitaillement ou secours importants. Pour une mission cela implique de fortes contraintes de planification et d'autonomie. Cette distance limite donc la capacité de réactivité face à un imprévu et peut laisser le voyageur sans ressource. A titre d'exemple, il existe un délai de communication de 20 minutes, entre la Terre et Mars (56 millions de km).

## 4- RECHERCHES ACTUELLES et FUTURES

Il est difficile de prévoir à priori quels seront les impacts réels de ces contraintes dans la physiologie et le mode de vie de l'homme dans l'espace. Il est donc nécessaire d'avoir des laboratoires dédiés aux études spatiales, capables de simuler les conditions de l'espace. Notre laboratoire, le GSBMS (Groupement Scientifique de Biologie et Médecine Spatiale, Faculté de Médecine Rangueil, Université de Toulouse III) a été créé il y a une trentaine d'années en tant que plateforme scientifique en Biologie Spatiale dédiée à l'étude d'une meilleure compréhension du rôle de ces contraintes de la vie dans l'espace. Ce groupement travaille en partenariat avec le CNES, l'ESA et des scientifiques principalement français et européens intéressés par ces thématiques, en se focalisant sur la soutenabilité à très longue durée de la vie dans l'espace.

*Les études sur des modèles végétaux*

L'une des activités principales du GSBMS consiste en l'étude des effets combinés de la micropesanteur et des rayonnements ionisants. L'environnement spatial est difficile à simuler au niveau du sol. Le rayonnement spatial est comparable à une exposition chronique à très faible dose. D'autre part, il est difficile d'envisager de réaliser certaines expériences à la Station Spatiale Internationale en raison des contraintes particulières imposées. Notre groupe a participé à plusieurs projets sur des plantes (lentille, colza, Arabidopsis) à bord de la SSI en utilisant les deux modules (EMCS, Kubik) qui permettent des expériences de courte durée du à la miniaturisation de chambres de culture (Mazars, et al. 2014a, Mazars, et al. 2014b, Kittang et al., 2014, Valbuena et al., 2018, Bizet et al., 2018). Ainsi, nous avons développé un dispositif nommé MARSimulateur (Microgravity And Radiation simulator). Ce dernier est capable de combiner une irradiation chronique et une altération de la gravité pouvant être utilisées pour des cultures cellulaires ou des plantes in vitro (Pereda et al. 2017). Pour les plantes en condition de production en laboratoire nous simulons uniquement le niveau de rayonnement. L'irradiation est fournie par de la poudre de nitrate de Thorium, conditionnée de façon à constituer une source pouvant être placée dans un incubateur. Des plaques de cellules ou des plantes peuvent être placées en contact direct avec la source, ou à différentes distances au-dessus de celle-ci pour simuler différents niveaux de rayonnement. Pour simuler des effets combinés de rayonnement et micropesanteur, nous plaçons les échantillons sur un RPM (Random Positionning Machine), Fig.1. Compte tenu de l'accès limité à la SSI, ce dispositif peut permettre la conduite d'études dans le domaine de la biologie spatiale, afin de mieux comprendre les changements physiologiques des plantes qui seront sélectionnées pour la consommation humaine des spationautes, sur le plan du stress oxydatif, des dommages à l'ADN et des systèmes de réparation, du cycle cellulaire et de la production de métabolites secondaires.

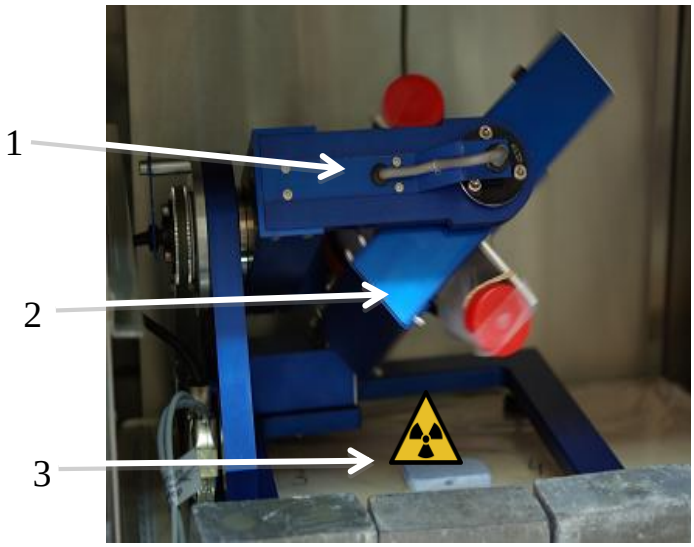


Fig.1. MARSimulateur combinant la simulation de la micropesanteur et le niveau de rayonnement présent à la SSI. *1) Random Positioning Machine (RPM). 2) Plate forme tournante sur deux axes de rotation, qui peut porter des tubes et boîtes pétri. 3) Source de Nitrate de thorium dans un support cartonné scellé, et protégé par une barrière externe plastique. Le niveau de rayonnement au niveau du plateau est de 0.33±17 mSV/jour.*

*Les études sur les modèles cellulaires humains*

Une autre application de cette nouvelle technologie (MARSimulator) est l'étude des mécanismes induits sur des cellules humaines suite à leur exposition aux rayonnements ionisants de la SSI. Nous étudions plus particulièrement les mécanismes d'interaction des espèces réactives à l'oxygène créés par les rayonnements ionisants avec des scénarios de simulation de rayonnement au sol avec le MARSimulateur sur le métabolisme énergétique cellulaire (et notamment sur la mitochondrie). En effet, les mitochondries sont des organelles intracellulaires des eucaryotes qui représentent entre 10 et 40 % du volume d'une cellule, et sont impliquées dans un grand nombre de processus cellulaires majeurs comme la production d'énergie sous forme d'ATP indispensable à la survie de la cellule (plus de 70 kg d'ATP sont produit par jour), l'apoptose (mort cellulaire programmée), la signalisation calcique (modulant ainsi la signalisation cellulaire), la génération d'espèces réactives à (?) l'oxygène (ERO). Ainsi, son rôle central au sein de la cellule, fait qu'on la retrouve (i) naturellement impliquée dans de nombreux processus physiologiques comme le vieillissement, la régulation hormonale, la production de chaleur (70% de notre chaleur corporelle est produite par la mitochondrie) mais aussi (ii) à l'origine de nombreuses pathologies comme les myopathies, les pathologies neurodégénératives, le cancer, la maladie d'Alzheimer, .... Ainsi une exposition à long terme aux rayonnements ionisants en impactant la mitochondrie pourrait modifier le métabolisme et la physiologie cellulaire. Comme pour l'étude des modèles végétaux, ces effets seraient perceptibles sur la physiologie des astronautes lors de voyage plus longs comme les missions sur Mars.

*Des études sur le confinement et les perceptions olfactive et gustative*

Dans un autre registre, nous étudions aussi les possibles modulations en matière de perception des odeurs et des goûts des aliments dans le contexte de la SSI (microgravité et confinement). Les odeurs et les goûts sont présents dans notre alimentation, source à la fois de plaisir et de lien social ; ces stimulations chimiques influencent également nos relations avec autrui. Elles contribuent à notre équilibre émotionnel et à notre bien -être, puisque la perte de l'odorat et/ou du goût a des conséquences délétères sur cet équilibre (Manesse et al., 2017). Ainsi, suivre ces désordres chimio-sensoriels durant les longues missions spatiales constitue un véritable enjeu pour le bien-être psychologique et physiologique des spationautes et permettra - par exemple - une meilleure personnalisation de leur repas selon leur niveau de perte de

sensibilité. En effet, comme sur Terre, le plaisir alimentaire est primordial lors des missions de longue durée. Le risque de perte d'appétit avec des conséquences sur l'état nutritionnel du spationaute est grand. Il est donc nécessaire et primordial d'aborder ce problème à l'aide d'une approche interdisciplinaire combinant sciences humaines et sociales (psychologie), sciences biologiques (neurosciences) et ingénierie. L'approche consiste ainsi à mesurer des seuils de sensibilité ainsi que la capacité à identifier des odeurs et des arômes. Cela se fera sous forme de choix parmi des stimuli présentés. Pour les tests gustatifs, les molécules, à des concentrations précises, sont diluées dans de l'eau minérale, du jus d'orange ou dans une pâte aromatisée. Après identification de la molécule, les niveaux de perception sont demandés : (i) un rang d'intensité suivant échelle allant de « pas d'odeur » à « odeur extrêmement intense « ; (ii) la valence hédonique avec une échelle allant de « extrêmement désagréable » à « extrêmement agréable ». Au-delà du cas de l'alimentation, nous nous intéressons également dans le projet AROME à l'impact des molécules volatiles sur les rapports humains dans un espace confiné (SSI en perspective des vols sur Mars). Le projet comporte 2 volets: (1) l'étude des molécules volatiles dans la SSI (par mesure directe de l'espace confiné et par l'étude des émissions corporelles des astronautes ; nous identifierons les molécules émisses par la récupération de t-shirts usagés qui seront gardés de façon scellée et redescendus pour analyse) ; (2) en parallèle, nous ferons une étude au sol avec soit un panel de volontaires, soit des spationautes à l'entraînement, pour examiner la variabilité du spectre de molécules odorantes inter-individus (suivi alimentation et activité) et le changement du spectre odorant dans des conditions spatiales. Enfin, dans le cadre d'un projet connexe (CONFINEZ), nous étudierons l'effet de ces molécules sur le système cardiovasculaire (apaisant ou excitant) et sur la prise de décision lors de jeux de coopération et de prise de décision. Ceci permettra de mieux comprendre l'impact des molécules volatiles dans les activités nécessitant de la coopération.

## 5- CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Pour conclure, la conquête de l'espace par l'espèce humaine semble de plus en plus envisageable d'un point de vue technique. Cependant, cette possibilité risque d'être freinée par les contraintes auxquelles l'humanité n'a jamais été confrontée. Il est donc fondamental d'étudier les risques d'une vie à long terme dans le milieu spatial avant d'exposer des individus sans protection aux conditions spatiales. Les études au sol apparaissent donc comme de plus en plus indispensables pour comprendre les effets combinés des contraintes spatiales sur la durabilité des systèmes de production de plantes mais aussi sur la survie de l'espèce humaine dans l'environnement spatial durant des missions de longue durée.

## 6- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bizet, F., Pereda-Loth, V., Chauvet, H., Gerard, J., Eche, B., Girousse, C., Courtade-Saidi, M., Perbal, G., Legue, V (2018). Scientific Reports. Both gravistimulation onset and removal trigger an increase of cytoplasmic free calcium in statocytes of roots grown in microgravity. DOI : 10.1038/s41598-018-29788-7

Cucinotta, F.A., Kim, M.H., Willingham, V., George, K.A. Physical and biological organ dosimetry analysis for international space station astronauts (2008). Radiation research, 170 : 127-38.

Gunga HC., Ahlefeld V.W., Appell Coriolano HJ., Werner A., Hoffmann U (2016). The Cardiovascular System in Space. In: Cardiovascular System, Red Blood Cells, and Oxygen Transport in Microgravity. SpringerBriefs in Space Life Sciences. Springer, Cham

Kittang AI, Iversen TH, Fossum KR, Mazars C, Carnero-Diaz E, Boucheron-Dubuisson E, Le Disquet I, Legué V, Herranz R, Pereda-Loth V, Medina FJ. Exploration of plant growth and development using the European Modular Cultivation System facility on the International Space Station. Plant Biol (Stuttg). 2014 May;16(3):528-38. doi: 10.1111/plb.12132

Laurence V, Philippe C, Guignandon A, Lafage-Proust M-H, Thomas T, Rehailia M, Alexandre C (2000). Effects of long-term microgravity exposure on cancellous and cortical weight-bearing bones of cosmonauts, The Lancet, 355 : 1607-1611. ISSN 0140-6736.

Lloyd CW, Shelhamer M. The Human Body in Space (2018). NASA Human Research Program. Retrieved June 11, 2018.

Manesse C, Ferdenzi C, Sabri M, Bessy M, Rouby C, Faure F, Bellil D, Jomain S, Landis BN, Hugentobler M, Cuevas M, Hummel T, Bensafi M. Dysosmia-Associated Changes in Eating Behavior. Chemosensory Perception. 2017, 10(4):104-113.

Martinez, E.M., Yoshida, M.C., Candelario, T.L., Hughes-Fulford, M (2015). Spaceflight and simulated microgravity cause a significant reduction of key gene expression in early T-cell activation. American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology 308, R480-8.

Mazars C, Brière C, Grat S, Pichereaux C, Rossignol M, Pereda-Loth V, Eche B, Boucheron-Dubuisson E, Le Disquet I, Medina FJ, Graziana A, Carnero-Diaz E. Microsome-associated proteome modifications of Arabidopsis seedlings grown on board the International Space Station reveal the possible effect on plants of space stresses other than microgravity. Plant Signal Behav. 2014;9(9):e29637. doi: 10.4161/psb.29637

Mazars C, Brière C, Grat S, Pichereaux C, Rossignol M, Pereda-Loth V, Eche B, Boucheron-Dubuisson E, Le Disquet I, Medina FJ, Graziana A, Carnero-Diaz E. Microgravity induces changes in microsome-associated proteins of Arabidopsis seedlings grown on board the international space station. PLoS One. 2014 Mar 11;9(3):e91814. doi: 10.1371/journal.pone.0091814

Pierron D, Heiske M, Razafindrazaka H, Pereda-Loth V, Sanchez J, Alva O, Arachiche A, Boland A, Olaso R, Deleuze J-F, Ricaut J-F, Rakatoarisoa J-A, Radimilahy C, Stoneking M, Letellier T (2018). Strong selection during the last millennium for African ancestry in the admixed population of Madagascar Nature communication, 2;9(1):932. doi: 10.1038/s41467-018-03342-5.

Stuster JW. Behavioral Issues Associated with Long-Duration Space Expeditions: Review and Analysis of Astronaut Journals Experiment 01-E104 (Journals): Final Report. NASA Technical Memorandum; 2010.

Valbuena Miguel A., Aránzazu Manzano, Joshua P. Vandenbrink, Veronica Pereda-Loth, Eugénie Carnero-Diaz, Richard E. Edelmann, John Z. Kiss, Raúl Herranz, F. Javier Medina

(2018). Planta. The combined effects of real or simulated microgravity and red-light photoactivation on plant root meristematic cells. doi.org/10.1007/s00425-018-2930-x

Wieling W, Halliwill JR, Karemaker JM. Orthostatic intolerance after space flight (2002). J Physiol. 538(Pt 1): 1.doi: 10.1113/jphysiol.2001.013372