



# L'ESPACE ET L'HUMAIN



COLLOQUE INTERNATIONAL REHNAM

Mars 2026



*Avec l'aimable soutien*



Merci à Laurence Anciaux (UNamur) pour le graphisme des affiches et du dépliant.



## **TABLE DES MATIÈRES**

|                                                                      |                                    |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Le mot de la présidente du colloque</b>                           | <b>5</b>                           |
| <b>Présentation du colloque</b>                                      | <b>6</b>                           |
| <b>Tour d’horizon d’UNIVERSEH</b>                                    | <b>8</b>                           |
| <b>Programme</b>                                                     | <b>12</b>                          |
| <b>Voyage dans l’espace</b>                                          | <b>14</b>                          |
| <i>Yaël Nazé</i>                                                     |                                    |
| <b>L’Univers de demain : un enjeu pour l’humanité</b>                | <b>21</b>                          |
| <i>André Füzfa</i>                                                   |                                    |
| <b>Adaptations physiologiques de l’humain dans l’espace</b>          | <b>29</b>                          |
| <i>Marc-Antoine Custaud</i>                                          |                                    |
| <b>La nouvelle géopolitique des activités spatiales</b>              | <b>36</b>                          |
| <i>Xavier Pasco</i>                                                  |                                    |
| <b>Espace et société : Enjeux pour un développement soutenable ?</b> | <b>45</b>                          |
| <i>Annick Castiaux</i>                                               | <i>Erreur ! Signet non défini.</i> |
| <b>Les rotifères bdelloïdes et physarum polycephalum</b>             | <i>Erreur ! Signet non défini.</i> |
| <i>Boris Hespeels</i>                                                |                                    |
| <b>Le Réseau des Émérites et des Honoraires de Namur REHnam</b>      | <b>60</b>                          |

# LE MOT DE LA PRÉSIDENTE

## DU COLLOQUE

Chaque année, le Réseau des professeurs émérites de Namur, le REHNam, organise un colloque sur un sujet d'actualité. Nous profitons du caractère multidisciplinaire de notre association pour choisir des sujets à la rencontre de plusieurs domaines et souhaitons nous adresser à un large public. Cette fois encore, le colloque l'Espace et l'Humain propose des conférences données par des orateurs spécialisés dans des domaines différents : cosmologie, astrophysique, médecine, expédition spatiale, géopolitique, économie, biologie.

Une petite cellule de bénévoles s'est attelée à la tâche d'organisation : recherche des orateurs, préparation du dépliant, de l'affiche, du présent programme ainsi que l'accueil des orateurs et des participants. Que tous soient ici remerciés pour leur coopération et leur dynamisme.

Chaque session sera présidée par un membre de la cellule. Les questions aux différents orateurs seront regroupées en fin de demi-journée, lors d'un débat animé par un(e) spécialiste.

Je vous souhaite un très bon colloque,

Monique Fraiture  
Présidente du colloque

# PRÉSENTATION DU COLLOQUE

Depuis toujours, l'être humain est fasciné par l'espace : il scrute le ciel et tente de le comprendre. Au fil du temps, des progrès technologiques fournissent des observations nouvelles. Ces dernières contribuent à améliorer les théories scientifiques existantes tout en posant de nouvelles questions. La détection de systèmes planétaires autour d'autres étoiles que le soleil a ainsi relancé le débat sur l'existence d'une forme de vie extra-terrestre. Notre **connaissance de l'univers** a évolué grâce aux données et mesures spatiales qui permettent de tester de nouveaux modèles. Elle reste, toutefois, encore très fragmentaire.

C'est en 1957 qu'est lancé le premier satellite (Sputnik 1). Il ouvrait l'ère de la **conquête spatiale**. Cette dernière s'est poursuivie par des missions spatiales habitées d'exploration du Système Solaire, mais aussi par la mise en orbite de satellites non habités (plus de 10 000 actuellement tournent en permanence autour de notre Terre dont 65% appartiennent à une seule firme privée américaine). En 2021 est lancé le télescope spatial James Webb. Situé à 1,5 million de kilomètres de la Terre, il constitue une autre innovation majeure de cette exploration spatiale.

La conquête de l'espace joue un rôle fondamental dans la recherche tant fondamentale qu'appliquée. C'est ainsi que, par exemple, notre connaissance de la terre dans ses multiples défis climatiques en dépend. Tout comme en dépend aussi notre connaissance de la **résistance du vivant** (humain et non humain) soumis à une

microgravité et à une exposition accrue aux radiations cosmiques. De recherches sur ce thème sont actuellement en cours à l'UNamur.

Mais la conquête de l'espace est aussi une compétition **géopolitique et économique** majeure puisqu'elle débouche sur le contrôle des systèmes de géolocalisation et de communication terrestres qui permettent la surveillance et l'espionnage des États.

Autant de regards qui seront posés sur l'espace dans un colloque résolument interdisciplinaire.

Pour la cellule d'organisation du colloque

Claire Lobet-Maris



# TOUR D'HORIZON D'UNIVERSEH

## L'alliance européenne de l'UNamur

Les alliances européennes ont été initiées par la Commission européenne en 2017 et consistent en des partenariats transnationaux d'établissements d'enseignement supérieur permettant des collaborations durables, dans le but de renforcer la qualité de l'enseignement supérieur et faciliter l'obtention de diplômes intégrant des études dans plusieurs pays de l'Union Européenne. Une soixantaine d'alliances ont été créées à travers l'Europe.

Depuis le 1<sup>er</sup> novembre 2023, l'UNamur est pleinement engagée au sein de l'Alliance européenne UNIVERSEH (European Space University for Earth and Humanity) qui regroupe également la Communauté d'universités et d'établissements supérieurs de Toulouse (France), l'Université du Luxembourg (Luxembourg), Heinrich Heine Universität Düsseldorf (Allemagne), Luleå University of Technology (Suède), AGH University of Krakow (Pologne) et Tor Vergata University of Rome (Italie). L'affiliation de l'UNamur à une alliance européenne augmente sa visibilité et son rayonnement à l'international et renforce son positionnement comme un acteur-clé de l'enseignement supérieur tant dans la Fédération Wallonie-Bruxelles qu'à l'échelle européenne. Elle participe

également au renforcement des connexions de l'UNamur avec les entreprises de l'écosystème wallon.

UNIVERSEH est la seule université européenne proposant un programme novateur d'enseignement et de recherche de haut niveau consacré à l'espace. En rejoignant cette alliance, l'UNamur affirme son expertise dans le domaine du spatial et ouvre la voie à de nouvelles collaborations internationales tant en enseignement qu'en recherche autour de cette thématique porteuse d'emploi et de développement socio-économique.

Outre les sciences spatiales et les disciplines STEM (science, technologie, ingénierie et mathématique), les sciences humaines et sociales (SHS) sont au cœur de l'alliance UNIVERSEH. Plusieurs initiatives ont fleuri ces derniers mois, comme la Winter School « Space through literature, theatre, cinema and other arts ». Une telle approche multidisciplinaire est essentielle pour enrichir la compréhension globale des défis à venir et former une future génération d'acteurs capables d'y répondre grâce à des compétences variées qui prennent également en compte les enjeux éthiques, juridiques, économiques, culturels et sociétaux.

UNIVERSEH constitue une formidable opportunité pour toute la communauté universitaire, tant pour les académiques et les scientifiques que pour le personnel administratif et les étudiants. Ces derniers ont accès à une offre de cours renforcée assurée par les différents partenaires de l'alliance et accessible depuis l'UNamur. Ils peuvent également assurer une participation active au sein des différents organes de gestion

de l'alliance. Pour les doctorants, l'alliance propose également une offre très large en unités d'enseignement transversales.

Pour les enseignants, UNIVERSEH fournit un laboratoire inédit pour développer de nouveaux contenus, élargir l'offre de cours existante et renforcer nos expertises en pédagogie innovante, en multilinguisme, en communication et en médiation scientifique. En particulier, le recrutement d'un technopédagogue spécialisé en innovation pédagogique internationale participe à la conception d'enseignements innovants qui intègrent des approches multilingues et multiculturelles. En témoigne le démarrage prochain d'un Master in Space Sustainability en co-diplomation avec l'Université du Luxembourg.

Les chercheurs bénéficient également de la dynamique de réseautage impulsée par UNIVERSEH. Diverses collaborations fructueuses ont déjà vu le jour avec les différents partenaires de l'alliance. La mise en place de bourses de cotutelle, le financement de séjours de mobilité et le montage de projets conjoints dans le cadre d'appels à projets européens sont quelques exemples d'initiatives existantes entre les sept universités de l'alliance.

Ces deux premières années au sein d'UNIVERSEH ont aussi apporté des avancées significatives pour le personnel administratif, en particulier un renforcement de la collaboration entre services, le déploiement d'activités internationales communes ou encore la convergence progressive des pratiques administratives. Les staff weeks et les séjours de mobilité destinés aux membres administratifs

des différentes universités partenaires offrent un cadre structuré pour ces échanges de bonnes pratiques et de co-construction.

En conclusion, l'alliance produit déjà des avancées majeures pour l'UNamur dans ses différentes missions universitaires et prépare une transformation structurelle durable au bénéfice de l'ensemble de la communauté universitaire. UNIVERSEH est un immense champ de possibilités qui est ouvert à tout membre de la communauté universitaire. Et vous, vous voulez participer ?

Anne-Sophie Libert  
Chargée de mission UNIVERSEH

Pour toute information/question/initiative, une seule adresse :  
[universeh@unamur.be](mailto:universeh@unamur.be)

Plus d'informations : <https://universeh.eu/>

# PROGRAMME

## **OUVERTURE DU COLLOQUE**

PIERRE DEVOS, président du REHName

MONIQUE NOIRHOMME-FRAITURE, présidente du colloque

ANNE-SOPHIE LIBERT, chargée de mission UNIVERSEH

## **RECHERCHE ET EXPLORATION**

Présidente de séance : SUZANNE THIRY, mathématicienne, UNamur

### **Voyager dans l'espace**

YAËL NAZÉ, astronome, ULiège

### **L'Univers de demain : un enjeu pour l'humanité**

ANDRÉ FÜZFA, physicien, cosmologiste, UNamur

## **VIE ET SANTÉ**

Président de séance : BENOÎT GILLET, docteur en médecine, UNamur

### **Adaptations physiologiques de l'humain dans l'espace**

MARC-ANTOINE CUSTAUD, docteur en médecine, Université d'Angers

**DÉBAT** de la matinée animé par DOMINIQUE LAMBERT, physicien et philosophe, UNamur

## **GÉOPOLITIQUE ET ÉCONOMIE**

Président de séance : HENRI BOGAERT, économiste, UNamur

### **La nouvelle géopolitique des activités spatiales**

XAVIER PASCO, directeur de la Fondation pour la Recherche Stratégique, France.

### **Espace et société – quels enjeux pour un développement soutenable ?**

ANNICK CASTIAUX, physicienne, UNamur

## **RECHERCHE UNAMUR**

Présidente de séance : MARIE D'UDEKEM-GEVERS, anthropologue et zoologiste, UNamur

### **Expériences sur la résistance du vivant dans l'espace, une recherche à l'UNamur**

BORIS HESPEELS, biologiste, UNamur

**DÉBAT** de l'après-midi animé par CLAIRE LOBET-MARIS, sociologue, UNamur



# VOYAGE DANS L'ESPACE

Résumé par Monique Noirhomme-Fraiture

Relu par Yaël Nazé

## Notice biographique

Yaël Nazé est astrophysicienne et maître de recherches FNRS à l'Université de Liège. Après des études d'ingénieur à Mons, elle entame un doctorat à Liège qu'elle obtient en mars 2004. Ses recherches portent sur les étoiles très massives, c'est-à-dire qui atteignent plusieurs dizaines de fois la masse de notre propre étoile, le Soleil. Bien que rares, ces astres chauds, brillants et massifs dominent véritablement les galaxies qui les accueillent : il est donc très important de mieux les connaître. Grâce à des observations prises au sol ou dans l'espace, l'astronome tente de comprendre leur évolution, mais aussi leurs interactions (entre elles et avec le milieu qui les entoure). Ses recherches font l'objet de plus de 200 publications dans des journaux scientifiques et de plus d'une centaine de communications à

des congrès scientifiques. Elle donne également plusieurs cours, notamment à l'Université de Liège.

## **Conférence\***

Il est convenu que l'espace commence à 100 km de la terre.

Les hommes ont de nombreuses motivations pour aller dans l'espace : communication, navigation, étude de l'univers, observation de la terre, recherche de ressources minières, prestige, esprit d'aventure, ...

Ces motivations appartiennent à trois domaines : la science (qui s'intéresse à l'observation de l'univers, à l'effet de la microgravité), le militaire et le commercial qui ont développé des systèmes de communication et de navigation (GPS, relais TV). Les innovations liées au voyage dans l'espace ont déjà eu des retombées pour la vie sur terre comme par exemple les progrès en imagerie médicale.

Pour aller dans l'espace, il faut propulser un engin afin de le mettre sur orbite. La vitesse nécessaire est de 7,9km/sec. On utilise à cet effet un gaz sous pression mais les meilleures fusées ne peuvent atteindre qu'une vitesse de 6km/sec. La solution pour augmenter la vitesse est de concevoir des fusées multi-étages qui libèrent un étage à la fois et gagnent de ce fait en vitesse.

Le nombre de lancements est de plus en plus important : 320 l'an dernier ! Onze pays ont accès à l'espace mais la majorité

---

\* Une Version filmée de l'exposé est disponible sur <https://www.youtube.com/watch?v=olEfpXZBZ9Y>  
ou <https://www.youtube.com/watch?v=DbbveD6YnMI>

des engins sont lancés par les Etats-Unis avec Starlink et par la Chine.

Les orbites utilisées sont à différentes distances de la terre.

- Les orbites basses sont utilisées par les satellites commerciaux pour photographier et communiquer. Vu la taille des orbites et le nombre important de satellites, elles sont très encombrées. Elles se situent à moins de 2000 km de la terre.
- Les orbites moyennes sont utilisées pour la navigation. Elles sont autour de 20000 km de la terre.
- L'orbite géostationnaire est une orbite circulaire ayant une période orbitale égale à la période de rotation de la terre. La distance à la terre est d'environ 36000 km.  
Elle est utile pour les satellites de télécommunications (liaisons téléphoniques, informatiques, diffusion télé) et les satellites météorologiques puisque ces satellites sont fixes par rapport à un point sur la Terre. A noter que pour couvrir la Terre en orbite basse il faut des milliers de satellites alors qu'il en faut trois en orbite géostationnaire.

D'autres orbites sont aussi utilisées. La Terre n'étant pas une sphère parfaite, l'effet de sa gravité sur les vitesses des satellites n'est pas constante. Les déformations peuvent être calculées et utilisées pour fournir des orbites intéressantes, comme l'héliosynchrone qui fait passer un satellite toujours à la même heure au-dessus du sol. Un autre exemple est les satellites Molnia développés par l'Union Soviétique dans les années 60, avec une période de révolution de 12 heures et une orbite elliptique de forte excentricité, qui peuvent couvrir le territoire russe de manière continue pendant deux tiers de leur orbite et aussi d'espionner les Etats-Unis à l'orbite suivante.



Fig1 : Trace au sol d'une orbite Molnia

Certains points de l'espace sont intéressants, ce sont les points de Lagrange qui correspondent à un équilibre entre les forces d'attraction du Soleil et de la Terre, compte tenu de la rotation de ce système. Des cinq points, deux sont très utiles à savoir L1 entre Terre et Soleil et L2 à l'opposé. L1 permet d'observer le Soleil, L2 présente l'avantage de conditions stables, permettant par exemple une température froide.

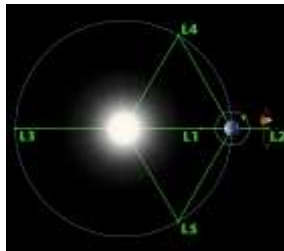


Fig2 : Points de Lagrange

Si on veut aller plus loin, il faut augmenter la vitesse à 11,2 km/sec, ce qui consomme beaucoup d'énergie. Une technique pour économiser l'énergie est d'utiliser une orbite de transfert de Hohmann.

Un transfert de Hohmann est une trajectoire elliptique qui permet de passer d'une orbite circulaire à une autre orbite circulaire située dans le même plan, en utilisant uniquement deux manœuvres impulsionnelles. En se limitant à deux

manœuvres, cette trajectoire consomme le moins d'énergie possible.

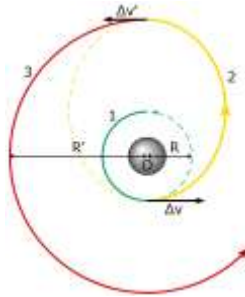


Fig3 : Orbite de transfert (jaune) pour passer de l'orbite basse (vert) à l'orbite haute (rouge)

Toutefois, le lancement ne peut pas se faire n'importe quand. Le moment du lancement doit tenir compte de la position respective des planètes. C'est ainsi que pour un lancement vers Mars, la fenêtre ne s'ouvre que tous les deux ans.

D'autres trajectoires utilisent le même principe mais sont bien plus compliquées. Par exemple un ingénieur de la NASA a imaginé d'utiliser la sonde ISEE3 qui avait été placée en L1 en 1978 pour observer le Soleil. Cette sonde, devenue ICE, a été détournée de L1 en 1983 pour suivre une trajectoire très compliquée, voyageant entre différents points de l'espace, sans consommer trop d'énergie. Elle a pu observer de loin la comète Giacobini-Zinner en 1985 et la queue de la comète de Halley, mais elle n'a pas fourni de mesures précises et proches du noyau cométaire contrairement à la sonde européenne Giotto.



Fig4 : Trajectoire de ICE

Une autre technique est la récupération d'énergie en envoyant un engin frôler un corps (fronde gravitationnelle). Cette technique a été utilisée par la sonde Cassini en 1997 pour atteindre Saturne en 2004 : frôlement de Vénus à deux reprises puis de la Terre et enfin de Jupiter avant d'arriver à Saturne.

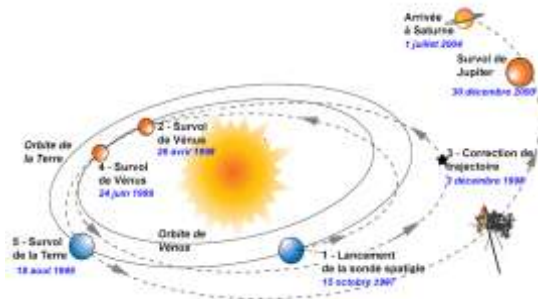


Fig : Transit de *Cassini-Huygens* vers Saturne

Pour aller plus loin, il faudra encore trouver d'autres moyens.

Pour pouvoir naviguer, un satellite a besoin de beaucoup de matériel : outre une structure, il lui faut un système d'orientation, des boucliers, des caméras, un ordinateur, des moyens de communication avec la terre, de propulsion et de production d'énergie.

Les principales difficultés de la navigation dans l'espace sont le fonctionnement des appareils en apesanteur, l'environnement de particules chargées et de météorites et l'effet du Soleil (UV et éruptions).

Un gros problème actuel est la récupération des débris, objets lancés mais qui ne sont plus utiles, c'est le cas de plus de 70% des objets en orbite ! La rencontre avec des objets engendre des impacts importants et les satellites doivent sans cesse manoeuvrer pour les éviter. Plusieurs solutions sont évoquées : les faire redescendre ce qui entraîne une pollution de l'air, utiliser des boucliers, ce qui est lourd et pas totalement efficace, aller les récolter, ce qui pose des problèmes d'ordre politique.

Pour un éventuel tourisme, un autre problème de l'espace est la poussière aux environs des planètes, elle est très collante et peut être dangereuse pour l'homme et les engins. Il y a aussi les problèmes de contamination en retour s'il y a de la vie...

Quant au coût, le secteur spatial est moins cher qu'il n'y paraît, en comparaison avec d'autres secteurs. Par exemple, l'ESA coûterait 20 Euros/ an/ habitant en Belgique, une mission courte entre 100 et 700 Millions d'euros. Par ailleurs, il s'agit d'un domaine qui engendre de l'emploi sur Terre et des découvertes technologiques utiles à l'homme.

Quelles sont les perspectives des voyages dans l'espace ?

Sur le plan scientifique : explorer plus loin, ramener d'autres échantillons

Au niveau commercial : exploiter l'espace pour le tourisme et pour extraire des matériaux. Ceci n'est pas encore rentable mais les choses changent vite.



# L'UNIVERS DE DEMAIN : UN ENJEU POUR L'HUMANITÉ

Résumé par François d'Udekem et Marie Gevers  
Relu par André Füzfa

## **Notice biographique**

André Füzfa, est Professeur ordinaire à l'Université de Namur et un expert internationalement reconnu pour ses recherches en gravitation relativiste et cosmologie. Il oeuvre à la promotion de l'astronomie en opérant l'Observatoire pédagogique Antoine Thomas et en écrivant des romans de science-fiction éclairée. Très actif dans la vulgarisation scientifique, il a reçu le prix Wernaers 2013 de diffusion des connaissances et le prix d'excellence 2024 des Trophées de Matière grise.

## Conférence

### ***I. Prologue : des révolutions scientifiques***

André Füzfa a commencé son exposé en brossant un tableau général des découvertes scientifiques qui ont changé la relation de l'homme à l'Univers depuis le 16e siècle. Il a noté qu'il avait fallu trois siècles pour accomplir la révolution copernicienne et en a donné les jalons : 1543 : Copernic puis ~1609-1619 Galilée & Kepler puis 1687 Newton ; 1759 : prédiction du retour de la comète de Halley par Nicole Lepaute et Lalande ; 1725 : mesure de l'aberration par Bradley ; 1838 : mesure de la parallaxe par Bessel. Et il a souligné que, par contre, pour arriver au Modèle standard des particules élémentaires, 60 ans ont suffi. En effet, on a assisté à l'apparition successive de l'électrodynamique quantique (1947), des théories de jauge non-abéliennes (1954), du mécanisme de Brout-Englert-Higgs (1964), de la Théorie électrofaible (1961-1968) et de la chromodynamique quantique (1973), puis aux découvertes des bosons faibles (1983), du quark top (1995), du boson de Higgs (2012).

Il a ensuite insisté sur le fait que la Science est le second plus grand moteur d'innovation, après la guerre. Il a aussi précisé que les progrès de la science proviennent de notre questionnement libre sur notre monde, de notre instinct d'émerveillement, et pas de celui de survie...

Puis, il a fait une très brève allusion au livre de vulgarisation scientifique le plus vendu au monde : celui de Stephen Hawking (*Une Brève Histoire du Temps*, 1989) dans lequel est formulé

l'aspiration de l'auteur à une Théorie du tout, que l'auteur qualifiait à l'époque de pensée divine.

## ***II. Paradigme actuel de la cosmologie***

L'orateur a ensuite expliqué que la cosmologie est passée du Modèle standard du Big Bang chaud (1978) au Modèle de concordance (depuis 1998). Ce modèle actuel inclut l'expansion cosmique décélérée puis accélérée mais aussi la phase primordiale dense et chaude ainsi que la phase d'inflation (expansion exponentielle). L'astrophysicien a souligné que les piliers observationnels de ce paradigme sont, d'une part, la géométrie de l'Univers (mesurée notamment via la récession des galaxies) et, d'autre part, des reliques (le rayonnement fossile, les isotopes légers issus de la nucléosynthèse primordiale, etc.).

Il a aussi évoqué la physique des hautes énergies, avec son modèle standard des particules élémentaires, la cosmologie statistique « de précision » ... reposant sur de l'inconnu, les trous noirs et l'astronomie des ondes gravitationnelles qu'il a qualifiés de grands enjeux du 21<sup>e</sup> siècle.

Il a ensuite cité de grandes découvertes en cosmologie qui ont été couronnées par des prix Nobel de physique : découverte du rayonnement fossile (Penzias & Wilson, 1978), propriétés de corps noir et anisotropies du rayonnement fossile (Mather & Smoot, 2006), accélération de l'expansion cosmique (Perlmutter, Riess, Schmidt, 2011), découverte théorique du boson BEH (Englert & Higgs, 2013 ; Brout), compréhension de l'évolution de l'Univers (Peebles, 2019), formation des trous noirs et trous noirs supermassifs galactiques (Penrose, Genzel & Ghez, 2020). Il a remarqué au passage que, parmi ces nobélisés de la cosmologie, Andrea Ghez était la seule femme !

### **III. (Quelques) mystères de l'Univers : sa composition, son origine et la place qu'y occupe l'humain**

#### **1) COMPOSITION COSMIQUE**

André Füzfa a insisté sur le fait que 95% du contenu cosmique aujourd'hui est inconnu. En effet, l'énergie sombre composerait environ 69% du cosmos et la matière noire, environ 26%. Les atomes, et les particules élémentaires que nous connaissons, ne représentent donc qu'environ 5%. A cela s'ajoutent environ 0.01% de radiations.

Et le conférencier a évoqué ensuite, avec émotion et humour, la dernière conférence publique de Georges Lemaître datée du 23 juin 1963 en affirmant « Le maître nous l'avait dit » ! Il a expliqué que ce visionnaire avait en effet déjà écrit et annoncé que « le terme cosmologique est le terme dominant dans l'équation de Friedman ».

Puis, il a souligné le fait que l'Univers est un laboratoire des hautes énergies et il a évoqué, à titre illustratif, les thèmes suivants : matière contre antimatière (Pourquoi n'existe-t-il pas de structure formée par l'antimatière ?), nouvelles particules? (matière noire), plasma Quark-Gluon (décrivant l'Univers primordial), Brout-Englert-Higgs : Vide-Masse-Gravité (Quelle est la nature de la gravitation ?), Origine de la masse des neutrinos? Unification des interactions?

#### **2) L'ORIGINE DU COSMOS**

A propos du brouillard des origines, le conférencier a montré une image (fournie par le Satellite Planck il y a environ 10 ans) du fond diffus cosmologique (*cosmic microwave background* ou CMB), mettant en évidence ses anisotropies de

température. Il a expliqué que cette image correspond à un rayonnement fossile daté d'environ 380.000 ans après le Big Bang (si on applique strictement ce modèle théorique d'espace-temps) : avant cela, la lumière était piégée dans un plasma opaque et ne pouvait s'échapper.

Puis, André Füzfa a projeté une image tirée des Archive Georges Lemaître et montrant les célèbres courbes tracées, à la main sur papier millimétré, à partir du point  $(x_0, t_0)$  (Big Bang) par Lemaître pour décrire différents univers possibles. Et il a expliqué que « le Big Bang est une singularité du modèle qui trahit la limite de son application » et est cependant « difficile à évacuer », même s'il n'a pas existé. Il a aussi raconté que le mot Big Bang trouva son origine dans une blague du physicien Fred Hoyle : c'est ainsi que ce dernier désigna, par dérision, la théorie de Lemaître dont il était adversaire farouche et cette appellation est restée.

La dia suivante était intitulée « le Big Bang : Pour en finir avec la blague » et comportait les thèmes fondamentaux suivants appelés à résoudre ou éviter cette singularité : Gravitation quantique, inflation cosmologique? Rémanence des particules? (antimatière?) Fonds diffus d'ondes gravitationnelles (champ expérimental de ces théories), Transitions de phase et séparation des interactions fondamentales.

### 3) LA PLACE DE L'ÊTRE HUMAIN DANS L'UNIVERS

L'orateur a donné les explications suivantes : la singularité du Big Bang implique que les modèles cosmologiques sont très sensibles à une variation, même infime, des conditions initiales. C'est ainsi que, par exemple, la modification de la courbure de l'Univers d'une part sur 100 millions se produisant environ 1 an après le Big Bang a pour effet d'obtenir des univers

stériles plusieurs milliards d'années plus tard. Et il a montré un graphique dans lequel l'âge de l'Univers en milliards d'années est en abscisse et la distance entre 2 points quelconques de l'Univers, en ordonnée. Ce graphique comporte 4 courbes : celle d'un univers avorté par un Big Crunch après 3 milliards d'années, celle d'un univers en contraction aujourd'hui, celle de notre Univers (en expansion actuellement) et celle d'un univers trop jeune et dans lequel les étoiles ne sont pas encore formées. Dès lors se posent les problèmes de l'ajustement fin et de la coïncidence.

En effet, l'évolution de l'Univers et les conditions de la physique sont telles que l'apparition de la vie en général et de l'humain en particulier y furent soumises à des conditions d'improbabilité qui en feraient presque la gagnante d'une méga-loterie cosmique. Le moindre écart du modèle physique peut être totalement déterminant dans la genèse de la vie. Ceci a conduit à énoncer un « principe anthropique », qui stipule que si l'Univers *semble* si précisément réglé pour permettre l'apparition de la vie, c'est tout simplement parce que, s'il en était autrement, les *humains* ne seraient pas là pour l'observer (d'où le qualificatif « anthropique »).

Le conférencier s'est alors posé la question suivante : s'agit-il en fait de coïncidences (heureuses), d'ajustements fins dû à des mécanismes encore inconnus ou de la banalité parmi les univers multiples (et inobservables) ? Et il a évoqué, pêle-mêle, la constantologie (ou science des constantes - terme forgé par Uzan à Paris), l'établissement naturel des constantes (Mécanisme), les concepts de paysage cosmologique et de multivers, le dangereux dessein intelligent (néocréationnisme qui prétend expliquer la vie par une cause externe bienveillante immanente). Sur cette question de la rareté de la vie dans l'Univers, la quête de vie extra-terrestre pourrait amener un regard neuf et potentiellement disruptif.

#### ***IV. La Big Science***

Pour terminer, André Füzfa a dévoilé certains projets déjà réalisés ou à venir, ce qu'il a nommé la *Big Science*.

Il a évoqué, tout d'abord, Euclid le télescope spatial (visible et infrarouge proche) à grand champ qui a pour objectif de mesurer l'équation d'état de l'énergie sombre.

Ensuite, il a abordé le télescope infrarouge James Webb. Cet instrument comporte un miroir de 6m de diamètre et est situé au point de Lagrange L2. Son but est d'étudier la formation des étoiles et des planètes, les atmosphères d'exoplanètes ainsi que l'Univers froid, poussiéreux et lointain. Son coût est de 10 milliards de dollars.

Puis, l'astrophysicien en est venu à parler des projets futurs du CERN (Conseil européen pour la recherche nucléaire) pour approfondir la physique des particules : le High-Luminosity LHC (*Large Hadron Collider*), le FCC (*Future Circular Collider*) et le CEPC (*Circular Electron Positron Collider*) en Chine.

Il a encore mentionné l'ELT (*Extremely Large Telescope*), télescope européen situé au Chili, qui devrait être opérationnel en 2028.

Et il a insisté sur le fait que l'astronomie gravitationnelle constitue un véritable enjeu pour l'avenir. Il a expliqué qu'il est possible « d'écouter » les trous noirs en collision avec les ondes gravitationnelles. Et il a parlé du projet européen *Einstein Telescope* (ET) prévu pour 2032 avec précisément pour objectif de détecter les ondes gravitationnelles.

[Mais il n'eut pas le temps de nous expliquer les deux slides suivants. Ces dernières avaient pour but de faire prendre conscience de la différence colossale de taille qu'il y a entre les budgets octroyés aux sciences fondamentales et ceux destinés

aux lancements de fusées et vols spatiaux, exprimant là aussi la crainte que la science puisse être dévoyée de son but ou bridée dans sa recherche.]

Il a achevé sa présentation par une touche à la fois poétique et métaphysique, en évoquant l'affinité qu'ont toujours eue les humains pour l'infini. Et il a affirmé que « cette affinité résonne avec l'infini que nous avons en nous. Une appétance pour les mystères, en écho au grand Mystère. »

## Références

- Témoignage : "A chaque battement de nos coeurs vaillants", Editions Weyrich, 2020
- Romans et vulgarisation scientifique : « A l'appel des étoiles », « Retrouver Ganymède », auto-éditions disponibles auprès de Publishroom.



# ADAPTATIONS PHYSIOLOGIQUES DE L'HUMAIN DANS L'ESPACE

Résumé par Benoit Gillet  
Relu par Marc-Antoine Custaud

## **Notice biographique**

Professeur de physiologie, Marc-Antoine Custaud est responsable du Centre de Recherche Clinique du CHU d'Angers. Son thème de recherche est l'atteinte des fonctions physiologiques induite par l'environnement spatial et ses analogues sur terre. Il étudie tout particulièrement le déconditionnement cardiovasculaire et le modèle au sol d'immersion sèche.

## Conférence

La gravité est le facteur le plus important qui a façonné l'humain au fil du temps. La diminution de gravité, dite MICROGRAVITE, induit lors de vols spatiaux, des troubles, parfois sévères, chez l'astronaute : ostéoporose, atrophie musculaire, baisse de l'immunité, troubles métaboliques, sociaux, cognitifs, ainsi que psychologiques, des troubles cardio-vasculaires, ... Ces troubles peuvent apparaître déjà après deux semaines de microgravité.

**L'environnement spatial** pose problème : la terre est ceinturée par une magnétosphère et les particules énergétiques piègent les rayonnements provenant du cosmos ainsi que des éruptions et des vents solaires. Au-dessus de cette ceinture, les astronautes seront moins protégés, par exemple lors d'expéditions prolongées vers Mars.

### **Quelles sont les conséquences les plus importantes dues à l'absence de gravité ou apesanteur ?**

- Il y a suppression de la pression hydrostatique. Sur la Terre, les fluides (sang, lymphe, ...) ont tendance à se localiser dans les membres inférieurs, alors que dans l'espace, ils se localisent davantage au niveau du thorax et de la tête, donnant un aspect bouffi chez certains astronautes.
- On observe en outre une tendance à l'hypokinésie : une inactivité et une immobilité guettent l'astronaute, qui fournit peu d'efforts dans un espace retreint.
- Enfin on notera des altérations des grands systèmes qui régulent la santé de l'astronaute. Les systèmes cardio-

vasculaire, musculosquelettique, immunitaire, métabolique sont particulièrement touchés.

**Le système cardio-vasculaire** peut être en danger, en absence de gravité ou lors d'exposition à des radiations cosmiques. En vol, la pression artérielle et la fréquence cardiaque ne sont que peu modifiés, mais c'est lors du retour sur Terre que le système cardio-vasculaire se trouve désadapté à la gravité, il survient dès lors un SYNDROME de DECONDITIONNEMENT caractérisé par une intolérance à la station debout (orthostatisme), une tachycardie au repos et une diminution de la VO<sub>2</sub> max (saturation d'oxygène dans le sang).

Aujourd'hui le déconditionnement cardio-vasculaire ne peut être que partiellement prévenu. En effet, sur la Lune, les poussières sont fines, adhérentes, très oxydantes, elles pourraient aggraver le risque cardio-vasculaire.

**Le système vestibulaire** est régi chez l'Homme grâce aux canaux semi-circulaires et aux otolithes de l'oreille interne. Il peut être perturbé en microgravité : lorsque les astronautes reviennent sur Terre ou se posent sur la Lune, on peut observer des troubles d'équilibre et une inclinaison de la tête vers l'avant, ce serait le résultat d'une translation vers l'arrière durant le vol.

Les autres systèmes peuvent aussi subir l'influence de la microgravité ou des radiations :

**Les systèmes musculaires et osseux** posent problème : on note des dégradations rapides par inhibition des mécanismes de synthèse protéique ce qui contribue à la fonte musculaire et à une résorption osseuse.

Sur le plan **métabolique**, une résistance aux effets de l'insuline apparaît, ainsi que d'autres altérations, comme une

hypertriglycéridémie, cela peut conduire à des troubles métaboliques majeurs.

*(L'hypertriglycéridémie est un taux anormalement élevé de triglycérides dans le sang, elle augmente le risque cardiovasculaire (infarctus, AVC) et de pancréatite aiguë. La prise en charge repose en priorité sur une alimentation équilibrée (pauvre en sucres) et une activité physique, parfois complétée par des médicaments (fibrates, oméga-3).*

L'exposition à des radiations ionisantes peut potentiellement être **cancérigène**.

Par contre, le **système pulmonaire** ne paraît pas trop mal s'adapter.

### **Comment dès lors protéger la santé de l'astronaute ?**

#### **1. Pendant la mission dans l'espace**

Il est important de mettre en place, avant les vols spatiaux, des CONTRE-MESURES, qui seront appliquées pendant la mission. La principale composante réside en l'exercice musculaire, ce qui permet de réduire l'ampleur des troubles lors des retours.

Ces contre-mesures spécifiques à chaque système sont essentielles pour contrer les effets de l'apesanteur. Elles doivent être mises en place au sol, lors de l'entraînement des astronautes.

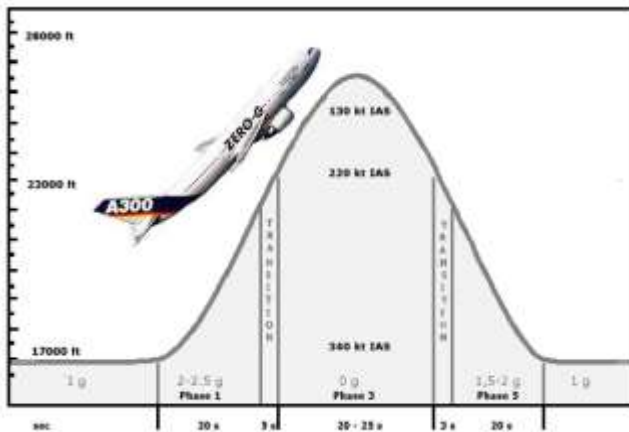
Il faudra prendre en compte

- Nutrition et exercices physiques
- Prévention des thromboses principalement sur le plan ophtalmologique
- Autonomie médicale en vol, surtout lors des missions prolongées

## 2. Exercices de simulation avant la mission

Les **expériences de simulation** permettent de mettre l'astronaute dans des conditions rencontrées dans l'Espace.

Le **vol parabolique** est le moyen principal de simulation pour reproduire un état d'apesanteur. Pour accéder à cet état d'apesanteur, l'avion effectue des vols au cours desquels il suit une trajectoire en forme de cloche. Il y a une accélération résiduelle de 0 g au cours des paraboles : l'intérieur de l'avion se retrouve en micropesanteur mais durant une durée trop brève. Au cours d'un seul et même vol, il réalise entre 15 et 30 paraboles.



Les **milieux confinés et isolés** simulent certaines conditions spatiales. Cela permet de développer des méthodes pour traiter des conflits interhumains qui peuvent apparaître durant des vols prolongés.

L'alitement **anti-orthostatique** consiste à coucher le sujet sur le dos, les pieds surélevés d'un angle de 6°, la tête légèrement plus basse que les pieds.

**L'immersion sèche** simule l'état d'impesanteur. L'immersion dans l'eau permet de neutraliser le poids du corps par la poussée d'Archimède. Le sujet est plongé dans une baignoire remplie d'eau, protégé par une grande toile imperméable. L'appui est réparti sur toute la surface du corps. Les altérations observées dans l'immersion sèche sont semblables à celles du vol spatial.



### **Que nous disent les études scientifiques ?**

L'utilisation des modèles cellulaires et des modèles d'animaux permettent d'étudier les conséquences de la microgravité sur les cellules au sol ou dans l'espace ; les échantillons sont embarqués avec les astronautes.

Les études scientifiques ont observé un lien entre les effets des vols spatiaux, l'immobilisation et le vieillissement. Les prochains vols spatiaux, en particulier vers Mars, constituent un immense défi : **ils impliqueront de multiples préparations et mises en place de contre-mesures sur le plan technologique et humain : un déconditionnement majeur devra être prévu.**

## Références

- Ouvrage collaboratif "L'Humain et l'Espace - ses adaptations physiologiques", BOD 2020
- W. Thornton, F. Bonato "The human body and Weightlessness" Springer 2017
- Navasjolava N, Yuan M, Murphy R, Robin A, Coupé M, Wang L, Alameddine A, Gauquelin-Koch G, Gharib C, Li Y, Custaud MA. *Vascular and Microvascular Dysfunction Induced by Microgravity and Its Analogs in Humans: Mechanisms and Countermeasures*. Front Physiol. 2020 Aug 20;11:952.
- Robin A, Van Ombergen A, Laurens C, Bergouignan A, Vico L, Linossier MT, Pavy-Le Traon A, Kermorgant M, Chopard A, Py G, Green DA, Tipton M, Choukér A, Denise P, Normand H, Blanc S, Simon C, Rosnet E, Larcher F, Fernandez P, de Glisezinski I, Larrouy D, Harant-Farrugia I, Antunes I, Gauquelin-Koch G, Bareille MP, Billette De Villemeur R, Custaud MA, Navasjolava N. *Comprehensive assessment of physiological responses in women during the ESA dry immersion VIVALDI microgravity simulation*. Nat Commun. 2023 Oct 9;14(1):6311.



# LA NOUVELLE GÉOPOLITIQUE DES ACTIVITÉS SPATIALES

Résumé par Henri Bogaert  
Relu par Xavier Pasco

## **Notice biographique**

Directeur de la Fondation pour la Recherche Stratégique (FRS)  
Xavier Pasco (Doct. Sc.Pol. Univ. Paris-I) dirige la Fondation pour la recherche stratégique (FRS) depuis le mois d'octobre 2016, où il coordonnait auparavant les travaux portant sur l'espace, la haute technologie et la sécurité. Depuis les années 1980, il a conduit de nombreux travaux portant sur les questions de politique spatiale avec un suivi particulier

des affaires spatiales américaines civiles et militaires et de la stratégie internationale des États-Unis dans les domaines de haute technologie.

Il a été impliqué depuis de nombreuses années dans des groupes de travail internationaux (États-Unis, Grande-Bretagne, Allemagne, France). Il a également participé à plusieurs groupes d'étude organisés sous l'égide de l'administration française, qu'il s'agisse du ministère de la défense ou des services du Premier ministre

Il a aussi participé à plusieurs projets européens organisés sous l'égide de la Commission Européenne depuis le début des années 2000. Il a notamment coordonné des actions spécifiques sur l'espace et les questions de défense pour le programme cadre européen H2020. Il est également l'auteur de travaux récents sur la politique des données applicable au futur système européen d'observation de la terre et de surveillance de l'espace pour l'UE et l'ESA.

Ses recherches ont donné lieu à une centaine d'articles. Outre ceux-ci, deux livres sont à épingle : « *Le nouvel âge spatial : de la Guerre froide au New Space* » (CNRS Edit. 2017) et « *La ruée vers l'espace, nouveaux enjeux géopolitiques* » (Tallandier Edit. 2024, ré-édit 2025)

Il est *Associate Research Fellow* au *Space Policy Institute* à l'Université George Washington (Washington D.C., États-Unis) depuis 1994 ; Rédacteur en chef adjoint de la revue internationale « *Space Policy* » (Elsevier Science) depuis 2002 ; Expert au Conseil économique et social européen ; membre élu de l'Académie Internationale d'Astronautique et membre de l'*Advisory Committee* de la *Secure World Foundation* (2016-2022, États-Unis).

## Conférence

La conférence proposée par Xavier Pasco s'inscrit dans une réflexion approfondie sur les recompositions contemporaines du secteur spatial, envisagé à la fois comme un champ technologique en mutation rapide, un espace d'innovation industrielle et un théâtre de rivalités géopolitiques croissantes. À travers une analyse structurée et documentée, l'auteur met en évidence les transformations majeures qui affectent les activités spatiales à l'horizon 2025, en soulignant leurs implications stratégiques pour les États, les acteurs privés et les équilibres internationaux.

D'emblée, la conférence souligne que l'adaptation de l'industrie spatiale constitue désormais un enjeu central, notamment en Europe. Cette adaptation concerne l'ensemble de la chaîne de valeur : des infrastructures de lancement et des filières satellitaires jusqu'aux services et applications associés, tels que les télécommunications, l'observation de la Terre ou encore les systèmes de données. L'évolution rapide des technologies, conjuguée à la diversification des usages, transforme profondément la manière dont les acteurs conçoivent leur présence et leur action dans l'espace. Cette dynamique entraîne une redéfinition des modèles économiques, des logiques d'investissement et des rapports entre secteurs public et privé.

Pour rendre compte de ces mutations, Xavier Pasco s'appuie sur l'analyse de trois domaines particulièrement révélateurs.

Le premier est celui des constellations de satellites en orbite basse (LEO). Ce segment connaît une croissance spectaculaire, caractérisée par le déploiement de méga-constellations composées de centaines, voire de milliers de satellites. Cette évolution marque un changement d'échelle sans précédent dans l'occupation de l'espace. Elle s'accompagne de nouveaux défis techniques et organisationnels, notamment en matière de gestion du trafic orbital, de coordination entre opérateurs et de traitement des interférences. La logique n'est plus celle de satellites isolés remplissant des missions spécifiques, mais celle de systèmes distribués, interconnectés et évolutifs, nécessitant une gestion continue sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Le deuxième domaine concerne l'exploration habitée, qui connaît un renouveau significatif. Après une période dominée par la station spatiale internationale, les ambitions se déplacent vers la Lune, avec des projets visant à établir une présence humaine durable. Cette perspective implique la mise en place d'une véritable chaîne logistique entre la Terre, l'orbite lunaire et la surface de la Lune. L'exploration n'est plus envisagée comme une succession de missions ponctuelles, mais comme un processus structuré, reposant sur des infrastructures, des flux et des capacités de soutien. Cette évolution traduit un changement de paradigme, où

l'exploration devient progressivement une activité organisée et potentiellement pérenne.

Le troisième domaine analysé est celui des usages militaires de l'espace. Longtemps considérés comme un support de capacités terrestres, les systèmes spatiaux deviennent aujourd'hui des objets stratégiques à part entière. La protection des satellites, la résilience des architectures spatiales et la capacité à opérer dans un environnement contesté apparaissent comme des priorités majeures. L'espace s'impose ainsi comme un milieu opérationnel, où se posent des questions de défense, de dissuasion et de sécurité collective.

Au-delà de ces trois domaines, Xavier Pasco met en évidence plusieurs tendances transversales qui structurent la nouvelle géopolitique des activités spatiales.

La première est l'émergence d'une vision logistique de l'espace. Cette approche repose sur l'idée que l'espace doit être pensé comme un environnement d'infrastructures complexes, comparable à d'autres espaces d'exploitation économique. Elle se traduit par le développement de capacités telles que la maintenance en orbite, le ravitaillement, la prolongation de la durée de vie des satellites ou encore la fabrication en microgravité. Cette vision implique également une gestion accrue des flux — de satellites, de données, de services — et conduit à une densification de l'environnement orbital. L'espace tend ainsi à être « banalisé », au sens où il devient un

espace d'activité régulier, intégré aux logiques industrielles et économiques.

La deuxième tendance concerne l'industrialisation et la standardisation des activités spatiales. La montée en puissance des constellations et des infrastructures complexes impose des processus industriels plus rationalisés, fondés sur la production en série, la réduction des coûts et l'optimisation des opérations. Dans ce contexte, la question des normes devient centrale. Qu'il s'agisse de la gestion du trafic spatial, des opérations de rapprochement entre objets en orbite ou de l'interopérabilité des systèmes, les normes techniques et opérationnelles structurent désormais l'accès à l'espace et les conditions de son utilisation. La « bataille des normes » apparaît ainsi comme un enjeu stratégique majeur, susceptible de renforcer l'influence des acteurs qui parviennent à les imposer.

La troisième tendance identifiée est le renforcement des enjeux politiques et juridiques. La multiplication des acteurs — États, entreprises privées, organisations internationales — complexifie la gouvernance de l'espace. La gestion des orbites, la prévention des collisions, la régulation des activités commerciales et la question des monopoles privés constituent autant de défis à relever. Dans le domaine de l'exploration, les accords internationaux en cours de négociation ou déjà en place introduisent de nouvelles formes de régulation, qui interrogent les notions de souveraineté, d'appropriation et de partage des ressources. Dans le

champ militaire, les questions de transparence, de responsabilité et de statut des infrastructures civiles à usage dual soulèvent des enjeux sensibles pour la stabilité internationale.

Sur le plan géopolitique, la conférence met en lumière une domination nette des États-Unis dans le secteur spatial. Cette prééminence se manifeste tant par le nombre de lancements que par le volume de satellites déployés. Elle s'explique en grande partie par le dynamisme du « New Space », qui repose sur la convergence entre innovations technologiques, nouveaux modèles industriels et investissements privés massifs. Toutefois, Xavier Pasco insiste sur le fait que cette dynamique reste largement soutenue par des financements publics, en particulier dans le domaine militaire. Les budgets gouvernementaux, notamment aux États-Unis, continuent de représenter la part la plus importante de la valeur du secteur spatial, confirmant le rôle structurant de l'État dans son développement.

Par ailleurs, l'analyse met en évidence une concentration des capacités et des investissements, ainsi qu'un déséquilibre marqué entre les grandes puissances spatiales. Si la Chine apparaît comme un acteur en montée en puissance, l'Europe, en revanche, se trouve dans une position plus fragile, caractérisée par un niveau d'investissement inférieur et une moindre capacité à structurer un écosystème intégré.

L'une des évolutions majeures soulignées par la conférence est la transformation du statut des systèmes spatiaux, désormais considérés comme des infrastructures essentielles des systèmes globaux d'information. Les activités spatiales ne sont plus isolées, mais profondément intégrées aux réseaux numériques contemporains. Les applications liées à l'observation de la Terre, à la géolocalisation, à la collecte de données ou aux télécommunications s'insèrent dans des architectures informationnelles globales, contribuant à renforcer l'interdépendance entre espace et numérique. Cette évolution confère aux infrastructures spatiales une importance stratégique accrue, en tant que supports des économies et des sociétés contemporaines.

Enfin, Xavier Pasco identifie les grandes orientations des politiques spatiales actuelles. Celles-ci se caractérisent par le développement d'infrastructures multi-orbites, multifonctions et multi-utilisateurs, visant à répondre à des besoins variés tout en renforçant la résilience des systèmes. Les relations entre acteurs publics et privés sont en pleine redéfinition, autour de modèles hybrides combinant investissements publics, initiatives privées et partenariats industriels. Les grands projets structurants — notamment les constellations et les infrastructures logistiques — jouent un rôle central dans cette dynamique.

En conclusion, la conférence met en évidence la nécessité de réunir trois conditions pour construire une vision industrielle spatiale de long terme : une industrie

performante capable de garantir l'accès à l'espace et son exploitation, un secteur aval apte à valoriser les applications spatiales sur le plan économique, et une puissance publique capable d'orienter, de financer et de soutenir ces dynamiques. Ce modèle, aujourd'hui largement dominé par les États-Unis — et dans une certaine mesure par la Chine — constitue un point de référence, tout en posant la question de la capacité des autres acteurs, notamment européens, à s'adapter à cette nouvelle géopolitique de l'espace.



# ESPACE ET SOCIÉTÉ

## QUELS ENJEUX POUR UN DÉVELOPPEMENT SOUTENABLE ?

Résumé par Michel Mercier  
Relu par Annick Castiaux

### **Notice biographique**

Annick Castiaux est docteure en sciences physiques et professeure à l'UNamur dans le domaine du management de l'innovation. Elle a fondé en 2015 avec quelques collègues le centre de recherche CIRCé (*Creativity and innovation research center*) qui a rejoint l'Institut NaDI (*Namur Digital Institute*). Dans ses recherches, elle s'est particulièrement intéressée aux dynamiques collaboratives et participatives en innovation ainsi

qu'aux enjeux de durabilité quand on développe des projets innovants. Ce sont ces préoccupations pour la durabilité et la responsabilité sociétale qui l'ont amenée à s'intéresser au spatial, dans le cadre de l'alliance européenne UNIVERSEH qu'a rejointe l'UNamur en 2024. Depuis 2021, Annick Castiaux est rectrice de l'UNamur. Après un premier mandat de 4 ans, elle a été réélue par la communauté universitaire pour un 2<sup>ème</sup> mandat qui a commencé en septembre 2025. Le plan stratégique qu'elle a développé avec son équipe vise notamment à favoriser l'émergence d'un campus plus durable, sur le fond (dans les missions d'enseignement et de recherche) comme sur la forme (dans la gestion et l'organisation de l'université).

## Conférence

Ce qui suit a pour objectif de poser des éléments d'une réflexion philosophique et politique sur la soutenabilité du "développement spatial". Cette communication, résolument pluridisciplinaire, articule des apports des sciences de la nature (sciences physiques et sciences de l'environnement) à des apports de sciences humaines (sciences politiques, juridiques et sociales). La réflexion se veut ancrée dans des conceptions philosophiques et politiques qui débouchent sur des considérations éthiques, voire socio-éthiques. Nous abordons les transformations rapides du secteur spatial sous l'effet conjugué des innovations technologiques, de l'ouverture au secteur privé et des enjeux géopolitiques. Au-delà d'un simple état des lieux, cette analyse met en évidence des tensions structurelles entre croissance économique, régulation publique et exigences éthiques.

La communication vise à approfondir ces éléments en proposant une lecture critique des dynamiques à l'œuvre, en

soulignant les contradictions internes du modèle actuel et en identifiant les conditions nécessaires à un développement réellement responsable de l'espace.

### **Une évolution historique : du sacré à la technoscience**

Le rapport de l'Humanité à l'Espace s'est radicalement modifié au cours de l'histoire. Initialement perçu comme un domaine sacré et immuable, l'espace devient progressivement un objet de connaissance scientifique. Cette transformation marque le passage d'une vision symbolique à une approche rationnelle.

Le XXe siècle introduit une rupture décisive : l'espace devient un terrain d'expérimentation technologique et de rivalité politique, voire de convoitise économique. La conquête spatiale, portée par les États dans un contexte de guerre froide, traduit une instrumentalisation de l'espace au service du pouvoir et du prestige.

Cette évolution peut être interprétée comme un processus de désacralisation suivi de marchandisation. L'espace, autrefois intangible, est aujourd'hui envisagé comme une ressource exploitable, ce qui pose la question des limites de cette appropriation.

### **Le "New Space": innovation ou dérégulation ?**

L'émergence du « New Space » constitue une transformation majeure du secteur spatial. L'entrée d'acteurs privés, souvent issus du numérique, a permis une accélération des innovations technologiques et une contractualisation entre la sphère publique (NASA, défense) et le secteur privé.

Cependant, cette dynamique soulève plusieurs questions. D'une part, la concentration du pouvoir entre les mains de quelques grandes entreprises renforce les inégalités d'accès à l'espace. D'autre part, la logique de rentabilité peut entrer en contradiction avec les objectifs de long terme liés à la soutenabilité.

Le développement du modèle « space-as-a-service » illustre cette tension : si les services spatiaux deviennent plus accessibles, ils s'inscrivent également dans une logique de marché susceptible d'exclure certains acteurs.

### **Un cadre juridique sous pression**

Le droit spatial international repose sur des principes établis dans les années 1960, dans un contexte dominé par les États. Aujourd'hui, ces principes sont mis à l'épreuve par la multiplication des acteurs privés et par l'évolution des technologies.

L'absence de mécanismes de régulation suffisamment robustes limite l'efficacité de ce cadre juridique. De plus, certaines législations nationales favorisent l'exploitation des ressources spatiales, créant un décalage avec les principes de non-appropriation.

Cette situation met en évidence un déficit de gouvernance globale, qui pourrait conduire à une fragmentation du droit spatial et à une compétition accrue entre puissances.

### **Analyse critique des tensions contemporaines**

Six questionnements peuvent être mis en évidence. Ils permettent de structurer une analyse critique de l'accès contemporain à l'espace :

1. *“Premier arrivé, premier servi”* :  
Cette logique favorise les acteurs disposant de ressources importantes, au détriment d'une répartition équitable.
2. *“Qui trop embrasse, mal étreint”*.  
Les limites environnementales deviennent de plus en plus visibles, notamment à travers l'accumulation de débris spatiaux et les impacts sur l'environnement terrestre.
3. *Démocratie et gestion publique*.  
Les enjeux de gouvernance soulignent la difficulté de concilier souveraineté nationale et régulation internationale.
4. *L'Espace comme bien commun*.  
La notion de bien commun reste ambiguë : si elle est largement revendiquée, elle peine à se traduire en mécanismes opérationnels.
5. *Justice et équité*.  
Les questions de justice et d'équité révèlent des inégalités profondes entre pays et entre acteurs.
6. *Sécurité des personnes et des publics*.  
La sécurité des personnes et des publics constitue un enjeu croissant dans un contexte d'intensification des activités spatiales.

## **L'approche européenne : une tentative de régulation**

L'Union européenne se positionne comme un acteur cherchant à concilier innovation et régulation. Le EU Space Act (2025) illustre cette volonté à travers des mesures visant à renforcer la sécurité, la résilience et la soutenabilité.

Toutefois, cette approche reste confrontée à plusieurs défis, notamment la coordination entre États membres et la capacité à s'imposer face aux grandes puissances spatiales.

La stratégie européenne peut être vue comme une tentative de régulation dans un contexte global marqué par la compétition, ce qui limite sa portée.

### **Vers une gouvernance éthique de l'espace**

Le développement d'un espace soutenable nécessite une approche intégrée, combinant innovation technologique, régulation juridique et réflexion éthique.

Il apparaît indispensable de renforcer les mécanismes de gouvernance internationale, de promouvoir une distribution équitable des bénéfices et de limiter les impacts environnementaux.

Dans cette perspective, l'espace doit être envisagé non seulement comme un vecteur de croissance, mais également comme un patrimoine commun nécessitant une gestion collective.

### **En conclusion**

La communication tente de mettre en lumière les défis complexes liés au développement spatial contemporain. Elle souligne la nécessité d'un changement de paradigme, passant

d'une logique de conquête et d'exploitation à une approche fondée sur la responsabilité, la coopération et la soutenabilité.

Ce changement implique une mobilisation conjointe des acteurs publics, privés et académiques, afin de garantir que le développement de l'espace bénéficie réellement à l'ensemble de l'Humanité.

Les Universités et les Centres de recherche ont un rôle à jouer dans la mise en oeuvre de cette position éthique et politique. L'ensemble des disciplines universitaires doit contribuer à ces régulations.



# EXPÉRIENCES SUR LA RÉSISTANCE DU VIVANT DANS L'ESPACE, UNE RECHERCHE À L'UNAMUR.

*Les rotifères bdelloïdes et Physarum polycephalum,  
deux organismes pour mieux comprendre les  
résistances extrêmes et l'adaptation du vivant au  
milieu spatial*

Résumé par Martine Raes  
Relu par Boris Hespeels

.

## **Notice biographique**

Boris Hespeels est docteur en biologie de l'Université de Namur (UNamur), où il développe son laboratoire au sein de l'Unité de

recherche en Biologie environnementale et évolutive (URBE). Depuis 2016, il coordonne le projet *Rotifer In Space*, consacré à l'étude de l'impact de l'environnement spatial sur les rotifères, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la Station spatiale internationale (ISS).

En collaboration avec l'Agence spatiale européenne (ESA), l'Université libre de Bruxelles (ULB), le SCK CEN et d'autres acteurs du secteur spatial, il a développé et mené trois expériences à bord de l'ISS en 2019, 2020 et 2024. Fort de cette expertise, il propose aujourd'hui, en collaboration avec la professeure Anne-Catherine Heuskin (LARN, UNamur), l'utilisation du « blob » *Physarum polycephalum* lors du prochain vol de l'astronaute belge Raphaël Liégeois. Ce projet figure parmi les trois expériences sélectionnées par l'ESA pour accompagner cette mission prévue en 2028.

Parallèlement au développement d'expériences spatiales sur l'ISS et sur d'autres plateformes, ses travaux de recherche se concentrent sur la résistance de divers organismes aux fortes doses de rayonnements, notamment chez les fourmis, différentes espèces de rotifères et les myxomycètes. Il s'intéresse également aux mécanismes de résistance à la dessiccation, aux liens entre dessiccation et radiotolérance, ainsi qu'à l'identification des acteurs moléculaires impliqués dans la protection et la réparation de l'ADN.

## Conférence

L'espace constitue un environnement extrême, mais on peut aussi trouver des conditions extrêmes même dans le Parc Marie-Louise à Namur, où mousses et lichens s'entourent d'une fine couche d'eau, doivent régulièrement faire face et résister à des périodes de grande sécheresse. D'autres

organismes vivants, les rotifères, présents entre autres dans les tapis de mousse, survivent dans des milieux extrêmes bien plus spectaculaires, tel le désert d'Atacama (d'ailleurs utilisé pour simuler les expériences sur Mars), où il ne pleut que tous les 5,7 ans, ces pluies rares déclenchant une floraison massive grâce aux graines en dormance. Certaines espèces retrouvées dans des sources thermales des Açores à environ 60 °C, sont adaptées à ces conditions extrêmes au point de ne pas survivre dans des conditions de laboratoire plus conventionnelles, à température ambiante (~21 °C). Les rotifères sont des animaux pluricellulaires de petite taille (en général ils ne dépassent pas 1 mm), sont composés d'un millier de cellules et dotés entre autres d'un système nerveux, d'un système digestif, leur bouche s'entourant d'un rotor composé de cils, faisant entrer l'eau et particules alimentaires. Parmi les rotifères, l'équipe namuroise s'est particulièrement intéressée à un rotifère bdelloïde, *Adineta vaga*, qui présente une particularité biologique (attribuable à l'ensemble des rotifères bdelloïdes) : tous les individus sont des femelles ! Malgré l'absence de reproduction sexuée, *A. vaga* présente une grande diversité morphologique et génétique. Ces organismes se sont révélés très résistants au stress puisqu'on a observé qu'ils pouvaient résister pendant 24.000 ans dans le permafrost. Après dessiccation, leur contenu en eau passe de 94 à 6,5 % et ils deviennent inactifs, mais il suffit de les réhydrater pour qu'ils reprennent une vie active. Cet organisme, après dessiccation, s'est aussi révélé extrêmement résistant aux radiations ionisantes. Alors que pour les cellules humaines, l'exposition à des radiations de l'ordre de 1 à 10 Gray est mortelle, pour *A. vaga* il faut entre 5000 et 7.500 Gray d'irradiation ! Les fonctions nécessaires pour survivre à une dessiccation prolongée, seraient les mêmes que celles requises pour survivre aux radiations ionisantes. Les chercheurs ont montré

que la dessiccation entraîne des cassures au niveau de l'ADN, mais que *A. vaga*, ainsi que d'autres espèces de bdelloïdes, est capable de réparer son ADN après réhydratation. Cette propriété remarquable en fait un organisme particulièrement intéressant à étudier dans l'environnement spatial, hostile pour l'être humain étant donné la microgravité, mais aussi le confinement et l'isolement, l'éloignement de la terre, et l'exposition aux radiations cosmiques.

Pour mieux comprendre les mécanismes de résistance aux radiations, *A. vaga* a été considéré comme un modèle biologique alternatif « simple et peu coûteux » à mettre en oeuvre, même au sein de l'ISS. En décembre 2019, a donc été lancée l'expérience Rob-1 ("Rotifers in space", projet international impliquant entre autres l'ESA et l'UNamur) en vue de comparer l'expression génique de rotifères exposés à des radiations sur terre et de rotifères en microgravité dans l'ISS exposés à 3,94 mGray durant l'ensemble de la mission, soit une dose 100 fois supérieure dans l'espace à celle reçue par les échantillons contrôles restés sur terre. Les résultats de cette expérience, ont démontré la surexpression de gènes de réparation de l'ADN et de gènes codant des protéines antioxydantes. Mais l'expérience a également révélé la surexpression, de gènes acquis sur terre par *A. vaga* par transfert horizontal d'autres organismes, à partir de bactéries, ce qui pourrait suggérer une stratégie d'adaptation à différents milieux. En 2020, des rotifères sont repartis pour l'ISS (projet Rob-2) pour mieux comprendre les effets de la microgravité et des radiations cosmiques sur les processus de réparation de l'ADN. Cette expérience n'a pas permis de révéler des différences significatives entre les individus irradiés sur la terre et dans l'ISS, mais a révélé une forte variabilité génétique entre les échantillons, alors qu'on s'attendait à des clones d'individus. Les effets éventuels d'un séjour dans l'espace sur

le comportement et la morphologie de *A. vaga* ont été investigués lors d'un troisième vol en 2024 suggérant l'absence d'un stress significatif sur une courte période.

À côté des rotifères, un autre organisme spectaculaire, s'est retrouvé au cœur d'un nouveau projet pour l'ISS, suite à un appel à projets de Raphaël Liégeois, *Physarum polycephalum* ou "blob", déjà bien connu du grand public. Tout comme *A. vaga*, le "blob" peut exister sous une forme active ou sous une forme dormante après dessiccation, bien qu'il s'agisse cette fois d'un organisme unicellulaire. Il est au cœur du projet BeBlob (ESA-Belspo) en tant qu'autre modèle biologique alternatif, projet porté par une équipe de l'UNamur pour une expérience à la croisée de la biologie (Boris Hespeels) et de la physique (Anne-Catherine Heusquin) visant à analyser la résistance du "blob" aux radiations, mais aussi aux températures extrêmes. L'équipe namuroise a donc conçu un protocole expérimental, mais aussi un dispositif permettant de cultiver et de réactiver le "blob", adaptés au vol spatial dans l'ISS. Les échantillons, irradiés ou non seront ensuite analysés à leur retour sur terre.

Certains diront que ces modèles sont bien éloignés de l'humain, mais les projets "Rotifères dans l'espace" et "beBlob" restent remarquables, car non seulement ils donnent des réponses à certains mécanismes de résistance aux conditions extrêmes associées aux vols spatiaux, mais ils ont aussi suscité avec succès des projets collaboratifs fructueux entre universités, centres de recherche et divers acteurs du secteur spatial à l'échelle belge et internationale, avec le soutien de la Politique Scientifique Fédérale belge et de l'ESA.

## Illustrations



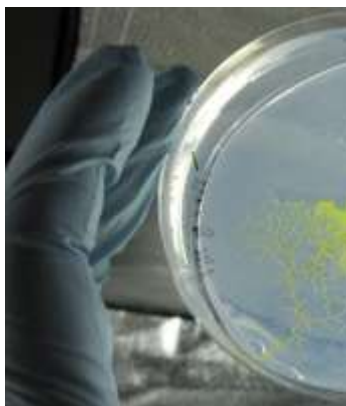
Module RoB2 lors de son activation à bord de l'ISS en 2020.



Module RoB2.0 pour investiguer l'impact de la microgravité sur la morphologie et le comportement des rotifères bdelloïdes à bord de l'ISS.



Culture de *P. polycephalum* au sein de l'UNamur



Réhydratation d'un échantillon de *P. polycephalum* après son exposition à un vide spatial simulé au sein du LARN (UNamur).

## Références

- Rotifers in space: transcriptomic response of the bdelloid rotifer *Adineta vaga* aboard the International Space Station. 2024  
<https://link.springer.com/article/10.1186/s12915-025-02272-1>
- Back to the roots, desiccation and radiation resistances are ancestral characters in bdelloid rotifers. 2023  
<https://link.springer.com/article/10.1186/s12915-023-01554-w>
- Reportage du journal télévisé du 22/01/2020 RTBF :  
[https://www.youtube.com/watch?v=-cQG3fv\\_bgU](https://www.youtube.com/watch?v=-cQG3fv_bgU)
- Interview 12.Pom 02/04/2026  
<https://open.spotify.com/episode/6BPJF2qfneE0ykye4wq1Gn>
- <https://www.unamur.be/fr/recherche/projets/esa-belspo/beblob>
- Reportage Dailyscience 24/03/2026  
<https://dailyscience.be/24/03/2026/le-blob-a-lepreuve-des-radiations/>

# LE RÉSEAU DES ÉMÉRITES ET DES HONORAIRES DE NAMUR REHNAM

Le **Réseau des Émérites et des Honoraires de Namur (REHNam)**, comprend les membres retraités du personnel académique et scientifique de l'Université de Namur. Il contribue à promouvoir l'image d'excellence et les valeurs contenues dans la Charte de cette Université.

Il est un interlocuteur des autorités universitaires et met à la disposition de l'Université les collaborations nationales et internationales que ses membres ont pu tisser au cours de leur carrière.

En particulier, le REHNam contribue à une histoire vivante de l'Université de Namur et enrichit son identité. Il met sa créativité au service des membres de la communauté universitaire, dans le respect de leurs projets.

Le REHNam organise également des déjeuners-conférences et des colloques internationaux. Ces activités de niveau universitaire sont mises sur pied à l'initiative de ses membres.

Les **déjeuners-conférences** couvrent des sujets très variés. Citons, à titre d'exemples :

- « Impacts à moyen terme pour la Belgique et la Wallonie de la crise économique et financière », par Béatrice Delvaux, éditorialiste en chef au journal *Le Soir*, et Henri Bogaert, commissaire au plan.

- « La voix de Mozart : une promenade vocale à travers sa biographie » par le Docteur Philippe Dejonckere, grand connaisseur de ce génie de la musique.
- « 50 ans d'histoire universitaire à Namur (1965-2015) » par Charles Jaumotte et René Noël, professeurs émérites, respectivement à la Faculté des Sciences Économiques, Sociales et de Gestion et à la Faculté de Philosophie et Lettres de l'UNamur.

Quant aux **colloques**, ils touchent des problématiques dont la dimension sociétale est importante. A titre d'exemples, voici les colloques des dernières années :

- **2019** : « Numérique : de la transparence à la démocratie. Au-delà du clair-obscur » ; organisateur : Yves Poullet.
- **2021** : « Vivre le conflit » ; organisateur : Manfred Peters.
- **2023** : « L'Europe : quel acteur politique ? » ; organisateurs : Bruno Colson et François Bodart
- **2025** : « L'Humain augmenté » ; organisatrice : Monique Noirhomme

Nos activités sont ouvertes à toutes et tous, vous y êtes les bienvenu.e.s !

Pierre DEVOS  
Président du REHNam