

DÉCIDER AVEC LES SCIENCES



RAPPORT DES ATELIERS

ou démarche
PRIX
DÉMARCHE
SCIENTIFIQUE
2020
suivre
meilleure
approche
scientifique



LA QUESTION DE LA VIE DANS L'UNIVERS

PROMOTION WANGARI MAATHAI
Cycle national 2019 - 2020

LES ATELIERS DU CYCLE NATIONAL

Les ateliers sont des travaux conduits dans le cadre du cycle national sur une durée relativement courte, cinq journées, et ayant pour vocation, de conforter les dynamiques de travail collaboratif entre les auditeurs, de permettre une analyse des dynamiques d'acteurs à l'oeuvre dans les rapports science société. Cela nécessite un travail d'investigation mené avec l'aide d'un animateur et la rencontre d'un certain nombre de personnes invitées à la demande des auditeurs, en concertation avec l'animateur et d'entraîner les auditeurs à effectuer des précisions pour éclairer la prise de décision.

les auditeurs ne sont pas spécialistes du sujet. Ils doivent, à l'issue de leurs travaux d'investigation, effectuer une synthèse, sans prétendre ni à l'exhaustivité, ni à l'expertise. La synthèse doit en revanche dégager les principales problématiques, en choisir quelques unes à traiter, et proposer des lignes d'actions ou des pistes de solutions possibles, propres à éclairer les décideurs.

Le jour de la clôture du cycle, les auditeurs présentent leurs travaux devant un jury, rassemblé par l'IHEST.

LA QUESTION DE LA VIE DANS L'UNIVERS

RESUMÉ

Depuis l'antiquité, l'Homme se pose la question de la vie dans l'Univers. Les scientifiques n'ont eu de cesse de proposer de nombreuses définitions de la vie, ou de comprendre comment cette fascinante complexité peut émerger de l'inanimé. De même, ils tentent continuellement de percer les secrets de notre vaste univers. Mais la question demeure : la vie sur Terre est-elle unique dans l'Univers ? Non, estime la majorité des astronomes, rejoints en cela par certains biologistes. Les recherches se multiplient, pour repérer des signatures du vivant. Mais pour l'heure, aucune preuve n'étaye l'hypothèse d'une vie extraterrestre. Les conditions de développement de la vie seraient-elles trop spécifiques et instables pour que celle-ci puisse s'installer durablement ailleurs que sur Terre ? Nos technologies seraient-elles trop rudimentaires pour explorer certains recoins de l'univers abritant d'autres formes de vies ? Ou les "civilisations" intelligentes rencontrent-elles un point de rupture et finissent-elles par s'autodétruire avant même de pouvoir communiquer à l'extérieur de leur planète ?

A l'heure où la préservation de la biodiversité est plus que jamais remise en cause par les bouleversements anthropiques, cette

dernière question se pose avec une acuité nouvelle et réoriente totalement la question de la vie dans l'Univers. En regardant au loin et vers le passé, c'est sur l'ici et sur le maintenant que l'on doit s'interroger. Pourtant, les fantasmes, parfois sous couvert de pseudo rationalité, la culture de la science-fiction et la recherche du sensationnel, rendent particulièrement difficile la tenue d'un discours scientifique sur cette question ; d'autant plus que des intérêts économiques et stratégiques, interfèrent fortement avec leur propre logique.

Cette question de la vie dans l'univers porte un désir de réponse face au désenchantement du monde contemporain : planète B pour certains, réponses aux questions fondamentales pour d'autres, ou fuite en avant à défaut d'options alternatives... Ces recherches constituent en ce sens une opportunité unique d'échanges transdisciplinaires, de cohésion sociale, de remise en question des modes de fonctionnement de nos sociétés, mais surtout de responsabilisation vis-à-vis de notre seule planète pour bien longtemps : la Terre. Le seul point dans l'Univers où nous sommes sûrs que la Vie ait émergé un jour...

AUDITRICES ET AUDITEURS DE L'ATELIER

Lise BARNÉOUD, journaliste scientifique

Elodie CHEYROU, chargée de mission Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation Ministère de l'Enseignement supérieur de la Recherche et de l'Innovation

Hervé DEVAUX, directeur Institut Rayonnement-Matière de Saclay - Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

Jean-François DUROCH, directeur Innovation Europe - TechnipFMC

Patrick FELDNER, directeur Général adjoint en charge de l'aménagement du territoire - Conseil départemental du Loir et Cher

Agnès GAHIGI, directrice Générale Adjointe en charge des Programmes Investissements d'Avenir - Université de Lyon

Vincent LARROQUE, conseiller expert au département de la stratégie et des partenariats, Direction du numérique pour l'éducation - Ministère de l'Education nationale et de la Jeunesse

Charles PERSOZ, adjoint à la directrice, Institut de Santé Publique - Institut national de la santé et de la recherche médicale

Véronique RONDEAU-ABOULY, avocate au Barreau de Marseille, cabinet Rondeau-Abouly

Guillaume STAHL, délégué régional adjoint pour la recherche et la technologie Auvergne Rhône- Alpes, Ministère de l'enseignement supérieur de la recherche et de l'innovation

ANIMATION DE L'ATELIER

Philippe ROCHER, cabinet Métrol

PERSONNALITÉS RENCONTRÉES

Jean-Claude BOURRET, journaliste, auteur

Luc DINI, SIGMA2, Association aéronautique et astronautique française - 3AF

Patrick FORTERRE, Université Paris-11 Orsay, Institut Pasteur

Bruno GUIDERDONI, Université de Lyon

Roland LEHOUCQ, Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives

Louis Le SERGEANT D'HENDECOURT, Centre National de la Recherche Scientifique - Aix Marseille Université

Sarah TIGRINE, Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques

I - UNE QUÊTE INTEMPORELLE ET AMBIVALENTE

1) L'HISTOIRE D'UN ESPOIR MÊLÉ D'EFFROI

La question de la vie dans l'univers préoccupe l'homme depuis l'aube des civilisations, faisant écho à d'autres grandes questions : quelle taille fait l'univers, quelle place y occupe la Terre et l'humanité, qu'est-ce que la vie... Dès l'antiquité, des controverses opposèrent les penseurs atomistes, soutenant la thèse de la pluralité des mondes, à l'école d'Aristote, qui défendait la vision géocentrique d'une Terre fixe au centre d'un monde fini. Le débat s'est poursuivi au Moyen-âge avec des prises de position divergentes d'hommes d'église marquants comme saint Thomas d'Aquin, Etienne Templier, ou Guillaume d'Ockham. Depuis les Lumières, l'idée d'une existence de plusieurs mondes habités est progressivement acceptée comme une hypothèse scientifique qui ira en se renforçant tout au long des XIX^e et XX^e siècles. Une hypothèse alimentée également par le développement de la littérature et du cinéma de science-fiction depuis près de 150 ans.

Plus récemment, des auteurs, sous couvert d'un lustre scientifique, ont réinterprété des mythes anciens (l'Atlantide) et certains vestiges des civilisations anciennes (les géoglyphes de Nazca, les pyramides d'Égypte, les temples Aztèques¹, les dessins rupestres aborigènes en Australie...) en y trouvant des « preuves » que notre planète aurait été visitée dans un passé lointain par des êtres supérieurs. Ceux-ci auraient participé à l'émergence d'anciennes

civilisations, colonisé certaines contrées, voire ensemencés la Terre de gènes à l'origine de la vie.

L'émoi engendré par l'émission radiophonique « La guerre des mondes » en 1938, et le retentissement dans la société du phénomène OVNI, largement d'origine socio-psychologique² illustrent combien notre civilisation est réceptive à l'idée de l'existence d'une vie extraterrestre, intelligente, technologiquement supérieure qui serait en capacité de visiter notre planète.

La découverte récente de nombreuses exoplanètes suscite aujourd'hui une forte attente de signes tangibles de mondes habitables et peut-être habités. Régulièrement des sondages indiquent qu'au moins 50% de la population croit à l'existence d'une vie extraterrestre intelligente³. Ceci rend acceptables les efforts consentis pour la recherche spatiale, dont le programme mondial pluriannuel SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence). La manière dont nous posons « la question de la vie dans l'Univers » dans ce rapport pourrait donc paraître incompréhensible pour un large public, tellement l'idée d'une vie extraterrestre lui semble acquise et évidente. Cependant, les conséquences de cette vie possible relèvent encore largement de la science-fiction avec des scientifiques peu mobilisés sur ces questions et leurs impacts.

2) DES MYSTÈRES ET DES FANTASMES QUI PERDURENT

L'existence de phénomènes aérospatiaux non-identifiés contribue à entretenir dans l'imaginaire collectif des théories du complot, des fantasmes collectifs, des peurs qui contribuent à colporter de fausses informations voire à désinformer, mais aussi constituent des barrières au développement d'études scientifiques de ces phénomènes. Les scientifiques hésitent clairement à investir un champ de recherches identifié comme décrédibilisant.

a) Approche militaire des phénomènes aérospatiaux non identifiés

Recensés par la Gendarmerie nationale en France, analysés par le GEIPAN⁴, les phénomènes aérospatiaux non identifiés (PAN) sont largement résolus après enquête. Seuls demeurent aujourd'hui quelque 4% de PAN de catégorie D qui résistent aux connaissances actuelles, notamment météorologiques et environnementales.

En 1999, le rapport COMETA⁵ recommande une réflexion straté-

gique nationale voire européenne sur le sujet et appelle à une « vigilance cosmique ». S'il a été l'objet de controverses virulentes, et bien que son contenu n'ait pas été validé scientifiquement, ce rapport reste un document de référence sur les PAN et n'a pas fait l'objet d'une réactualisation, du moins publique. Depuis 2008, la commission technique Sigma 2 (un groupe de travail de l'Association aéronautique et astronautique française - 3AF)⁶ que nous a présenté son Président, Luc DINI, travaille en coordination avec le GEIPAN sur l'analyse scientifique et technique des cas "D" inexplicables.

Aux États-Unis, on assiste à une médiatisation renouvelée du sujet⁷. Ainsi, la marine américaine a dévoilé récemment un événement inexplicable et spectaculaire⁸. Les autorités américaines ont alloué une enveloppe de 22 M\$ sur cinq ans pour investiguer ces phénomènes, une enveloppe qui paraît modeste, et qui est essentiellement orientée sur des études de R&D pour des technologies potentiellement disruptives.

1. Le Livre des maîtres du monde, par Robert Charroux, Éditions J'ai lu, 1980

2. modèle socio-psychologique dans la formation de la notion de « soucoupe volante » démontré ici : <https://www.youtube.com/watch?v=f6HzL0Nh2g&t=10s>

3. <https://rr0.org/science/crypto/ufo/observation/Sondages.html>

4. Le Groupe d'études et d'information sur les phénomènes aérospatiaux non identifiés (GEIPAN) est un service du Centre national d'études spatiales (CNES) français.

5. Comité d'études Approfondies : http://www.cnesgeipan.fr/typo3conf/ext/dam_frontend/pushfile.php?docID=557

6. <https://www.3af.fr/node/262/presentation>

7. <https://www.nytimes.com/2017/12/16/us/politics/pentagon-program-ufo-harry-reid.html>

8. Reportage « Ovnis : une affaire d'Etats », diffusé sur Planete+ le 1er avril 2020

b) De l'ufologie à la théorie du complot

L'ufologie traverse les siècles et les cultures, prenant racine dans l'observation ou l'interprétation de phénomènes inexplicables⁹. Selon le courant conspirationniste de l'ufologie américaine, les gouvernements auraient fait alliance avec des extraterrestres dans le but d'asservir la Terre et de leur fournir des cobayes humains depuis l'affaire Roswell en 1947. Les gouvernements se seraient assurés de l'aide de scientifiques, dont des astronomes, pour nier l'existence des OVNI. En Europe, le mouvement "ummiste" est un autre exemple : une civilisation extraterrestre serait secrètement à l'œuvre pour préparer l'humanité à un contact.

c) Des fantasmes qui éludent les questions scientifiques

Pas une semaine ne se passe sans que les réseaux sociaux ne

3) SOMMES-NOUS PRÊTS À FAIRE FACE À L'ALTÉRITÉ RADICALE ?

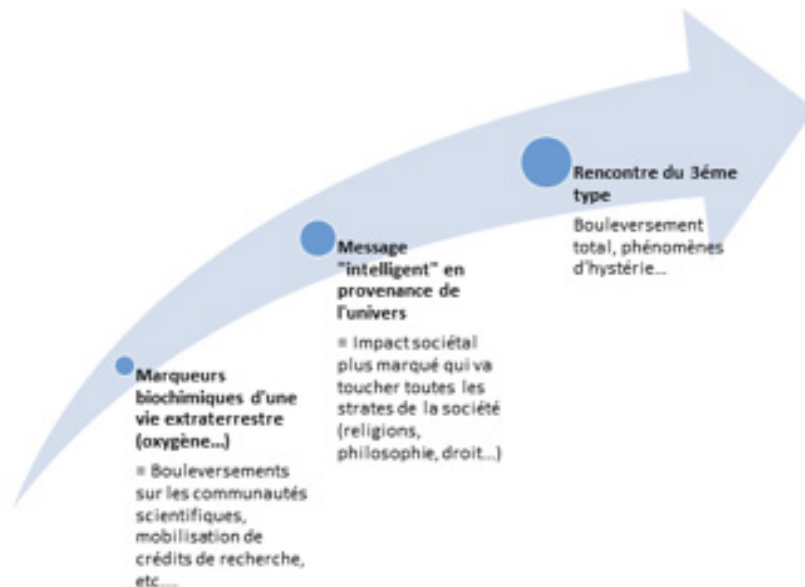
La découverte d'une vie ailleurs que sur Terre est de nature, pour l'humanité à entraîner de profonds bouleversements comme l'illustrent des scénarios de science-fiction. Nombreux sont les spécialistes à penser que des exercices prospectifs pourraient nous

se faire le relais de "découvertes au potentiel révolutionnaire" (planète habitable, signal suspect porteur d'informations, ...) aboutissant à des exagérations sur leur nature, mais également sur leur impact scientifique ou sociétal.

La question des moyens à mettre en place pour éviter une surinterprétation des informations scientifiques se pose ici avec acuité. La liberté d'expression doit permettre d'exprimer des idées spéculatives, mais la construction progressive et empirique d'un savoir suivant des méthodes scientifiques doit demeurer un principe compris et accepté de tous. Ceci souligne l'importance d'une culture scientifique de qualité et d'une approche critique à enseigner dès l'enfance. C'est aussi la condition pour que la science reste soumise au débat démocratique.

aider à mieux les anticiper.

Précisons d'emblée que l'ampleur de ces bouleversements dépendra de la nature de la découverte :



Les premiers bouleversements à considérer sont **d'ordre psychologique**. Beaucoup de réactions de toutes natures et contradictoires pourraient émerger : paniques, élans de solidarité, communautarisme... Mais peu d'expériences ont exploré cette question.¹⁰ La fin de l'ère anthropocentrique provoquerait également de profonds **bouleversements philosophiques**. Nombreux sont les philosophes à avoir abordé cette question de la vie extraterrestre¹¹. Cette altérité extraterrestre nous conduira probablement à nous redéfinir nous-même ainsi que notre propre relation avec

les espèces vivantes qui nous entourent. Envisager de parler à un extraterrestre, c'est aussi apprendre à parler à l'autre, donc savoir se parler à soi-même.¹² Ce bouleversement concerne aussi les **religions**. La découverte d'une vie ailleurs entraînerait nécessairement une refonte des théologies actuelles, où l'exceptionnalité humaine est souvent centrale.

Par ailleurs, la découverte d'une vie extraterrestre mettra à l'épreuve notre **droit international**. L'espace extra-atmosphérique est reconnu comme « l'apanage de l'humanité toute en-

9. <https://tempspresents.com/2010/01/20/stephane-francois-ufologie-et-theorie-du-complot/>

10. Jung Yul Kwon et al.; How Will We React to the Discovery of Extraterrestrial Life? in *Frontiers in Psychology*, 2017

11. La philosophie au risque de l'intelligence extraterrestre, Thibaut Gress et Paul Mirault, Editions Vrin

12. Dominique Wolton, sociologue ayant fondé l'Institut des sciences de la communication du CNRS, traite de cette notion d'altérité qui « permet de penser la communication comme une relation et non comme la transmission ou le partage ». <http://www.wolton.cnrs.fr/spip.php?article205>

tière » : mais qu'en est-il d'éventuelles formes de vie ? On peut aussi songer à un complément au traité de l'espace¹³ pour affirmer le caractère de bien commun des connaissances sur toute forme de vie extraterrestre, ou encore une nouvelle charte internationale, qui ferait l'inventaire des normes à appliquer en cas de rencontre¹⁴, et aussi une convention internationale traitant des activités de recherche ou de communication avec d'autres formes de vie qui préciserait qui serait autorisé pour envoyer des signaux et avec quels contenus. A l'heure où la protection du vivant pose des enjeux d'appropriation privative, il semble urgent que le vivant et la notion de vie dans l'univers puisse être envisagés de manière «

globalisée », avec une obligation du partage des savoirs et une déclaration universelle des droits spécifiques bénéficiant à toute vie. Enfin d'importants bouleversements sont attendus **en matière de défense**. Nous ne connaissons pas de plan de défense spécifique en cas d'attaque extraterrestre, hors le protocole de gestion des crises majeures¹⁵. L'Agence de l'innovation de défense (AID) a récemment créé une "Red Team" dont la mission est "d'imaginer et de créer des scénarios futuristes et disruptifs au profit de l'innovation de défense". Ailleurs, ces scénarios d'attaque extraterrestre semblent être pris au sérieux, notamment en Israël et aux États-Unis¹⁶.

L'ambivalence de l'être humain apparaît clairement dans son souhait de comprendre tout l'univers qui l'entoure, de percer ses mystères les plus profonds, tout en craignant d'être confronté à des forces qu'il ne saurait maîtriser. Il souhaite aussi communiquer avec, et éventuellement protéger des formes de vie extraterrestre, tout en ne sachant ni communiquer avec, ni préserver les formes de vies présentes sur sa propre planète.

II - L'ÉTAT DE NOS CONNAISSANCES

1) LA VIE : AUTANT D'APPROCHES QUE DE DÉFINITIONS

Il n'est pas possible de définir formellement ce qu'est la vie. Les différentes disciplines scientifiques définissent la vie selon des critères qui ne seront que difficilement transposables aux autres sciences. En voici quelques exemples :

- Le **physicien** dirait "Entité autonome qui contrevient localement au 2ème principe de la thermodynamique",
- Le **chimiste** lui répondrait "Structure complexe auto-organisée à base de Carbone, Hydrogène, Azote, Oxygène, Phosphore et Soufre",
- Le **généticien** affirmerait "Expression d'une combinaison de 20 fonctions peptidiques catalytiques issus d'un code génétique nucléotidique dégénéré, transmissible à la prochaine génération avec possibilité de mutation",
- Et le **philosophe** renchérirait "Ensemble d'entités formant une société et capable d'une pensée intelligente et spirituelle",

On envisage aussi des formes de vie artificielle, comme étant des entités auto-organisées répondant à leur propre logique, même si elles ont été, à l'origine, engendrées informatiquement par l'homme.

Étudier la vie sur Terre, dans le système Solaire, dans la Galaxie ou dans l'Univers fait appel à des caractéristiques différentes : interactions avec son milieu, signatures chimiques ou spectroscopiques, signaux radios, etc. L'entendement du mot "vie" embrasse un large éventail, du plus petit virus jusqu'à l'ensemble de la vie dans l'écosystème que certains nommeront Gaïa.

De plus, si l'objectif est de comprendre l'altérité, dans l'hypothèse d'une vie différente, ailleurs, nos définitions de la vie sont empreintes d'anthropocentrisme et induisent une tendance à définir la vie par rapport à nous-mêmes : une vie à base de d'ADN, de protéines, avec un code génétique universel, un cerveau doté de conscience, d'abstraction, et capable de langage. Cette définition trop stricte de la vie risque de biaiser ce que l'on recherche et qui pourrait présenter des caractéristiques par trop différentes de nous-même. Alors que justement, découvrir une autre forme de vie serait l'occasion de comprendre plus en profondeur la nature du vivant.

13. http://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES_21_2222F.pdf

14. Le docu-fiction intitulé « The Visit » imagine un « mass contact » en s'appuyant sur les réactions de personnalités gouvernementales : les institutions représentées sont l'ONU, le CNES, le SETI, la NASA

15. <https://www.gouvernement.fr/risques/le-processus-de-gestion-de-crise>

16. https://en.wikipedia.org/wiki/CONOP_8888

2) L'UNIVERS : SA POTENTIALITÉ À ACCUEILLIR LA VIE

a) Les échelles de temps et d'espace

La confrontation des échelles spatio-temporelles caractéristiques de l'univers et de la vie illustre des différences d'ordre de grandeur significatives. Ainsi, une bactérie mesure de l'ordre du micron (10^{-6} m) et se reproduit dans une échelle de temps qui est de l'ordre de l'heure. Les êtres vivants les plus grands sur Terre ont des échelles de taille de l'ordre de quelques dizaines de mètres, et les plus vieux quelques milliers d'années. D'autre part, l'univers a 13,8 milliards d'années, la Terre s'est formée il y a 4,5 milliards d'années, et la vie est apparue environ 500 millions d'années après. La vie est capable de communiquer sur des distances interstellaires depuis moins de 100 ans !

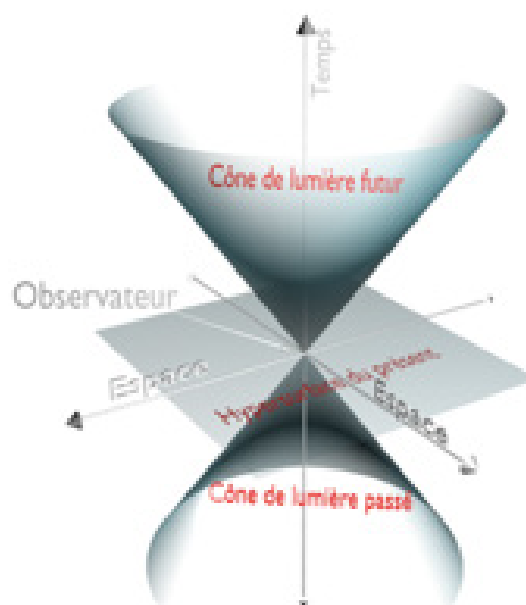
L'immensité de l'univers

En se basant sur la meilleure mesure actuelle de l'univers, on estime à 10^{11} le nombre de galaxies présentes et 10^{22} le nombre d'étoiles¹⁷. Une fraction très significative d'étoiles a une ou plusieurs planètes : un cinquième des étoiles de type Soleil dans notre univers proche compte au moins une planète de type Terre¹⁸, soit plusieurs milliards de planètes "terrestres" dans la seule Voie lactée. Cependant, si le nombre de planètes est très élevé, celles dont la stabilité dynamique est suffisamment longue pour qu'une vie capable de communiquer émerge semble très significativement réduit.

Spatialité et temporalité : les limites de l'univers observable

La théorie de la relativité introduit l'existence d'une vitesse maximale à laquelle l'information peut être transmise : la vitesse "c" de la lumière dans le vide. Aussi, l'observation d'événements interstellaires correspond à des phénomènes qui ont eu lieu dans le passé : 4 années pour Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche, 100 000 ans pour une étoile à l'autre bout de la galaxie, et 2,5 millions d'années pour la galaxie d'Andromède. On notera d'ailleurs que symétriquement, des observateurs extérieurs ne pourront observer nos activités que dans le futur.

Légende : la propagation de l'information à la vitesse de la lumière couple distance et temps. Dans cette illustration basée sur un modèle à deux dimensions d'espace, seuls les objets situés sur le cône de lumière passé sont accessibles. Tout le reste, même si l'on peut admettre par abstraction qu'il existe, reste inaccessible à la mesure. (https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%B4ne_de_lumi%C3%A8re#/media/Fichier:Cone_de_lumi%C3%A8re2.png)



b) Sonder l'espace proche ou lointain

Sonder expérimentalement l'existence de la vie dans l'univers peut d'abord être conçu comme une **expérience à distance** : une trace spectroscopique est recherchée, notamment lors des détections de planètes par transit qui offrent la capacité à sonder la composition de leur atmosphère ou de leur surface. Cela requiert un signal spécifique et suffisamment détectable relié aux espèces vivantes de cette exoplanète (oxygène, chlorophylle...). Ces contraintes limitent la capacité d'exploration à l'univers proche. Cependant, ces traces sont détectables sur des temps très longs : cela fait plusieurs milliards d'années qu'une civilisation extraterrestre aurait pu détecter des traces de vie sur Terre.

Dans le cas d'une espèce extraterrestre de haut niveau technologique, une détection d'ondes radios peut être imaginée, comme le propose le projet SETI. La difficulté réside dans la capacité à distinguer un tel signal du bruit, du fait de la distance. Ceci restreint significativement le nombre de planètes concernées, alors que la période de détection de signaux est également minorée (70 ans pour les émissions radios terrestres, par exemple). De plus, une fois détectée, l'ordre de grandeur des temps de communication s'exprime en dizaines d'années : une civilisation située à 70 années-lumière ne commencerait à nous détecter qu'aujourd'hui, et une réponse en retour nous parviendrait dans 70 ans...

La seconde hypothèse pour explorer l'existence de la vie dans l'univers consiste à **se rendre sur place** pour disposer de l'ensemble des moyens de caractérisation susceptibles de distinguer un phénomène d'origine chimique pré-biotique d'un phénomène vivant. La durée du transport est aujourd'hui de 180 jours pour un voyage Terre-Mars et durerait des dizaines de milliers d'années pour l'étoile la plus proche. De plus, les irradiations (photons ou particules) provoqueraient des lésions irréversibles dans les cellules vivantes ainsi que des dommages dans les systèmes informatiques et électroniques.

Ces limites sur les temps de communication et de transport sont ignorées en science-fiction par le truchement de l'hyperespace pour relier pratiquement deux points distants. Les mathématiques invoquées, qui rendent possible l'existence de trous de ver connectant trous noirs et trous blancs, ne sont que des équations théoriques dont on n'a aucune preuve expérimentale. Passer par ces chemins paraît impossible au vu des énergies nécessaires et des forces de marée associées.

17. Si ces chiffres sont très grands, la densité d'étoiles reste faible autour du Soleil puisqu'elle n'est que de 0,004 étoiles par année-lumière cube ; soit environ 1000 étoiles dans une sphère de 40 années-lumière de rayon autour du Soleil

18. <https://news.berkeley.edu/2013/11/04/astronomers-answer-key-question-how-common-are-habitable-planets/>

3) MAIS OÙ SONT-ILS ?

Alors qu'il débattait de la possibilité d'une vie ailleurs, jugeant paradoxal que l'on n'ait pas encore croisé d'extraterrestres du fait de la densité et de l'âge de l'Univers, le physicien et Prix Nobel Enrico Fermi s'était exclamé en 1950 « Mais où sont-ils ? ». Cette question connue sous le nom du « paradoxe de Fermi », a été traduite en équation dans les années 1960 par Franck Drake. Elle interroge la probabilité d'existence d'une vie dont le niveau de développement technologique la rendrait capable de communiquer avec la Terre, voire de se déplacer dans l'univers.

Elle conduit à formuler quatre hypothèses pour expliquer l'absence de contact avec une telle civilisation :

- 1 - Les humains sont la seule forme de civilisation intelligente dans l'Univers¹⁹ ;
- 2 - Les humains ne sont pas seuls mais les civilisations extraterrestres sont trop éloignées pour avoir été détectées ; les notions de distance ou de fenêtres de temporalité expliquées ci-dessus nous montre la faible chance d'une telle détection ;
- 3 - Les humains ne sont pas seuls mais les civilisations extra-

terrestres ne souhaitent pas entrer en communication avec nous ; les raisons imaginables sont variées, mais peuvent aller du Zoo galactique, à la protection réciproque des civilisations ;

- 4 - La probabilité qu'une civilisation parvienne à explorer la vie ailleurs dans l'univers avant d'avoir épuisé les ressources naturelles disponibles est infinitésimale. L'instabilité énergétique causée par la vie serait dans cette hypothèse l'explication la plus probable à l'absence de preuve d'une vie extraterrestre.

Cette dernière hypothèse nous pose une question cruciale : de quel délai disposons-nous avant d'avoir nous-même épuisé toutes nos ressources ? L'échelle exponentielle de Kardashev, datant de 1964, théorise la quantité d'énergie totale mobilisable par une civilisation. Elle comprend trois niveaux : (I) l'énergie de toute une planète, (II) celle d'un système solaire (par exemple par une « sphère de Dyson » : sphère artificielle entourant totalement le soleil), (III) la galaxie entière. Or une croissance énergétique continue de 3% annuels résulterait en la consommation de l'énergie de TOUT l'Univers en seulement 5 000 ans²⁰.

Avec seulement 1/1000ème de l'énergie totale de la planète mobilisée, l'usage de l'énergie principalement d'origine fossile conduit l'humanité à détruire les conditions de notre survie sur notre planète. Serons-nous capables de rester une civilisation technologique avancée sans épuiser nos ressources ni dégrader notre berceau, pour perdurer, et éventuellement être en mesure d'explorer l'univers ? C'est aussi la question de notre propre survie qu'apporte l'étude de la vie dans l'univers.

III - DÉFIS POUR LA RECHERCHE

1) ENJEUX TECHNOLOGIQUES

Les enjeux technologiques sont nombreux et cruciaux. Le premier d'entre eux concerne notre capacité à sonder notre environnement spatial. Il repose sur le développement des télescopes spatiaux de futures générations²¹ et l'étude des exoplanètes telle la mission Kepler. Il dépend aussi de notre capacité à détecter et comprendre les signaux radio qui nous parviennent. Certains types de recherches ont échoué, comme la recherche de signaux laser ou de sphères de Dyson. L'intelligence artificielle semble prometteuse pour interpréter les données issues du sondage de l'espace, comme le développement d'algorithmes pour le traitement des signaux radio.

Concernant notre capacité de projection dans l'espace, il existe aujourd'hui des limites techniques très concrètes pour le prélèvement et l'analyse des sédiments et des roches de l'environnement spatial et potentiellement des exoplanètes. Il faut donc envisager une exploration par des robots dont la durabilité suppose des capacités d'adaptation caractéristiques de la vie.

Savoir où chercher pertinemment les traces de vie demande une réflexion plus approfondie²². Il faut pouvoir détecter des biosignatures, pas forcément d'origine photosynthétiques, et parvenir à identifier et caractériser des traces de vie sans échantillon, notamment pour les exoplanètes les plus éloignées²³.

19. Dissolving the Fermi Paradox Anders Sandberg, Eric Drexler and Toby Ord Future of Humanity Institute, Oxford University June 8, 2018 ; <https://arxiv.org/pdf/1806.02404.pdf>

20. <https://lejournal.cnrs.fr/billets/le-paradoxe-de-fermi-et-les-extraterrestres-invisibles>

21. Life probably exists beyond Earth. So how do we find it?, mars 2019, Jamie Shreeve (journaliste scientifique), article du National geographic <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2019/03/extraterrestrial-life-probably-exists-how-do-we-search-for-aliens/>

22. Conditions for life may hinge on how fast the universe is expanding, Ilima Loomis, 2016, Science <https://www.sciencemag.org/news/2016/02/conditions-life-may-hinge-how-fast-universe-expanding>

23. Using exoplanets to test the universality of biology, Charles S. Cockell, Nature Astronomy volume 2, pages 758-759(2018) <https://www-nature-com.proxy.insermbiblio.inist.fr/articles/s41550-018-0586-x>

2) ENJEUX EN RECHERCHE FONDAMENTALE

Alors qu'historiquement la question a longtemps été posée en opposant le vivant au minéral, l'étude de l'apparition de la vie montre que c'est en coévolution avec son environnement que le vivant émerge, il le façonne autant qu'il s'y adapte. Cela interroge sur les conditions à réunir pour qu'un système constitue un biotope, c'est-à-dire un environnement qui permette l'interaction de composants réunissant les qualités du vivant.

Or, la biologie reste pour l'essentiel centrée sur l'étude de la vie terrestre connue, et encore selon une hiérarchie très anthropocentrée. Par exemple les virus, les bactéries, voire les invertébrés, sont les moins étudiés, alors qu'ils constituent l'essentiel des espèces et de la biomasse terrestres. Peu de biologistes s'intéressent à la question de l'apparition de la vie, de sa complexification et de son développement, voire des forces qui pourraient la gouverner. Ces thématiques sont les parents pauvres de la biologie, trop fondamentales et peu valorisables.

Pourtant ces recherches, au-delà de leur intérêt fondamental, sont aussi essentielles à la définition de signatures de la vie sur d'autres planètes. Il s'agit de questionner la nature centrale des CHNOPS²⁴, d'explorer la possibilité de macromolécules informationnelles complexes différentes de l'ADN, de l'ARN ou des protéines, etc. Comme nous l'a exposé Patrick Forterre, il s'agit aussi de considérer le *Dogme Central* : ADN->ARN->protéines. Il est en effet admis que la vie a commencé avec des briques élémentaires constituées exclusivement d'ARN. Aujourd'hui, les protéines sont traduites depuis l'ARN par une machine cellulaire, le ribosome. Mais comment a pu apparaître le **ribosome** alors qu'il est lui-même constitué de protéines et d'ARN ? Ce type de paradoxe, apparenté à celui de l'œuf et de la poule, reste profondément irrésolu, bien qu'il soit central pour comprendre l'évolution de la vie telle nous la constatons.

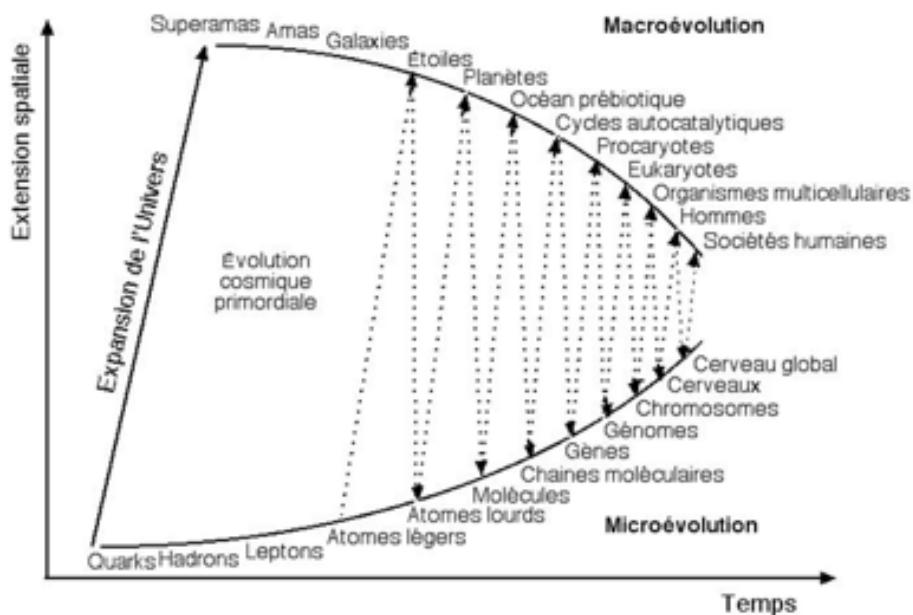
Soulignons également ici l'importance de l'étude des organismes

extrêmophiles, capables de résister à des températures proches du zéro absolu, à une dessiccation quasi complète, voire survivre aux conditions de l'espace intersidéral : la compréhension de la vie en milieu extrêmes est cruciale pour comprendre son apparition dans l'Univers et nous permettre de l'identifier ailleurs. Ils peuvent utiliser aussi des sources d'énergies chimiques, qui produisent des bio-signatures très différentes de celles recherchées actuellement, basées sur la photosynthèse. Au-delà, quelles sont les conditions qui permettent la vie, peut-on les envisager ailleurs, autrement, par exemple : à la frontière manteau-noyau terrestre ou manteau-croûte terrestre, au sein ou à la surface des étoiles, ou au contraire à l'échelle interstellaire, par l'interaction entre galaxies, dans des cycles d'interactions plus rapides ou plus longs que la vie terrestre, etc.

Une autre façon d'aborder la question de la vie dans l'Univers serait de détourner la question ainsi : l'Univers est-il vivant ? En effet, les chercheurs tentent de comprendre les propriétés de l'univers à l'origine de la vie mais celles-ci semblent converger avec les propriétés fondamentales (thermodynamiques) qui structurent l'univers lui-même ! C'est pourquoi, certains chercheurs estiment que l'Univers suivrait aussi un processus évolutionniste de complexification croissante, caractéristique de la matière vivante²⁵. Y'a-t-il une « nécessité » ou une « loi de la nature » qui verrait de manière tendancielle émerger la vie dans tout milieu réunissant ces conditions ? Des recherches dans ce sens renseigneraient sur la probabilité de l'existence de la vie ailleurs que sur Terre.

D'autres auteurs notent que la complexification croissante des structures de l'Univers à une échelle de plus en plus réduite (Big Bang, Galaxies, Soleil, planète, civilisations, organismes, cellules), fait intervenir des briques élémentaires de plus en plus complexes, porteuses d'information, qui participent de cette évolution (particules, atomes, molécules, gènes, cerveaux, écriture). Dans le

même temps, la dissipation d'énergie par unité de masse est exponentiellement croissante : un corps humain (sans parler de la société moderne) dissipe énormément plus d'énergie par kilo que par exemple le soleil. Ici encore, la question de l'énergie mobilisée apparaît centrale.



Légende : L'auto-organisation de l'univers d'après Eric Jantsch (1980) ; Source : « *Thermodynamique de l'évolution : Un essai de thermo-bio-sociologie* » - François Roddier 2012

<http://www.francois-roddier.fr/?paged=4>

24. Les six éléments chimiques principaux qui constituent les êtres vivants : le carbone C, l'hydrogène H, l'azote N, l'oxygène O, le phosphore P et le soufre S

25. « *Thermodynamique de l'évolution : Un essai de thermo-bio-sociologie* », François Roddier 2012 - <http://www.francois-roddier.fr/?paged=4>

3) ENJEUX MÉTHODOLOGIQUES

La dimension transdisciplinaire nous apparaît comme un élément clé des recherches futures. Comprendre le vivant, son fondement, son évolution passée et future, se préparer à l'altérité radicale, pousse à mettre en résonance toutes les disciplines pour en cerner la complexité. L'humanité doit être capable de réaliser un décentrage afin d'anticiper et concevoir d'autres réalités, qui ne lui seront accessibles qu'en étayant les sciences les unes avec les autres, en s'appropriant de nouveaux modes de pensée et en se libérant de ses biais cognitifs et épistémologiques. Une approche transdisciplinaire intégrant notamment les sciences humaines et sociales en plus de la biologie, la physique et des sciences de

l'information est ici d'autant plus critique que ces recherches se font à la frontière de ce que l'humanité peut appréhender. Notre évolution intellectuelle nous permet de commencer à comprendre notre univers et les forces à l'œuvre dans notre propre existence. Pénétrer les phénomènes qui pourraient supporter une vie extraterrestre est aussi l'occasion de développer de nouveaux outils pour rendre intelligible la complexité de nombreux autres processus tels que nos sociétés modernes, l'écosystème terrestre, etc. Abandonner notre formatage anthropocentrique nous aiderait à franchir une nouvelle étape.

Les questions abordées ici sont particulièrement difficiles et complexes, ce sont celles qu'on « laisse pour plus tard ». Une recherche d'envergure dans ce domaine nécessite donc des incitations fortes pour contrer les procédures de financement de la science, qui privilégient les travaux plus prédictibles, plus disciplinaires et plus valorisables.

IV - UNE QUÊTE EN DÉCALAGE AVEC NOS RÉALITÉS

1) LES QUESTIONS ÉCONOMIQUES ET ÉNERGÉTIQUES

La quête de la vie dans l'univers s'appuie sur des instruments et des projets terrestres et spatiaux. Si les premiers correspondent déjà à des budgets significatifs²⁶, ils ne sont rien en comparaison de ceux versés pour la conquête spatiale. Celle-ci demande de mobiliser des ressources financières considérables²⁷ quand bien même les orientations actuelles visent d'abord à réduire les coûts. Les nouveaux acteurs tels SpaceX ou Rocket Lab²⁸, avec les lanceurs récupérables²⁹, les nouveaux matériaux et les améliorations techniques vont potentiellement faire baisser les coûts de mise en orbite dans les prochaines décennies. Quand bien même, l'accès d'un plus grand nombre d'acteurs à l'Espace pourrait bien conduire à des dépenses cumulées tout aussi importantes. Une étude prospective du CNES fournit une estimation détaillée des coûts d'exploration de l'espace qui pourrait s'élever jusqu'à 2 268 milliards d'euros³⁰.

Quelles que soient les voies considérées (détection spectro-

scopique indirecte, détection d'un signal artificiel, analyse d'un échantillon « in situ », voyage interstellaire...), les technologies entraînent surtout un coût énergétique considérable. Pour s'extraitre de la gravité terrestre, les technologies de motorisations des lanceurs comme Ariane 5 font appel au couple carburant Hydrogène/Oxygène sous forme liquide. Les acteurs du secteur orientent leurs recherches sur le couple Méthane/Oxygène, le méthane présentant l'avantage de moindre encombrement car plus dense que l'hydrogène et plus simple à mettre en œuvre en cryogénie³¹. Le rendement est cependant voisin et il n'est pas clair que la simplification des motorisations sera compensatrice des importantes émissions de CO₂ liées à la combustion du méthane³². Enfin, à titre d'illustration, Roland Lehoucq nous a rappelé que l'énergie nécessaire à un vol habité vers Proxima du Centaure nécessite l'énergie cumulée de l'humanité pendant trois cents ans...

26. Le futur télescope européen E-ELT correspond à un investissement de l'ordre du G€. https://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9lescope_g%C3%A9ant_europ%C3%A9en

27. D'après Ariane Group, le coût de mise en orbite est de l'ordre de 20 k€/kg de charge utile

28. Feraud Jean-Christophe. "Guerre des fusées : Ariane satellisée par SpaceX". Libération 24 janvier 2018

29. Cabriol Michel, "La bombe de Le Maire : l'Europe a-t-elle fait le bon choix avec Ariane 6 ?", La Tribune, 21/11/2017

30. Projet E2I "Énergie Exploitation des Ressources et industrialisation dans l'espace 2040-2060" CNES, gerpa 2019

31. Techniques de l'ingénieur "Propulsion Chimique : méthane à tous les étages" 30 mai 2018 par Sophie Hogin.

32. La solution actuelle n'en est pas exempte puisque l'hydrogène est, aujourd'hui, principalement obtenu par un procédé de reformage du méthane. Chaque lancement représente environ 175 t de carburant pour 5 t de charge utile. La combustion du méthane produit du CO₂ dans des quantités équivalentes.

2) UN ENJEU DE SUPRÉMATIE PLUS QUE DE SCIENCE ?

Aujourd'hui la science spatiale apparaît comme une vitrine politique et une façon de démontrer son savoir-faire et sa puissance. Six États (États-Unis, Russie, Chine, Union Européenne, Inde, Japon) maîtrisent la technologie des lanceurs, des satellites et possèdent des astronautes. Plus de 70 pays dans le monde disposent d'une agence spatiale. Le développement de nouveaux outils comme les microsatellites ou nano-satellites dont la construction peut être envisagée par des universités permet à de nouveaux pays de tester les technologies spatiales et d'exister sur la scène internationale³³.

Les technologies spatiales ont en réalité très souvent un caractère dual : la majorité des agences spatiales nationales agissent dans les domaines scientifiques et de souveraineté stratégique (télécommunications, positionnement / GPS, observation terrestre). Dans le domaine de la défense plusieurs événements récents sont à mettre en avant : la création en 2019 de l'United State Space Force, la capacité démontrée par les USA, la Russie, la Chine et l'Inde de détruire un satellite en vol ou encore la création en France en 2019 d'un commandement de l'Espace et l'annonce

d'un budget renforcé³⁴. La recherche spatiale est donc aussi un moteur de progrès technologique.

Toutefois, la communication vers le grand public se fait essentiellement sur des aspects scientifiques, voire philosophiques : on met en avant la découverte d'une éventuelle vie extraterrestre ou de nouvelles planètes, comme dans le projet de construction d'un radiotélescope géant sur la Lune³⁵. Les technologies qui devront être mises en œuvre si un tel projet se réalise serviront en réalité aussi à des fins militaires ou d'exploitation économique, d'autant plus au regard des coûts associés. La dimension d'adhésion de la population à la science spatiale apparaît alors comme un élément fédérateur³⁶ : les questions philosophiques et existentielles qu'explorent certaines de ces missions spatiales, concourent à une cohésion et une fierté nationale. Mais cet imaginaire semble être un leurre pour dissimuler d'autres objectifs, sans doute moins susceptibles de générer cette adhésion nationale. D'aucuns appellent la conquête spatiale moderne la « *sémiotique de l'arrogance [et l'indication de] l'incapacité de l'occident à déconstruire ses propres valeurs* »³⁷

Une des hypothèses en réponse au paradoxe de Fermi est une tendance conduisant à l'épuisement des ressources avant même l'établissement d'un contact potentiel avec une vie extra-terrestre : elle nous interroge surtout sur la fragilité d'habiter une planète aux ressources limitées et nous appelle à renforcer la recherche pour développer des solutions afin de préserver la vie sur Terre des dangers qui guettent notamment l'humanité, à l'instar du réchauffement climatique.

“Avec les fusées, l'Univers ne nous est pas devenu accessible. Rappelons que la distance entre la Station Spatiale Internationale et la Terre est comparable à celle qui sépare la peau d'une orange de la chair du fruit [et] la distance entre la Terre et la Lune, elle n'est, par rapport à notre Galaxie, que l'équivalent de celle d'un dixième de l'épaisseur d'un cheveu par rapport à la Terre...”³⁷. Et que les terres cultivables seraient à la Terre ce qu'un film plastique étirable serait autour de l'ISS. Ces comparaisons pleines de bon sens devraient éclairer nos choix politiques judicieusement.

33. A titre d'exemple l'Université Technologique Nanyang de Singapour a envoyé en 2019 son 9ème nanosatellite (masse inférieure à 10 kg) et projette dans les 5 ans l'envoi d'un microsattellite (<100 kg) à destination de la lune. https://www.eurekalert.org/pub_releases/2019-01/ntu-ns9012219.php

34. <https://www.defense.gouv.fr/actualites/articles/florence-parly-devoile-la-strategie-spatiale-francaise-de-defense>

35. <https://www.cnews.fr/monde/2020-04-12/la-vie-extraterrestre-decouverte-grace-un-radiotelescope-geant-sur-la-lune-945704>

36. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/mazzucato_report_2018.pdf

37. Aurélien Barraud : <https://diacritik.com/2019/12/02/la-conquete-spatiale-comme-faillite-symbolique/>

V – NOS RECOMMANDATIONS

1) DES CITOYENS INFORMÉS ET PARTICIPATIFS

L'intérêt du grand public pour la question de la Vie dans l'Univers est réel comme le prouvent les nombreux livres, documents, ou émissions dans ce domaine. Ce sujet est donc un vecteur de choix pour partager avec le public des connaissances dans de multiples disciplines scientifiques et, plus particulièrement, d'intégrer les notions de dimensions de l'univers et d'espace-temps. Il s'agit en effet de développer également l'esprit critique et lutter contre les *fake-news* et les fantasmes que peuvent soulever le sujet. Pour l'ensemble de ces raisons, **nous recommandons que ce sujet fasse l'objet d'une thématique annuelle d'un événement de culture scientifique d'envergure national tels que la Fête de**

2) PROMOUVOIR L'ESPRIT CRITIQUE À TOUS LES NIVEAUX

Ce sujet est aussi une occasion de faire progresser la maturité du débat démocratique sur les sciences. En effet, telle que l'a montrée la récente crise de la Covid-19, on atteint rapidement les limites d'une réaction à chaud pour répondre à l'immédiateté de l'actualité. Il est donc nécessaire de sensibiliser à la démarche scientifique et au temps long de la recherche, tant le grand public, les médias que les décideurs.

Aussi, nous recommandons que **l'enseignement de la zététique soit inclus dans les programmes des étudiants, des lycéens, voire adapté aux plus jeunes** pour développer le sens critique, le débat d'idées et la relation de confiance avec la science. Un programme, existe déjà à l'Université Grenoble-Alpes, favorisant le débat scientifique et la co-réflexion³⁸. Il pourra être formalisé en ce sens et essaimer vers d'autres lieux d'enseignement. Dans cette optique d'augmenter la réflexion critique et scientifique de tout un chacun, nous reprenons la proposition de youtubeurs³⁹, qui après avoir produit un canular géant (des crop-circles)

3) ENCOURAGER LA RECHERCHE FONDAMENTALE TRANSDISCIPLINAIRE

Nous avons fait le constat d'une insuffisance de travaux scientifiques sur le sujet de "la vie dans l'univers", ce qui favorise la circulation d'approches fantaisistes. Il nous semble important de noter ici que souvent, les questions les plus difficiles, car interdisciplinaires et complexes, sans retombée immédiate et à valorisation peu prévisible, nécessitent des incitations afin d'éviter qu'elles soient « laissées pour plus tard ».

Dans une première étape, **nous recommandons l'organisation**

4) UNE HUMANITÉ PRÉPARÉE EN VAUT DEUX

La question centrale de ce rapport, celle de la vie dans l'Univers, s'inscrit à la jonction de nombreuses disciplines scientifiques, aux limites des connaissances actuelles. Aussi, **nous encourageons l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifique et**

la Science ou la Nuit des Étoiles, ou d'envergure européenne, telle la Nuit européenne des chercheurs.

Au-delà du partage des connaissances, et pour placer les citoyens dans une démarche active, **nous proposons que des projets de science participative avec les citoyens soient encouragés pour, par exemple, rassembler des observations de PAN ou d'exoplanètes.** La question de la vie dans l'Univers se prête magnifiquement à l'inclusion des citoyens à la science avec un encadrement par des chercheurs qui permettra de diffuser la démarche scientifique au grand public.

ont appelé à **faire du 1er avril la Fête de l'Esprit critique, comme une journée nationale de la zététique.**

Cette démarche s'adressera également aux journalistes et aux décideurs. **La formation initiale des journalistes et des élites dirigeantes** doit favoriser leur sensibilisation à la démarche scientifique et l'appréhension des systèmes complexes et de la transdisciplinarité. Des formations ponctuelles peuvent également être proposées et organisées à destination des décideurs. Une plus grande ouverture de la fonction publique aux scientifiques et au monde de la recherche permettrait d'éclairer les processus de décision.

Afin d'éviter une situation de crise difficilement maîtrisable, il faut s'assurer que la décision politique s'appuie sur le savoir scientifique. En temps de crise, la décision politique se doit d'être rapide et réactive, alors que la science reste incertaine et demande du temps. La compréhension réciproque des deux mondes optimiserait les décisions à prendre dans l'urgence.

d'un colloque scientifique fondateur au niveau européen qui aurait pour objectif de définir un plan d'action transdisciplinaire. Ces Assises pourraient être l'occasion de l'annonce de la **création d'un Groupement de recherche international (GDRI)** au CNRS, ou une action Cooperation in science and technology (COST), son équivalent européen, qui assurerait la promotion de recherches interdisciplinaires sur la question de la Vie.

technique (OPECST) à mandater le Comité national de la recherche scientifique (CoNRS) pour l'élaboration d'une note de prospective sur le sujet.

Cette prospective transdisciplinaire veillerait à associer aussi les

38. <https://citizencampus.univ-grenoble-alpes.fr/>, une initiative inspirée de l'IHEST, lancée par une auditrice, en partenariat avec l'IHEST

39. Vidéo de promotion de la Fête de l'esprit critique le 1er avril : <https://www.youtube.com/watch?v=jv1wuvpz1eU>

champs des sciences politiques, des sciences de l'information et de la communication, des sciences de la linguistique, des sciences du juridiques mais aussi des auteurs de science-fiction, et pourrait proposer une note blanche visant à définir les bases d'une

politique de l'humanité vis-à-vis de « l'extra-terrestre » comme identifier la structure contact pour une éventuelle rencontre ainsi que le protocole à suivre ou définir droits et devoirs de chacun.

Un des moteurs de l'humanité, l'une de ses raisons d'être, réside dans cette aspiration profonde de se situer dans le cosmos, avec ses dimensions philosophiques et spirituelles, que l'on peine encore aujourd'hui à cerner. Il s'agit de sortir de notre vision égocentrée et finaliste, pour entreprendre une approche plus collective qui admette enfin la limite de nos ressources, notre incapacité à délocaliser l'humanité vers une autre planète et, reconnaisse l'importance de la sauvegarde de la vie sur la Terre⁴⁰. Comprendre les fondements de la vie, c'est, pour l'humanité, la possibilité de trouver de nouveaux moyens de s'adapter à l'univers et, en premier lieu, à notre environnement proche, à notre futur proche. Cette question fondamentale porte donc un considérable potentiel de progrès scientifique et humain.

40. https://www.liberation.fr/debats/2020/06/13/donner-un-nouveau-sens-a-la-recherche-scientifique-face-aux-defis-de-l-anthropocene_1790877



Pour en savoir plus
www.ihest.fr

Institut des hautes études pour la science et la technologie
Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
1 rue Descartes, 75231 Paris cedex 05, France

L'IHEST est un établissement public à caractère administratif, sous la tutelle des ministères en charge de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche, prestataire de formation enregistré sous le n° 11 75 42988 75. cet enregistrement ne vaut pas agrément de l'État. Ses formations sont référencées dans Datadock.