



Quel avenir pour l'humanité?

Par Jacques Fric le 26-01-2016, (voir références à la fin)

Rappel sur « l'histoire » de l'univers

Dans la conférence précédente sur « L'univers et l'homme » nous avons décrit, dans le modèle chronologique et conformément au modèle standard de la cosmologie, comment à partir de champs, s'étaient formés tous les constituants, objets et structures de l'univers que nous connaissons aujourd'hui et comment cela avait pu permettre l'émergence d'une vie « intelligente ».

Nous repartons de ce point pour étudier ce qu'il peut en advenir.



▶ L'avenir commence au présent...

La préservation de la vie



Le péril humain

A court terme, notre destin est entre nos mains

- ▶ Nous avons montré comment, et à travers quel scénario invraisemblable, l'univers a pu accoucher de l'humanité.
- ▶ Sommes-nous un cas exceptionnel voire unique ou, simplement, le croyons nous, du fait de notre isolement lié aux distances considérables qui séparent les étoiles et les galaxies?
- ▶ Quoi qu'il en soit, notre destin, à court terme, est, au moins partiellement, entre nos mains.
- ▶ Pour prendre conscience de la valeur de ce que l'univers nous a apporté, rien de tel que prendre un peu de recul.

La Terre, notre vaisseau spatial dans un espace hostile





- ▶ Les missions spatiales habitées nous ont montré que l'espace était un milieu très inhospitalier du fait qu'il ne contient pas les éléments indispensables à notre vie et qu'il faut les emporter.
- ▶ Il est de plus hostile, car on y est exposé aux météorites et à des rayonnements nocifs d'une violence inouïe.
- ▶ La Terre avec toutes les ressources et protections qu'elle nous offre (qui ont permis le développement de vie) fonçant à 1 million de km/h dans l'univers est notre vaisseau spatial, sachons le maintenir en état.



De toute façon, le changement climatique, lié à l'activité humaine, modifiera profondément la surface de la Terre.

Des bouleversements climatiques se sont produits dans le passé et, si la Terre a bien résisté, ses « hôtes » ont été malmenés.

Certains ont disparus d'autres ont émergés. La vie a montré une grande capacité d'adaptation.

Nous ne serions sans doute pas là sans quelques incidents majeurs dans cette histoire de la Terre.

Comment l'humanité va-t-elle s'adapter sous ce stress?



Les individus les mieux armés pour ce changement vont sans doute être privilégiés, mais il y a aussi d'autres moyens techniques de s'adapter, et là ce seront les plus fortunés qui seront privilégiés.

Serons-nous supplantés par des robots que nous aurons construits qui de plus en plus intègrent des fonctions humaines, comme les auteurs de science-fiction se délectent à le décrire.

Utiliserons-nous des manipulations génétiques pour nous rendre plus résistants à ces nouvelles conditions, c'est possible, mais ce n'est pas sans risques car, alors que la nature prend son temps et ne retient que les solutions viables, une manipulation peut se révéler catastrophique!

Le progrès peut-il donner un espoir?

Une des caractéristiques de la vie intelligente, en particulier organisée en société, est qu'elle n'est pas totalement passive vis-à-vis de son environnement. Elle peut s'adapter à certains de ses changements et plus encore elle peut modifier (de manière limitée) son environnement pour l'adapter à ses besoins (ce qui est d'ailleurs sujet à débat).

Il est difficile de prédire l'avenir, il suffit de lire les prédictions faites il y a 100 ans pour s'en convaincre.

Mais une chose est certaine la consommation d'énergie augmente avec le degré d'évolution d'une civilisation.

Ainsi on distingue 4 niveaux de 0 à 3

Quid du progrès technologique dans le devenir de l'humanité?

0: On n'est pas capable de maîtriser les phénomènes de sa planète.

1: On est capable de maîtriser les phénomènes de sa planète, ceci requiert une énergie considérable qu'il faut puiser dans son étoile.

2: On maîtrise les phénomènes de son système planétaire, on peut y voyager aisément. Il faut puiser l'énergie dans un (gros) quasar!

3: On maîtrise les phénomènes de sa galaxie: Il faut puiser l'énergie de l'univers. La civilisation serait invulnérable! Est-ce possible et à quel horizon de temps serait-ce atteignable. D'ici là.....



Quid du progrès technologique dans le devenir de l'humanité?

Nous sommes au niveau 0

Bien que nous ne soyons pas capables de maîtriser les phénomènes de notre planète, nous en épuisons les ressources à un rythme de plus en plus rapide et nous en modifions les caractéristiques :

Pollution, réchauffement



Niveau 1: On est capable de maîtriser les phénomènes de sa planète, ceci requiert une énergie considérable qu'il faut puiser dans son étoile (le Soleil), dont nous captions moins de un milliardième de l'énergie (environ 10^{17} W).

Pour en capter davantage (jusqu'à $3 \cdot 10^{26}$ W), il faut un dispositif qui « entoure » plus ou moins totalement l'étoile. Différents scénarios ont été proposés:

Ci-après un dessin artistique de ce que pourrait être une « sphère de Dyson ».

A défaut de savoir en construire une, on cherche si des civilisations extraterrestres en possèderaient.

Poussières stellaires ou sphère de Dyson ? Le mystère s'épaissit autour de l'étoile KIC 8462852



Située à 1 500 années-lumière de la Terre dans la constellation du Cygne, l'étoile KIC 8462852 fascine autant qu'elle intrigue depuis sa découverte en octobre dernier. De nouvelles conclusions concernant cette étoile viennent épaissir un peu plus le mystère qui l'entoure.

En octobre dernier, les radiotélescopes du projet Search For Extraterrestrial Intelligence (SETI) avaient détecté l'étoile baptisée KIC 8462852, située à 1 500 années-lumière de la Terre, dans la constellation du Cygne. Une étoile qui intriguait déjà, de par ses variations de luminosité. « *Nous n'avons jamais vu quelque chose comme cette étoile* » déclaraient à l'époque les chercheurs. Un énorme objet semblait passer devant elle de nombreuses fois, cachant ainsi 20% de la surface de cet astre à nos télescopes, laissant libre court à toutes formes d'hypothèses, comme un nuage de poussière cosmique, une nuée de comètes ou bien entendu une civilisation extra-terrestre.



Bien entendu cela pose quelques problèmes de construction: Entre autres:

La matière première d'abord. Cela nécessite une planète de la taille de Jupiter environ qu'il faudrait démanteler!

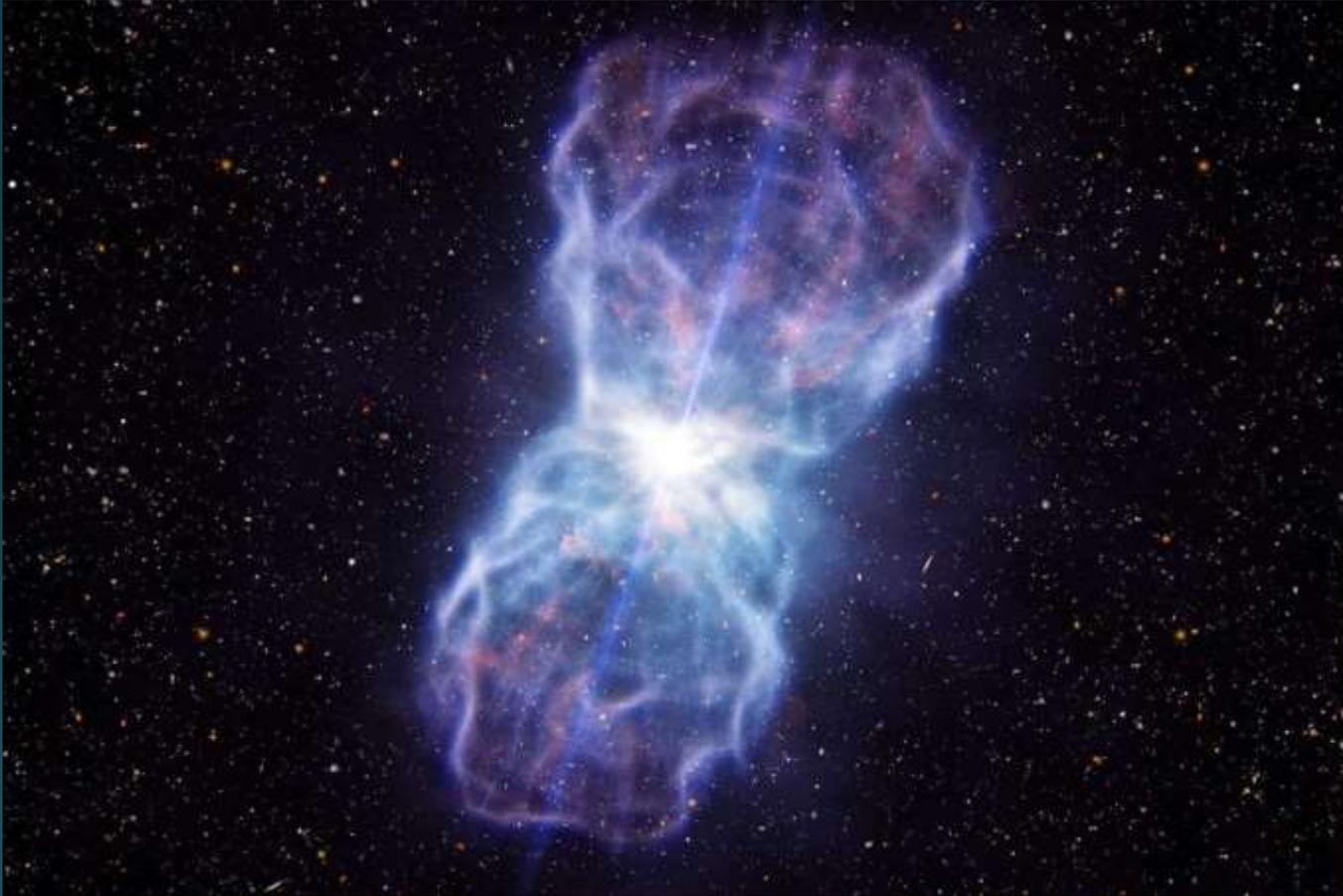
Problème de rigidité, pour lutter contre les forces gravitationnelles.
Problème de capteurs d'énergie et de transport vers la Terre.

Pour ce qui nous concerne, c'est pour l'instant de la science-fiction.
Il y a bien entendu de nombreuses variantes plus modestes.



Niveau 2: On maîtrise les phénomènes de son système planétaire, on peut y voyager aisément. Une faut puiser l'énergie dans la galaxie ou de façon plus pratique dans un quasar.

Comme nous n'en avons pas sous la main, il faut aller vers un quasar (dont le « moteur » est un trou noir) et construire une sphère de Dyson pas forcément plus grosse mais beaucoup plus solide (la masse d'un quasar est beaucoup plus grande, l'énergie considérable, ce qui fait que cela « secoue » pas mal).



Cette vue d'artiste montre la matière éjectée de la région qui entoure le trou noir supermassif du quasar SDSS J1106+1939.

Grâce au VLT de l'ESO, des astronomes ont découvert un quasar extraordinairement puissant, émettant un flux d'énergie au moins cinq fois supérieur au record du genre, ou, si l'on préfère, représentant **deux mille milliards de soleils**. La surprise est que cette puissance... atteint enfin les valeurs que prédisait la théorie.



Nous avons vu que pour les niveaux 1 et 2 c'était déjà hautement spéculatif, dans l'état de la technologie actuelle, pour le niveau 3, on ne sait pas vraiment ce qu'il faudrait faire...

Cette prospective évoquée, revenons sur Terre, à des choses plus concrètes et plus actuelles.

La fin inéluctable de l'humanité?



Nous sommes face à une situation originale. Jusqu'à présent les espèces vivantes n'avaient pas de « rétroaction » sur la nature. Elles vivaient en symbiose avec elle, ce qui régulaient les populations des individus en fonction des ressources à disposition.

Nous modifions considérablement cet équilibre, en cultivant, élevant des animaux, construisant des machines qui multiplient l'efficacité et en intervenant sur les taux naturels de mortalité. Il en résulte un accroissement important de population et d'utilisation des ressources qui a comme contrepartie une production accrue de déchets et rejets qui modifie l'équilibre qui avait contribué à notre apparition.

La fin inéluctable de l'humanité: Quelques chiffres qui donnent le vertige



Les études les plus optimistes prévoient qu'à un rythme de croissance de 2% annuel de la consommation d'énergie les ressources terrestres accumulées pendant des milliards d'années seront épuisées en moins de 100 ans, certaines à bien plus court terme.

Dès aujourd'hui notre consommation annuelle excède les ressources renouvelables de la Terre (facteur $3/2$): Nous puisons dans ses réserves.

La fin inéluctable de l'humanité?

Ceci met en péril notre société. Aurons-nous la capacité de maîtriser cela, pendant combien de temps et à quel prix?

Par ailleurs est-ce la solution la plus efficace, le progrès par évolution auquel nous nous cramponnons, ce qui se comprend puisque c'est de notre survie qu'il s'agit, n'a-t-il pas des limites?

Des mutations, facilitées par la durée de vie limitée des individus, ne sont-elles pas nécessaires pour s'adapter, comme la nature le fait, et notre obstination à durer n'est-elle pas vouée à l'échec et n'entrave-t-elle pas une solution qui serait encore plus évoluée?

La fin inéluctable de l'humanité?

Une croissance de 2% par an pendant 1000 ans nécessiterait un équivalent renouvelable de six cents millions de Terres (environ) pour satisfaire à nos besoins en ressources naturelles et énergie.

Si la démographie des 15 dernières années (~1% par an) se poursuivait pendant 1000 ans, la population serait de 21 mille milliards d'humains.

Si, cette situation n'est pas maîtrisée, des catastrophes sont inévitables (guerres, épidémies, ..) dont nous voyons les signes avant-coureurs aujourd'hui (exode des populations fuyant les zones de guerre).

Lorsqu'on évalue la « durée de vie » d'une civilisation en croissance continue on se rend compte qu'elle n'excède pas quelques milliers d'années. Les chiffres précédents permettent de comprendre pourquoi...



Bilan des ressources disponibles pour la Terre?

Ressources renouvelables: Merci au Soleil!



Bilan énergétique du Soleil

Il est le fournisseur quasi-exclusif d'énergie pour la surface de la Terre. La géothermie, l'énergie nucléaire sont marginales et non renouvelables. Cette énorme boule gazeuse est constituée principalement d'hydrogène.

La température en son centre qui ne s'élève qu'à 15 millions de degrés génère une fusion nucléaire très puissante entraînant une durée de vie de plusieurs milliards d'années ce qui permet de considérer cette source d'énergie comme constante et inépuisable (à notre échelle).

Dans ce contexte, la transformation de l'hydrogène en hélium génère tout de même $3,83 \cdot 10^{26}$ watts, soit l'équivalent de plus de 100 millions de milliards de centrales nucléaires modernes.

Bilan énergétique du Soleil



Cette énergie solaire inonde son environnement planétaire sous forme d'un rayonnement électromagnétique qui traverse l'espace à la vitesse de 300 000 km/s en s'affranchissant de tout support matériel.

La Terre, du fait de l'éloignement de son étoile (150 millions de kilomètres en moyenne) et de la surface bien modeste qu'elle lui présente, n'intercepte que 1 milliardième de cette prodigieuse énergie.

Pourtant, cette fraction infime de cette énergie est un carburant suffisant pour entretenir la dynamique de la vie et du climat de la Terre.

Le Soleil et la Terre

Globalement la terre reçoit en permanence une puissance de 170 millions de gigawatt, elle en absorbe 122 (plus de 100 millions de centrales nucléaires) et réfléchit le reste.

L'énergie totale absorbée sur une année est donc 3 850 zettajoules (10^{21} joules, ZJ) , entre autres:

- La photosynthèse capte 3 ZJ, ($\sim 0,1\%$),
- Le vent contient 2,2 ZJ, ($< 0,1\%$)
- L'ensemble des usages humains de l'énergie, 0,5 ZJ $\sim 0,01\%$,
- dont 0,06 ZJ ($\sim 0,002\%$) sous forme d'électricité.

Le péril sidéral

La fin accidentelle de l'humanité?

Dans sa rotation (période = $2,26 \cdot 10^8$ ans pour le Soleil) la galaxie entraîne le système solaire dans des régions où d'autres périls nous attendent.

Certains astrophysiciens supposent que des catastrophes passées sont liées au passage dans des régions poussiéreuses ou avec de la matière noire qui peut modifier les orbites des planètes.

Nous manquons d'information sur l'échéance et la réalité d'un tel risque.

La fin accidentelle de l'humanité?

A supposer que l'humanité ait eu la sagesse de ne pas s'autodétruire, violemment ou à petit feu, certaines menaces à un horizon non prédictible, qui peut être court, nous guettent:

Les astéroïdes

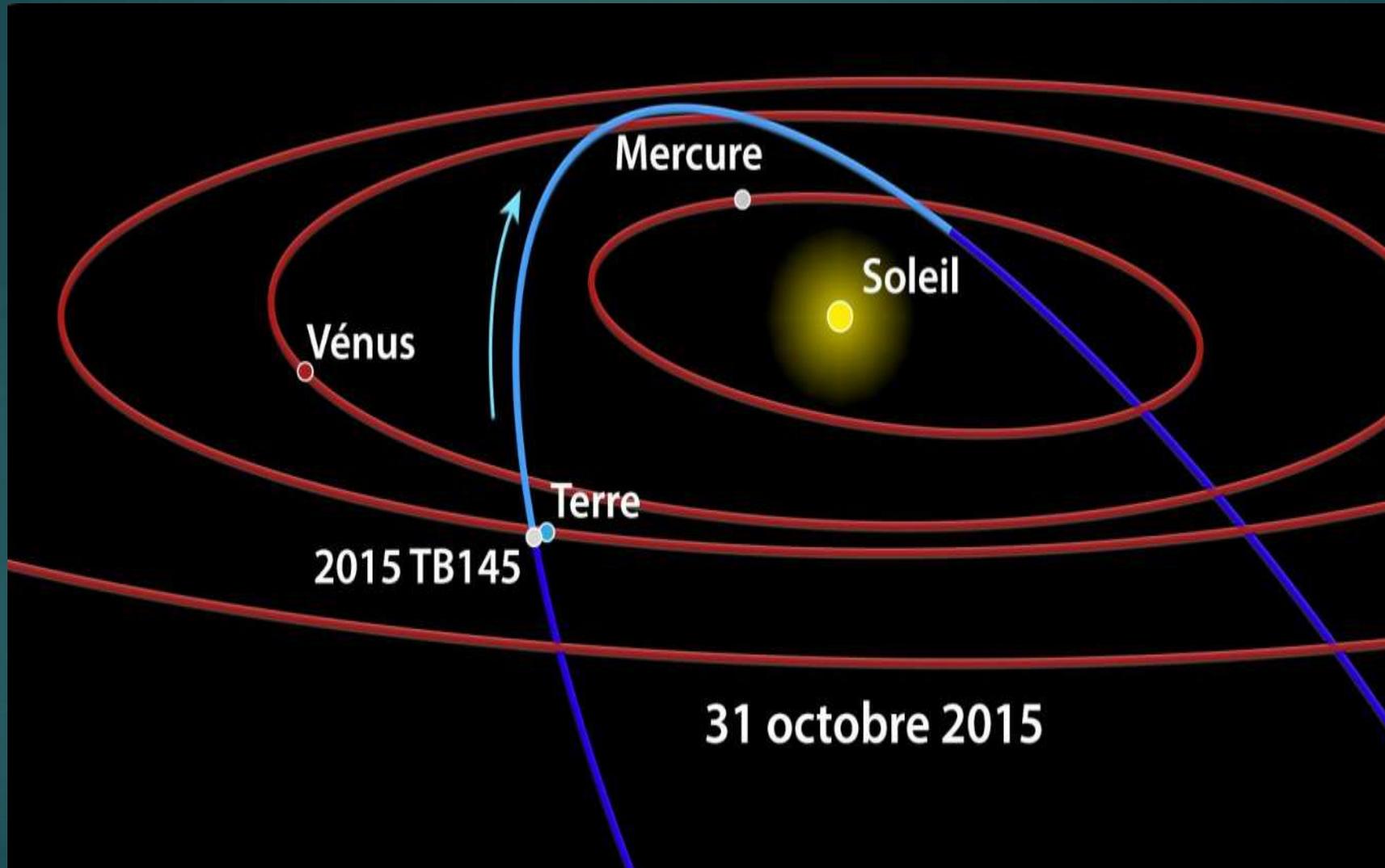
Des astéroïdes et autres bolides spatiaux peuvent gravement endommager la Terre voire y détruire toute vie organisée pour longtemps.

On suppose que ce sont eux qui ont mis fin au règne des dinosaures.

Le 31 octobre 2015 un astéroïde de 600 m de « diamètre » 2015TB145 a frôlé la Terre (à 490 000km). A noter qu'il n'a été détecté que 15 jours auparavant. Au début 2015 un autre similaire était passé à 1,3 millions de km.

Si la prochaine menace (connue) de cet ordre ne devrait pas se produire avant 2027, les scientifiques estiment que nous ne connaissons que 1% des menaces.

Les astéroïdes



Les astéroïdes

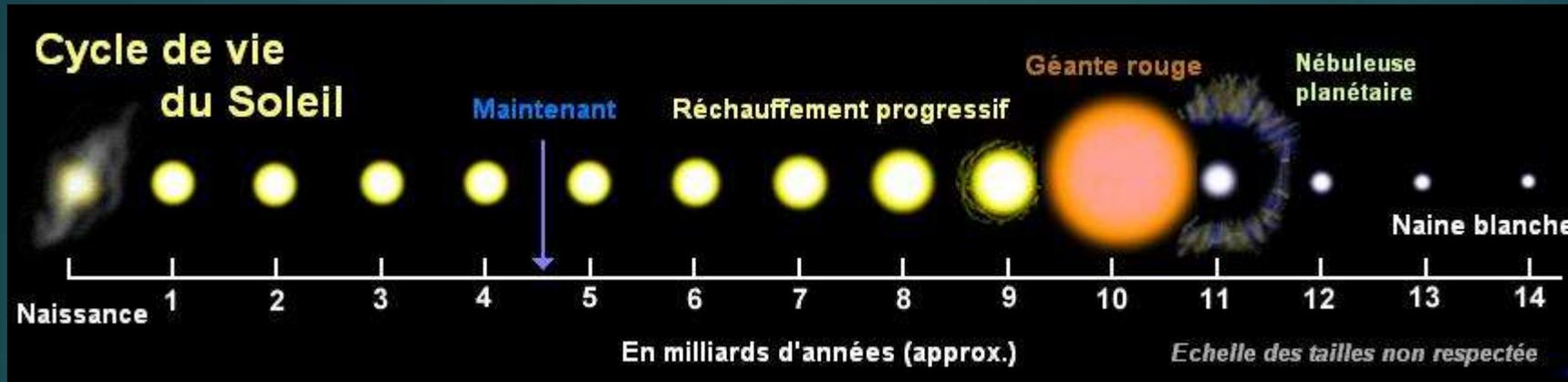
Ce corps est 27 000 fois plus massif que celui tombé en Sibérie en 2013 (18 m de diamètre) dont la puissance libérée par sa désintégration a été équivalente à 30 bombes atomiques!

Par ailleurs, leur détection ne pourrait conduire, du moins pour l'instant, qu'à des mesures de mise à l'abri des zones de contacts, mais pas des conséquences des destructions causées à la Terre qui peuvent être terribles (Fracture de la croûte terrestre, tsunamis géants, modification de l'orbite de la planète,..)

Des projets de vigie, visant à détecter ces menaces en amont et à agir pour les écarter, sont à l'étude mais leur réalisation pratique n'est pas envisageable à court terme. Pour l'instant nous sommes à la merci de telles catastrophes.

Le péril astrophysique

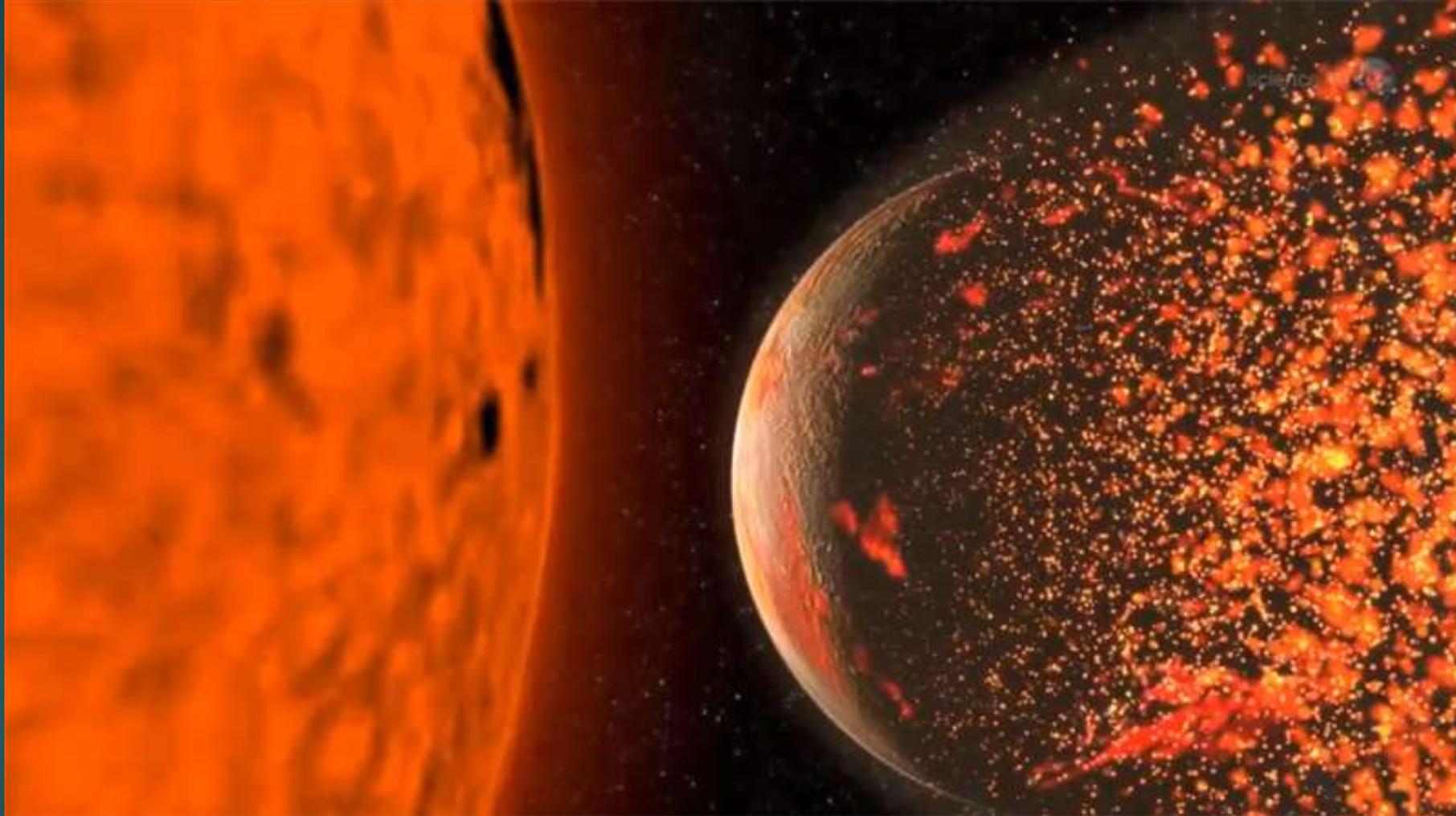
L'évolution du Soleil



Soyons (très) optimistes et supposons que nous traversions cette étape, à plus long terme sans doute des milliards d'années, d'autres problèmes vont émerger.

En effet, le Soleil dans quelques milliards d'années va nous poser de gros soucis du fait de son évolution vers une géante rouge.

Le Soleil pulvérisant la Terre?



Le sort du Soleil observé à travers une étoile en fin de vie

Un disque de poussière a été photographié directement pour la première fois autour de l'étoile en fin de vie la plus proche de nous. Ce résultat, obtenu par une équipe internationale dirigée par un astronome de l'Observatoire de Paris, au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (Observatoire de Paris / CNRS / Université Pierre et Marie Curie / Université Paris Diderot) donne un aperçu du sort réservé à notre Soleil, une fois parvenu au stade terminal de son évolution.



La fin inéluctable de l'humanité?

La Terre deviendra inhabitable et il nous faudra soit la quitter pour une autre planète de notre système solaire ou d'un autre soit changer son orbite pour la ramener dans une zone acceptable.

Trouver une autre planète que nous pourrions habiter dans le système solaire n'est pas une mince affaire qui peut conduire à d'énormes modifications de l'espèce, d'autant qu'il faudra déménager régulièrement pour tenir compte de l'évolution du Soleil.

La fin inéluctable de l'humanité?

Changer l'orbite de la Terre (notre vaisseau spatial) est une solution qui paraîtrait plus équitable car toute l'humanité serait concernée.

Par exemple si on veut amener la Terre au niveau de l'orbite de Mars, il faut lui communiquer une énergie d'environ 10^{33} joules (au moins).

La puissance du soleil étant de $3,84 \cdot 10^{26}$ watts, à supposer qu'on puisse capter toute sa puissance cela demanderait moins de deux mois. Si on accepte que ce changement d'orbite se fasse très lentement (1 million d'années) cela nécessiterait une puissance ($2,8 \cdot 10^{19}$ watts, cent fois ce que la Terre reçoit) malgré tout, plus exploitable.

Ces deux hypothèses impliquent que l'Humanité ait atteint le niveau 1 dans l'échelle donnée précédemment.

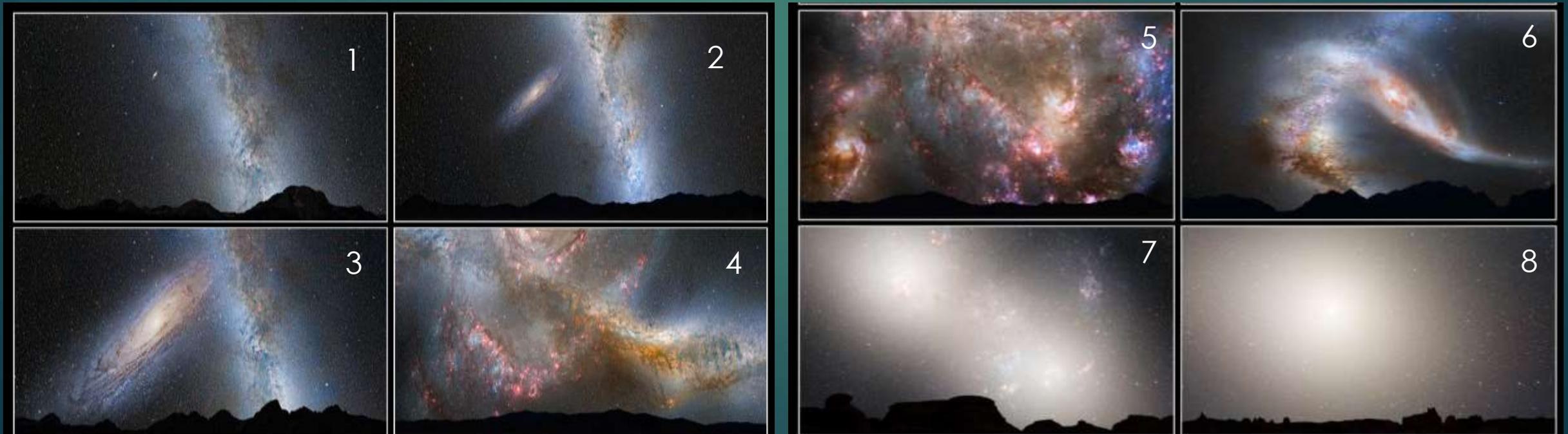
La collision avec Andromède

Dans quelques milliards d'années également, la voie lactée et la galaxie Andromède devraient entrer en « collision ».

Ce sera sans doute un spectacle éblouissant mais non sans danger!

Car même si les galaxies sont faites essentiellement de vide, par collision il ne faut pas entendre choc entre les étoiles (cela peut arriver), mais de fortes interactions gravitationnelles qui peuvent même éjecter le système solaire de la voie lactée (certains astrophysiciens estiment à 50% de chance cette possibilité).

Quand la collision se produira, les deux galaxies vont vraisemblablement fusionner en une seule galaxie plus grande, géante elliptique. De nombreux noms ont été proposés pour la galaxie résultant de la fusion, celui qui domine étant *Milkomeda* en anglais (contraction de *Milky Way* « Voie lactée » et *Andromeda* « Andromède »), francisé en Milkomède ou Lactomède.



La fin cosmologique de l'humanité

La dislocation de l'univers (big rip)

Compte-tenu des paramètres connus, la constante cosmologique devrait à terme dans un futur de 100 à 1000 milliards d'années disloquer toutes les structures de l'univers:

C'est le scénario, réputé réaliste, annoncé.

Pas de quoi s'affoler, d'une part l'échéance est lointaine et d'autre part c'est une extrapolation douteuse de ce qui est connu aujourd'hui (quid de la validité d'hypothèses simplificatrices).

D'autres paramètres peuvent se manifester et contrarier ce scénario.

Ainsi dans les premiers milliers d'années de l'univers, la constante cosmologique était indécélable alors qu'aujourd'hui on estime que c'est elle qui régit le destin de l'univers.

Le rôle de l'entropie

Une des clés de notre sort et de celui de l'univers repose sur l'entropie. La vie fait diminuer localement l'entropie, mais au prix d'une augmentation au moins égale (en général largement supérieure) de celle de son environnement.

Il faut qu'on puisse augmenter l'entropie de l'univers pour que la vie puisse exister et perdurer. Y-a-t-il des limites à cette augmentation?

Par ailleurs il faut que cette augmentation soit possible dans le voisinage de la vie car c'est par les échanges avec l'extérieur que la vie puise son énergie qui lui permet d'organiser le monde à son profit.

Le rôle de l'entropie

Ceci conduit à la notion de « Réservoir d'énergie libre » autrement dit d'état d'un système (le milieu) dont l'entropie peut augmenter fortement par interaction avec un autre système (la vie) qui lui prélève de l'énergie libre.

Jusqu'aux années 2000 on pensait que l'entropie de l'univers était sensiblement constante et contenue dans le rayonnement fossile.

Mais la découverte que les trous noirs pullulaient dans l'univers en particulier hyper massifs, au centre des galaxies, trous noirs qui possèdent une entropie énorme, remet en cause cette assertion.

Le rôle de l'entropie

De plus les trous noirs en rotation, en particulier critiques, représentent les plus grands réservoirs d'énergie libres, donc utilisables pour la vie, de l'univers, bien plus, à masse égale, que les étoiles qui nous dispensent leur lumière et chaleur.

On voit que l'univers dispose de réserves considérables (à notre échelle) d'énergie libre sous réserve qu'on sache les exploiter.

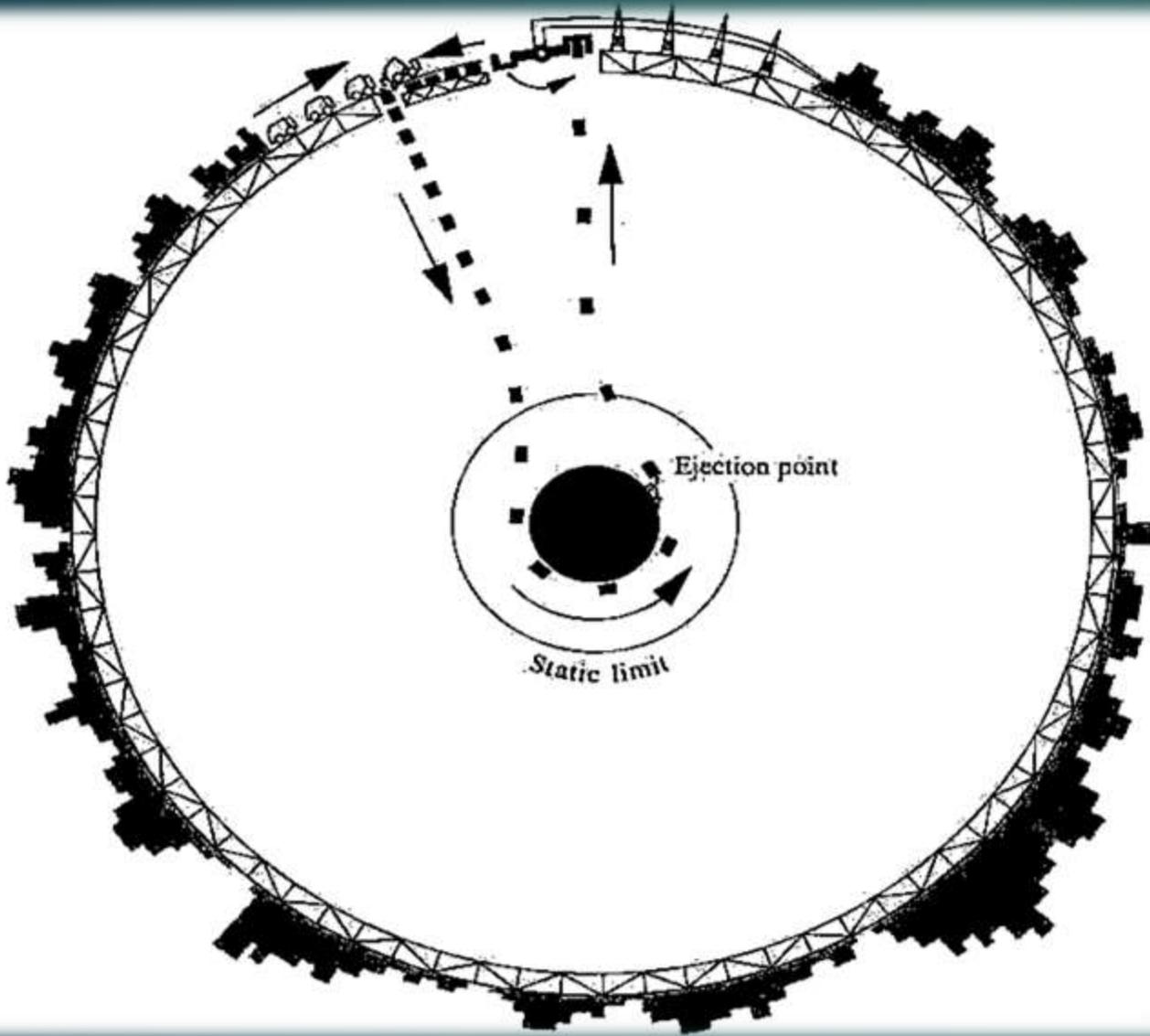
Par ailleurs d'autres découvertes ne sont pas à exclure.

Par contre, même immenses ces réserves ne sont pas infinies (à notre connaissance) aussi cela ne ferait que retarder l'échéance.



Le salut par quelques solutions futuristes

Extraction d'énergie d'un trou noir de Kerr



Construction d'un anneau de DYSON autour d'un trou noir en rotation, pour utiliser l'effet démontré par Penrose.

Figure 33.2.

An advanced civilization has constructed a rigid framework around a black hole, and has built a huge city on that framework. Each day trucks carry one million tons of garbage out of the city to the garbage dump. At the dump the garbage is shoveled into shuttle vehicles which are then, one after another, dropped toward the center of the black hole. Dragging of inertial frames whips each shuttle vehicle into a circling, inward-spiraling orbit near the horizon. When it reaches a certain "ejection point," the vehicle ejects its load of garbage into an orbit of negative energy-at-infinity, $E_{\text{garbage}} < 0$. As the garbage flies down the hole, changing the hole's total mass-energy by $\Delta M = E_{\text{garbage ejected}} < 0$, the shuttle vehicle recoils from the ejection and goes flying back out with more energy-at-infinity than it took down

$$\begin{aligned} E_{\text{vehicle out}} &= E_{\text{vehicle+garbage down}} - E_{\text{garbage ejected}} \\ &> E_{\text{vehicle+garbage down}} \end{aligned}$$

The vehicle deposits its huge kinetic energy in a giant flywheel adjacent to the garbage dump; and the flywheel turns a generator, producing electricity for the city, while the shuttle vehicle goes back for another load of garbage. The total electrical energy generated with each round trip of the shuttle vehicle is

$$\begin{aligned} (\text{Energy per trip}) &= E_{\text{vehicle out}} - (\text{rest mass of vehicle}) \\ &= (E_{\text{vehicle+garbage down}} - E_{\text{garbage ejected}}) - (\text{rest mass of vehicle}) \\ &= (\text{rest mass of vehicle} + \text{rest mass of garbage} - \Delta M) - (\text{rest mass of vehicle}) \\ &= (\text{rest mass of garbage}) + (\text{amount, } -\Delta M, \text{ by which hole's mass decreases}). \end{aligned}$$

Thus, not only can the inhabitants of the city use the black hole to convert the entire rest mass of their garbage into kinetic energy of the vehicle, and thence into electrical power, but they can also convert some of the mass of the black hole into electrical power!

Le rôle de l'entropie

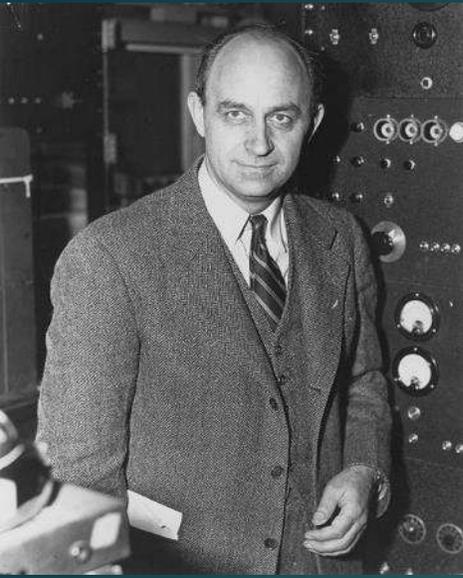
Mais cette compétition « entropique » entre la vie et l'évolution de l'univers ne peut-elle pas être retournée au bénéfice de la vie?

Autrement dit, la vie est-elle capable d'échapper cette inexorable fin?

Dans l'échelle de degré d'évolution d'une civilisation, donnée précédemment, le niveau maximum, s'il est atteignable permettrait de s'échapper vers un autre univers (à découvrir) et ainsi échapper à cette fin inexorable. Ce scénario qui paraît improbable aujourd'hui ne le sera peut-être pas dans des milliards d'années à supposer que l'humanité soit toujours là et sous quelle forme.



Quid des civilisations extra-terrestres ?



Enrico Fermi

Le paradoxe de Fermi

Ce paradoxe de Fermi traite de contacts entre civilisations avancées, dont la synergie pourrait retarder l'issue fatale. Sur la base d'un calcul statistique, probabilité de planètes « habitables », nombre de planètes, il s'étonnait de l'absence de visites extraterrestres, en tout cas de l'absence de traces de ces visites.

En fait, son calcul ne prenait pas bien en compte la durée de vie d'une civilisation « avancée », grande consommatrice d'énergie, qui, même si elle ne s'auto détruit pas, risque d'épuiser les ressources du milieu qui lui est accessible avant de pouvoir s'en extraire.

Paradoxe de Fermi

Nombre de planètes estimées dans notre galaxie:
probablement > 100 milliards.

Nombre de planètes pouvant accueillir la vie:

Nombre inconnu, mais probablement de l'ordre de millions.

Pourquoi ne sommes nous pas envahis par des
extraterrestres?

L'équation de Drake

Frank Drake(1930: Astronome américain

Evaluer les chances de communiquer avec d'éventuelles civilisations extraterrestres.

$$N = R^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

R^* est le nombre d'étoiles en formation par an dans notre galaxie.

f_p est la fraction de ces étoiles possédant des planètes.

n_e est le nombre moyen de planètes potentiellement propices à la vie.

f_l est la fraction de ces planètes où la vie apparaît effectivement.

f_i est la fraction de ces planètes où une vie intelligente apparaît.

f_c est la fraction de ces planètes capables et désireuse communiquer.

L est la durée de vie moyenne d'une civilisation, en années.

L'équation de Drake



Bonne précision sur R^* et f_p , car progression rapide de la connaissance des exoplanètes, environ 2000 découvertes aujourd'hui (09/2015) en 1989, première détection par Michel Mayor et collaborateurs, première détection directe en 2005 au VLT.

n_e : nombre moyen de planètes potentiellement propices à la vie: grosse incertitude, probablement pas trop faible.

f_l : fraction où la vie apparaît effectivement: Très grosse incertitude.

f_i : fraction où une vie intelligente apparaît: Incertitude encore plus grande.

f_c : fraction capables et désireuse communiquer: Probabilité élevée.

L : durée de vie moyenne d'une civilisation, quelques milliers d'années.

L'équation de Drake

Valeurs probables des paramètres.

$R^* \sim 50$ nouvelles étoiles par an.

$f_p \sim 1$, (étoiles avec planètes).

$n_e \sim 2$, (planètes propices à la vie).

$f_l \sim 1$, la vie apparaît $f_i = f_c \sim 0,01$ (vie intelligente, capacité et désir de communiquer, grosses incertitudes).

$L = 10\ 000$ ans (estimation optimiste).

Cela ferait, en moyenne, une cinquantaine de civilisations aptes à communiquer dans la galaxie.

Solutions envisagées au paradoxe de Fermi

Les extra terrestres sont là mais ne se manifestent pas (quarantaine par exemple).

Ils sont venus de multiples fois dans le passé mais on en a perdu les traces.

La vie est courante, mais la technologie est extrêmement rare (mais nous sommes là).

La vie intelligente est exceptionnelle (mais nous sommes là).

La vie technologique est assez courante dans la galaxie , mais est instable et autodestructrice (hypothèse assez probable?).

Autres

Les extraterrestres à notre secours?

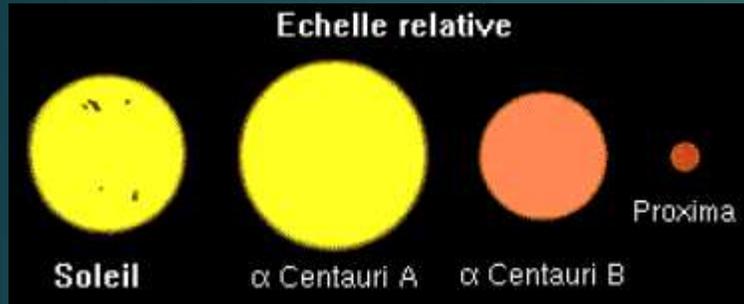
Ce paradoxe de Fermi a fait l'objet d'innombrables discussions visant à établir ou à dénier sa cohérence logique, à critiquer l'approche trop anthropocentrique et simpliste qu'il contient, selon de multiples critères.

Des critiques sur la détection de civilisations de degré d'évolution très différents et la possibilité de communication avec elles ont été avancées.

En particulier il ne faudrait pas qu'elles soient trop éloignées.

Une exoplanète habitable à notre porte ?

Avec les fusées actuelles (30km/s) le voyage ne durerait que 40 000 ans!



Alpha du Centaure est un système de 3 étoiles avec 3 planètes (dont 2 sont incertaines) : Alpha Centauri A et Alpha Centauri B sont les deux étoiles principales qui forment une étoile double, Proxima Centauri (Alpha Centauri C) est une naine rouge bien moins lumineuse, qui est l'étoile la plus proche du Soleil. Les planètes Alpha Centauri Bb (contestée) et Alpha Centauri Bc (candidat) sont deux planètes à l'existence incertaine qui seraient en orbite autour d'Alpha Centauri B, et enfin Proxima Centauri b est une planète en orbite autour de Proxima Centauri. Alpha Centauri est le système stellaire et planétaire le plus proche du système solaire



Les 2 étoiles brillantes sont Alpha Centauri (à gauche) et Beta Centauri (à droite). Proxima, très faible est repérée dans le cercle rouge pointée par la flèche. Photo composite de 11 poses de 30 s prises avec un appareil Canon f=85 mm/1.8.

Proxima b, une exoplanète "habitable" découverte autour de Proxima du Centaure



Vue d'artiste

ESPACE - Elle était juste sous notre nez, ou presque. Des chercheurs viennent de découvrir une planète qui orbite autour de Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche de la Terre en dehors du Soleil. Baptisée Proxima b, cette exoplanète, en plus d'être à deux pas (à l'échelle cosmologique) de chez nous, est située dans la "zone habitable" de son étoile, Proxima Centauri, ce qui veut dire que de l'eau liquide pourrait exister à la surface. Et donc, de la vie.

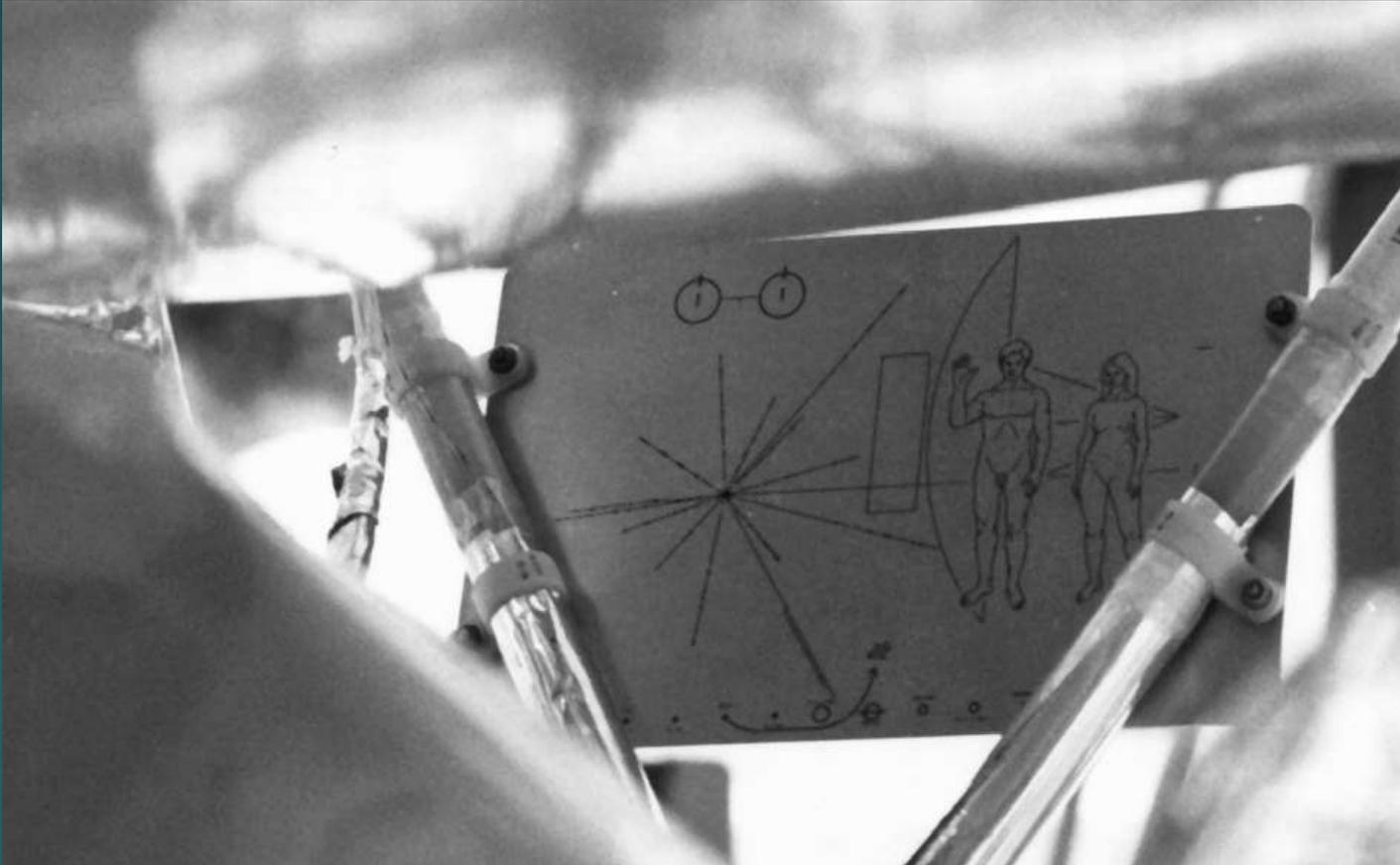
Les extraterrestres à notre secours?



Aujourd'hui, on est plus circonspect d'autant que notre rencontre avec une civilisation de niveau supérieur n'est pas sans risques (pour les 2).

Mais cela reste une quête toujours prégnante comme en témoigne la plaque des sondes Pioneer 10 et 11 (lancés en 1970-1971) qui ont quitté le système solaire et des programmes de recherche comme SETI...

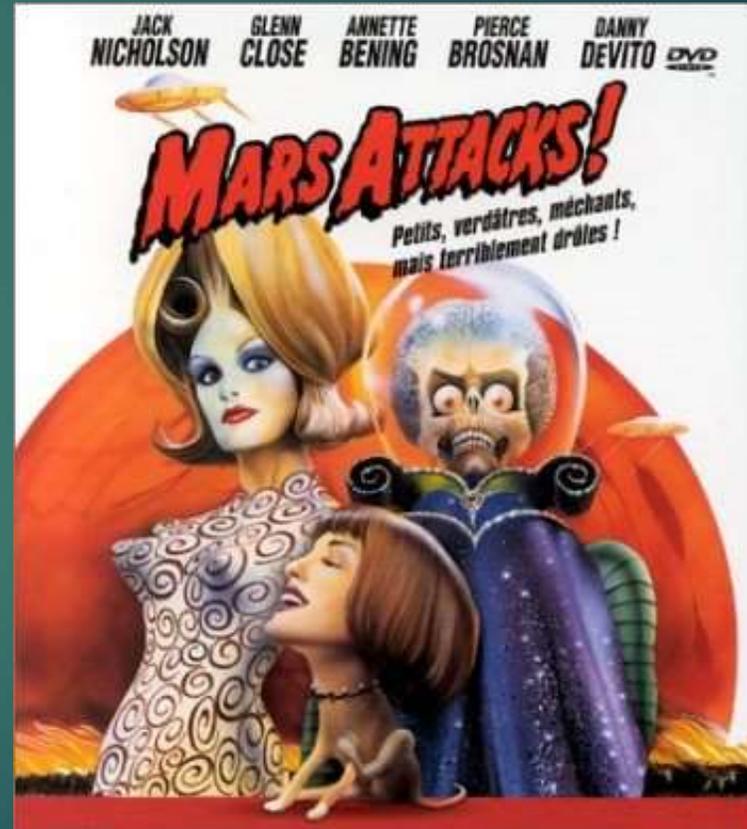
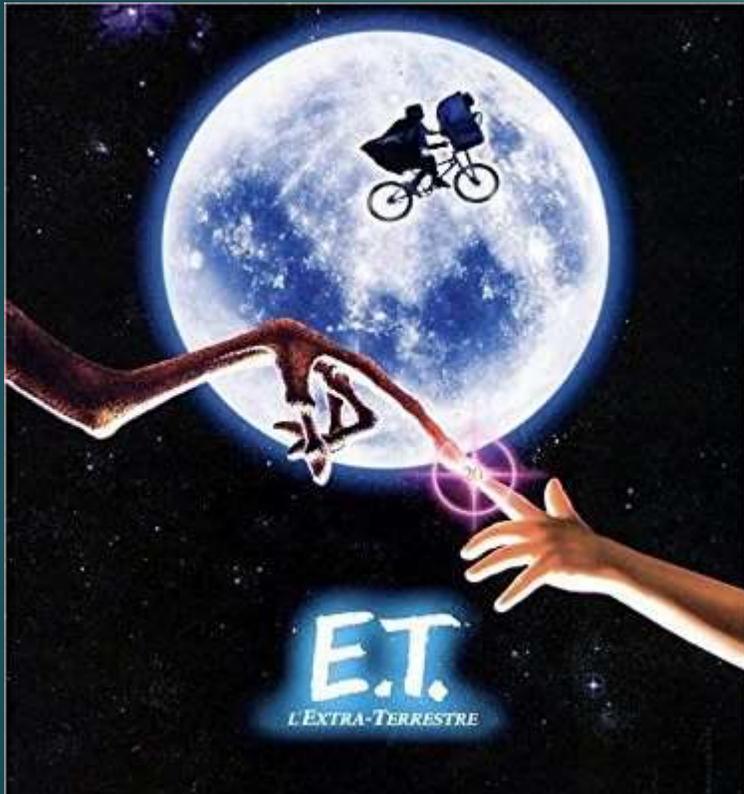
La plaque attachée à la sonde Pioneer 10



Cette « bouteille à la mer » a été critiquée par certains, au motif qu'elle pourrait être exploitée, (on donne le plan d'accès à la Terre) par des extraterrestres indéclicats, pour nous nuire.

Les extraterrestres à notre secours?

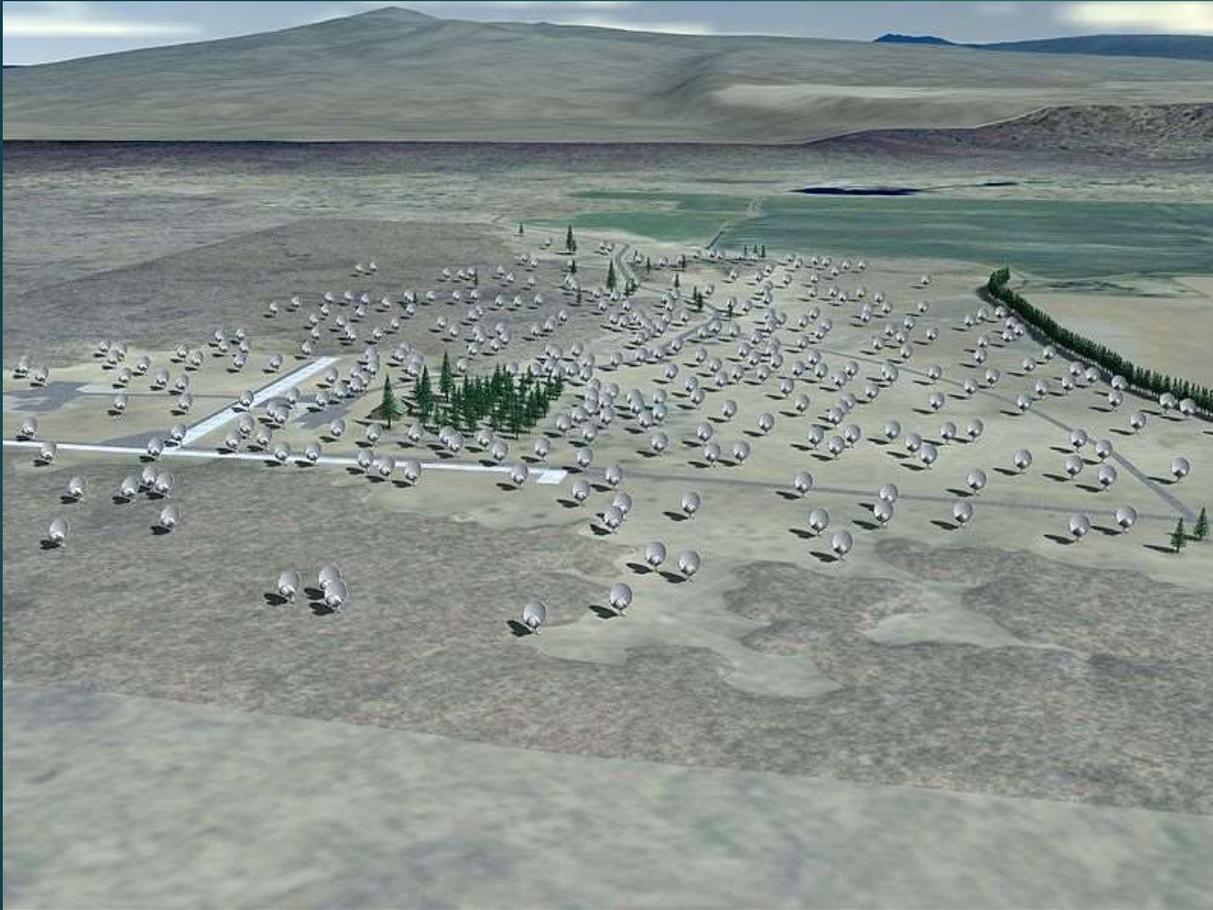
Cela dépend...



Extraterrestres très gentils

Extraterrestres pas gentils du tout

Les tentatives de communications avec E.T



Une représentation graphique en fausses couleurs du message d'Arecibo, première tentative humaine pour communiquer avec des civilisations extraterrestres.



Le radiotélescope Allen Array, haut-lieu du programme SETI.

Le projet SKA (Square Kilometer Array)



Projet SKA: Vue d'artiste

Le projet SKA (Square Kilometer Array)

Ce projet international (10 pays actuellement, coût: plusieurs milliards d'euros) , dont le CNRS pourrait être partie prenante, dont des sites en Australie et Afrique du sud ont été proposés, représente un bond énorme par rapport à l'existant (de 2 à 3 ordres de grandeurs).

Constitué de plusieurs milliers de paraboles synchrones et d'un million d'antennes synchrones dans sa version la plus performante, il serait capable de détecter un signal émis par un type de radar, tels que ceux de nos aéroports, dans les 100 000 étoiles les plus proches.

Si une civilisation utilisant de telles techniques existe sur une planète autour de l'une quelconque de ces étoiles, ce système devrait être capable de la détecter.

Rentrer en contact avec cette civilisation est un autre problème car les signaux vont mettre des dizaines d'années à atteindre le système, il faut qu'ils soient interprétables et que la réponse éventuelle le soit également.

Où trouver des civilisations avancées?

Les civilisations avancées pourraient se trouver dans les amas globulaires!

Dans notre galaxie, les étoiles sont très éloignées (quelques années-lumière les séparent). Les amas globulaires, en revanche, sont beaucoup plus denses (les distances entre les étoiles sont seulement de quelques centaines – voire milliers – de fois la distance Terre-Soleil).



D'un diamètre d'environ 120 années-lumière, cet amas globulaire en orbite autour de la Voie lactée n'est autre que 47 Tucanae (NGC 104). Il se trouve à environ 16.700 années-lumière de la Terre et contient des millions d'étoiles, dont certaines sont très exotiques et peu communes. Cette image a été réalisée par le télescope Vista (*Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy*) de l'ESO, depuis l'observatoire de Cerro Paranal, dans le désert d'Atacama, au Chili. © M.-R. Cioni, *Vista Magellanic Cloud survey*, ESO



Une telle proximité pourrait permettre à une civilisation technologiquement évoluée de prospérer. Celle-ci pourrait même devenir quasi immortelle car elle serait alors répartie sur plusieurs exoplanètes habitables.

Le ciel dans des régions de forte densité d'étoiles ne devrait jamais permettre la nuit et la journée, la luminosité serait sujette à des variations sensibles.

Les faibles distances entre les étoiles impliquent aussi, a priori, des perturbations gravitationnelles plus importantes sur des systèmes planétaires.

Les bombardements de petits corps célestes dévastateurs seraient donc plus fréquents. Quid de la stabilité des orbites des planètes?

Il ne va donc finalement pas de soi que des amas globulaires soient vraiment les lieux rêvés pour l'apparition de formes de vies complexes et de civilisations technologiques avancées capables de subsister des milliards d'années.



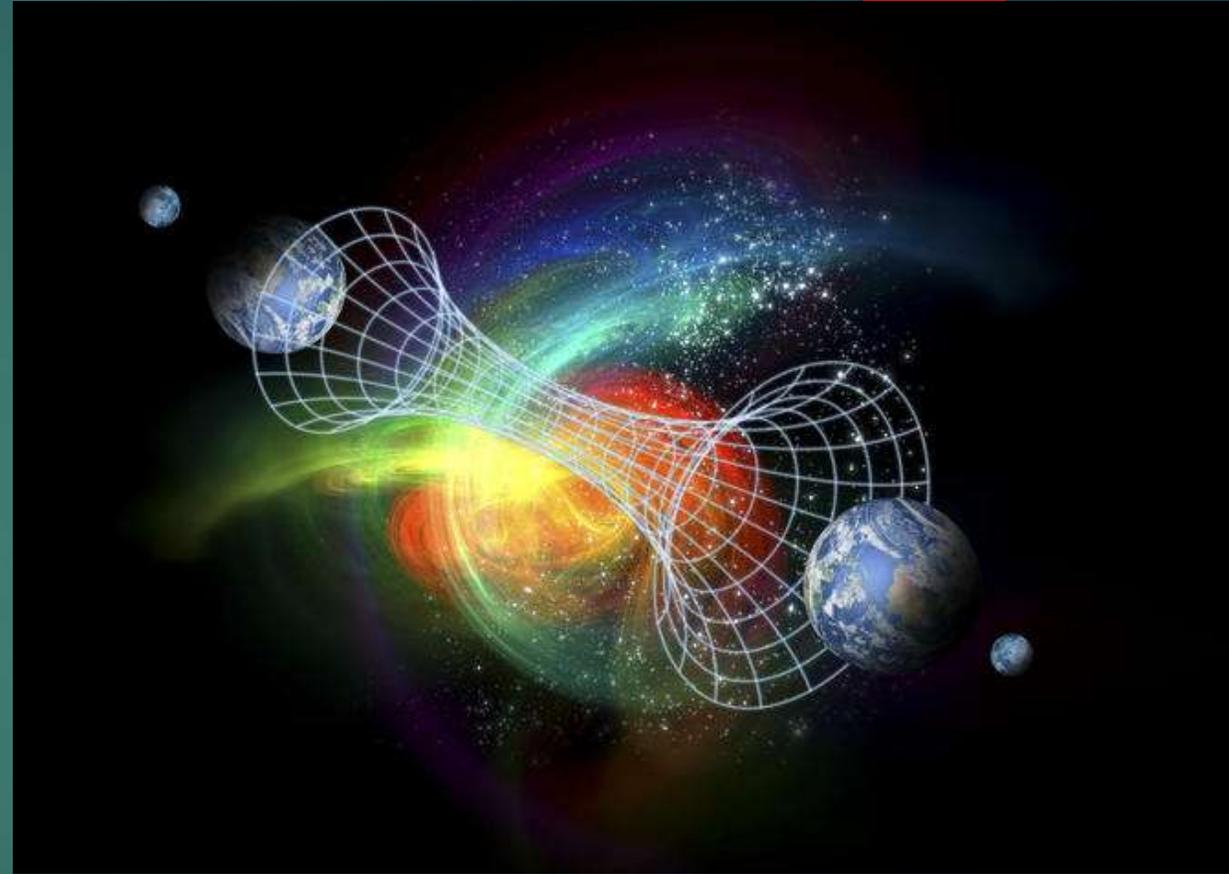
Même dans les régions externes des amas, là où les distances entre étoiles sont de l'ordre de quelques mois-lumière tout au plus et si cet amas est stabilisé, il est constitué en majorité de vieilles étoiles mortes (naines blanches), étoiles d'une masse solaire environ mais faiblement lumineuses ($< 10^{-3}$ luminosité solaire) ce qui impose d'en être, au moins, 30 fois plus proche que du soleil, avec les effets de marée gigantesques (révolution synchrone-tempêtes, activité volcanique intense etc..), pas vraiment un paradis.

Il n'est pas facile de concevoir à quoi pourrait ressembler de telles civilisations avancées, mais dans l'état de nos connaissances, penser que les amas globulaires ont de bonnes chances d'être de véritables empires galactiques, où pourraient prospérer des civilisations multi-planétaires plus vieilles que le Système solaire, reste spéculatif.

S'échapper vers un autre univers ?

Ayant épuisé les ressources d'un univers on peut essayer de se tourner vers un autre univers en passant par un « trou de ver ».

Le problème est qu'on ne sait pas ce qu'on va trouver: Est-il habitable, possède-t-il les mêmes lois que le nôtre et il faut souligner que le voyage est sans retour possible..



La Terre passant à travers un trou de ver géant.

On est prié de baisser la tête...!

Conclusion

La science nous livre quelques éléments de réponse (pas très rassurants) au sujet de notre devenir. L'humanité ne pourrait être qu'un épisode passager dans l'univers. Après tout, il en a été ainsi de beaucoup de civilisations, d'autres souvent indépendantes leur ayant succédé. Peut-être que nous nous accordons trop d'importance et qu'à l'échelle de l'univers un phénomène similaire est à l'œuvre.

Mais il ne faut pas oublier que cette science est un produit de notre esprit et à ce titre ne peut prétendre à l'objectivité pour nous décrire.

Donc, nous voyons que nous ne pouvons pas échapper à une réflexion philosophique, sur la nature de nos connaissances et leurs relations avec le monde dont nous sommes partie intégrante et inter-agissante.

Conclusion



La survie de l'humanité pose un problème complexe dont une partie est entre ses mains et une autre qui ne l'est pas.

En fait le principal argument qui pourrait rompre le fatalisme quant au caractère funeste du destin que nous réserve l'univers est que prédire l'avenir à un horizon aussi lointain est un pur exercice de style, car on n'a probablement aucune idée de ce que pourrait être l'humanité dans des milliards d'années.

Ajoutons pour terminer sur une note optimiste, que de toute façon, l'humanité n'a pas besoin de l'univers pour s'auto-détruire, mais que l'univers est suffisamment vaste pour que quelque part, la vie ait encore ses chances.

Références

Cette présentation, qui été donnée la première fois à la SAF le 21/06/2016, fait de larges emprunts à la présentation de:

Gabriel Chardin, président des grandes infrastructures de recherche au CNRS, donnée à la Société astronomique de France (SAF),

que je remercie, et qu'on peut consulter avec intérêt sur le lien suivant:

<http://www-cosmosaf.iap.fr/150912%20Paradoxe%20de%20Fermi%20SAF.pdf>