

Le futur proche et **lointain**  
de détection de la vie sur les exoplanètes.  
Promesses et difficultés

*Jean Schneider*

*LUTH – Observatoire de Paris*

# Le futur proche et **lointain** de détection de la vie sur les exoplanètes. Promesses et difficultés

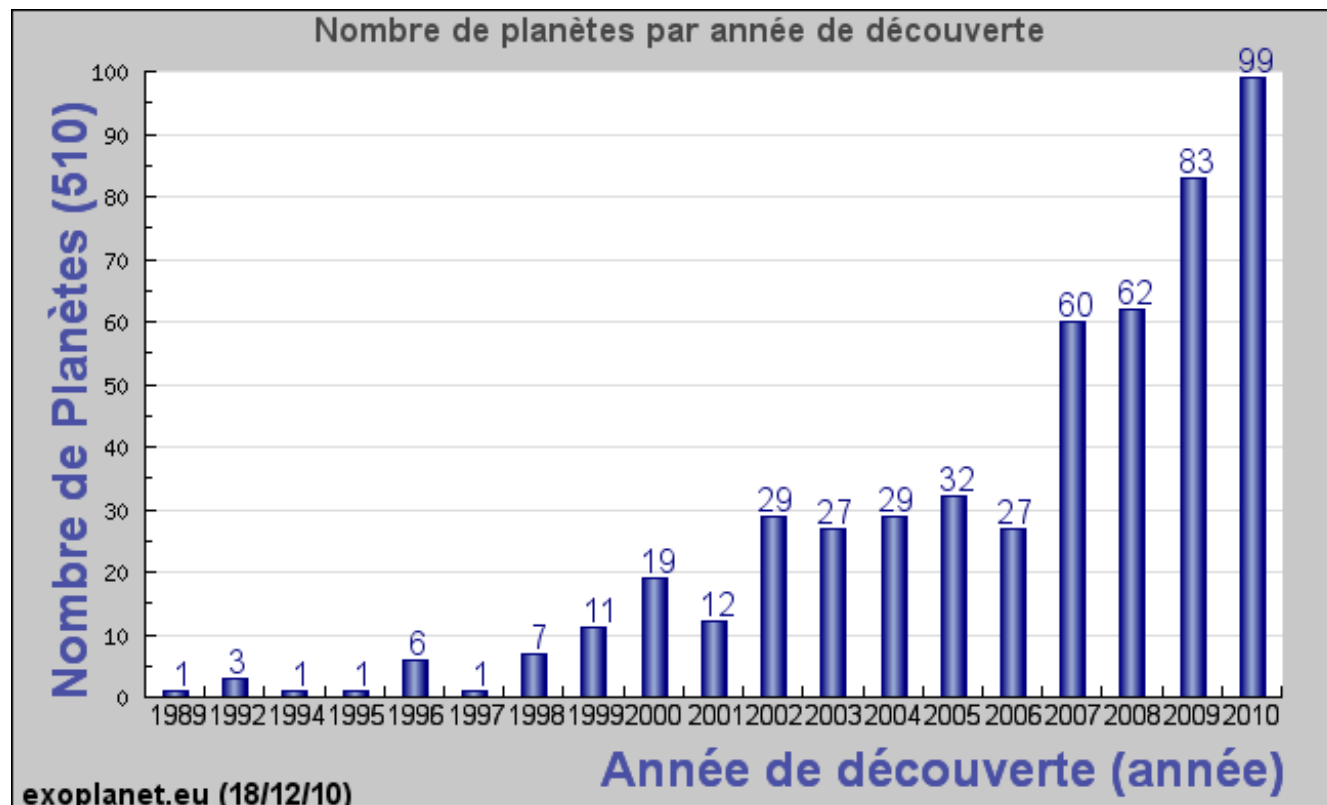
- But:
  - Immédiat: Détecter la vie sur les exoplanètes
  - Lointain: Observer la morphologie des organismes
- Rappels:
  - Où nous en sommes
  - Projets immédiats (2011-2025)

Remarque: je n'entre pas dans le débat « définition de la vie »<sub>2</sub>

- Rappels:

- Où nous en sommes

Au moins 30% des étoiles ont au moins une super-Terre ( $M < 10 M_T$ )  
==> quelques milliards de planètes « habitables » dans la Galaxie



- Rappels:
  - Les 4 approches pour détecter la vie
    - Chercher des traces de visites sur Terre (« OVNIS »)
    - SETI et « fuites technologiques » (e.g. « lumières de villes »)
    - Télédétection spectroscopique et par imagerie
    - Aller voir sur place

# But immédiat: détecter la vie

( calendrier dicté par le rythme ESA/NASA )

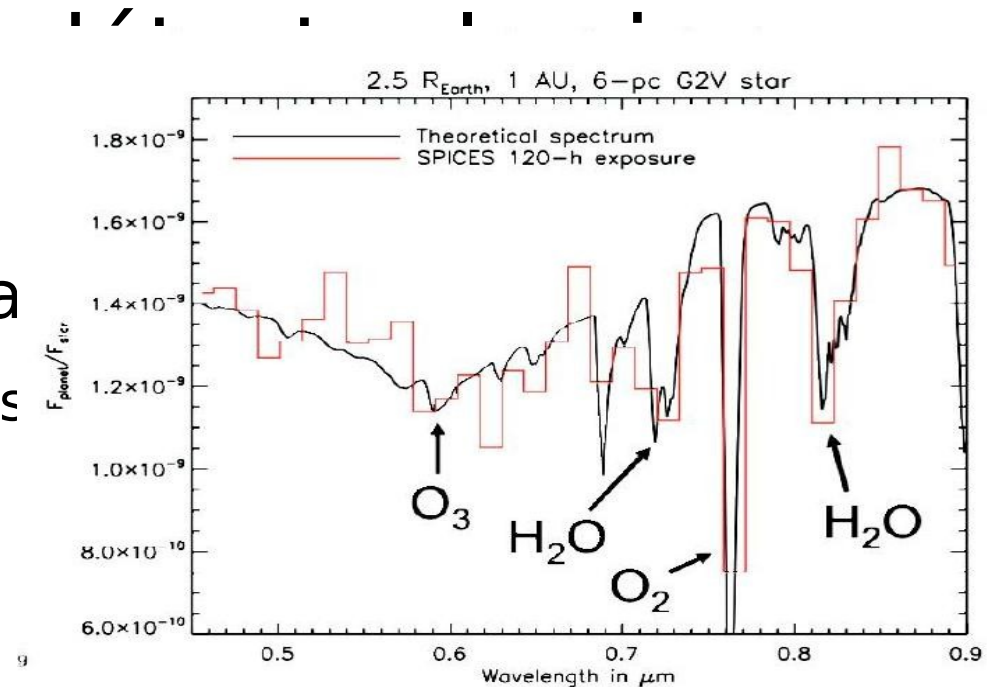
- Spectroscopie globale de la planète (2011-2025):
  - « Dejecta »: gaz abiotiques d'origine organique:
    - Oxygène, ozone
    - CH<sub>4</sub>? (en association avec H<sub>2</sub>O et O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>)
  - « Vegetation Red Edge »

Nombreux problèmes de robustesse de ces « biosignatures »

# But immédiat:

( calendrier dicté par

- Spectroscopie globale de la
  - « Dejecta »: gaz abiotiques
    - Oxygène, ozone
    - CH<sub>4</sub>? (en association avec H<sub>2</sub>O et O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>)
  - « Vegetation Red Edge »



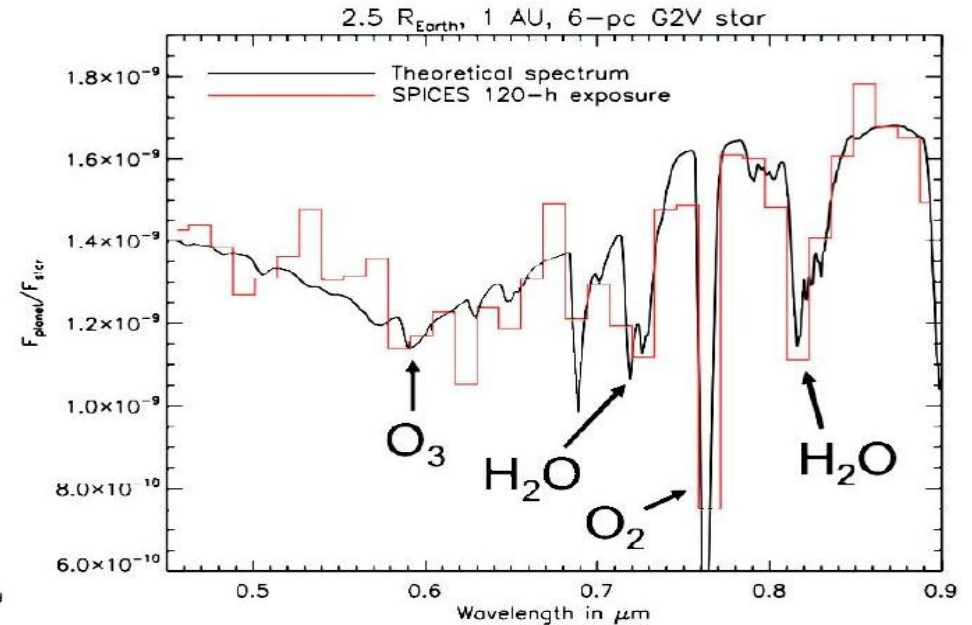
Nombreux problèmes de robustesse de ces « biosignatures »

# But immédiat:

( calendrier dicté par

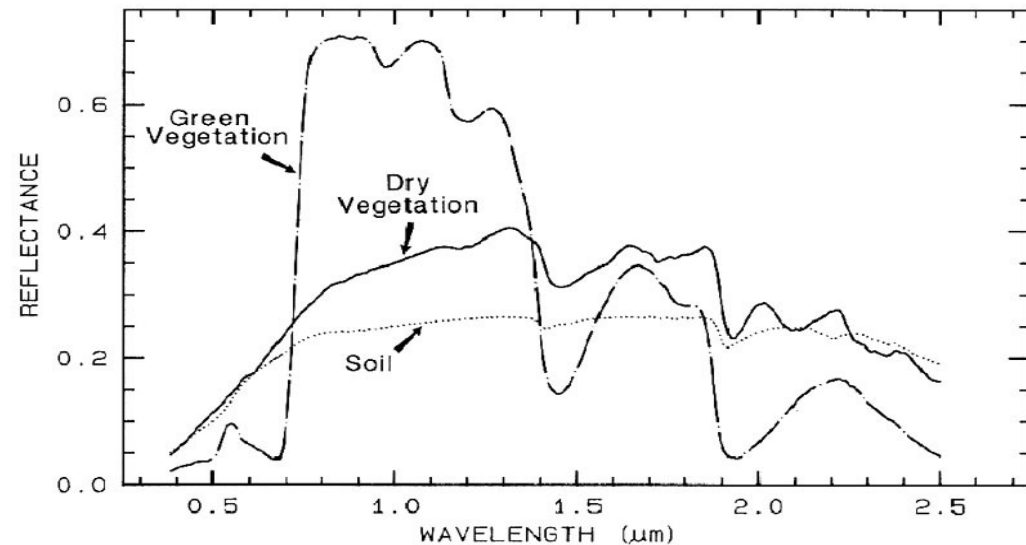
- Spectroscopie globale de la
- « Dejecta »: gaz abiotiques

- Oxygène, ozone



- $\text{CH}_4$ ? (en association avec  $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{O}_2/\text{O}_3$ )

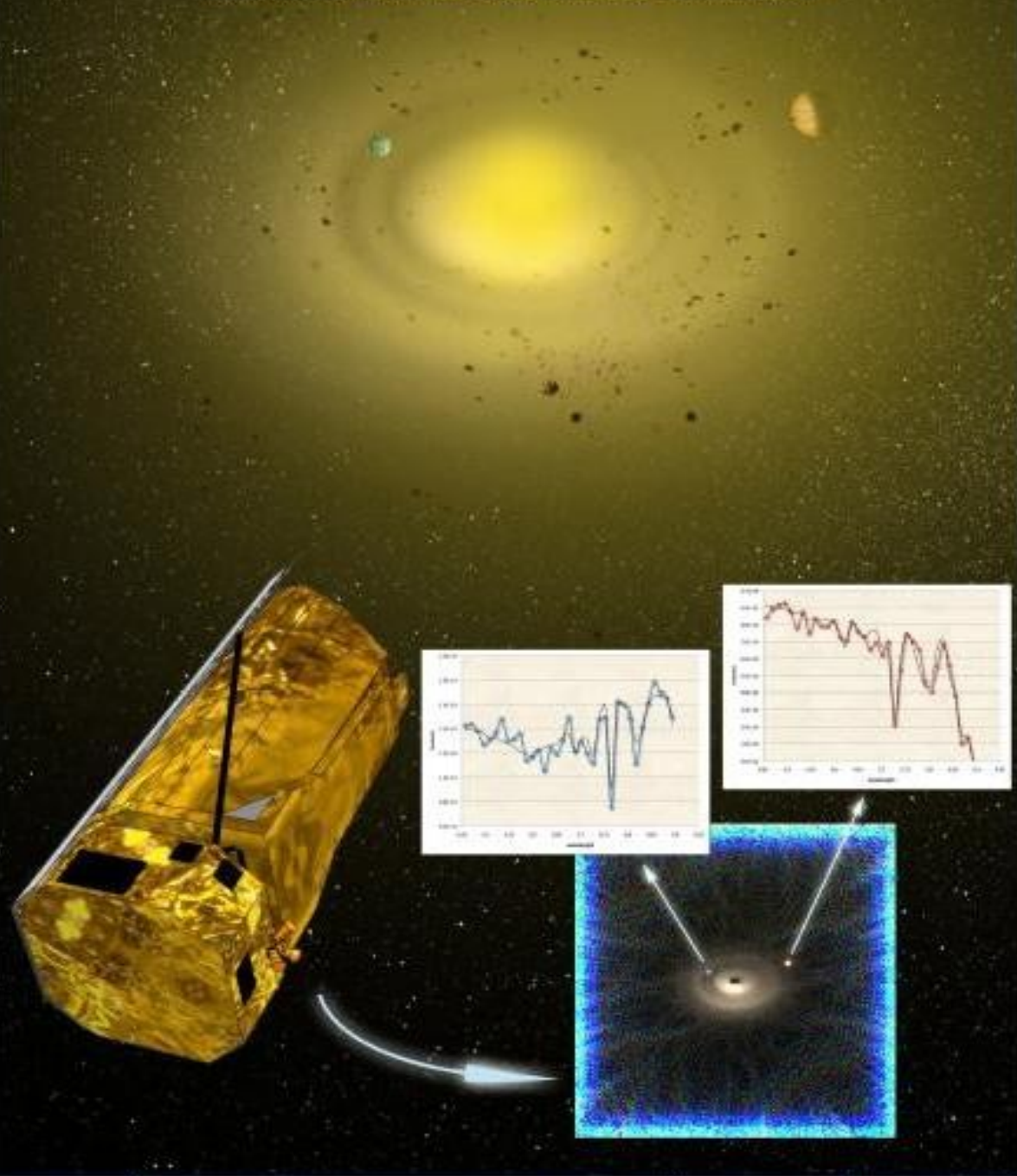
- « Vegetation Red Edge »



Nombreux problèmes de robustesse de ces « biosignatures »

SPECTRO-POLARIMETRIC IMAGING AND CHARACTERIZATION OF EXOPLANETARY SYSTEMS

FROM PROTOPLANETARY DISKS TO NEARBY SUPER EARTHS



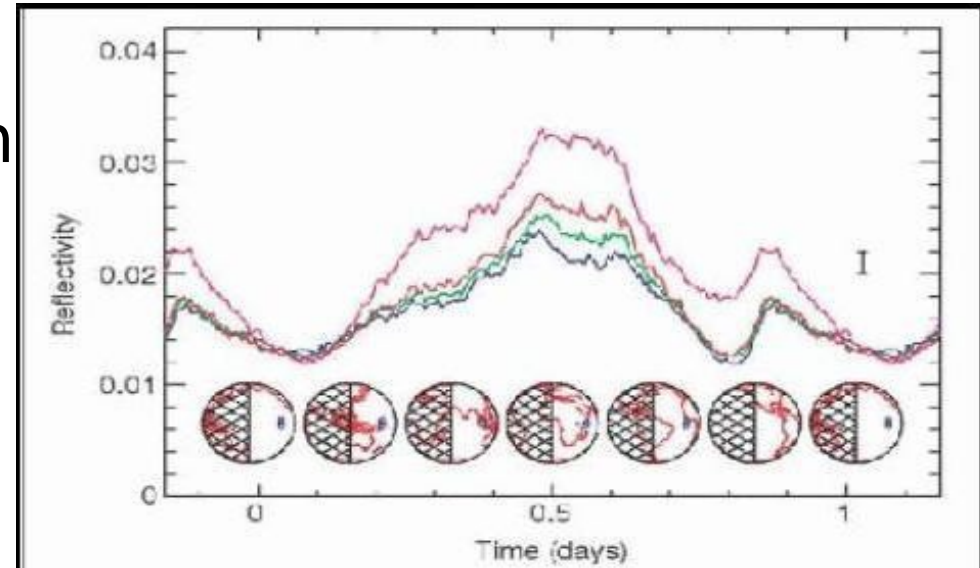


# But immédiat: détecter la vie

- Raffinements: variations temporelles (2025-2030)
  - Diurne: rotation de la planète
  - Saisonnière: variation le long de l'orbite
  - Modulation par effet d'ombre des « arbres »

# But immédiat: détecter la vie

- Raffinements: variations temporelles
  - Diurne: rotation de la planète

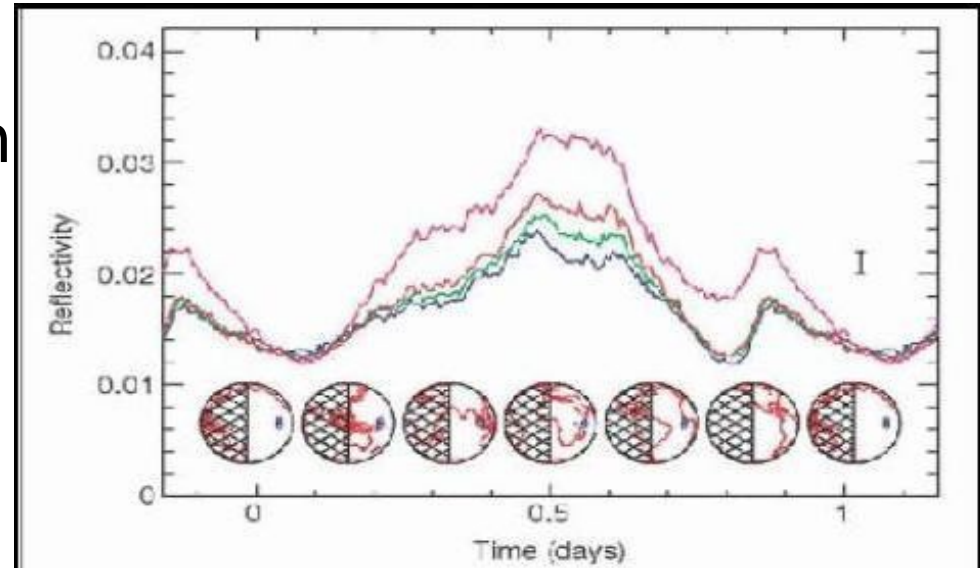


- Saisonnière: variation le long de l'orbite
- Modulation par effet d'ombre des « arbres »

# But immédiat: détecter la vie

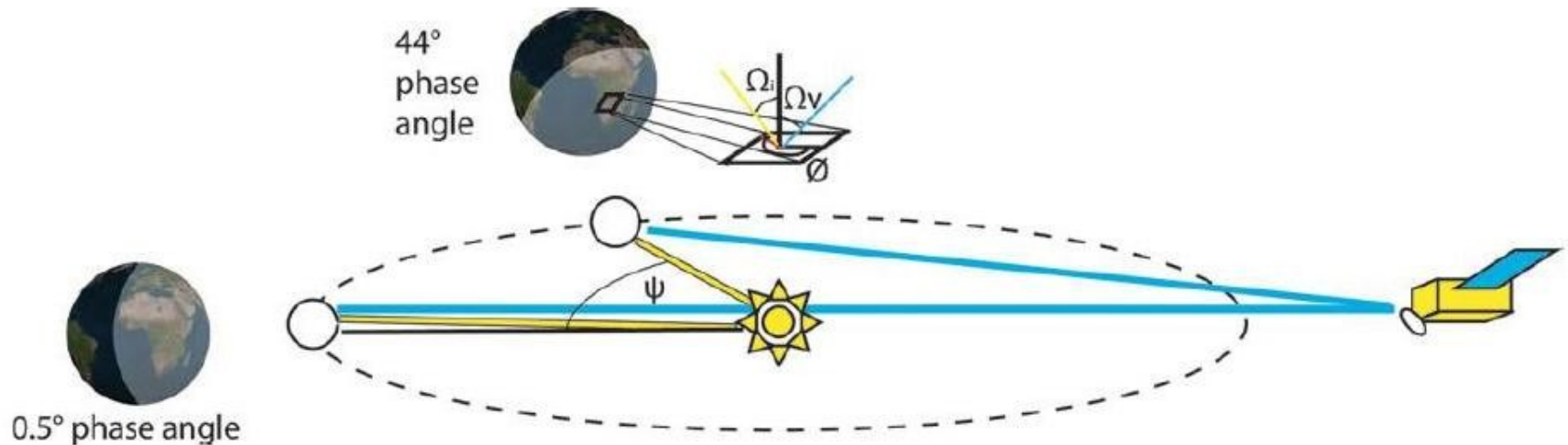
- Raffinements: variations temporelles

- Diurne: rotation de la planète



- Saisonnière: variation le long de l'orbite

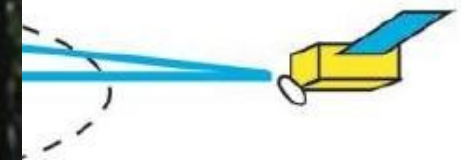
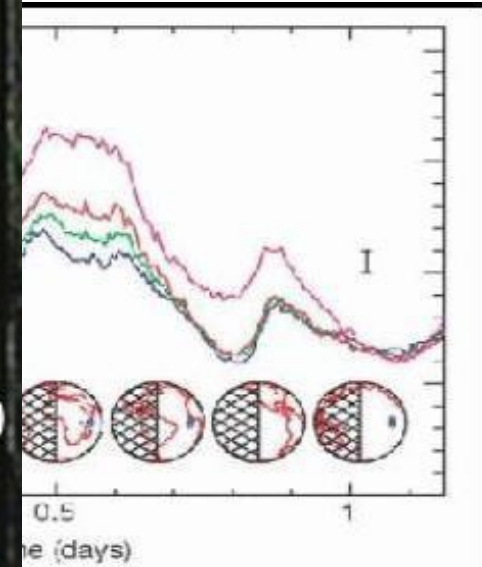
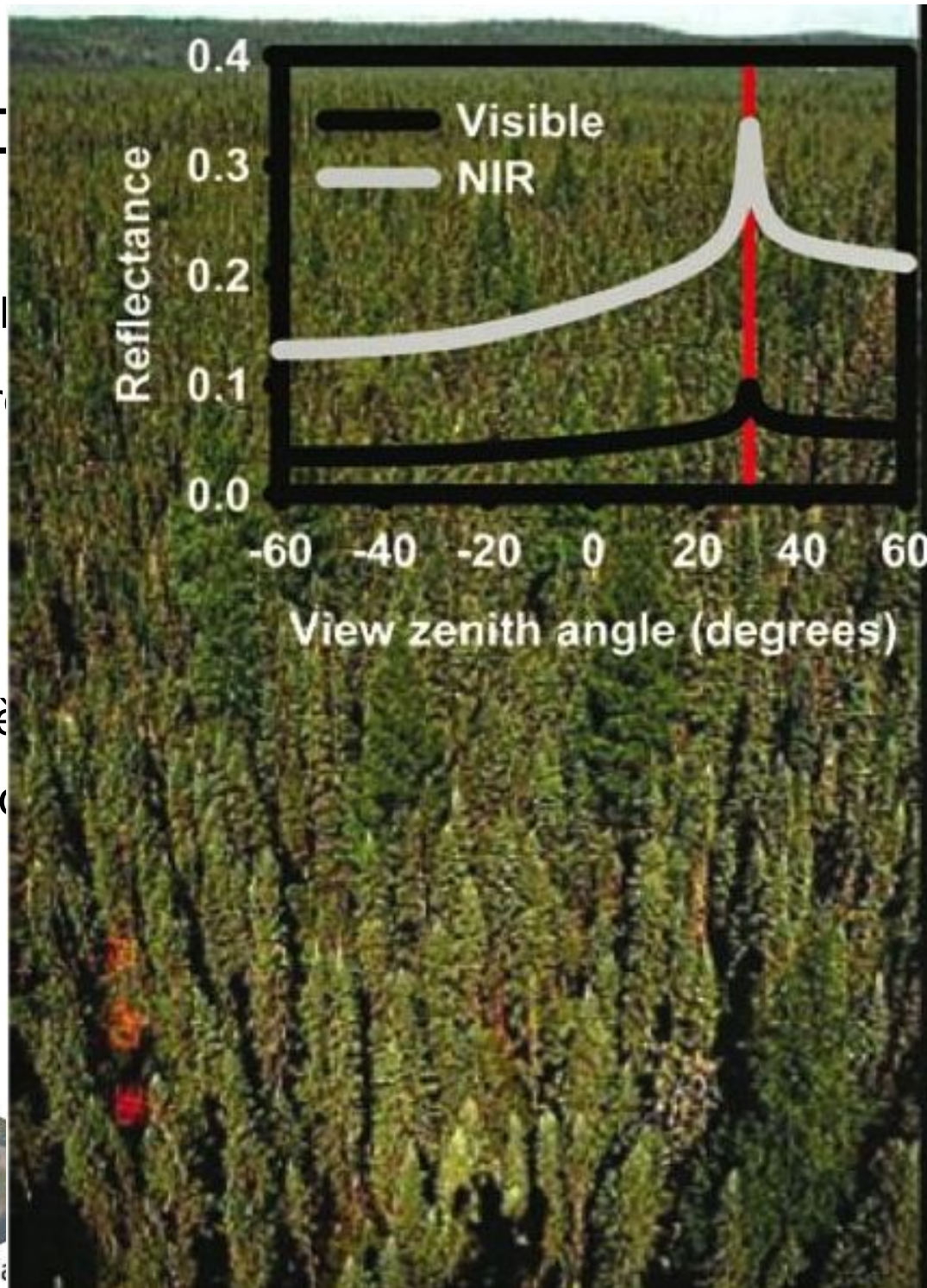
- Modulation par effet d'ombre des « arbres »



But

vie

- Raffinement
  - Diurne: n
  - Saisonniè
  - Modulatio



# But à moyen terme

Cartographier la végétation (2040+)



Interféromètre  
> 100 km de base  
Résolution:  
100 km à la  
distance d'alf Cen

# Nous sommes en 2050

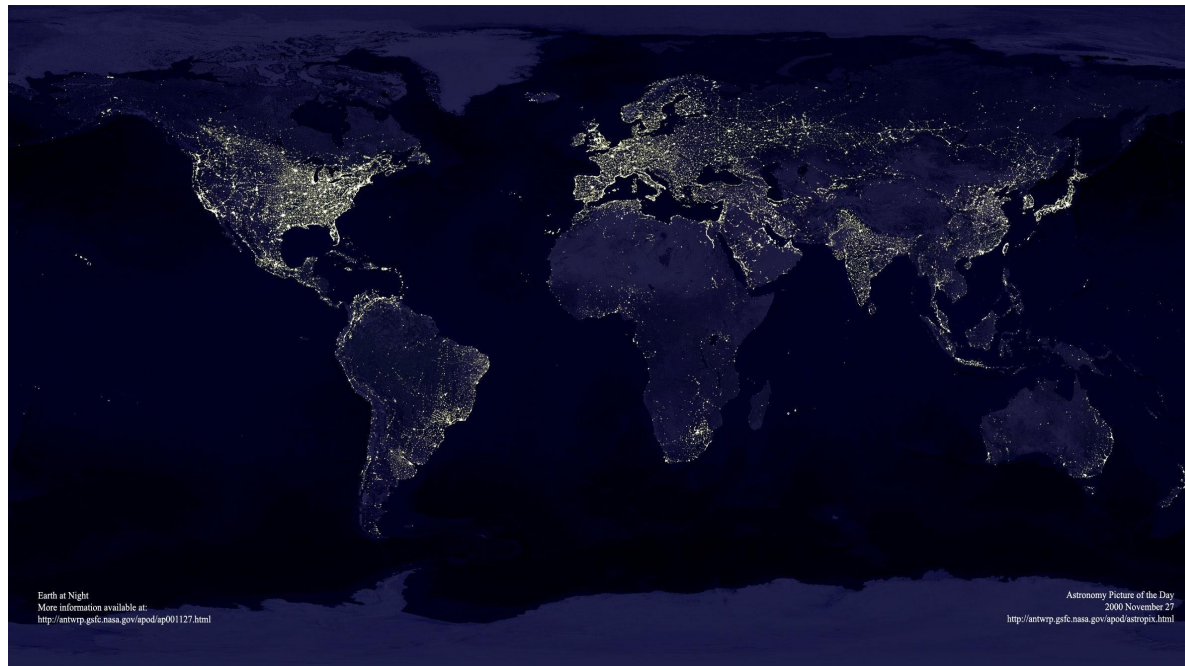
## Bilan:

- On a détecté oxygène, méthane, forêts
- On a étudié à fond les variations diurnes et saisonnières
- On a fait la cartographie des forêts avec leur variation diurne et saisonnière.
- On aura peut-être cartographié les « lumières des villes »

# Nous sommes en 2050

## Bilan:

- On a détecté oxygène, méthane, forêts
- On a étudié à fond les variations diurnes et saisonnières
- On a fait la cartographie des forêts avec leur variation diurne et saisonnière.
- On aura peut-être cartographié les « lumières des villes »



# Nous sommes en 2050

## Bilan:

- On a détecté oxygène, méthane, forêts
- On a étudié à fond les variations diurnes et saisonnières
- On a fait la cartographie des forêts avec leur variation diurne et saisonnière.
- On a peut-être cartographié les « lumières des villes »

## Et après?

## Questions:

- Y a-t-il des « animaux »?
- Quelle est leur morphologie?



# Conditions pour « voir » des « animaux »

Solution no. 1: utiliser un super-télescope

- **Résolution angulaire:**

1 m à 1 pc ---> interféromètre de Base  $B = 10^7$  km

= 3x distance Terre-Lune

- **Flux:**

- Pour détecter le flux réfléchi par un objet (mobile) de 1 m en 20 min. avec  $S/N = 5$  à 1 pc sur une planète à 1 UA de son étoile:  
Base de la surface collectrice  $B = 20$  UA.

- Utiliser le soleil a 500 UA comme loupe gravitationnelle?

Non: mélange les images

# Conditions pour « voir » des « animaux »

Solution no. 2: aller sur place

- Espoir initial: aller à 0.1 c:
  - ==> 40 ans pour aller sur alfa Cen
  - 400 ans pour aller à 10 pc
- Ex: Projet Icarus, propulsion nucléaire (Long et al., J. Brit. Interplan. Soc. 2009, 62, 403)

# Conditions pour « voir » des « animaux »

Solution no. 2: a

- Espoir initial: a  
==> 40 ans po  
400 ans p  
- Ex: Projet Ica  
Interplan. Soc

À cause de la  
place consacrée  
à la propulsion,  
les dimensions  
d'un vaisseau  
interplanétaire seront  
forcément liées  
du commun.  
Heureusement,  
un tel engin sera  
probablement  
assemblé dans  
l'espace, et non  
sur Terra.



., J. Brit.

# Conditions pour « voir » des « animaux »

Solution no. 2: aller sur place

- Problème crucial: poussière interstellaire.

$\nu$  = densité des grains (à 100  $\mu$ ).

$N$  = nombre de grains rencontrés sur le trajet de longueur  $L$ :

$$N = L.S.\nu \quad (S = \text{section du vaisseau})$$

Observations:  $\implies \nu = 4.10^{-17} / \text{m}^3$

$\implies$  Pour  $L = 1\text{pc}$ ,  $S = 10\text{m} \times 10\text{m}$

$$N = 2$$

$\implies$  100% de chances de rencontrer au moins 1 grain.

A  $v = 0.1c$  l'énergie cinétique d'un grain de 100 $\mu$  = énergie cinétique de ~2 tonnes à 100 km/h

# Conditions pour « voir » des « animaux »

Solution no. 2: aller sur place

- Problème crucial: poussière interstellaire.

Toute mesure de protection multiplie coût et complexité par 10

Problème de fiabilité: <0.0..1% de risque requis

**Solution:** aller à ~ 600 km/s

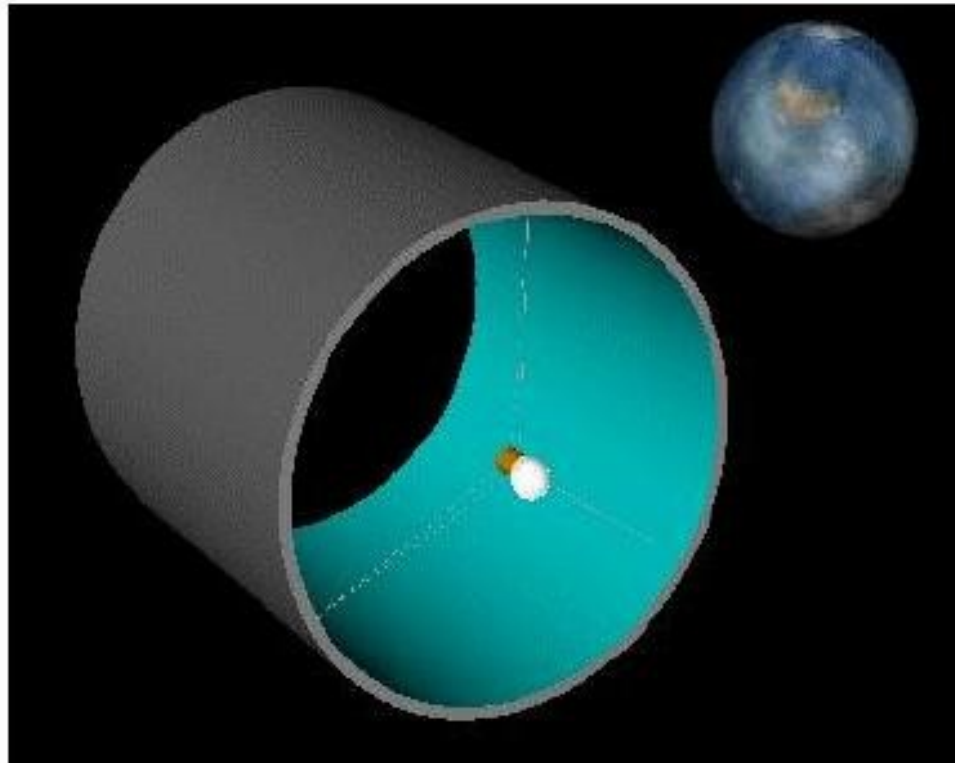
==> 2.000 ans pour aller sur alfa Cen

Ex: « The Project » (Steve Kilston): plusieurs dizaines de personnes

# THE PROJECT:

An Observatory/Transport Spaceship for Discovering and  
Populating Habitable Extrasolar Terrestrial Planets

Dr. Steven Kilston  
Ball Aerospace & Technologies Corp.



"Now that is the wisdom of a man, in every instance of his labor, to hitch his wagon to a star, and see his chore done by the gods themselves."

Emerson, "Society and Solitude - Civilization", 1870

# Conditions pour « voir » des « animaux »

Solution no. 2: aller sur place

Point de vue de Kant:

« Admettre des habitants dans les autres planètes c'est une affaire d'opinion; en effet, si nous pouvions nous en approcher, ce qui est en soi possible, nous pourrions décider par l'expérience s'ils existent ou non; mais jamais nous ne pourrions nous en rapprocher à ce point et cela restera une question d'opinion »

*Critique de la faculté de juger.  
Chap 17.*

# Conditions pour « voir » des « animaux »

==> Perspectives très pessimistes

- 23 siècles entre la déclaration d'Epicure « Il y a une infinité de mondes avec des plantes et animaux semblables ou non aux nôtres » et les 1ères détections d'exoplanètes.
- Faudra-t-il 23 autres siècles pour détecter ces « animaux »?



# Conditions pour « voir » des « animaux »

==> Perspectives très pessimistes

- 23 siècles entre la déclaration d'Epicure « Il y a une infinité de mondes avec des plantes et animaux semblables ou non aux nôtres » et les 1ères détections d'exoplanètes.
- Faudra-t-il 23 autres siècles pour détecter ces « animaux »?

Dernier espoir: que des « extraterrestres » nous envoient des photos

Possible dès demain...

**Action:** chercher tous moyens pour contourner ces difficultés

# Conditions pour « voir » des « animaux »

Action: chercher tous moyens pour contourner ces difficultés

- Physique standard:
  - Télémanipulation
  - Téléportation quantique standard: sans doute pas
- Physique non standard:
  - Diminuer la distance du voyage: « Trous de vers »
  - Augmenter la vitesse: Brisure du groupe de Lorentz à très haute énergie
  - Téléportation « ondes subquantiques »  $v \gg c$
- Autres:
  - Augmenter l'unité de temps « psychologique »

Quelques siècles devant nous...

## Références:

Schneider et al., 2010. *The far future of exoplanet direct characterization*. *Astrobiology*, 10, 121

Crawford I., 2010. *Comment on "The Far Future of Exoplanet Direct Characterization" - the Case for Interstellar Space Probes*. *Astrobiology*, 10, 853

Schneider, 2010. *Reply to 'A Comment on "The Far Future of Exoplanet Direct Characterization" - the Case for Interstellar Space Probes'*. *Astrobiology*, 10, 857