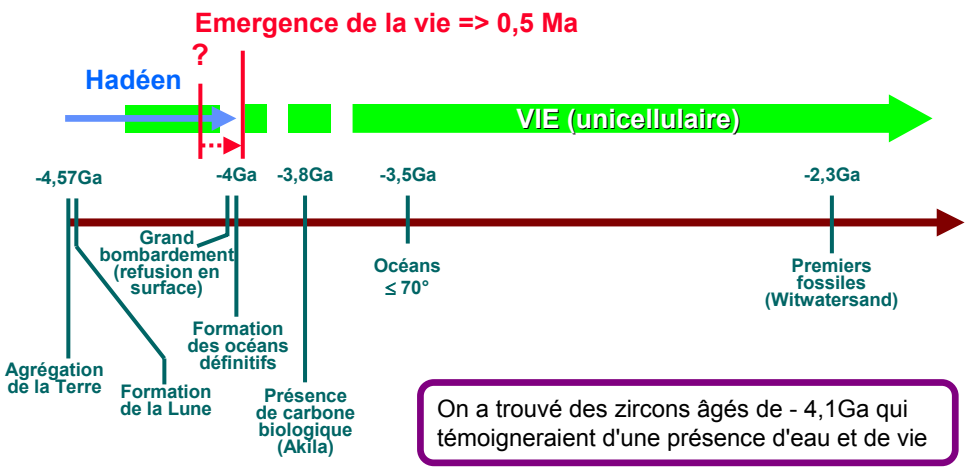
La panspermie, une solution possible aux problèmes de l'origine de la vie sur terre

François ANCEAU
Francois.Anceau@waika9.com

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 1

Histoire de la terre primitive



On a trouvé des zircons âgés de - 4,1Ga qui témoigneraient d'une présence d'eau et de vie

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 2

5 scénarios possibles pour l'origine de la vie sur terre

1. **La vie serait apparue en 500Ka, sous la forme d'unicellulaires, il y a 4Ga (après le grand bombardement)**
2. **La vie serait apparue avant le grand bombardement :**
   1. Elle aurait été détruite
   2. Elle aurait survécu à cet obstacle
3. **La vie serait apparue ailleurs et aurait ensemencé la terre:**
   1. Avant le grand bombardement
   2. Après (et avant) le grand bombardement

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 3

Grand bombardement

- **Evènement majeur de l'histoire de la terre**
- **Chute de météorites de taille importante (jusqu'à 500km de diamètre) vers - 4Ga**
  - Impacts:
    - 10 à 20 de 200Km de diamètre
    - 3 à 11 de 300Km de diamètre
    - 6 de 500Km de diamètre
  - Effets (cas d'une météorite de 500Km de diamètre)
    - Enveloppe toute la terre de vapeur de roche à 4000°C pendant une année
    - Evaporation de toutes les mers
    - Fusion de toute la surface du globe (portée à 2000°C)
    - Pénétration de la chaleur dans le sol (1m / an)
    - Après 1000 ans => retour des océans

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 4

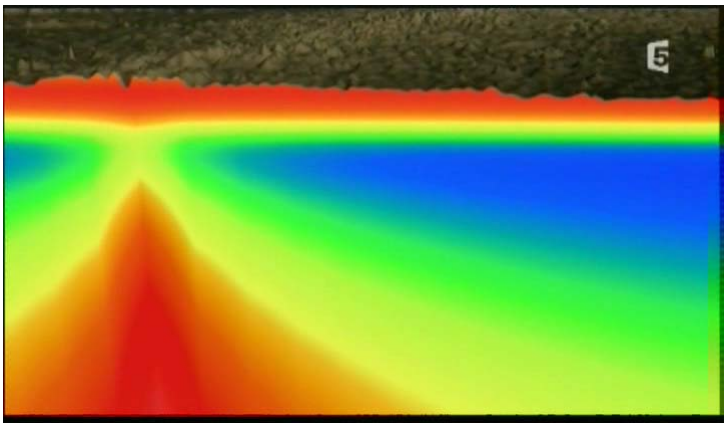
Tsunami de croûte

Stérilisation ou survie

- **Deux hypothèses:**
  - Stérilisation totale de la terre suite au grand bombardement et re-création de la vie en 0,5Ma à la recréation des océans.
  - Survie d'éventuels unicellulaires souterrains (vers 1 à 3 Km de profondeur)
    - Ceci expliquerait la rapidité d'apparition de la vie lors de la formation des océans définitifs.
    - Cette transmission pourrait avoir joué le rôle d'un filtre pour ne transmettre qu'un seul type de vie (celui des unicellulaires souterrains).

Zone de sauvegarde thermique

- **Malgré un échauffement en surface de 2000°C pendant plusieurs années**
  - Une zone profonde bleue (1 à 3km) reste à température modérée ≈ 50°C
  - Il existe actuellement des organismes vivant à 3Km de profondeur !
  - Il en existe d'autres vivant à plus de 100°C



D'après Dr Norman Sleep, U Stanford

Qu'est-ce que la vie?

- **Définition de la NASA:**
  - La vie est un système {chimique} auto-entretenu soumis à une évolution darwinienne
- **La vie est un système construit qui peut réduire son entropie et celle de son environnement (pompes néguentropiques)**
  - La nature peut construire, par hasard, des systèmes non vivants qui réduisent localement l'entropie
    ex: geysers
- **La vie apparaît comme une émergence chimique !**

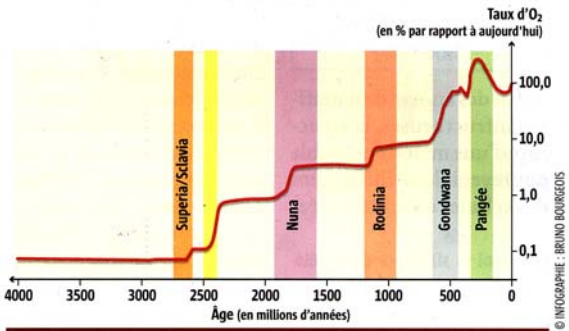
Vie terrestre

- **La vie terrestre s'appuie sur la chimie du carbone**
- **Elle produit de l'oxygène (qui est utilisé pour la détecter!)**
- **Les mécanismes de base de la vie sont uniques et très particuliers:**
  - utilisation des protéines comme matériaux de base
    - constituées à partir de 20 à 22 acides aminés lévogyres
  - synthèse des protéines à partir d'un code génétique très particulier de groupes de 3 bases dextrogyres (ACTG -> ACUG)
- **Questions:**
  - Y a-t-il eu plusieurs cycles de création-destruction de la vie à la fin de l'hadéen (passage des refusions de surface)?
  - D'autres formes de vie auraient-elles pu exister?
    - utilisation d'autres acides aminés
    - Il existe des codages génétiques (légèrement) différents (Candida, mitochondrites, algues vertes, ciliés, archées, eubactéries)
  - Auraient-elles pu co-exister?

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 9

Vie <≅> oxygène (?)

- **Avec l'apparition des algues bleues, (photosynthèse) la vie produit de l'oxygène**
- **Il existe des formes de vie non basées sur l'oxygène (sulfures)**
- **Il existe des émissions d'oxygène volcanique**
- **Un tau important d'oxygène permet l'apparition d'une vie complexe**
- **L'atmosphère de l'hadéen tardif contenait déjà un peu d'oxygène**



LES AUGMENTATIONS SUCCESSIVES du taux d'oxygène atmosphérique coïncident avec la formation des supercontinents. Érosion des chaînes de montagnes et altération des roches en seraient la cause.

La Recherche nov. 2008

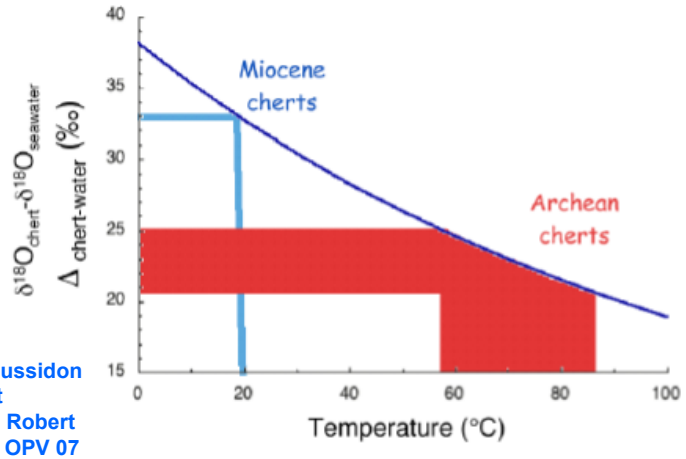
© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 10

^{18}O serait-il un marqueur de la vie (?)

Pour les rapports $^{18}O/^{16}O$

$1000 \times \ln \alpha_{silex\text{-}eau} = (3{,}09 \times 10^6/T^2) - 3{,}29$

(Knauth & Epstein, 1976)

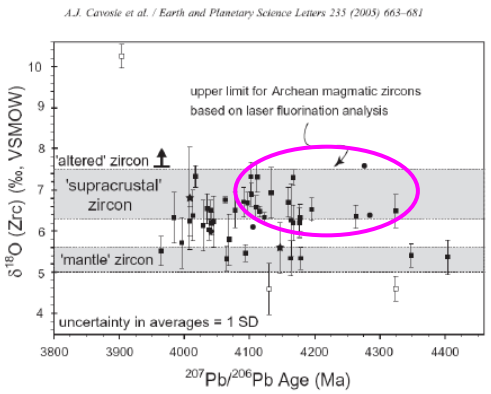


Marc Chaussidon
et
François Robert
Colloque OPV 07

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 11

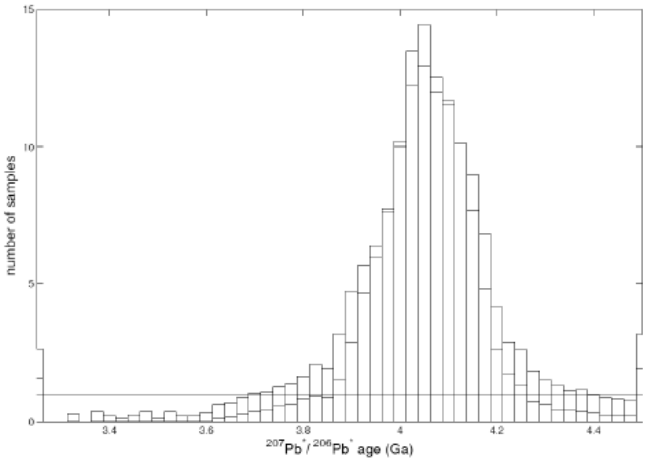
Eau ⇨ continents

- **L'eau permet la formation de granit ➔ continents**
- **Hydratation du manteau:**
  - ➔ ramolissement du manteau
  - ➔ courants de convection dans le manteau
  - ➔ dérive des continents
- **La présence de zircons datés d'avant le grand bombardement (- 4,2Ga) suggère la présence de continents pendant l'hadéen.**
  - Toutefois, ils seraient de composition différente de ceux actuels



© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 12

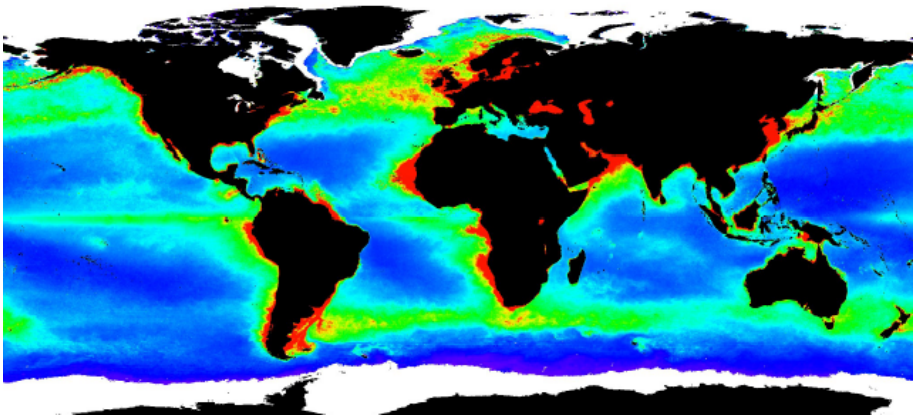
Présence de granites dans l'hadéen



Francis Albarède
Colloque OPV 08

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 13

Continents ➔ vie



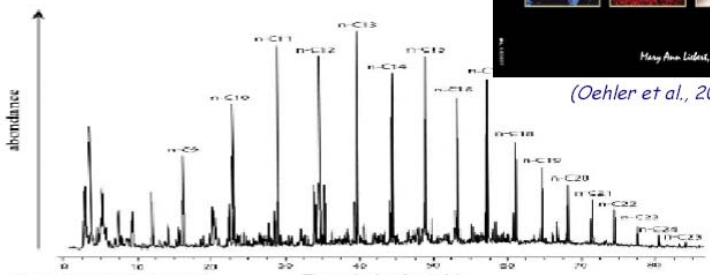
Minéraux d'érosion: phosphates et carbonates

Francis Albarède
Colloque OPV 08

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 14

Ces roches archéennes les plus anciennes contiennent à l'échelle micrométrique des fossiles et des marqueurs organiques

(Oehler et al., 2006)



(Derenne et al., soumis)

Marc Chaussidon
et
François Robert
Colloque OPV 07

Rigidité des mécanismes de base de la vie

- **La vie se transmet, elle ne se recrée pas!**
  - Toutes les pièces (de rechange et d'expansion) sont d'origine génétique. Leur synthèse est codée dans le génome
  - Un être vivant est "fabriqué" en vie
  - La vie se transmet par "bourgeonnement"
    - un être vivant fournit une de ses cellules (souche) avec un, ou un demi, génome (complété par un autre demi-génome de la même espèce)
  - La nouvelle cellule ne pourrait pas continuer à fonctionner avec un génome modifié qui ne correspondrait plus à son cytoplasme.
    - ➲Les mécanismes de base de la vie doivent donc être très stables vis à vis de l'évolution
    - ➲Leur éventuelle évolution ne peut être que très lente (par des suites de micro-évolutions "compatibles")

5 hypothèses pour expliquer l'unicité de la vie terrestre

1. **Il n'existe qu'une seule solution optimale à la mécanique de la vie**
   - faux!
     - existence de (légères) variantes dues à l'évolution pour s'adapter à des environnements différents
2. **Issue d'une compétition entre êtres vivants**
   - absence de fossiles d'autres formes de vie
   - généralement l'élimination est non totale (il devrait rester des traces)
3. **"Inspirée" par la chimie spatiale (cométaire)**
   - pas convainquant!
4. **Emergence unique de la vie terrestre**
   - Evènement de très faible probabilité
5. **Résultat d'un filtrage très sélectif**
   - Survie au grand bombardement (Hypothèse la plus crédible ! (via des archées extrèmophiles))

Espace

Mélange racémique de 70 acides aminés

Vie terrestre

20 à 22 acides aminés lévogyres, 48 à 50 non-utilisés

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 17

L'apparente contradiction de l'apparition de la vie sur terre

- **L'émergence de la vie serait un phénomène de forte probabilité**
  - Hypothèse compatible avec la vitesse d'apparition de la vie après le grand bombardement
  - Mais :
    - Il aurait eu de nombreuses occasions de se reproduire avec de petites variations => Il devrait donc exister plusieurs formes de vie (contradiction)
- **L'émergence de la vie serait un phénomène de très faible probabilité**
  - Explique l'unicité de la vie
    - Il ne se serait produit qu'une seule fois (sur terre !)
  - Mais :
    - Incompatible avec l'hypothèse d'une émergence rapide après le grand bombardement

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 18

Résolution de la contradiction précédente

- **Une solution compatible avec la contradiction précédente suppose :**
  - La vie serait un événement de faible probabilité
  - Elle est apparue sur terre pendant l'hadéen
    - près de 500 Ma disponibles entre le refroidissement initial et le grand bombardement
  - Une seule forme de vie aurait survécu au grand bombardement
    - Archées souterraines extrèmophiles
    - Effet de filtre dues aux conditions extrêmes

Emergence de la vie pendant l'hadéen

- **La présence de la vie à la fin de l'hadéen semble très probable**
- **Les conditions de l'hadéen sont "contrastées"**
  - Refroidissement de la Terre
  - Volcanisme important
  - Bombardement météoritique (refusions)
  - Mais chimie très active.....
- **La durée disponible pour une émergence de faible probabilité de la vie n'est pas assurée**
- **La terre aurait pu être ensemencée pendant l'hadéen par des météorites biotiques**

La vie ailleurs….

- **La galaxie contient plus de 200 milliard d'étoiles.**
- **Il a été recensé au moins autant de galaxies.**
- **Le soleil n'est qu'une étoile banale dans une galaxie banale…**
  - ➲ Postuler que la vie terrestre est la seule dans la galaxie (l'univers) est un **comble d'anthropocentrisme**
- **Notre galaxie, et beaucoup d'autres, doivent grouiller de vies…..**
- **Ces vies n'ont aucune raison d'être identiques à la nôtre…**

Une origine extra-terrestre de la vie terrestre

- **La vie, du type que nous connaissons, aurait émergée sur une planète d'un système stellaire qui aurait précédé le système solaire.**
  - Après plusieurs milliards d'années d'essais pré-biotiques
  - Dans un environnement particulièrement favorable
  - Avec une occupation de zones profondes (1 à 3 Km)
- **L'explosion de cette étoile (supernova) aurait projeté des météorites rocheuses biotiques dans la nébuleuse pré-solaire**
  - La vie dans ces météorites aurait été figée par les conditions spatiales (froid et vide => déshydratation)
  - Le voyage aurait duré plusieurs dizaines de millions d'années.....

La panspermie (suite)

- **La terre primitive aurait été bombardée par quelques unes de ces météorites biotiques**
- **La probabilité d'ensemencement devait être très faible**
  - probabilité de trouver un ensemble de conditions d'accueil favorables
    - température
    - hygrométrie
    - rayonnement
    - …..
  - faible probabilité de survie des germes
    - à la durée du voyage
    - aux conditions spatiales
    - à l'impact (certainement marin!)
- **Possibilité de plusieurs cycles d'ensemencement-destruction de la vie à la fin de l'hadéen**
- **Possibilité de plusieurs types de vie simultanées (compatibles avec les environnements rencontrés)**
- **Une éventuelle vie martienne aurait eu la même origine**

© F. Anceau (2008 revu 2013), Panspermie.ppt, transp 23