

**Această expoziție prezintă principalele etape ale istoriei planetei noastre, de la formarea sistemului solar cu 4.57 miliarde de ani în urmă, până la apariția și diversificarea vieții pe Pământ.**

**Cercetători curatori:**

**Muriel Gargaud Astrofizician, Universitatea din Bordeaux, CNRS, Franța**

**Purificación López-García Microbiolog, Universitatea Paris Sud, CNRS, Franța**

**Hervé Martin Geochimist, Universitatea Clermont Ferrand, Franța, Thierry Montmerle Astrofizician,**

**Institutul de Astrofizică din Paris, Franța, Robert Pascal Chimist, Universitatea Montpellier 2, Franța.**

Pentru mai multe informații: "Young Sun, Early Earth and the Origins of Life", Gargaud *et al.*, Springer 2012.



Această expoziție face parte din programele europene COST TD1308 *Originea și Evoluția Vieții în Univers* și Erasmus+ *European Astrobiology Campus*

# 1) În urmă cu aproximativ 4.750 de milioane de ani

FLUVIUL  
TIMPULUI



Fig. 1 – Steaua timpurie HH30 (din constelația Taurus).

La mai puțin de un milion de ani după formare, Soarele nostru semăna probabil cu această stea. Putem vedea discul circumstelar, având formă evazată și jeturile bipolare, părăsind steaua în mod simetric, perpendicular pe disc (raza discului este de 4 ori raza Sistemului Solar actual).

## Gestația Sistemului Solar De la nor interstelar la disc circumstelar.

Acum 4,57 miliarde de ani, undeva în galaxia noastră, Calea Lactee, o aglomerare de gaz și de praf din interiorul unei nor interstelar a colapsat sub influența gravitației.

În centrul său, s-a format un miez, embrionul viitoarei noastre stele, Soarele. Restul aglomerării a devenit un înveliș relativ izolat, care a căzut pe acest miez mai încet, via un disc circumstelar (ce înconjură steaua).

După o sută de mii de ani s-a născut o protostea.

Această viitoare stea a suferit apoi o adevărată metamorfoză: într-un milion de ani, învelișul său s-a rarefiat progresiv, steaua centrală s-a mărit prin discul circumstelar, simultan cu împrăștierea de materie sub formă de jeturi bipolare.

## 2) Între 4.570 și 4.560 milioane de ani în urmă

FLUVIUL  
TIMPULUI



Fig. 2 – Fragment din meteoritul Allende. Acest meteorit, care a căzut în Mexic în 1969, conținea la momentul formării Sistemului Solar, elemente radioactive ale căror urme pot fi găsite astăzi. Unele dintre aceste urme ne-au permis stabilirea cu foarte mare exactitate a vârstei Sistemului Solar: 4,5686 miliarde de ani.

## Nașterea Sistemului Solar Formarea planetelor gigantice.

Discul circumstelar a suferit transformări semnificative. Granulele de praf pe care le conținea s-au mărit rapid, prin mecanisme încă incomplet elucidate, până când au format „grămezi” cu raza de un kilometru, cunoscute sub numele de planetezimale. Acestea, s-au ciocnit între ele și pe parcursul a câteva milioane de ani au dat naștere embrionilor planetelor. Ulterior, acești embrioni și-au atras rapid gazul discului în vecinătatea lor, până când au ajuns de mai multe zeci de ori mai grele decât Pământul. Astfel s-au născut planetele gigantice.

La sfârșitul a zece milioane de ani, discul a dispărut, astfel încât în Sistemul solar au rămas:

- Planetele gigantice, formate în regiunile externe ale discului;
- Acele planetezimale care au scăpat procesului de formare a planetelor;
- Meteorii, reprezentând resturi rezultate din coliziunile dintre planetezimale.

### 3) Între 4.560 și 4.500 milioane de ani în urmă

FLUVIUL  
TIMPULUI



Fig. 3 – Formarea Lunii. Timp de mai multe zeci de milioane de ani după formarea sa, în Sistemul Solar au avut loc numeroase coliziuni.

Unele resturi se poate să fi rămas pe orbită în jurul corpurilor implicate și apoi s-au contopit din nou, formând un nou satelit. Astfel, la aproximativ 70 de milioane de ani după începutul Sistemului Solar, se presupune că a decurs formarea Lunii, în urma unei coliziuni gigantice între Pământul în formare și un alt corp ceresc, de mărimea lui Marte.

## Copilăria Sistemului Solar Formarea planetelor de piatră.

Din multitudinea planetezimalelor care mai existau, și sub influența perturbațiilor gravitaționale cauzate de planetele gigantice, mult mai lent de data aceasta, s-a format o a doua categorie de corpuri. Acestea sunt planetele de piatră denumite și terestre sau telurice, Mercur, Venus, Pământul și Marte.

Coliziunile care au devenit din ce în ce mai rare, dar care erau de asemenea violente, s-au produs pe parcursul câtorva zeci de milioane de ani.

Ultima dintre aceste coliziuni, între tânărul Pământ și un corp de mărimea lui Marte a dat naștere Lunii.

## 4) Între 4.560 și 4.500 milioane de ani în urmă

FLUVIUL  
TIMPULUI



Fig. 4 – Asteroidul 433 Eros așa cum fost văzut de către sonda spațială NEAR-Shoemaker al NASA.

Acest corp mic (cu lungimea de 33 km) aparține acum centurii de asteroizi a Sistemului nostru Solar. Între 4,56 și 4,50 Ga, astfel de corpuri care atunci erau suficient de îndepărtate de Soare pentru a conține multă gheață, au contribuit probabil semnificativ la apa de pe Pământ.

## Aducerea apei pe Pământ Semnificația surselor extraterestre.

Apa a ajuns pe Pământ la sfârșitul formării planetelor de piatră – sau în perioada imediat următoare – când planeta noastră se răcise suficient.

Cometele, constând în gheață și praf, pot fi una dintre surse. Totuși, studiul izotopilor de hidrogen din compoziția lor (raportul hidrogen/deuteriu) arată că cel mult 20% din apa de pe Pământ poate avea origine cometică. Astfel, pare că apa oceanelor a apărut fie în timpul etapei finale de aglomerare a planetezimalelor având originea în centura exterioară a asteroidului, fie ceva mai târziu, adusă de meteoriți, în timpul unui bombardament meteoritic ce ar fi avut loc după formarea Pământului.

În plus, apa furnizată de micrometeoriți a reprezentat un aport suplimentar, deloc neglijabil, pentru hidrosferă.

5) În urmă cu aproximativ 4.500 milioane de ani

FLUVIUL  
TIMPULUI

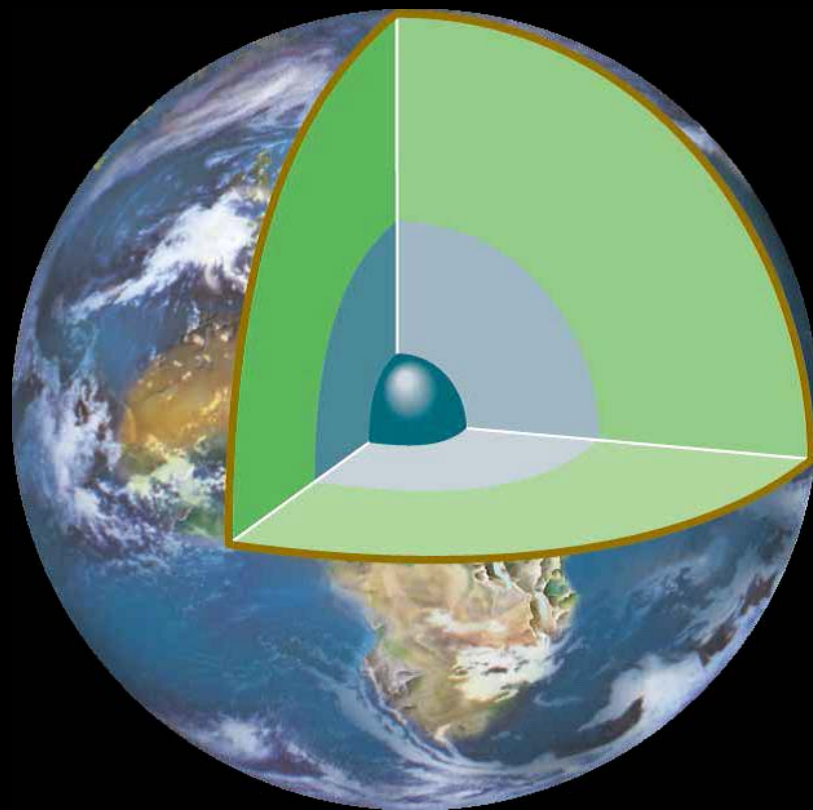


Fig. 5 – Secțiune schematică prin Pământul actual, ilustrând straturile concentrice din structura sa. Un Miez solid interior (turcoaz), un miez lichid exterior (gri), o manta (verde), crustele oceanice și continentale (maro).

## Începutul diferențierii Pământului

### Separarea miezului și mantalei, formarea oceanului de magmă

În timpul primelor 70 de milioane de ani ai Sistemului Solar, aglomerarea planetară a dus la formarea unui Pământ omogen.

În urmă cu aproximativ 4.500 de ani, s-au separat fierul și silicații. Datorită densității sale mai mari, fierul s-a concentrat în centrul planetei formând un miez. Silicații, fiind mai ușori, au rămas la suprafață formând mantaua.

Rotația miezului solid în interiorul miezului exterior lichid este sursa câmpului magnetic al Pământului care, chiar și astăzi, protejează suprafața planetei de vântul solar.

În același timp, energia gravitațională eliberată în timpul conglomerării Pământului împreună cu cea datorată dezintegrării elementelor radioactive (care erau foarte abundente) au dus la topirea porțiunii celei mai exterioare a mantalei, dând naștere unui ocean de magmă.

## 6) În urmă cu 4.400 milioane de ani

FLUVIUL  
TIMPULUI



Fig. 6 – Cristale arhaice de zircon: acestea sunt cristale asemănătoare, descoperite în Jack Hills din Australia de Vest, care au înregistrat vârste de până la 4.4 Ga. Zirconul, a cărui compoziție este  $(ZrSiO_4)$  este un mineral foarte rezistent la alterare, care în plus conține elemente radioactive cum sunt thoriu și uraniu, ce permit datarea cu ușurință. Ca urmare, sunt arhive temporale excelente ale istoriei Pământului.

## Primele continente, primele oceane

### Către un Pământ care ar putea fi locuit?

Datorită temperaturii înalte care prevala pe pământ, apa se evapora mai întâi în atmosferă. Ulterior, condensa și forma oceanele.

Analiza izotopilor de oxigen din cristalele de zircon descoperite în Australia, având vârste cuprinse între 4.400 și 4.300 de milioane de ani, indică prezența apei lichide (și astfel poate ale oceanelor) pe suprafața planetei acum 4.400 milioane de ani. Aceleași cristale de zircon arată de asemenea faptul că o crustă continentală stabilă, granitică, exista în acel moment, la mai puțin de 200 de milioane de ani de la începutul formării Pământului.

Având crustă continentală și oceane, Pământul a devenit potențial locuibil începând cu 4.400 de milioane de ani în urmă... ceea ce nu înseamnă că era într-adevăr locuit.

## 7) În urmă cu aproximativ 3.900 milioane de ani

FLUVIUL  
TIMPULUI

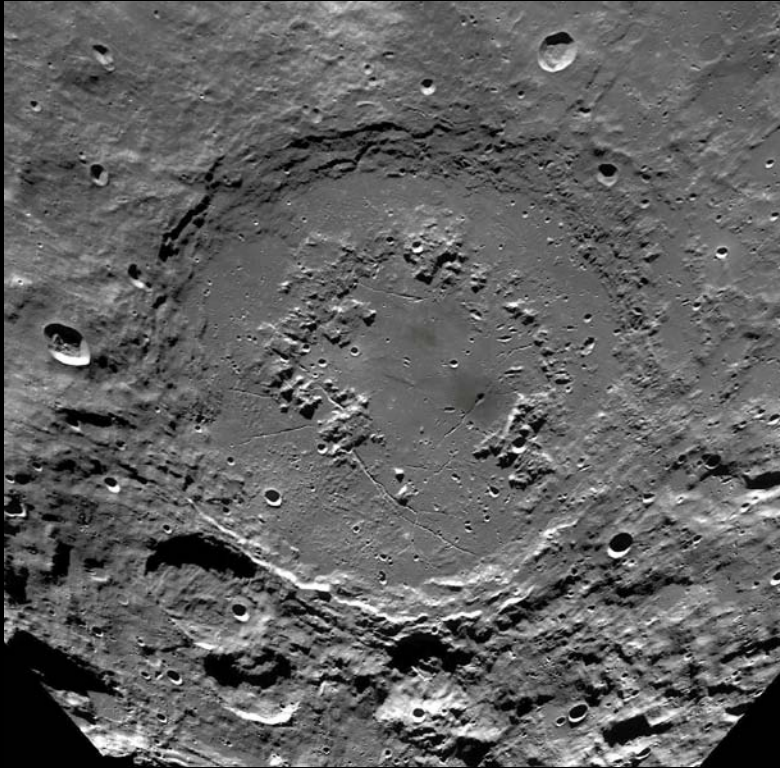


Fig. 7 – Craterul Şchrödinger, format pe Lună în timpul intensului bombardament de acum 3.900 de milioane de ani. Cu un diametru de 320 km, acesta nu este unul dintre cele mai mari cratere de pe Lună.

## Marele bombardament târziu

### Un Pământ temporar de nelocuit?

În timpul primelor 500 de milioane de ani din istoria Pământului, frecvența coliziunilor dintre planetezimale a scăzut foarte mult.

Totuși, cele 1.700 de cratere lunare, formate cu aproximativ 3.900 de milioane de ani în urmă, sunt dovada unui bombardament meteoritic, pe cât de unic pe atât de intens, atribuit reorganizării orbitelor planetelor gigantice de gaz. Prin extrapolare, se estimează că în acea perioadă, pe Pământ s-ar fi format mai mult de 22.000 de cratere (dintre care 200 ar fi avut diametrul mai mare de 1.000 de km).

Dacă viața exista deja, fie ar fi dispărut complet, și procesul ar fi trebuit să reînceapă de la zero (fără îndoială sub o altă formă) fie a existat o extincție în masă, dar microorganismele care trăiesc la cele mai mari adâncimi ale oceanelor sau în subfața rocilor au fost protejate, și ar fi putut repopula ulterior planeta.



## 8) Între 4.300 și 2.700 milioane de ani în urmă

FLUVIUL  
TIMPULUI

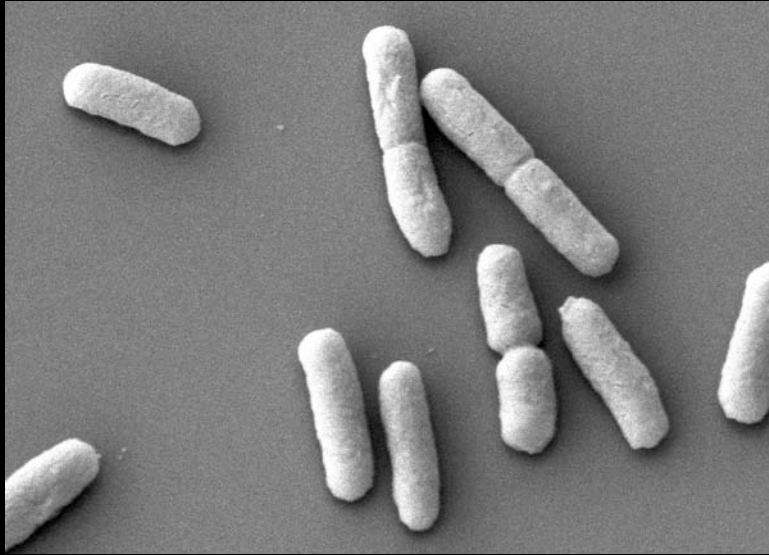


Fig. 8 – Bacterii la SEM (scanning electronic microscope). Cu siguranță, organismele vii au adoptat rapid forma celor mai simple celule procariote cunoscute astăzi. (Ca celulele bacteriene arătate alăturat).

## Trecerea de la abiotic la biotic De la chimia prebiotică la primele celule

Viața a apărut pe Pământ la o dată necunoscută, între 4.300 și 2.700 de ani în urmă, probabil între 3.800 și 3.500 de milioane de ani (această ultimă dată fiind vârsta microstructurilor minerale considerate a fi – fără absolută siguranță – microfosile).

În timpul acestui interval de timp, procesele termice sau fotochimice, procese din atmosferă (care consta mai ales în  $N_2$ ,  $CO_2$  și  $H_2O$ ), acțiunea mineralelor reducătoare din sistemele hidrotermale de pe fundul oceanelor, dar și căderea anumitor meteoriți (chondrite carbonatice) erau sursa materiei organice. S-au dezvoltat reacții chimice în lanț ai căror produși au devenit asociați unul cu altul în sisteme supramoleculare care, după etape care încă nu au fost complet înțelese, au dus la apariția primelor celule prezentând trei proprietăți fundamentale: o membrană, metabolism, și un sistem genetic reproductibil servind ca bază de evoluție pentru selecția naturală.

## 9) Între 3.500 și 2.700 milioane de ani în urmă

RÂUL  
TIMPULUI



Fig. 9 – Cele mai vechi stromatolite cunoscute și recunoscute ca atare (Tumbiana, Australia). Aceste structuri, cu vârsta de 2.700 de milioane de ani s-au format prin precipitarea carbonaților asociată cu comunități microbiene complexe.

## Începutul evoluției biologice Primele urme de viață și diversificarea procariotelor

Primele celule s-au diversificat și s-au adaptat la diferite nișe ecologice. Au dat naștere organismelor procariote, cu o structură simplă, care ulterior s-au separat în bacterii și archebacterii.

Această separare a fost însoțită de apariția de noi tipuri de metabolism (fotosinteză, metanogeneză, și forme diverse de respirație). Bacteriile fotosintetizatoare sintetizau materie organică din  $\text{CO}_2$ , utilizând energia luminii și un donator de electroni:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2$  sau poate chiar și atunci,  $\text{H}_2\text{O}$  (în fotosinteza aerobă).

Stromatolitele, structuri laminate organo-sedimentare formate de comunități complexe de procariote ce induceau precipitarea carbonatului erau larg răspândite.

Cele mai vechi datează de acum 3.450 de milioane de ani, dar originea lor biologică este controversată, ca și în cazul altor urme fosile foarte vechi. Cele mai vechi stromatolite având origine necontroversată au vârsta de 2.700 de milioane de ani.

# 10) În urmă cu 2.400 milioane de ani



Fig.10 – Diferite tipuri de cianobacterii (coci, stânga; filamente, dreapta). Aceste bacterii produc oxigen în timpul fotosintezei. Au contribuit la acumularea oxigenului în atmosfera Pământului.

## Oxigenul începe să se acumuleze în atmosferă și în oceane

### Impactul vieții asupra mediului

Oxygenarea planetei noastre este consecința prezenței vieții și, în particular a cianobacteriilor. Acest grup de bacterii a dezvoltat fotosinteza în prezența oxigenului, prin care sunt degradate moleculele de  $H_2O$ , rezultând  $O_2$  ca subprodus.

În paralel, respirația oxigenului se răspândește printre diferite linii microbiene. Acele organisme care nu au reușit să respire oxigen sau să îl tolereze, s-au izolat în nișe ecologice anoxice, cum sunt sedimentele.

Oxigenul care nu a fost complet consumat în procesul respirației aerobe, a oxidat mai întâi metalele de la suprafața rocilor de pe planetă, și apoi s-a acumulat în ocean, atmosferă și sedimente (formând așa numitele *formațiuni feroase în benzi*).

11) În urmă cu aproximativ 2.000 milioane de ani

FLUVIUL  
TIMPULUI



Fig. 11 – Fosila de *Tappania plana*, unul dintre cele mai vechi organisme eucariote (Din Roper Group, Australia). Are 1.500 de ani.

## Apar organismele eucariote

### Primele celule cu nucleu și urmele lor fosile

Organismele eucariote sunt alcătuite din celule care conțin nucleu (unde se află materialul genetic) și organite celulare: mitocondrii, unde are loc respirația pe bază de oxigen, și în cazul plantelor, cloroplaste, unde are loc fotosinteza.

Mitocondriile și cloroplastele derivă din bacterii care au fost înglobate în celula eucariotă ca endosimbionți. Eucariotele sunt astfel parțial produsul simbiozelor care implică bacterii. Primele organisme eucariote au fost unicelulare. Nu aveau un schelet mineral, dar aveau un perete organic. Totuși, printre fosile, ele pot fi deosebite de procariote prin dimensiunea lor (în general, dar nu întotdeauna) mai mare, și mai ales prin structura ornamentată a pereților lor celulari. Microfosilele celui mai vechi organism eucariot (acritarchs) au aproximativ 1.500 – 1.800 de ani.

# 12) Între 1.200 și 540 milioane de ani în urmă

FLUVIUL  
TIMPULUI



Fig. 12 – *Bangiomorpha pubescens*, care este poate o algă roșie pluricelulară, de 1.200 de ani.

## Apariția primelor organisme pluricelulare

### Primele urme de alge, animale și fungi

Printre fosile, primele fosile ale organismelor pluricelulare datează de acum 1.200 de milioane de ani, apoi altele au apărut în urmă cu 1.000 și 750 de milioane de ani (alge, fungi și organisme neidentificate).

Cele mai vechi fosile de animale datează de acum 550 – 600 de milioane de ani. Acestea reprezintă faimoasa faună Ediacara, constând în fosile microscopice și apoi macroscopice. Acestea erau organisme cu corp moale (fără schelet extern sau cochilie), prezentând o enorm de bogată variație a planurilor corporilor.

Capacitatea animalelor de a precipita minerale și a forma schelete a apărut chiar înainte de Cambrian (acum aproximativ 540 de milioane de ani).

Plantele au apărut mai târziu, după cum este relevat de sporii fosili de mușchi care au aproximativ 440 de milioane de ani. La plante și la animale au apărut structuri celulare diferențiate, specializate pentru îndeplinirea de funcții specifice (țesuturi celulare).

# 13) În urmă cu 540 de milioane de ani

FLUVIUL  
TIMPULUI



Fig. 13 – Dovezi ale exploziei din Cambrian. Anomalocaris, un prădător ce înota în ocean în urmă cu 505 de milioane de ani (avea lungimea de 45 de cm).

## Explozia Cambriană

### Diversificarea vieții animale, dezvoltarea cochiliilor și a carapacelor

Majoritatea reprezentanților faunei Ediacara au dispărut în mod misterios la granița cu Cambrianul.

Asistăm din nou la apariția unei mari diversități de fosile animale, dar de această dată, cu o organizare a corpului mai puțin variată, dar care prezintă cochilii, carapace, spini și diferiți apendici. Evoluția radială (mare diversificare într-o perioadă scurtă de timp) a fost cauzată de apariția inovațiilor biologice (structuri de protecție și de prădare, și de noi moduri de viață) care permit popularea de noi nișe ecologice. În paralel cu aceasta, procariotele și eucariotele unicelulare au continuat să se diversifice și să evolueze.

# 14) Între 540 de milioane de ani și prezent

FLUVIUL  
TIMPULUI

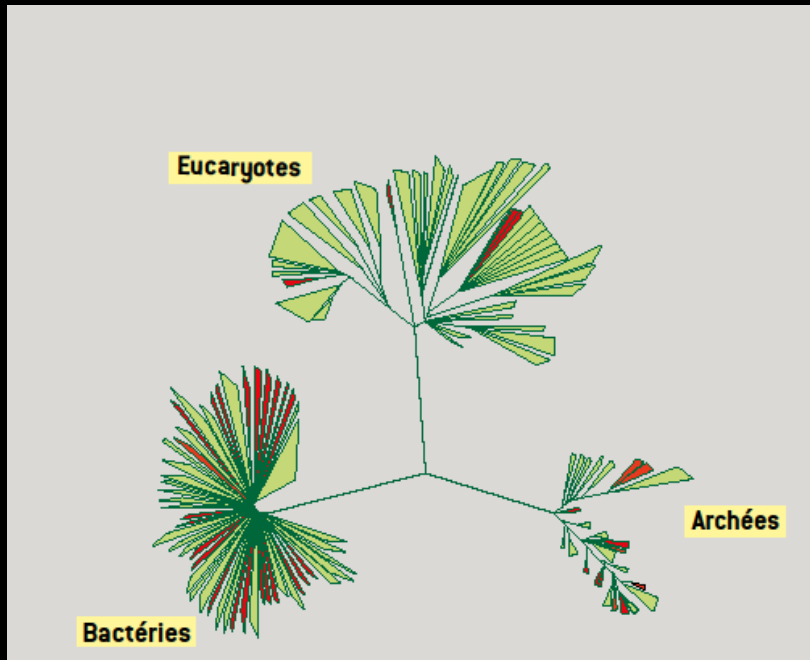


Fig. 14 – Diversitatea vieții în prezent. Se recunosc două domenii ale procariotelor (bacteriile și arhebacteriile), și un domeniu al organismelor eucariote, printre care există numeroase linii pluricelulare.

## Explozia vieții macroscopice Evoluția biologică continuă...

Ultimii 540 de milioane de ani se disting printr-o explozie a vieții macroscopice, ce s-a răspândit mai întâi în oceane și apoi pe uscat. Această perioadă a fost însoțită de modificări bruște ale mediului – glaciațiuni, activități seismice intense și căderea unuia sau mai multor meteoriți – care au dus la extincția în masă a mai multor specii, cu precădere dintre cele macroscopice.

Impactul meteoritului Chicxulub, acum 65 de milioane de ani, a eliminat majoritatea dinozaurilor și a favorizat expansiunea liniilor actuale de mamifere, dintre care una, cea a primatelor, va evolua în speciile de Homo sapiens, în urmă cu aproximativ 200.000 de ani. În paralel, alte animale, plante, eucariote unicelulare și procariote microscopice au continuat să evolueze.

Toate organismele din prezent, de la bacterii la om, au suferit același grad de evoluție. Toate au străbătut aceeași lungă cale a evoluției. Și toate continuă să evolueze...



Această expoziție a fost elaborată în cadrul programelor europene

- COST: TD1308 *Originea și Evoluția Vieții în Univers*

și

- Erasmus+: *European Astrobiology Campus*



Erasmus+

