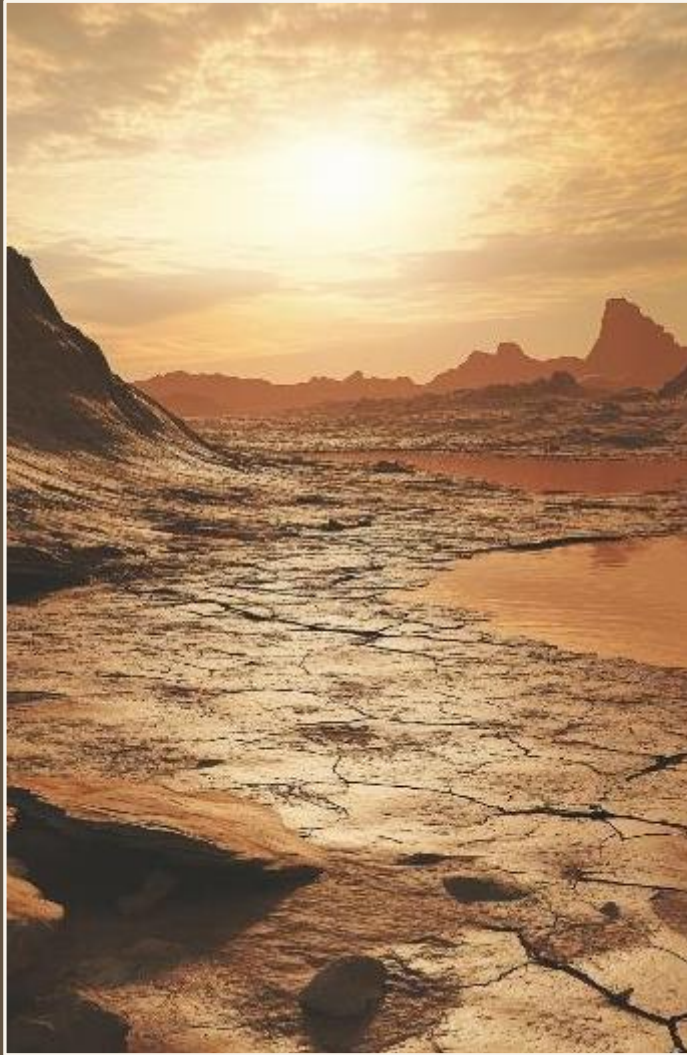




HET ONTSTAAN VAN PLANTEN EN
HUN (VAAK MISKENDE) BETEKENIS

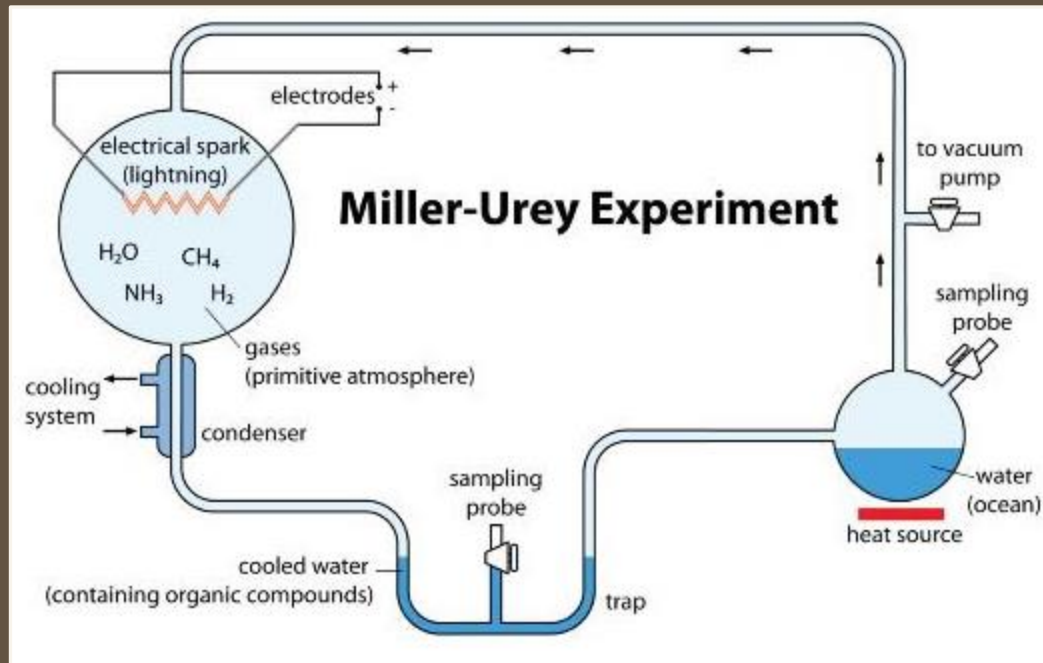
OOK ONS VERHAAL

Jean Pierre Deforce



Algemeen wordt aangenomen dat de aarde ongeveer 4.6 miljard jaar oud is. De oppervlakte bestond enerzijds uit water: de oer-oceaan, 70 % van de oppervlakte, en 30 % uit vaste land: een enorme rotsformatie. Aarde zoals we nu kennen was er niet, enkel gesteente dus. Wel spoelden door de regen veroorzaakte erosie mineralen uit die rotsformatie naar de oer-oceaan en die mineralen werden zeer belangrijk voor de evolutie van leven. Het uitzicht veranderde zeer traag door deze erosie en de platentektoniek. De hemel was niet blauw maar roestkleurig omdat er geen zuurstof en ozon in de dampkring was.

Omdat onze hersenen veel moeite hebben met ver teruggaan in de tijd, bijvoorbeeld: "wat is het verschil tussen 100 miljoen jaar geleden en 10 miljoen jaar geleden?" zal ik een dubbele klok gebruiken. Vooreerst, als de verlopen tijd sedert het ontstaan van de aarde en nu 100 procent is zal ik aangeven, hoeveel procent van de tijd voorbij was toen een bepaalde gebeurtenis zich voltrok. Ik zal ook de volgende vergelijking gebruiken: als de verlopen tijd van de aarde weerom vanaf zijn ontstaan 4.6 miljard jaar terug en het nu 24 uur is: wat gaf de klok aan op het moment van die gebeurtenis?



De atmosfeer bevatte initieel geen zuurstof, wel dacht men dat die bestond uit CO_2 -, methaan (CH_4), water (damp) H_2O , ammoniak (NH_3) en stikstof (N_2). In de beroemde Miller-Urey experimenten (1953) werden deze elementen in een gesloten systeem onderworpen aan afkoeling, opwarming en elektrische vonken (nabootsen bliksem). Na korte tijd ontstonden complexe aminozuren: de bouwstenen van de eiwitten of proteïnes die we allemaal kennen. Proteïnes zijn de belangrijkste bouwstenen van het leven

Nu is aangetoond dat het uitgangspunt van het experiment onjuist was: de samenstelling van de atmosfeer bestond vooral uit CO₂ en Stikstof (N₂). Toch wordt in de hypothese aangenomen dat aminozuren en nucleotiden (de bestanddelen van RNA en DNA, de dragers van de erfelijkheid); de bouwstenen van het leven, ontstonden thv vulkanische activiteit vooral in zee (zogenaamde diepzeeschoorstenen). Ook bliksem inwerking, UV straling en temperatuurswisselingen hadden hun aandeel. Wanneer het leven juist ontstond weten we niet maar er wordt aangenomen dat het na 'de grote bombardementen' gebeurde. De aarde werd gedurende miljoenen jaren met ruimtepuin gebombardeerd. Deze periode stopte 3,8 miljard jaar (16% van de tijd is voorbij) geleden. Die bombardementen brachten zeer waarschijnlijk ook heel veel elementen op aarde zoals water, koolstof, metalen en mineralen; essentieel voor het leven. Opmerkelijk is ook dat meteoroiden heel vaak aminozuren en bestanddelen van DNA en RNA nucleotiden bevatten. Deze moleculen ontstaan blijkbaar erg makkelijk.

Hieruit volgt een eerste hypothese over het ontstaan van het leven. De hypothese luidt; deze aminozuren begonnen aan elkaar te kleven en vormden complexe eiwitstructuren met lipiden. Zo ontstond een vesicula met erin een RNA of DNA streng. Het eerste levend wezen ontstond tussen 3,8 miljard jaar en 3,5 miljard jaar geleden. In de periode dat al 16 tot 23 procent van de tijd voorbij was, de klok wijst tussen 4u 7 min en 5u 9 min in de ochtend. De foutmarge is enorm! Dan ontstond LUCA ; de eerste universele voorouder van alle leven op aarde. Zeer waarschijnlijk een enkele keer diep in de oer-oceaan.

Deze eerste hypothese over het ontstaan van het leven heeft in wetenschappelijke kringen de meeste aanhangers. Let op: deze hypothese is niet bewezen en de wetten van de evolutietheorie zijn hier niet van toepassing!

Een andere hypothese stelt dat het leven uit de ruimte komt omdat meteoriden heel dikwijls aminozuren en nucleotiden (de bestanddelen van DNA en RNA) en ook suikers bevatten: maar dit verplaatst het probleem; als het leven op aarde uit de ruimte komt, hoe is het dan daar ontstaan?

De derde hypothese is religieus, namelijk dat alle leven door een God geschapen werd. Eerst was er het verhaal van Adam en Eva maar na Darwin kwam een nieuwe versie: het intelligent ontwerp. Deze hypothese heeft nog steeds heel veel aanhangers!



In elk geval was LUCA onze, eerste universele voorouder - ééncellig 1 micron groot = één duizenste van een millimeter en beantwoordde aan volgende alle onmisbare voorwaarden om als levend gecatalogeerd te mogen worden:



1

Die cel was in staat tot reproductie via een erfelijke code vervat in het DNA of RNA molecule en was in staat tot groei



2

Was in staat voedsel in energie om te zetten



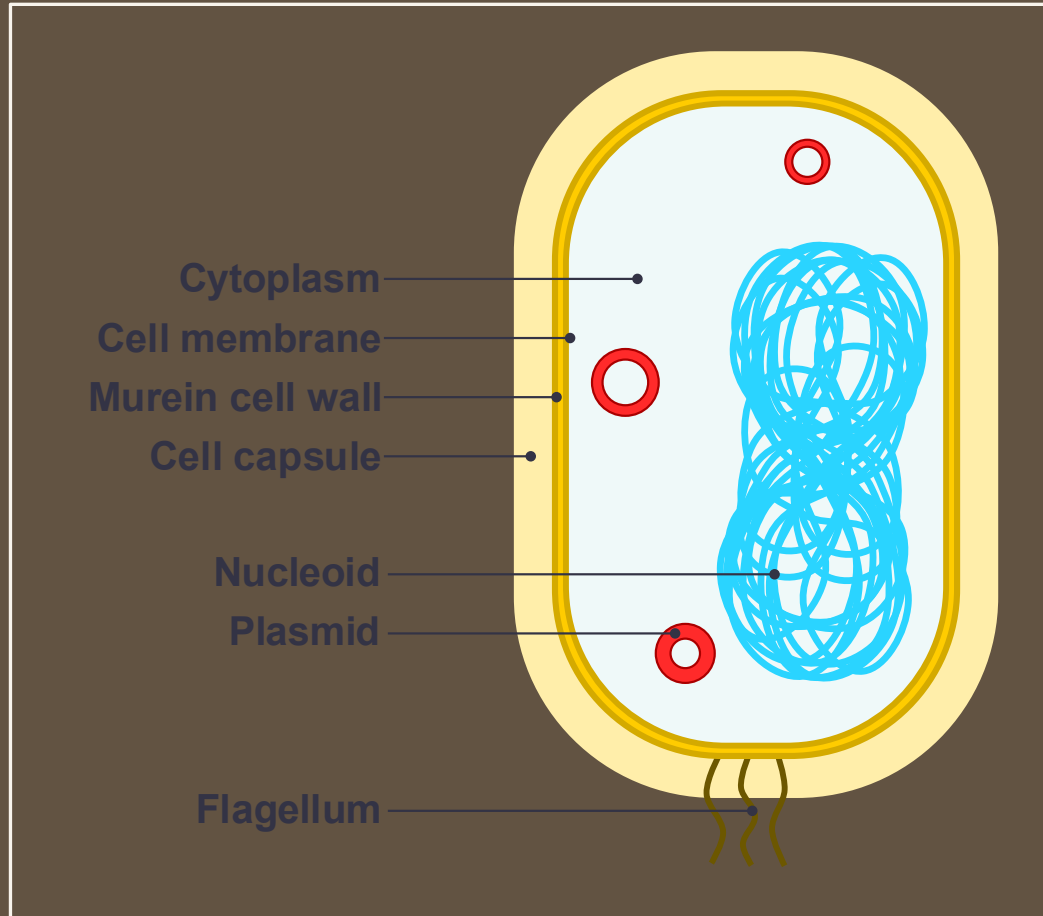
3

Kon reageren op prikkels

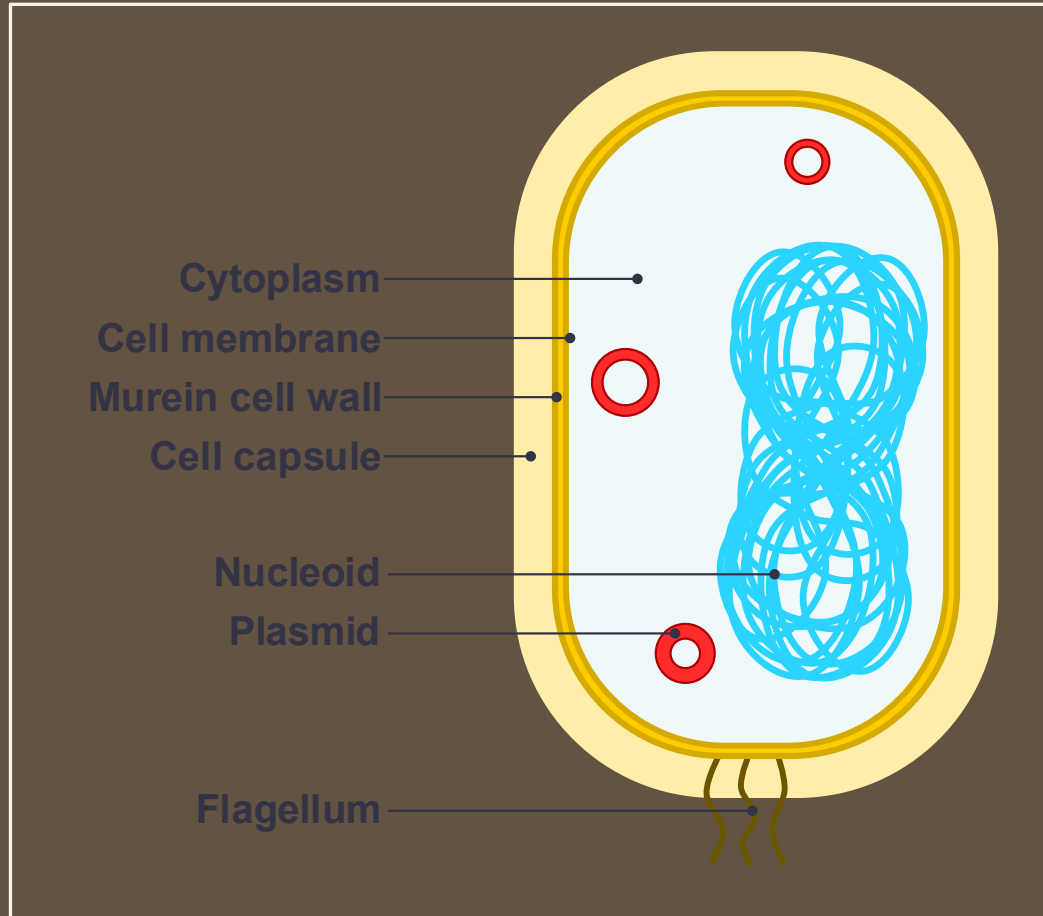


4

Was in staat zijn eigen milieu
te handhaven



Die cel bestond uit een membraampje rond DNA of RNA: de dragers van de genetische code, daarbij een eiwit producerend organel; voorloper van het ribosoom in onze cellen, en ATP en ATP ase: de universele energieleverancier nu nog steeds in onze cellen! In die cel woedde een moleculaire storm; die storm was geen chaos meer maar onder controle en beantwoordde aan de wetten van de quantummechanica.



Wij nemen aan dat deze eencellige organismen druk, temperatuur, chemicaliën, licht en zelfs het electromagnetisch veld van de aarde konden waarnemen: het was de primitiefste vorm van wat we bewustzijn kunnen noemen!

LUCA ontstond in diep water: dodelijke UV straling maakte alle leven op land en ook in de eerste 10 meter diepte in het water onmogelijk.



Voor ik nu verder ga moet ik eerst het verhaal van de Chinese keizer vertellen. In het oude China was aan het paleis van de keizer een erg moeilijk werk dat moest uitgevoerd worden en lang zou duren; een vakman die het kon werd niet snel gevonden.

Op een dag bood zich een man aan die aantoonde dat hij het werk wel kon uitvoeren: de keizer was in de wolken.



“En wat moet ik je betalen”, vroeg de keizer tot slot. De man antwoordde: “De eerste dag één rijstkorrel, de tweede dag 2, en elke verdere dag het dubbele van de vorige dag”. De keizer was onmiddellijk akkoord.

Maar! Na 1 maand was de dagelijkse schuld aan rijstkorrels al opgelopen tot meer dan een miljard rijstkorrels, of 20 000 kg rijst . Binnen het jaar was de dagelijkse schuld aan rijstkorrels van de keizer voor de ambachtsman groter dan het gewicht van de aarde!



Nu terug naar LUCA de eerste universele voorouder. Die was ééncellig, vergelijkbaar met een bacterie: zoals gezegd 1 micron diameter (1/1000 mm). Als we aannemen dat er dagelijks een reproductieve deling was (sommige bacteriën delen zich om de 20 minuten), dan leert ons het verhaal van de keizer hoeveel LUCA's er na een maand, en na 1 jaar of na - stel u voor - 1 miljoen jaar waren. Daarbij hadden ze een onmetelijk terrein om zich te verspreiden; de hele oceaan, en hadden ze initieel geen vijanden.



Een tweede uiterst belangrijk fenomeen deed zich voor; tijdens de reproductie of voortplanting. In de genetische code (DNA RNA) die de blauwdruk voor de reproductie was, ontstonden soms tijdens die reproductie kleine ongewilde wijzigingen in die genetische code. In handboeken spreekt men dikwijls van foutjes in de reproductie. Het wetenschappelijke woord voor die wijzigingen is evenwel mutaties. Mutaties komt van het latijn "mutare" en betekent: maken dat iets anders wordt, wijzigen, veranderen. En dit is de juiste omschrijving.

Het fenomeen mutatie is de basis van alle evolutie van het leven en kan dus niet als fout bestempeld worden. Zonder het fenomeen mutatie waren wij hier niet. In die wijzigingen zit evenwel geen enkel plan. Die kleine wijzigingen (in de erfelijke code) zijn toevallig en willekeurig en blind. De mutatiefrequentie wordt op 1 miljoen kans/gen ingeschat, is dus laag, maar door het enorme aantal bacillen was mutatie op populatieniveau wel frequent.

Vele van die wijzigingen waren eerder nadelig en vanaf hier gelden de wetten van de evolutietheorie van Darwin wel: survival of the fittest, de best aangepaste organismen overleefden en de andere stierven uit.

Was een bacil zwakker door een mutatie dan stierf die uit. Maar af en toe leverde een mutatie wel een duidelijk voordeel op: De nieuwe gemuteerde bacil was beter aangepast aan het leven op aarde. Na korte tijd (denk weer aan het verhaal van de keizer) overheerste een dergelijke bacil de andere en op korte tijd waren ze met zeer veel. Mutaties bleven komen, een steeds zich herhalend fenomeen, zodat steeds beter aangepaste organismen de oer-oceaan bevolkten.

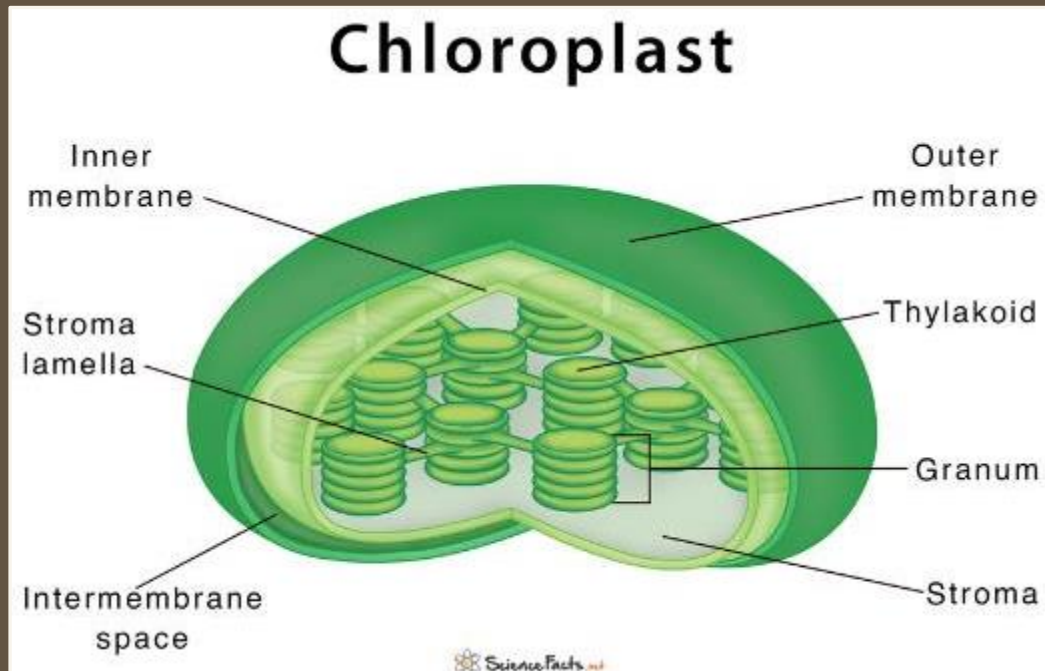


Laten we teruggaan naar de oer-oceaan, ook soms de oersoep genoemd.

Deze eerste cellen waren heterotroof; dit wil zeggen: zij waren voor hun voedsel aangewezen op aanwezige stoffen, waterstof onder andere, en aminozuren. Ze konden zelf geen voedsel aanmaken.

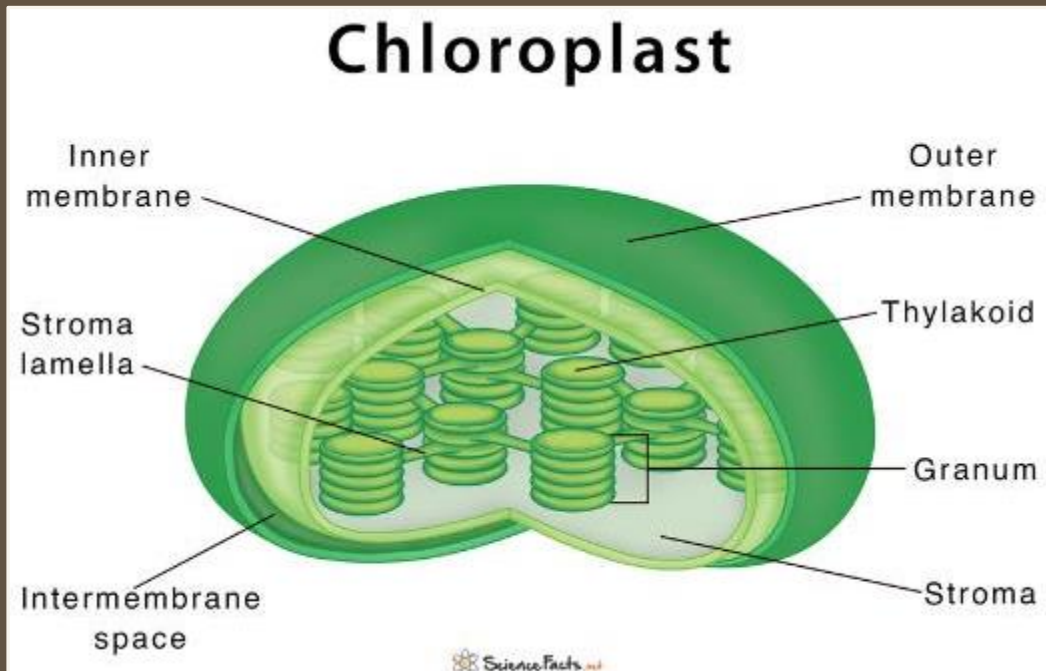


Die eencellige organismen bleven zich aan een waanzinnig tempo uitbreiden. Op een bepaald moment, waarschijnlijk een miljard jaar na het ontstaan van het leven, kwam er voedselgebrek: honger in de oceaan door overbevolking. Er ontstond een meedogenloze selectie.



Dankzij het fenomeen mutatie ontstonden eerst cellen die het met minder voedsel konden doen, en tenslotte bacillen die zelf hun voedsel aanmaken: ze werden autotroof: zelf voedend.

Deze autotrofe cellen ontstonden niet eenmaal, maar in varianten, en hadden de eigenschap dat ze uit anorganische stoffen hun eigen organische moleculen als voedsel konden aanmaken. Alle andere complexe levende organismen die later komen zijn heterotroof: ze zijn voor hun voedsel rechtstreeks of onrechtstreeks afhankelijk van autotrofe organismen.



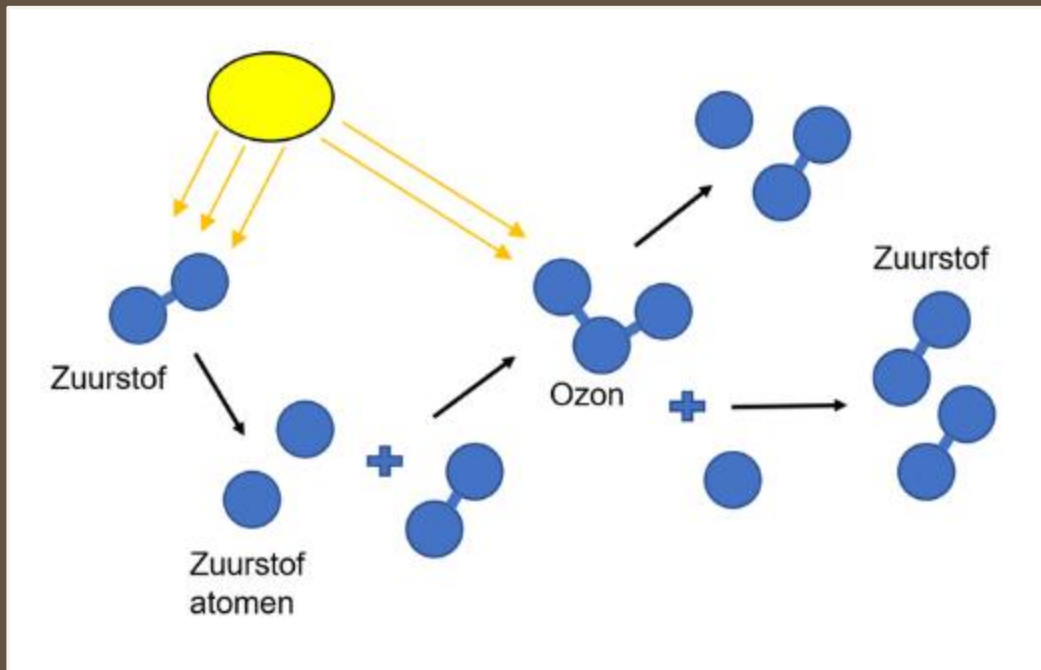
De meest succesvolle autotrofe eencellige had dus uiteindelijk een organel 1 micron groot: de chloroplast genoemd. Hier wordt uit 6 moleculen water, 6 moleculen CO_2 , en fotonen van de zon, stoffen die alom en onbepaald aanwezig zijn, glucose aangemaakt. Glucose is nog steeds de belangrijkste energiebron. Dit proces noemen we fotosynthese. De oerplant was op aarde. Zonder deze fotosynthese zou er geen complex leven op aarde zijn en waren wij er zeker niet. In het ontstaan van de chloroplast heeft naast mutatie zeer waarschijnlijk ook endosymbiose een belangrijke rol gespeeld. Ik zal dit verder uitleggen bij het ontstaan van de eukaryotische cel.



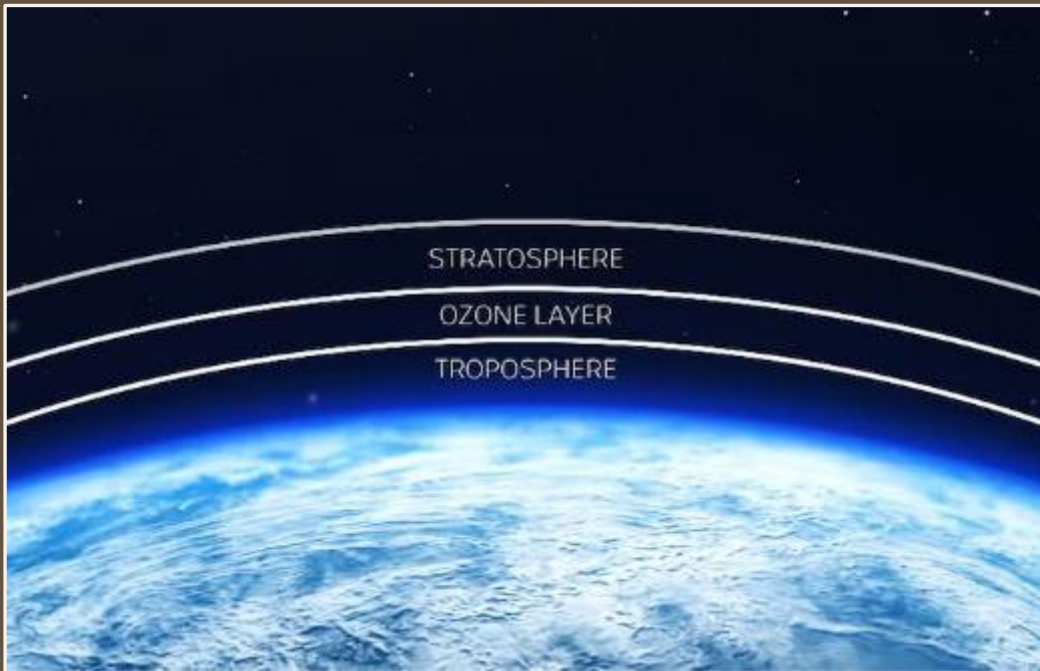
Het ontstaan van de chloroplast vond ongeveer 1.8 miljard jaar na het ontstaan van de aarde plaats. Volgens mij de grootste gebeurtenis ooit op aarde. 39 % van de tijd is voorbij, de klok wijst op 9u 25 min. Deze organismen worden cyanobacteriën of blauwalgen genoemd. Zij ontwikkelden het proces van fotosynthese, dat zich verder verfijnde in microscopisch kleine organismen van slechts enkele micrometers groot. Dit proces zou de aarde voorgoed veranderen en leven mogelijk maken dat voordien onmogelijk was, zoals het onze. Naast de aanmaak van glucose was er ook een belangrijk nevenproduct: zuurstof: O₂.



Nu denken jullie dat dit het begin was van de aanwezigheid van zuurstof in de atmosfeer. Neen! Zuurstof reageert makkelijk met andere moleculen zoals ijzer; Fe. Dit ijzer was in de oer-oceaan overvloedig aanwezig en dit ijzer reageerde met die zuurstof om ijzeroxide te vormen, een proces dat we goed kennen en roest noemen. Deze ijzeroxide zonk naar de oceaانبodem. Het duurde enkele miljoenen jaren tot al het ijzer geoxideerd was!



Dan pas begon zuurstof in het water en de atmosfeer te diffunderen. Een nieuw zeer belangrijk fenomeen deed zeer voor; de zuurstofmoleculen die zich verspreidden in de hogere luchtlagen kwamen in contact met UV-licht. Hoog energetische zonnestrallen waardoor een deel van de zuurstofmoleculen O_2 uiteenvielen in zuurstofradicalen O . Deze reageerden met de zuurstof en vormden ozon: O_3 .



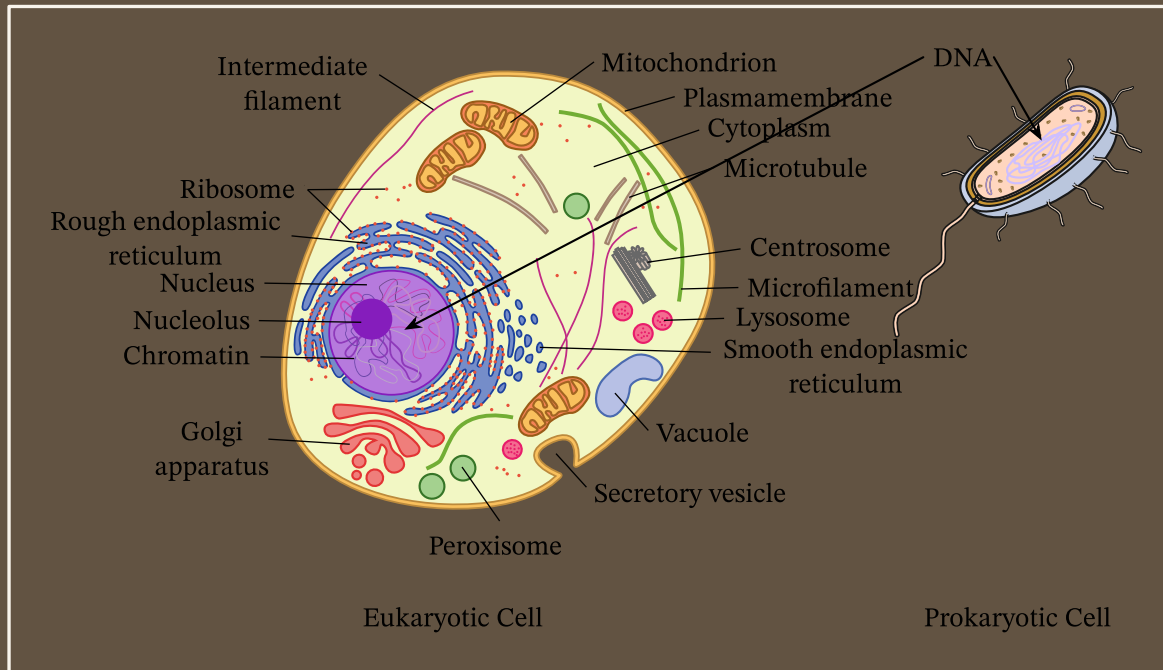
Deze ozonlaag kan je vergelijken met een zonnebrandcrème: het beschermt de aarde tegen het schadelijk UV-licht. Men schat dat er voldoende ozonbescherming was zodra er 0.2 procent zuurstof in de lucht was. Toen kon ook de eerste 10 meter zone van het water levende wezens herbergen. Voor de planten was dit the place to be. In die eerste 10 meter zone waren uiteraard de meeste fotonen van de zon aanwezig.

De invasie van de fotosynthetiserende bacillen in die eerste tien meter zone vormde de eerste uitbreiding van het leven in een zone die vroeger ontoegankelijk was. Dit kon alleen door de beschermende werking van de ozonlaag tegen UV.

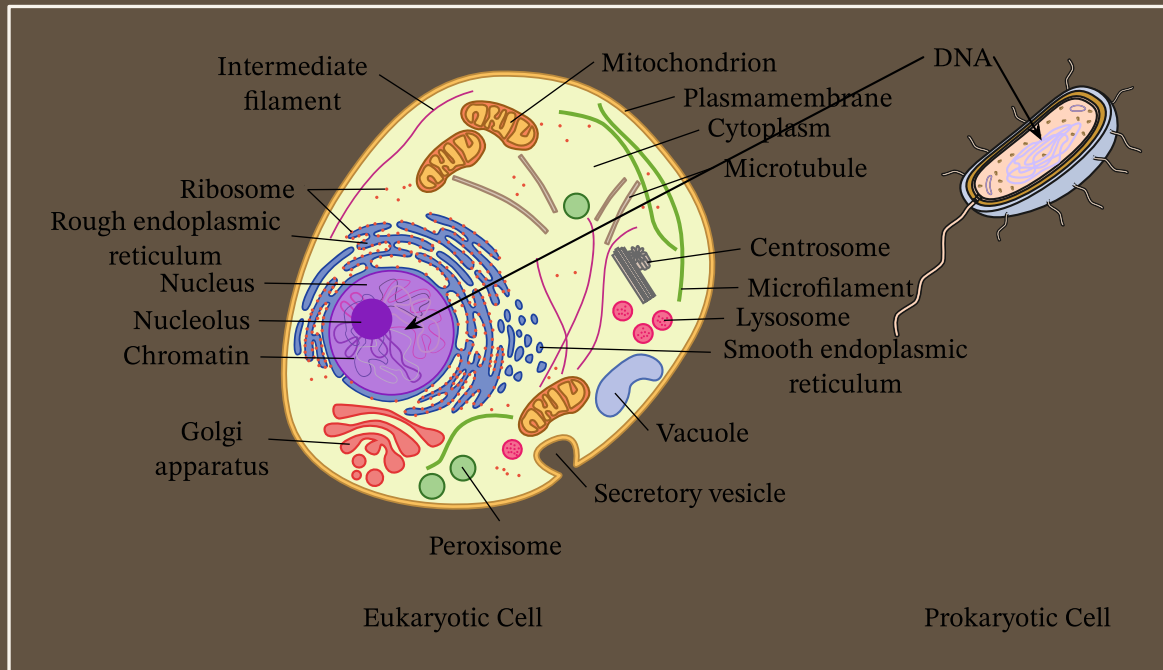


De heterotrofe bacillen stierven niet uit maar profiteerden volop van die oerplanten die nu als voedsel gebruikt werden o.m. door fagocytose. Fagocytose is een fenomeen waarbij een cel een andere omsluit en het inwendige milieu opneemt. Daarbij was er uiteraard ook verdere evolutie bij die heterotrofe bacillen door mutatie.

Het leven tot nu toe bestond enkel uit procaryoten; dit zijn eencellige organismen zonder celkern. Pas recent is duidelijk geworden dat er op genetische basis twee grote families van prokaryoten waren; weliswaar met LUCA als gemeenschappelijke voorouder: de bacteriën en de archaea. Endosymbiose tussen die bacteriën en archaea; waarbij de sterkere de andere fagocyteerde (=opat!) was een frequent fenomeen. Maar in plaats dat er bij die endosymbiose een van de organismen ten onder ging, ontstond heel zelden een nieuwe cel die efficiënter en dus beter aangepast was dan de twee cellen afzonderlijk, met behoud van beide 'ouderlijke' eigenschappen. Zo hadden ze ongewild en toevallig een samenwerkingsverband. In handboeken wordt dit vaak als bewuste samenwerking bestempeld, maar het was een willekeurig wreed kannibalisme zonder doel of plan aan de oorsprong.



Weerom, zoals in het verhaal van de keizer, waren die 'betere' cellen op korte tijd met enorme aantallen aanwezig. Dit leidde tenslotte stapsgewijze tot de eukaryotische cel: een cel met een kern; de drager van de erfelijkheid en de uitvoerder van de informatie, en talrijke organellen met een welbepaalde functie. Dit zijn de cellen waaruit wij bestaan. Deze evolutie gebeurde ongeveer 2.2 miljard jaar geleden, of 2.4 miljard jaar na het ontstaan van de aarde.



52 procent van de tijd is voorbij,
de klok wijst 12u en 30minuten aan.
Deze eukaryotische cellen waren 10 tot
100 x groter als de procaryocyten en
waren in alles efficiënter, maar het zijn
nog steeds eencelligen in de oceaan.

Zowel uit heterotrofe als autotrofe organismen ontstonden eukaryotische cellen. Uit deze laatste evolueerden de eerste echte planten, aanvankelijk eencellig en levend in de oceaan. Het ontstaan van die eucaryotische cel is evenwel een evolutionair mysterie. De cel lijkt geen directe sporen van zijn herkomst of ontstaan te hebben nagelaten en er zijn geen tussenvormen of achterneefjes bekend.

We noemen het 'de onverklaarbare leegte', het zwarte gat in het hart van de biologie. We hebben wel aanwijzingen. Zo hebben de mitochondriën nog hun eigen DNA wat een sterke aanwijzing is dat ze initieel zelfstandige bacteriën, waarschijnlijk archae, waren. De volgende evolutionaire stap was meercelligheid. Dat dit bijzonder moeilijk blijkt uit het feit dat er 2 miljard jaar evolutie nodig was om tot een meercellig organisme te evolueren!

Maar uiteindelijk werd deze grote evolutionaire stap gerealiseerd, toevallig en zonder plan - zoals altijd. Dit lukt ongeveer 650 miljoen jaar geleden of toen de aarde bijna 4 miljard jaar oud was.



Meercellig leven op aarde: 86,9 procent van de tijd is voorbij, de klok wijst op 20u en 48 minuten 's avonds!! = 650 miljoen jaar geleden. Nog steeds bestond alle leven alleen in de oceaan en was het vasteland een grote saaie rots. Initieel was meercellig leven een samengaan van een aantal cellen die allemaal gelijkwaardig waren. Nadien trad specialisatie tussen die cellen op; het eerste orgaan ooit was een darmkanaal. Gradueel nam het aantal cellen in steeds nieuwe levensvormen toe.

Tijdens het cambrium (541-485 miljoen jaar) geleden; 88 procent van de tijd is voorbij, de klok wijst 21u8 min aan, spreekt men van de cambrische explosie: een plotse toename van zeer veel levensvormen, allemaal in de oceaan.



Deze plotse toename is zeer waarschijnlijk te verklaren door het ontstaan van exoskeletten uit kalk, zoals onze beenderen maar dan langs buiten van het organisme zoals kreeften nu nog hebben. Die exoskeletten fossiliseerden makkelijker en waren een stille getuige van het verleden. Vroegere levensvormen hadden geen kalkskelet en zijn amper in fossielen aanwezig.



We hebben uitgelegd dat de planten autotroof zijn; zij maken zelf hun voedsel uit anorganische stoffen zoals CO_2 , water en fotonen van de zon. Maar voor hun groei zijn ze ook aangewezen op kleine hoeveelheden mineralen, die onder andere door erosie van het vasteland via rivieren in zee terechtkwamen, en zeker ook vanuit de ruimte op aarde zijn beland. We onderscheiden macronutrienten: N, P, K, waarvan er veel nodig zijn, en micronutrienten zoals B en Fe. Naarmate de meercellige plantenkolonies in de oceaan exponentieel toenamen, ontstond er geleidelijk een tekort aan deze mineralen; opnieuw hongersnood in de oceaan!



Toevallig werden soms groenwieren door golven op het vasteland geworpen. Daar was er wel overvloed aan mineralen, CO₂ en fotonen. Alleen water was nu het probleem. De enorme overvloed aan fotonen en onbeperkte aanwezigheid van mineralen en CO₂ maakte van het vasteland een gedroomde bestemming. De verovering van het vasteland door het leven was begonnen. Op dit moment was het zuurstofgehalte al gestegen tot 2% en zo was er voldoende ozon om ook op het land de schadelijke UV-straling voldoende te neutraliseren.



De verovering van het vasteland kan je zien als herhalende invasies door miljoenen soldaten waarbij slechts enkelen het overleefden. Ondanks het feit dat slechts enkelen het haalden, was het geen Pyrrus overwinning maar een grote overwinning. De verovering van het vasteland was een feit. Na verloop van tijd waren er weer dan miljoenen deelnemers! Deze verovering gebeurde gradueel, eerst waren het planten die bij eb aan land bleven, maar om de 6 uur wel het water van de zee nodig hadden, geleidelijk slaagden ze er in om ook verder het land in te trekken. De charofyten waren de eerste kolonisten: 89 % van de tijd is voorbij, klok: 21u10. Ze hadden 3 problemen te overwinnen: ze moesten blijvend aan water geraken, ze moesten zich kunnen verankeren in de bodem en rechtop kunnen blijven. We kennen 3 families van planten die heel vroeg verder aan land evolueerden.



De charofyten die in ondiep zoet water op het vasteland leefden waren de eerst landplanten. Ze bestaan nog steeds: kranswieren genaamd. Bijna 90 % van de tijd is voorbij. Hieruit evolueerden 30 miljoen jaar later de mossen aan de oevers van rivieren en zee. De mossen hadden wortels die enkel dienden voor verankering en hadden geen systeem om water te transporteren: elke cel moest voor zijn watervoorziening instaan en ook bij de voortplanting was en is water nodig voor transport van de sporen: de primitieve voortplantingscellen. Daardoor bleven ze altijd klein. De mossen zijn nog steeds een zeer succesvolle familie: de Bryophyta; alleen al in België zijn er 525 soorten. Maar verdere evolutie tot grotere planten gebeurde niet in deze familie.

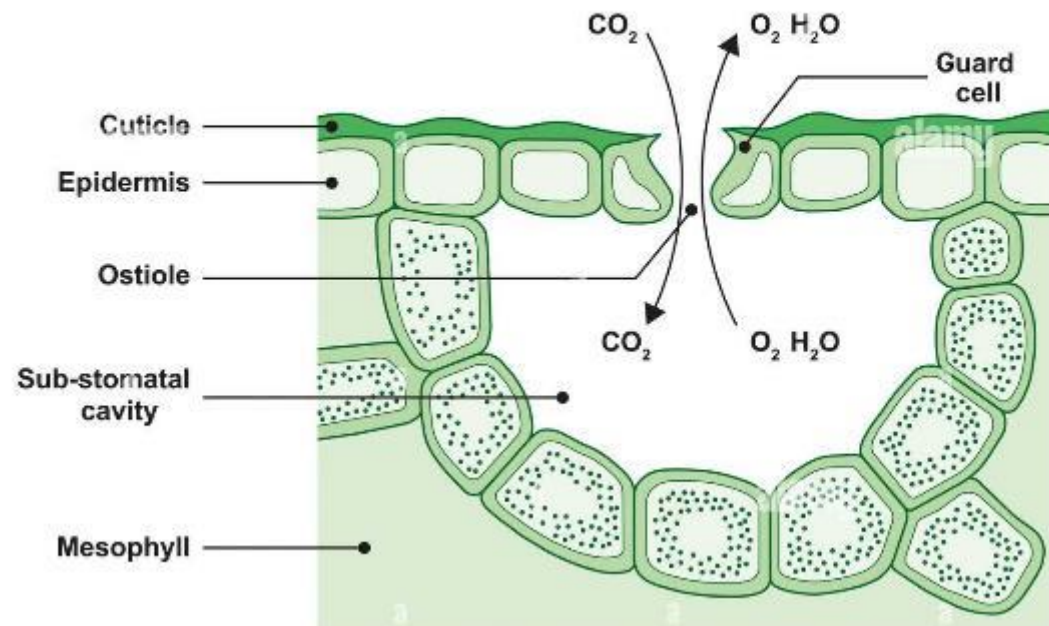


Cooksonia. Deze kwamen 40 miljoen jaar later. 90 % van de tijd is voorbij. Ze hadden al een primitief vaatsysteem voor watertransport, maar geen bladeren. Hieruit evolueerden wel - over een langere periode, weerom toevallig en zonder enig plan - steeds meer gevarieerde planten. Ook hier was mutatie de drijvende factor, mogelijk gemaakt door:

- 1) een ontelbaar aantal deelnemers
- 2) een 'zee' van tijd
- 3) een enorme geografische spreiding

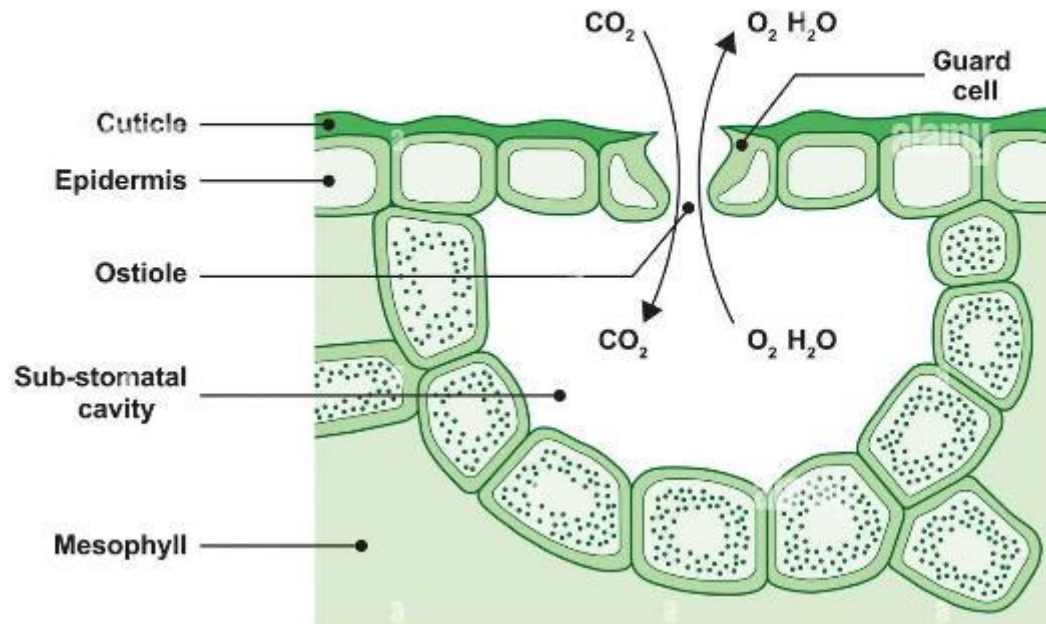
En beantwoordend aan de evolutiewetten: de survival of the fittest

Stomata Cross Section



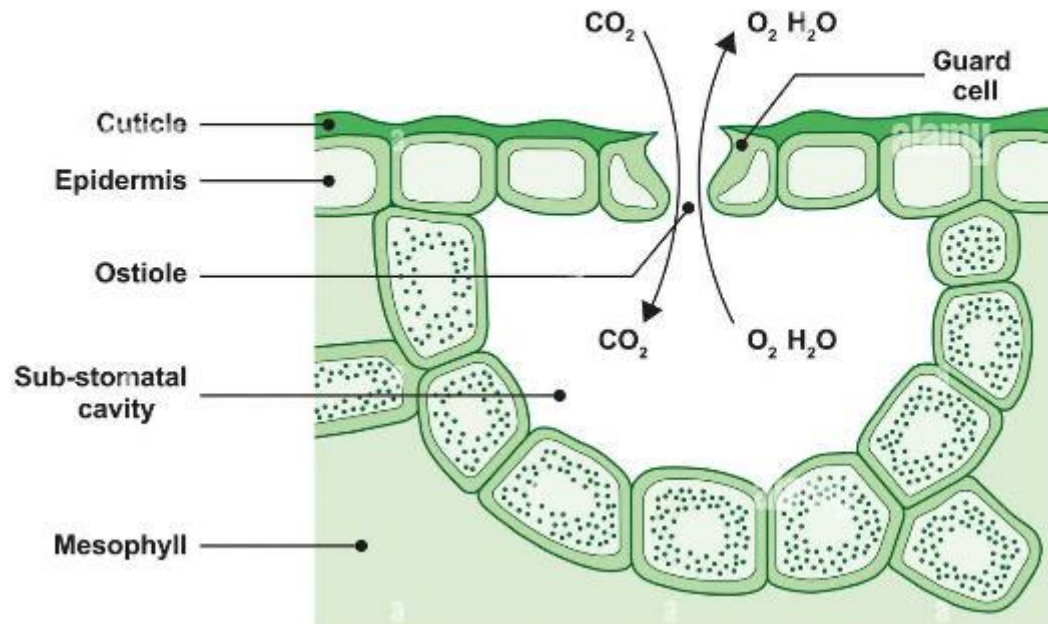
Zeer waarschijnlijk is de invasie naar het vasteland niet eenmaal maar meerdere keren gelukt. Uitdroging, het grootste probleem aan land, werd na verloop van tijd tegengegaan door de vorming van een cuticula (een dun waslaagje over de plant). Hierdoor kon de plant veel verder van zee of rivieren gedijen. Door die cuticula werd het water immers beter vastgehouden. Wortels zorgden initieel alleen voor de verankering. Dit is nog steeds zo bij de mossen.

Stomata Cross Section



Deze ongelooflijke gebeurtenis - de verovering van het vasteland door de planten - vond 500 miljoen jaar geleden plaats, midden in het cambrium: 89 % van de tijd is voorbij. De klok wijst 21u10.

Stomata Cross Section



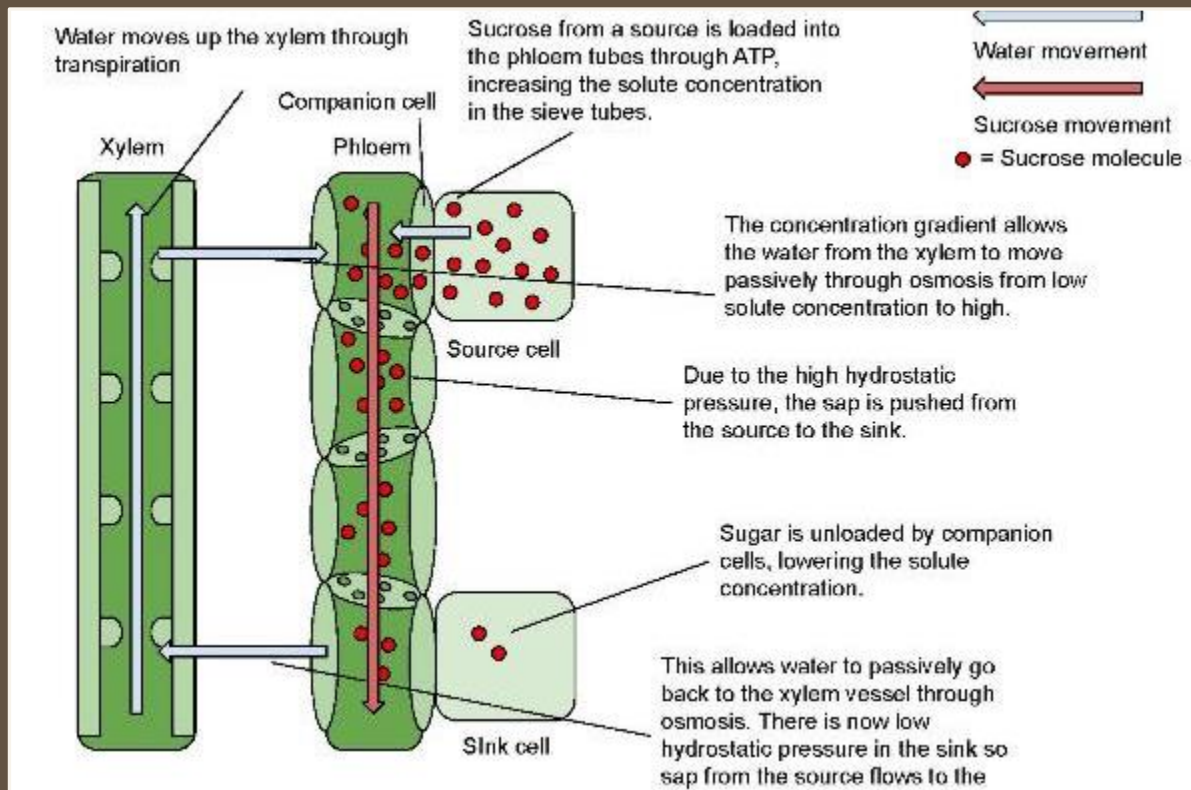
De verankerende wortels waren veel minder gevoelig aan uitdroging. Daarom hebben ze geen cuticula. Ze evolueerden van pure verankering naar verankering en leverancier van water en mineralen aan bovengrondse stengels en bladeren. De cuticula had ook een nadeel: het verhinderde de opname van CO_2 en de afvoer van zuurstof. Dit probleem werd evolutionair opgelost door bladeren, voorzien van stomata (kleine huidmondjes), waardoor uitwisseling van CO_2 , water, fotonen en zuurstof wel mogelijk werd.



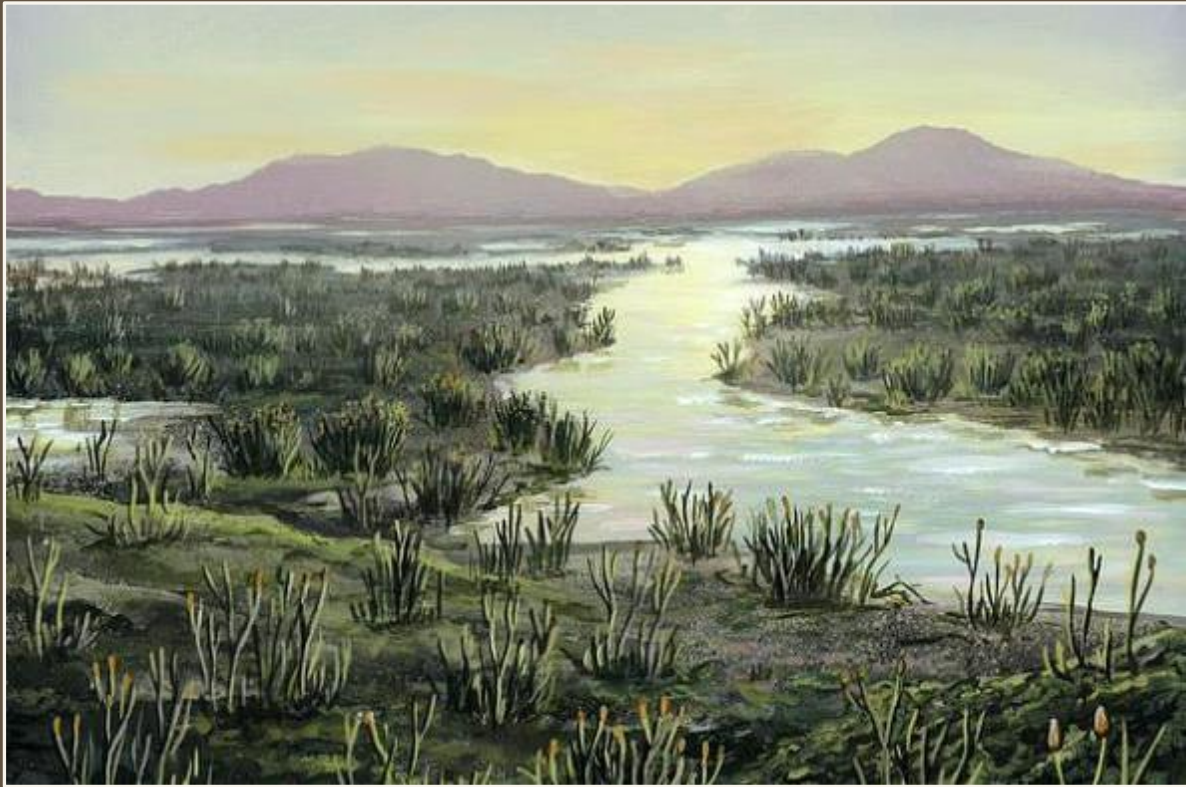
Samen met het ontstaan van planten op het vasteland vond ook vrij gelijktijdig de evolutie van schimmels plaats: co-evolutie. Er ontstond al snel een samenwerkingsverband, mycorrhizae. De schimmel leverde de plant via de wortels de benodigde mineralen, waarbij vooral stikstofopname cruciaal was. Ook hielp de schimmel de plant bij het opnemen van water tijdens droogte. In ruil kregen de schimmels suikers van de plant. Dit fenomeen noemen we mutualisme; beide partijen profiteren van de samenwerking. Dit mutualisme leidde tot succes en grote biodiversiteit bij zowel planten als schimmels en was dus al zeer vroeg aanwezig bij de verovering van het vasteland door de planten (en schimmels).



Fossielen uit Rynie, Schotland, uit die tijd tonen die samenwerking aan. Het ouderdom van deze fossielen komt overeen met het tijdstip waarop de planten het vasteland hadden veroverd. Rhynia was daar een primitieve vaatplantgroep. Daar waren die schimmels en de mycorrhizae al overvloedig aanwezig. Een revolutionaire transitie van het vasteland begon. Samen met schimmels waren planten in staat heel kleine hoeveelheden rots af te breken: met als doel de mineralen te verkrijgen die ze nodig hadden. Wat achterbleef na de dood van de plant werd een beetje aarde: een luchtige kruimelige mineralenmassa i.p.v. een harde rots. 500 miljoen jaar planten en schimmelarbeid tot heden veranderde de rotsbodem geleidelijk naar de meestal zachte bodem die wij nu kennen en aarde noemen. Naast leverancier van mineralen, evolueeren de wortels ook naar waterleverancier.



In de plant zelf ontstond steeds beter watertransport. De echte vaatplanten waren een feit. Cooksonia en Rhynia waren bij die eerste vaatplanten. Onder deze planten trad ook competitie op om water, CO₂ en vooral om fotonen; licht. Daarom kregen grotere planten een evolutionair voordeel! Er was dus selectiedruk om groot te worden. Dat was niet gemakkelijk: in het devon (400 miljoen jaar geleden, de klok wijst op 21u54 min) was de hoogste vegetatie na 100 miljoen jaar evolutie (!!) van planten op het vasteland 1 meter hoog. De voortplanting van al deze planten gebeurden met sporen; een eencellig primitieve cel. Maar dit is een zeer complexe materie om uit te leggen.



92 procent van de tijd is voorbij:
de klok wijst op 22u 12 minuten.

Toen begonnen sommige soorten
secundaire groei te vertonen.
Secundaire groei is ook het resultaat
van celdeling, maar in tegenstellig tot
primaire groei, zorgt secundaire groei
ervoor dat de stammen dikker worden.

Om hoger te groeien moet je echter
ook sterker worden: dit lukte na verloop
van veel tijd weer via mutatie: 2 stoffen
cellulose en lignine vormden het eerste
composietmateriaal. Het afwezig zijn
van secundaire diktegroei en composiet
is het grote verschil tussen bomen en
kruidachtige planten.



Dit betekent dat er gedurende 92 procent van de verstreken tijd sedert het ontstaan van de aarde geen bomen op aarde waren. De klok wijst op 22 uur en 5 minuten wanneer die eerste bomen de aarde veroveren.



We zijn in het carboon: 350 tot 300 miljoen jaar geleden, 93% van de tijd is voorbij, de klok wijst op 23u25. Geholpen door een gunstig klimaat werden uitgebreide bossen gevormd. Die bomen waren geëvolueerd uit Cooksonia via heel wat tussenstappen: Reuzepaardestaarten en Wolfsklauwen zoals *Lepidodendron* bevolkten die bossen. *Lepidodendron* werd tot 45 m hoog; had enkel bladschubben en ontwikkelde pas bij volwassenheid bovenaan een kroon van smalle bladeren die zeer dicht bij elkaar groeiden. Deze bossen zaten vol leven, de heterotrofe dieren waren hen namelijk gevolgd. Er waren immers autotrofe landplanten aanwezig die als voedsel en bescherming voor hen dienden.



Dit carboon (koolsteentijdperk) was op een punt heel bijzonder. Elk levend wezen sterft tenslotte. Wanneer die bomen stierven, vielen zij om maar bleven intact liggen: er was immers initieel geen enkele schimmel of bacterie of insect die hout als voedsel kon verteren.



De bomen vielen om en bleven intact liggen, erboven en ertussen groeiden nieuwe bomen, gedurende miljoenen jaren. Alles zonk in de bodem en werd later door de mens als steenkool herontdekt en als fossiele brandstof gebruikt.

De massale CO₂ die aldus terug in de atmosfeer komt is nu, samen met andere fossiele brandstoffen zoals olie en gas, een echte bedreiging voor ons leven op aarde. Nu wordt dood hout onmiddellijk aangevallen door schimmels, insecten, wormen enz en wordt snel 'gerecycleerd'.



Deze bossen verdwenen allemaal (of haast allemaal?) van de aarde in het volgend tijdperk, dat we het Perm noemen. Het was een vreselijke periode op aarde (ongeveer 300 tot 250 miljoen jaar geleden). 94% van de tijd is voorbij. Op dit ogenblik was het vasteland één enkele massa: Pangea.



Archaeopteris was zo een pro-gymnosperm; hij bereikte een hoogte van 40 meter, had varenachtige bladeren maar plantte zich nog steeds met minuscule sporen voort

Enorme vulkaanuitbarstingen in het Perm gedurende tienduizenden jaren en de bijhorende klimaatverandering zorgde ervoor dat 95 % van alle leven op aarde verdween, inclusief alle bomen of bijna alle bomen. De Reuzepaardestaarten en Wolfsklauwen waren geëvolueerd in moerassig gebied dat eigenlijk het grootste deel van het oercontinent uitmaakte. In het Perm verdwenen die moerassen. Dit verdwijnen was, samen met de enorme vulkaanerupties, de oorzaak van het uitsterven van die bomen. Op het einde van het Perm, toen de omstandigheden gunstiger werden, verschenen nieuwe boomvormige structuren: progymnospermen. Deze hadden varenachtige bladeren, maar plantten zich nog steeds met primitieve sporen voort.



Elkinsia polymorpha

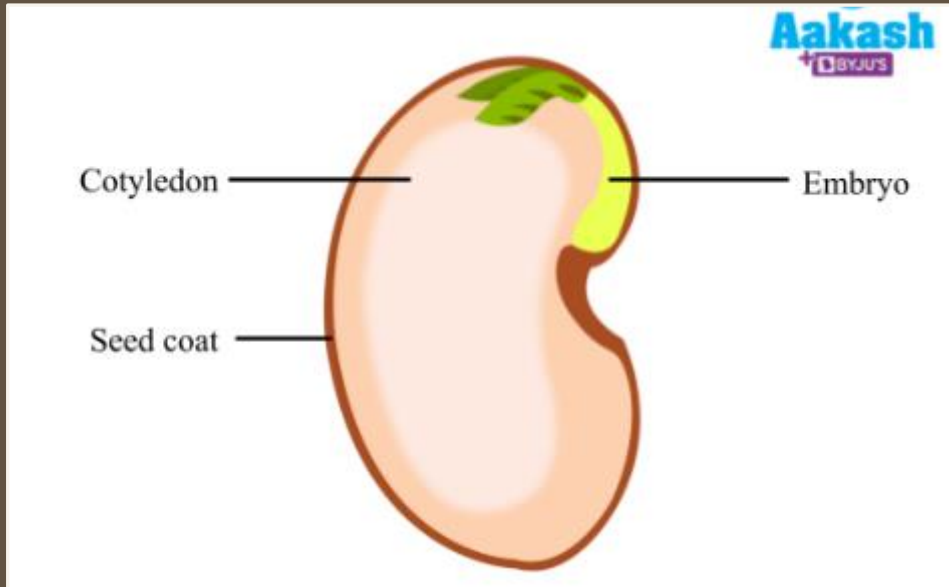


Glossopteris

Door de verwoestende gebeurtenissen in het Perm (299-252 milj. j.: 95% van de tijd is voorbij) kwamen enorm veel niches voor flora vrij. De zaadplanten, o.v.v. de zaadvarens waren op het einde van het Perm al 140 milj. jaar op aarde. *Elkinsia polymorpha* is de oudst bekende zaadplant, maar leefde slechts in heel kleine bestanden en was niet dominant.

Glossopteris was een succesvolle familie van 70 soorten zaadvarens, geëvolueerd in het moeilijke Perm in Gondwana, de zuidelijke helft van Pangea

Glossopteris en andere zaadvarens floreerden op het einde van het Perm, toen de omstandigheden beter werden, en namen de vrijgekomen niches in ten koste van de sporenplanten.



Nu floreerden de gymnospermen of naaktzadigen en namen de immense vrijgekomen niches in. 96% van de tijd is voorbij. De geologische periode heette het Trias. Zaad was een ware revolutie in de voortplanting: in plaats van nakomelingen door eencellige sporen, buiten de plant, gebeurde de bevruchting nu in de plant zelf. Een zaadcel is een bevruchte eicel, al een compleet plantje met wortel, stengel, kiemblad en met reservevoedsel. Dit reservevoedsel is te gebruiken wanneer de omstandigheden gunstig zijn om te kiemen. Hierdoor werden de overlevingskansen van de plant veel groter. De term naaktzadig verwijst naar het feit dat de zaden bloot liggen op zaadschubben en dus onbeschermd zijn.



De eerst soort gymnospermen waren de zaadvarens - een misleidende naam want het waren geen varens. Ze zijn te beschouwen als een historische morfologische groep, maar al 200 miljoen jaar geleden uitgestorven, zoals Elkinsia en de Glossopteris familie.

De tweede soort waren de Cycaspalmen. Nog steeds ruim 300 soorten in tropisch en subtropisch gebied. Ze lijken op palmen maar verschillen er sterk van. *Cycas revoluta* is een bekende kamerplant.

De derde soort: de gnetales met o.m. *Ephedra*; waaruit we Ephedrine gewonnen hebben (eertijds een geneesmiddel nu verboden). Veel uitgestorven, nog 75 soorten. *Welwitschia* behoort ertoe

De vierde soort: de Gingkoales, met slechts een overlever van ooit 16 soorten maar welk een!

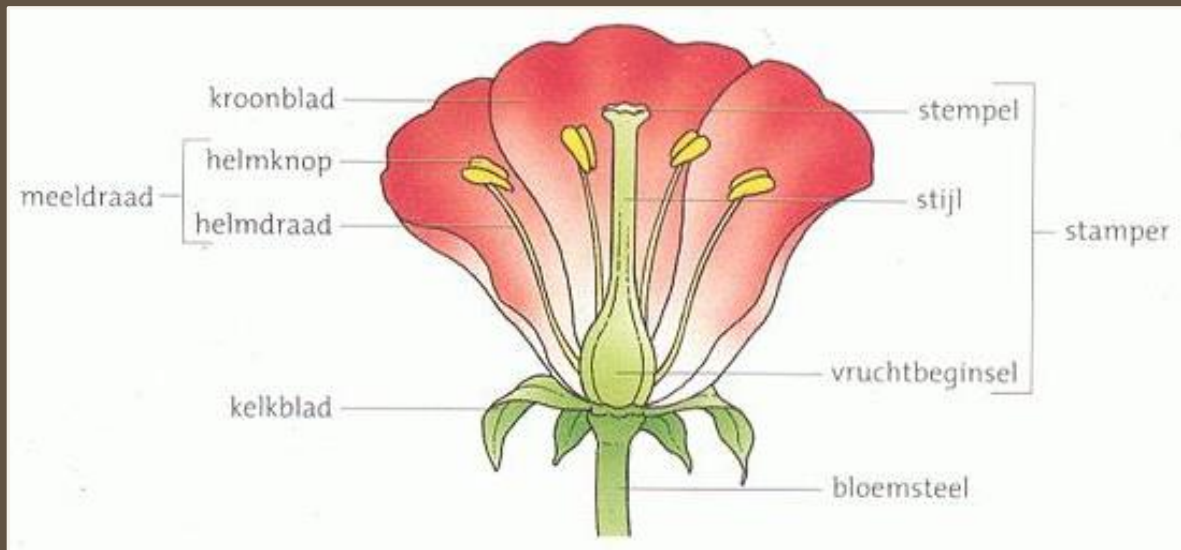


De Ginkgo biloba, die velen onder ons kennen. In het wild zijn er nog enkele bestanden in het Dalougebergte in Zuid-West China. Maar de Ginkgo is wereldwijd massaal aangeplant door de mens zowel in parken of als tempelboom, maar ook recent als een zeer goede straatboom in steden. De Ginkgo was ook de eerste boom die herstelde na de atoombom op Hiroshima.

De vijfde en grootste familie is ons wel bekend : de coniferen. Er waren ooit meer als twintig duizend soorten, verdeeld in twintig families. Nu zijn er nog hoogstens 630 soorten coniferen over, verdeeld in acht families. Hoe dit verval kwam, vertel ik straks.



De Podocarpaceae, een van die overgebleven families, deed evolutionair weerom een grote stap: De bes werd 'uitgevonden', een smakelijk vruchtje met erin een onverteerbaar zaadje. Dieren die er zich aan te goed deden zorgden aldus ongewild voor een verspreiding van de soort over veel grotere afstanden, Voordien zorgde enkel wind of water voor wat verspreiding van het zaad; met wat geluk hoogstens enkele tientallen meters t.o.v. de moederplant .



Maar de evolutie gaat verder: op het einde van het geologisch tijdperk het Jura, ongeveer 145 miljoen jaar geleden, verschijnen de eerste bloemplanten. Bijna 97 procent van de tijd is voorbij, de klok wijst op 23uur en 20 minuten.

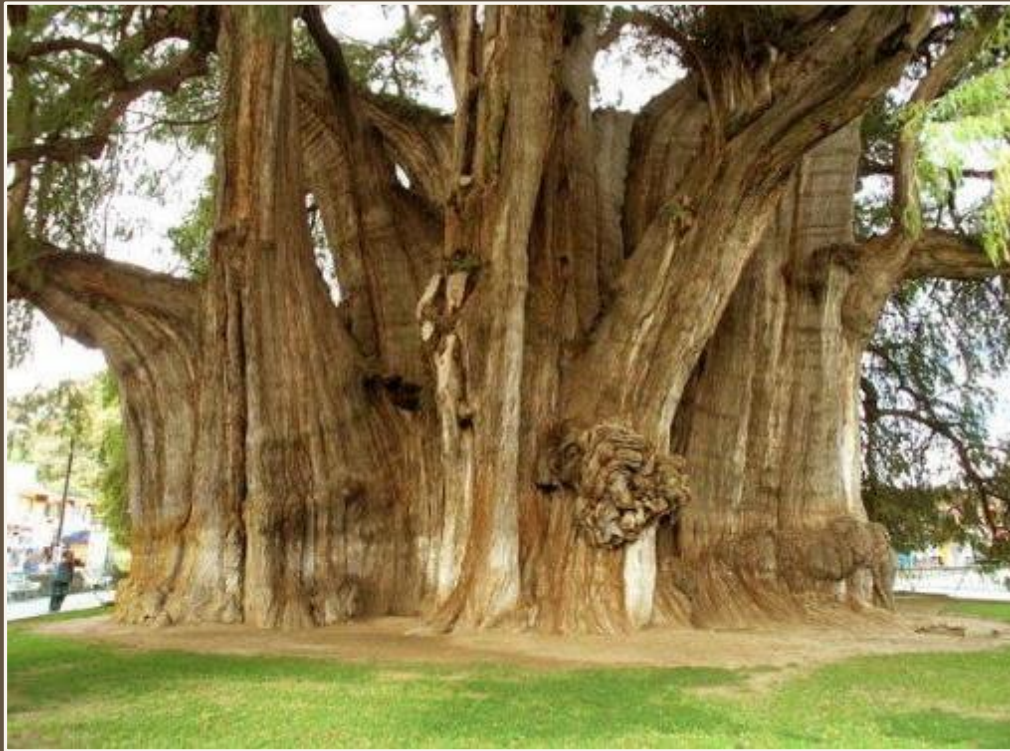
Deze bloem is nu een gespecialiseerd voorplantingsorgaan en bestaat uit:

- 1) steriele bladeren: kelk en kroonbladeren
- 2) mannelijke voortplantingsorganen: de meeldraden
- 3) een door weefsel beschermd vrouwelijk voortplantingsorgaan: de stamper.

Ze worden Angiospermen genoemd of bedektzadigen, omdat de eikel en het zaad nu omhuld zijn door levend weefsel.



Haast alle plantenrecords zijn nog steeds in handen van de coniferen. De hoogste boom op aarde: de kustsequoia (*Sequoia sempervirens*), een boom de Hyperion genaamd is en 115 meter hoog is, in Californië. Het in volume grootste levend wezen: de mammoetboom (*Sequoiadendron giganteum*) eveneens Californië. De oudste boom: meer als 5000 jaar oud, *Pinus longaeva* in de Sierre Nevada (USA).



De dikste boom: een moerascypres (*Taxodium mucronatum*), Arbol del Tule genaamd, voor een kerk in Oaxaca Mexico, met een diameter van 14 meter. Ondanks deze records hadden de coniferen één zwak punt t.o.v. de nieuwkomers de angiospermen of bloemplanten: een veel tragere groei in hun jeugd. In de competitie om licht waren de nieuwkomers bijna altijd de winnaars. Hun snellere groei hebben ze te danken aan het feit dat ze 1) grotere bladeren hebben met meer stomata (waarlangs de fotosynthese kan plaats vinden; meer fotosynthese = meer energie), 2) ook een beter systeem voor watertransport (tracheïden versus vaten) 3) een betere en sterkere verankering van zijtakken zodat ze veel meer bladeren kunnen dragen.



Amborella trichopoda

Zoals gezegd waren er ooit meer dan twintig duizend coniferen op aarde, nu blijven er hoogstens 630 species over! Catastrofen op aarde zoals ijstijden of sterke klimaatveranderingen, grote vulkaanuitbarstingen, meteorieten, branden of overstromingen veegden soms hele vegetaties weg. Wanneer de omstandigheden gunstiger waren kwamen de planten terug. In de competitie voor revegetatie delfden de naaktzadigen dan ook bijna steeds het onderspit tenzij op 'onherbergzame plaatsen', zoals het hoge noorden of het gebergte. De nieuwkomers, de angiosperme bomen, waren zoals uitgelegd in vele opzichten superieur.

We nemen aan dat de bloemplanten geëvolueerd zijn uit de naaktzadigen, maar we hebben geen fossiele tussenvormen. Verrassend genoeg hebben we wel één levende tussenvorm, de bloemplant *Amborella trichopoda*, een struik nog steeds aanwezig in Nieuw Caledonië. Het watertransport gebeurt door tracheïden zoals bij de naaktzadigen en niet door vaten zoals eigen aan de bedektzadigen, maar het heeft een bloem: het vruchtbeginsel is slechts gedeeltelijk bedekt met cellen, de ruimtes ertussen worden door secreties afgeschermd.

De bloemplanten gaan zich ook diversifiëren :

1) De Basale bloemplanten 70 soorten

a) Amborella

b) waterlelies

c) austrobaileyales vb. *Illicium*

2) Magnoliiden

3) Eenzaadlobigen : 1/3

4) Eudicots of tweezaadlobbigen

Daarnaast ook C3/C4 planten en CAM planten (Crassulacean Acid Metabolisme)

Belangrijke opmerking: het is niet zo dat de evolutie bij primitievere planten vb. naaktzadigen stopte als de bloemplanten verschenen. Zo ontstond de *Phyllocladaceae* waartoe *Phyllocladus* behoort 65 miljoen jaar geleden wanneer de bedektzadige bloemplanten al zeer 'floreerden'. Sommige Cycaspalmen zijn nog maar 3 miljoen jaar op aarde enz.

.?



Tijdens hun evolutie werden deze bloemplanten of angiospermen steeds afhankelijker van het dierenrijk voor een succesvolle voortplanting. In ruil voor nectar als voedsel brachten allerlei diersoorten, waaronder vooral insecten maar ook vogels en vleermuizen, pollen over van plant tot plant waardoor bevruchting gebeurde. Dit noemen we symbiose.

De bloemplanten zijn zeer succesvol; momenteel wordt hun aantal op 350.000 wilde soorten geschat!



Alles verandert 66 miljoen jaar geleden. 98.5 % van de tijd is dan voorbij: de klok wijst op 23u31. Ook voor ons een historisch moment en kantelpunt: op een mooie lentedag valt een enorme meteoroïde met een doorsnede van 10 km op Yucatan, Mexico. De inslagkrater heeft een diameter van 180 km (chicxulubkrater)

De gevolgen zijn verschrikkelijk: alle bossen in Amerika schieten in brand, en ook wereldwijd verbrandde 50 procent van alle biomassa. Het regende rotsblokken.

Er ontstaan enorme tsunami's en aardbevingen en vulkaanuitbarstingen. Een enorme stofwolk verspreidt zich over de aarde.

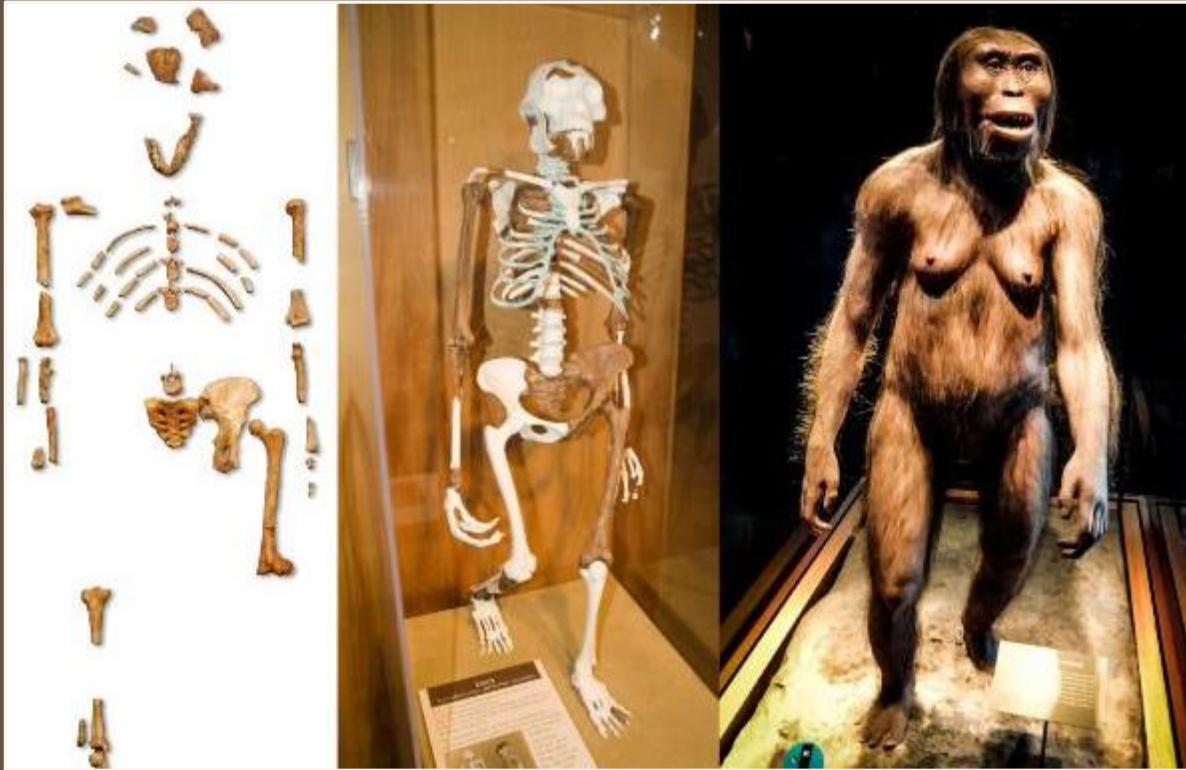
Deze stofwolk dompelt de aarde in een arctische winter die tientallen jaren aanhoudt.



Meer dan 75 procent van alle dieren sterven uit. Men neemt aan dat elk dier van 25kg of meer stierf. Ook de vegetatie is wereldwijd enorm verwoest (rechtstreeks of nadien) door de plotse sterke afkoeling. Het is het ook einde van de dominantie van de coniferen. Wanneer de omstandigheden gunstiger worden zullen vooral de bloemplanten de vrijgekomen niches invullen ten kosten van de coniferen en andere naaktzadigen. Yucatan betekende ook, na 170 miljoen jaar, het einde van de dominantie van de grote dinosauriërs. Alleen kleinere therapode dino's (waaruit de vogels zullen evolueren) overleefden samen met een deel van de reeds aanwezige zoogdieren.



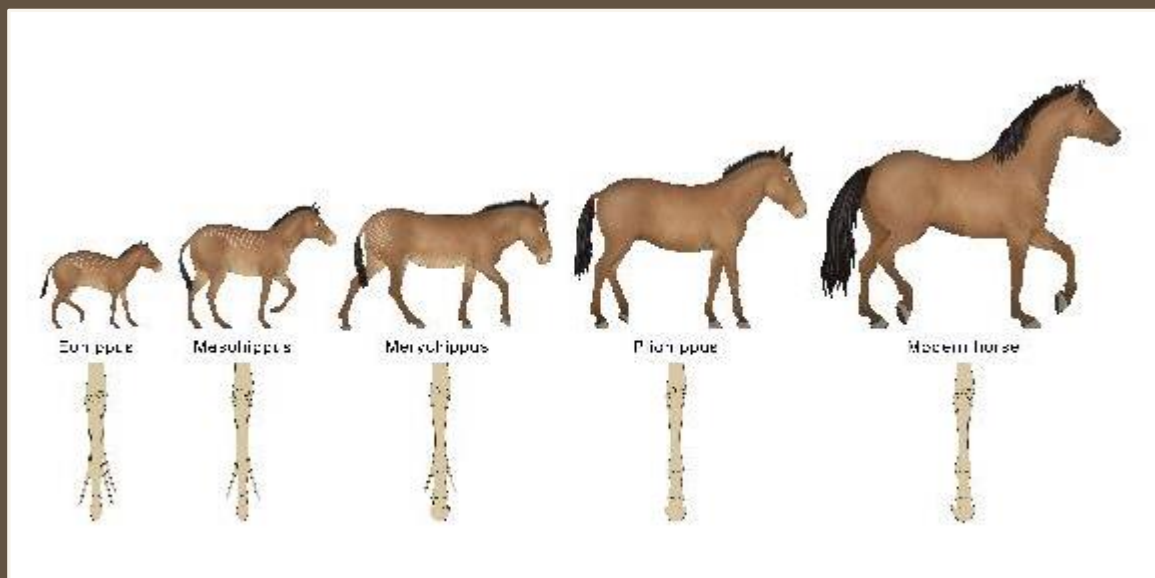
Deze zoogdieren waren zeer klein. In de loop van de heerschappij van de dino's waren ze heel wat kleiner geworden om beter te overleven. Ze waren kleiner dan een muis en vulden niches op zoals ondergronds leven, 's nachts leven, of al zwevend in bomen waar ze weinig te vrezen hadden van de grote dino's. Die zoogdieren konden hun lichaamstemperatuur constant houden en dus 's nachts actief zijn. De dino's waren koudbloedig en 's nachts eerder apathisch. Kleine dieren hebben weinig voedsel nodig en ondergronds leven was een bescherming. Daardoor hebben de zoogdieren als soort Yucatan overleefd. Ook voor ons is de Yucatan inslag een grote datum: was dit niet gebeurd dan waren we hier hoogstwaarschijnlijk niet.



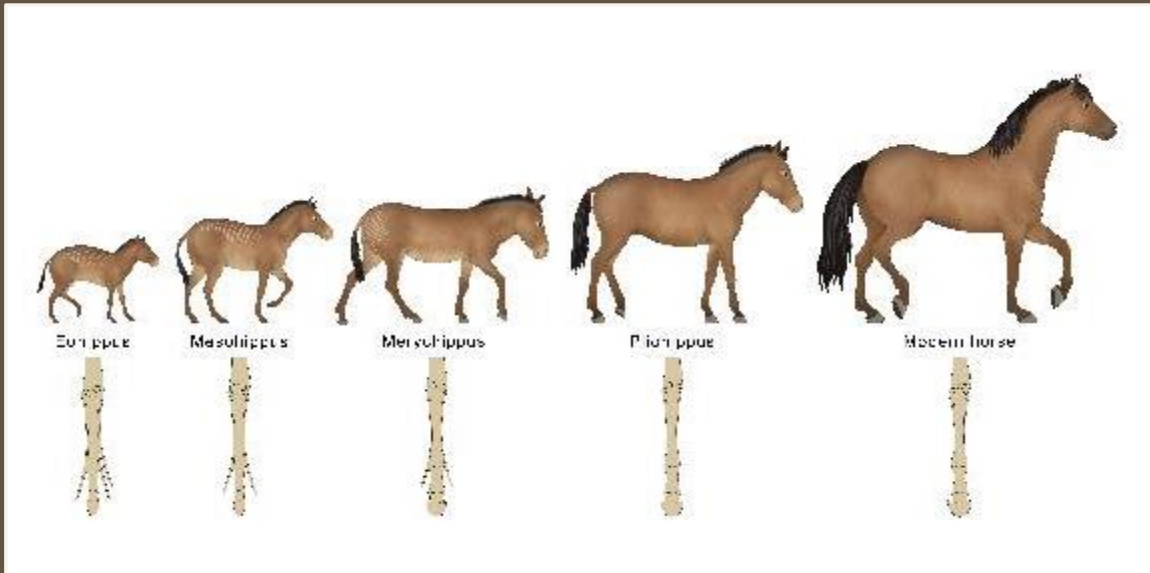
Nadat de aarde zich herstelde begonnen de zoogdieren te evolueren. Ze werden steeds groter omdat de dino's verdwenen waren en werden de dominante soort op aarde. De heerschappij van de zoogdieren begon. Hieruit zijn wij 6 miljoen jaar geleden (99.8 % van de tijd is voorbij, de klok wijst op 23u50) uit een gemeenschappelijk voorouder van de chimpansee of bonobo geëvolueerd. Homo sapiens ontstond ongeveer 250.000 jaar geleden. 99,99 % van de tijd is voorbij! De klok wijst op een seconde voor middernacht!



Tot slot nog kort over de grassen. Pas 70 miljoen jaar geleden waren de grassen (98.4 % van de tijd is voorbij) als kleine elementen in een door bossen gedomineerde wereld aanwezig. Hun bloeiperiode begon pas 34 miljoen jaar geleden (99.2 % van de tijd is voorbij, de klok wijst 23u49).



Bij de overgang van het eoceen naar het oligoceen veranderde de aarde van een broeikast in een koelhuis. De neerslag nam drastisch af, wouden verschrompelden. De grassen, met hun vermogen om snel te groeien en moeilijke omstandigheden zoals droogte te verdragen, veroverden grote delen van de aarde. De grote prairies ontstonden. In hun kielzog evolueerden de zoogdieren, die steeds groter werden.



Een belangrijke groep voorouders van paarden, koeien, schapen, bizonen en oerossen evolueerden tot grazers en hadden gras als hoofdvoedsel. En ook die groep werd zeer succesvol. Als de mens tenslotte 10.000 jaar geleden geleidelijk van jager/verzamelaar overschakelt op landbouw zullen ze die grassen veredelen tot tarwe, gerst, haver, mais, rijst e.a. Tegenwoordig zijn die de belangrijkste voedingsbron van de mens. Zie illustratie evolutie paard: Eohippus was zo groot als een vos. Daarna de Mesohippus: 60 cm hoog. De Merychippus was al 1 meter en zag er al als een echt paard uit. De Pliohippus leek op een pony en tenslotte het modern paard: *Equus ferus caballus*.

BEDANKT VOOR JULLIE AANDACHT