

Vautierstraat 29
1000 Brussel

natural
sciences
.be



DIDACTISCH DOSSIER

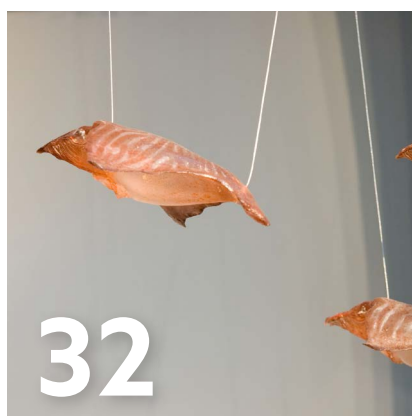
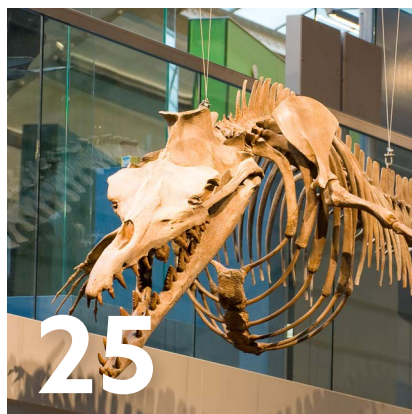


Galerij van de Evolutie

INHOUD

GALERIJ VAN DE EVOLUTIE

INLEIDING van de Galerij van de Evolutie	4
PLATTEGROND van de Galerij van de Evolutie	6
PARCOURS van de Galerij van de Evolutie	7
Precambrium: langzaam neemt het leven vorm aan	8
Cambrium: vreemde dieren	9
Devoon: de vissen diversifiëren	13
Carboon: het leven koloniseert de continenten	16
Jura: nieuwe fauna in de zeeën	20
Eoceen: de opkomst van de zoogdieren	24
Heden: de evolutie gaat nu nog steeds haar gang	28
Toekomst: dit is fictie	32
Geode: het raderwerk van de evolutie	33

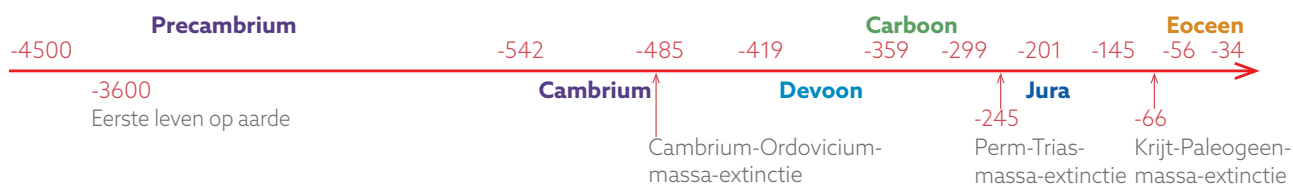




Inleiding

van de Galerij van de Evolutie

Wandel door 3,5 miljard jaar geschiedenis in onze schitterende evolutiezaal en ontdek hoe het leven op aarde tot stand kwam. Deze hal met een prachtige architectuur van glas en metaal bevat maar liefst 600 fossielen en 400 genaturaliseerde dieren om je meer bij te leren over 6 belangrijke hoofdstukken in de geschiedenis van het leven: het Cambrium, Carboon, Devoon, Eoceen, Jura en het heden.



DATA in miljoenen jaren

In elk van de uitgelichte geologische periodes ontdek je de diversiteit van de fauna en flora en de belangrijkste evolutionaire gebeurtenissen. Deze worden toegelicht met voorbeelden van evolutie in organismen, in anatomische structuren of in het gedrag van bepaalde diersoorten, die niet alleen relevant waren voor die tijdsperiode, maar nu nog steeds! Evolutie is een proces dat nooit stopt en nog steeds te observeren is rondom ons, zoals op het einde van het parcours wordt geïllustreerd. En hoe ziet de toekomst van het leven er dan uit? Ontdek hoe onze wetenschappers enkele dieren voorstellen over 50 miljoen jaar!

Je zal niet alleen de bewijzen van evolutie kunnen bewonderen aan de hand van talloze fossielen, maar gaandeweg ontrafel je ook de mechanismen achter dit wonderbaarlijke proces en hebben begrippen zoals DNA als bouwsteen van het leven, mutatie, genetische drift, soortvorming en variatie geen geheimen meer voor jou.

Tot slot kan je al deze informatie nog eens bekijken in onze geode waar een korte animatiefilm je zal meenemen op een evolutionaire tijdsreis.

Praktische informatie is beschikbaar op onze website www.natuurwetenschappen.be

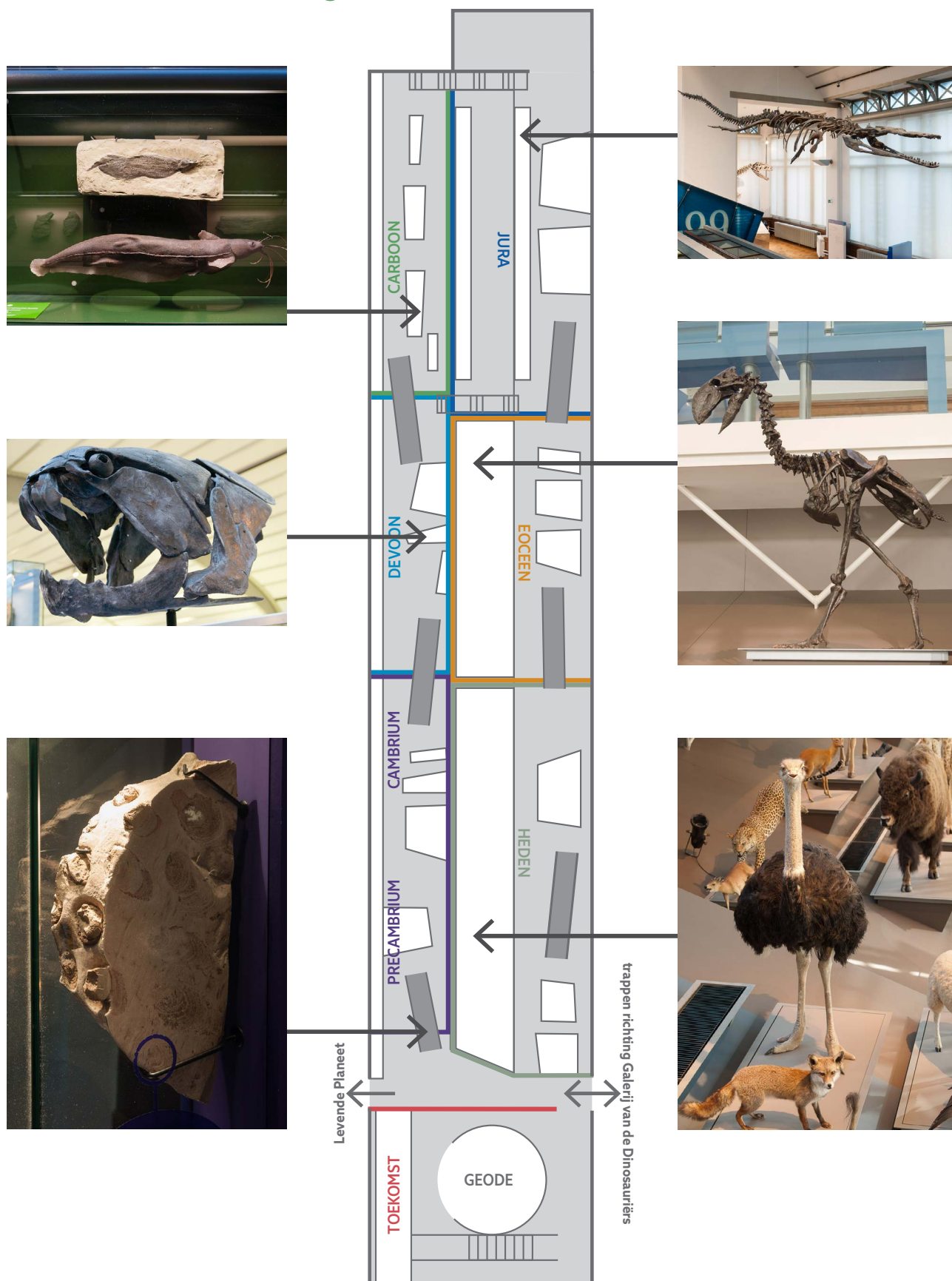
Je vindt er ook meer info over het educatieve aanbod onder de rubriek 'scholen'.

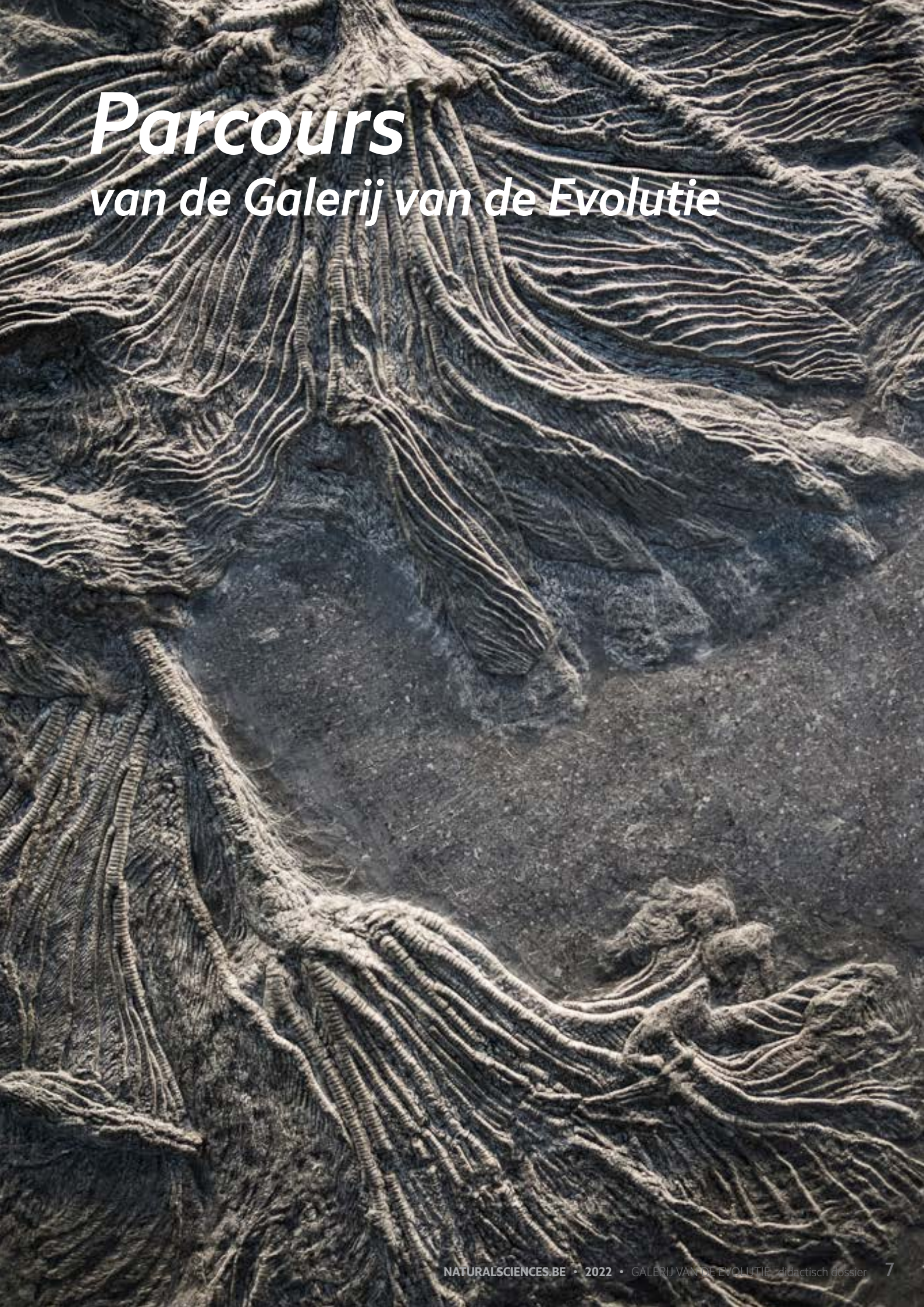
Voetnoot:

De data in dit document werden bijgewerkt en kunnen dus afwijken van de data in de zaal.



Plattegrond van de Galerij van de Evolutie





Parcours *van de Galerij van de Evolutie*

PRECAMBRIUM

LANGZAAM NEEMT HET LEVEN VORM AAN

-4600 MJ* → -541 MJ

Waar komt het leven vandaan?

Uit geologische ontdekkingen blijkt alvast één iets: het leven is ongeveer 3,8 miljard jaar geleden op aarde ontstaan. Over het hoe en het waar is men het echter nog niet eens. De eerste organische moleculen zouden het gevolg kunnen zijn van chemische reacties in kleine plassen of in het hartje van de diepzeebronnen. Of komen ze rechtstreeks uit de ruimte? Er moet duidelijk nog veel ontdekt worden vooraleer we perfect begrijpen hoe deze moleculen uiteindelijk levende cellen werden.

De oersoep

Velen beweren dat het leven in ondiepe plassen ontstaan is. Ultraviolet licht en bliksem zouden een chemische reactie veroorzaakt hebben in de oeratmosfeer. Hierdoor ontstonden organische moleculen die vervolgens in het water opgelost zijn.

Een mal van klei

Er viel misschien regen vol organische moleculen op de kleigrond. Door de warmte verdampte het water en de overgebleven laagjesstructuur van de klei was de ideale onderlaag waarop zich langere moleculen vormden.

Oorsprong in de diepzee

Volgens anderen ligt de oorsprong van het leven nabij de diepzeebronnen. Daar komen immers gassen vrij die veel organische bestanddelen bevatten. Op deze diepte zouden organismen beschermd zijn tegen de hevige zonnestraling in die tijd.

Buitenaardse oorsprong

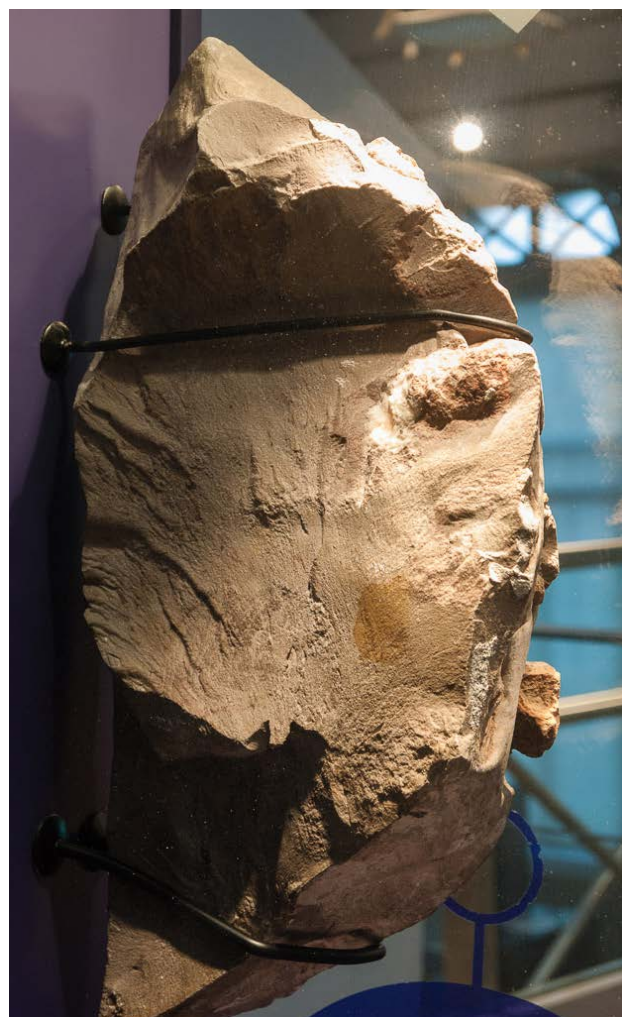
Komt het leven uit de ruimte? Misschien wel. Van de twintig aminozuren die in eiwitten voorkomen, zijn er dan ook acht in meteorieten ontdekt.

Chemie van het ontstaan van het leven

In de oersoep bevonden zich kleine organische moleculen die versmolten tot macromoleculen, membranen en blaasjes. De eerste cel is er! Veel later kregen sommige daarvan een kern die hun genetische informatie beschermde. Daarna sloten cellen zich tot kolonies aan en dit was meteen het startschot voor het meercellige leven. Uiteindelijk gingen bepaalde cellen zich specialiseren en weefsels vormen, die op hun beurt dan weer organen vormden. De ontwikkeling van ontelbare levensvormen kan beginnen.

TE BEKIJKEN:

Videofilm met computeranimatie: Hier ontstaat het leven



Stromatolieten

***MJ = MILJOEN JAAR**

De data van de verschillende periodes in dit document zijn gebaseerd op de internationale chronostratigrafische tabel uit 2019 gerealiseerd door IUGS.

Ediacarische biota

De oudste complexe organismen waarvan men fossielen terugvindt noemt men Ediacarische biota naar de bekende vindplaats van dit soort fossielen, Ediacara Hills (Australië). Deze eerste complexe organismen waren blad- of kussenvormig en groeiden op de zeebodem. Hun morfologie en de manier waarop ze zich vasthechtten, laten vermoeden dat deze dieren hun voedsel uit het water filterden. Andere organismen leken op huidige weekdieren, kwallen of geleedpotigen, maar we weten niet of ze ermee verwant waren. Ze bezaten geen schelp of monddelen, wat laat vermoeden dat ze weinig vijanden hadden.

TE BEKIJKEN:

Vier tekeningen: reconstructie van dieren uit het Precambrium

CAMBRIUM

VREEMDE DIEREN

-541 MJ → -485 MJ

In het begin van het Cambrium bestond het vasteland uit één groot continent. Dit dreef langzaam uit elkaar, waardoor het oorspronkelijke landschap verbrokkelde. Het klimaat was er veel warmer dan nu.

Voorspel tot de Cambrische explosie

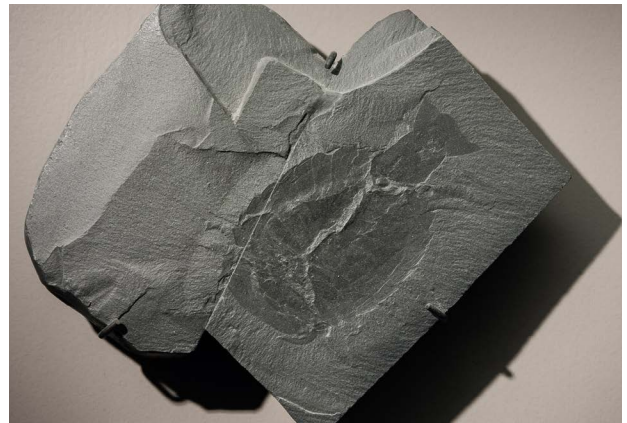
Ons verhaal begint hier in het Cambrium, een periode waar heel wat wonderlijke wezens in de fossiele archieven opduiken. Maar laat je niet misleiden: er leefden toen al lang complexe organismen in zee. Maar, op enkele uitzonderingen na, is hun lichaam te week om te fossiliseren en blijven er weinig sporen over.

Hardere lichamen

Hoewel sommige organismen uit het Precambrium reeds verharde delen hebben, zien we pas in het Cambrium stekels, pantsers en skeletten ontstaan. De meesten bestaan uit mineralen die door de cellen afgescheiden zijn. Die cellen regelen zo het mineralengehalte in het organisme. Het is een prachtige manier van recyclen, want het geeft het dier steun en bezorgt het wapens en aanhechtingpunten voor zijn spieren!

Een vloeibaar skelet

We mogen niet veralgemenen, want niet alle dieren in het Cambrium ontwikkelden gemineraliseerde of verharde delen. Veel van die dieren hebben een week lichaam. De gelede wormen zijn bijvoorbeeld door geen enkel stijf lichaamsdeel ondersteund. Hier fungeert een vloeistof als skelet: die zit in de twee zakjes die elk segment bevat.



Sydneyia

De stevig gepantserde *Sydneyia* was een roofdier of een aaseter uit de Burgess Shale (Canada). Deze in 1909 ontdekte vindplaats is beroemd door de uitzonderlijke bewaarde fossielen van dieren met een week lichaam.



Anomalocaris

Paleontologen die deze fossielen onderzochten, namen eerst drie dieren waar: een garnaal, een zeekomkommer en een kwal. Later wordt het duidelijk dat dit de aanhangsels, de romp en de mond van éénzelfde dier zijn: *Anomalocaris*.

Prooien en rovers

Scherpere zintuigen, efficiëntere bewegingsorganen en allerlei verdedigings- of aanvalsmiddelen tonen aan dat predatie toeneemt. Wanneer de rovers nieuwe aanvalsmiddelen ontwikkelen, begunstigt de natuurlijke selectie de prooien die geschikte verdedigingsmiddelen verwerven. En omgekeerd. Deze dynamiek doorloopt heel de geschiedenis van het leven.

De grondslagen van de huidige fauna

De vormenrijkdom bij de dieren uit het Cambrium kondigt alle huidige groepen aan: sponzen, wormen, weekdieren, geleedpotigen en chordadieren. Van al deze groepen bestaan er al dieren die dezelfde basisstructuur hebben als hun hedendaagse verwanten. Zelfs zonderlinge soorten die eerst niet gerangschikt raakten, vertellen veel over de oorsprong en de relaties tussen de huidige groepen.

Onze 'grote' voorouder

Dit is *Pikaia*. De donkere lijn die over zijn rug loopt, is waarschijnlijk een notochorda, de voorloper van onze ruggengraat. *Pikaia* werd lang voor het eerste chordadier aangezien. Maar onlangs werd tussen de fauna van Chengjiang een fossiel van *Haikouichthys* ontdekt, een ouder dier met dezelfde kenmerken.

De moeilijkheid bij het rangschikken

Hoe kunnen we *Wiwaxia*, *Ondothogrifus* of *Aysheaia*, met hun merkwaardige structuren, bij gekende groepen onderbrengen? Volgens sommigen behoren ze tot uitgestorven vertakkingen, alsof er tijdens een bepaalde fase in het Cambrium verschillende lichaamsvormen uitgetoetst werden, waarvan er soms niets overbleef. We weten nu dat de eerste twee primitieve weekdieren waren en dat de laatste met de fluweelwormen verwant is.

Toenemende specialisatie

De organismen in het Cambrium zijn zowel anatomisch als functioneel complexer dan al hun voorgangers. Zo beschikt *Canadaspis* over complexe voortbewegings- en ademhalingsorganen: elke poot bestaat uit twee geledingen, waarvan er één kieuwen draagt. Het dier heeft antennes en ogen. Met zijn scharen vangt hij brokjes organisch materiaal en kleine prooien.

Een klassieker

Vanaf het Cambrium spelen de trilobieten 250 miljoen jaren lang een hoofdrol in het mariene milieu. Deze dieren danken hun naam aan de drie overlangse lobben. De groep vertoont uitzonderlijk veel diversiteit: in heel zijn bestaansgeschiedenis komen meer dan 18 000 soorten voor, in allerlei maten en vormen.



Pikaia



Trilobieten



Canadaspis

Aanval en verdediging

Recyclage van mineralen

Het klimaat veranderde en de oceanen werden steeds rijker aan opgeloste zuurstof. Hierdoor konden organismen die de geschikte erfelijke kenmerken bezaten voor het eerst harde delen aanmaken. Dit gebeurde door de ontwikkeling van een ingewikkelde stofwisseling die de opname en verwerking van mineralen in harde delen bevorderde. Ze hadden dus baat bij een overvloed aan mineralen, wat ze niet nodig hadden voor een goede lichaamswerking sloegen ze buiten hun cellen op.

TE BEKIJKEN:

Vijf 3D-modellen: uitvergrotingen van dieren uit het Cambrium

Videofilm: Biomineralisatie

Het skelet: de basis

Veel dieren bouwen een skelet op in de vorm van schelpen, pantsers, platen en skeletnaalden. Hiervoor scheiden ze onder andere de organische stof chitine af, die sterker wordt in combinatie met fosfaat of calciumcarbonaat. Maar vaak is het skelet zuiver uit mineralen opgebouwd en bestaat het uit silicium (skeletnaalden van sponsen) of calciumcarbonaat (aragoniet of calciet bij weekdierschelpen, aragoniet bij koralen). De rol van het skelet is de bescherming, voortbeweging en ondersteuning van het dier.

Voordelen van een mineraal skelet

Vanaf het Cambrium vertoonden geleedpotigen – toen al de grootste diergroep – sporen van een pantser. Andere dieren stonden vol met stekels of hadden een schelp. Deze structuren ontstonden samen met de predatie. De evolutie begunstigde waarschijnlijk deze structuren omdat ze voldoende bescherming boden tegen vijanden. Bovendien namen de dieren het voedsel ook gemakkelijker op dankzij hun aanhangsels waarmee ze konden grijpen, versnijden of raspen.

TE DOEN:

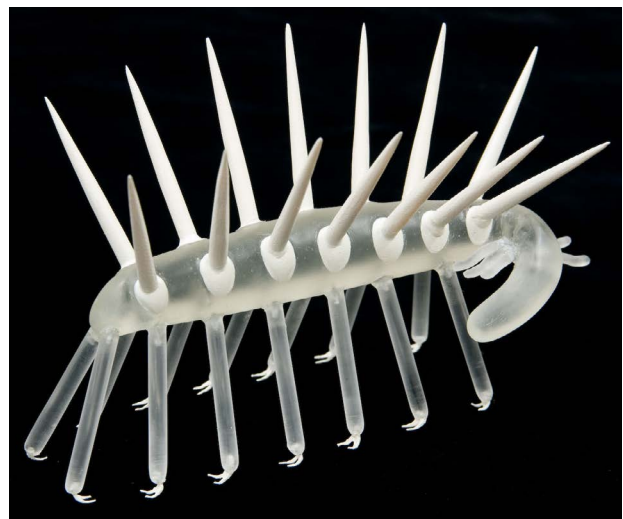
Educatief spel: de verschillende functies van het skelet



3D-model *Wiwaxia*



3D-model *Aysheaia*



3D-model *Hallucigenia*

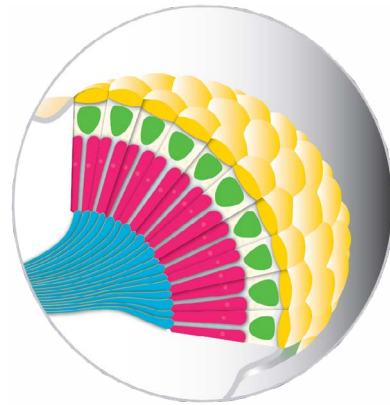
Stekels, platen en ogen

Bewapeningswedloop

Als gevolg van natuurlijke selectie ontstonden verdedigingssystemen bij prooidieren zoals doornen en stevige schelpen. Op hun beurt ontwikkelden predatoren wapens zoals scherpe tanden en grijporganen. Dit arsenaal vloeit dus voort uit een wedloop tussen de jagers die hun prooiën moesten vangen en de prooiën die probeerden te ontkomen.

TE BEKIJKEN:

Tekeningen: pantsers, stekels, tangen



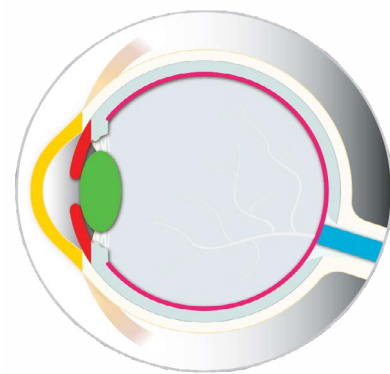
Schematische voorstelling van een oog van een hexapode (insect)

De eerste ogen

542 miljoen jaar geleden ontwikkelden de geleedpotigen voor het eerst ogen. Deze primitieve ogen bestonden uit eenvoudige cellen die gevoelig waren voor licht en donker. Dankzij de geleidelijke perfectionering ervan waren rovers en prooiën tot sterkere prestaties in staat. Zo droeg de evolutie van het oog, evenals de predatie en de biomineralisatie, bij tot meer interactie tussen de soorten.

TE DOEN:

Interactieve computeranimatie: vergelijking van verschillende types ogen bij dieren



Schematische voorstelling van een menselijk oog

Voorouderlijke modellen

Lichaamsstructuur

De diversiteit aan diersoorten is dan wel immens, toch kunnen we ze onderbrengen in 32 stammen (fyla). Die weerspiegelen fundamentele verschillen in lichaamsstructuur zoals symmetrie, lichaamsdelen, aanhangsels en de plaats van de organen. Bijna alle huidige fyla bestonden reeds in het Cambrium. Een dergelijke diversifiëring van zo veel verschillende lichaamsstructuren heeft zich sindsdien niet meer herhaald.

Herwerking: ondertussen schat men het aantal fyla eerder op 35.

TE BEKIJKEN:

Interactieve computeranimatie: Lichaamsschema's

DEVOON

DE VISSSEN DIVERSIFIËREN

-419 MJ → -359 MJ

Tijdens het Devoon bedekte een grote oceaan het merendeel van de planeet. Aan de rand van de continenten bevonden zich ondiepe en warme lagunes, die krioelden van het leven.

TE BEKIJKEN:

Computeranimatie: continentendrift

Talrijk maar kwetsbaar

De trilobieten doen het hier beter dan ooit. Je vindt er piepkleine maar ook reusachtige, met allerlei verschillende levenswijzen. Sommige kruipen in het slib, andere scheren langs de zeebodem of zwemmen in volle zee. Op het einde van het Devoon lopen hun aantallen terug en 225 miljoen jaar geleden zijn ze helemaal verdwenen.

Lagunes in België

Het is haast onvoorstelbaar dat ons land ooit een koraalrif in een warme zee was. Toch is dit zo tijdens het hele Devoon. Riffen van wel honderden kilometers lang krioelen van het leven. Trilobieten, schaaldieren, slakken, kwalen en vissen vinden hier een veilig en voedselrijk onderkomen.

Filteren om te eten

In de zee wemelt het van armpotigen, een groep waarvan er nu nog weinig soorten overblijven. Deze brachiopoden voeden zich met in het water zwevende deeltjes. Ze lijken wel wat op tweekleppige weekdieren, maar hun inwendige bouw is helemaal anders. Tijdens het Devoon spelen ze een hoofdrol in zee, want ze liggen aan de basis van de voedselketen.

Levende ballast

We vinden goniatieten vanaf het eind van het Cambrium. Ze verschillen waarschijnlijk niet veel van de huidige nautilussen. Hun opgerolde schelp is opgedeeld in steeds grotere kamers. Het dier huist alleen in de grootste. De andere kamers zijn met gas gevuld. Door de hoeveelheid gas te wijzigen, kan deze koppotige in het water stijgen of dalen.

Het hoogtij der vissen

Bij veel vissen zijn de kop en de kieuwen door een pantser beschermd, wat heel nuttig is tegen 'zeerovers', zoals de reusachtige zeeschorpioenen. Daarnaast ontstaat een nieuwe groep vissen die meer op de huidige vissen lijken: de beenvissen. Sommige hiervan hebben straalvinnen, andere kwastvinnen. De laatste groep ligt aan de oorsprong van de viervoeters.

Groene kolonisatie

Al van voor het Devoon overwoekeren heel kleine plantjes de zones langs het water. Daardoor wijzigt de



Pteraspis en Coccosteus

Pteraspis had geen kaken. Hij zoog kleine deeltjes of organismen uit het water op. Coccosteus daarentegen bezat beweegbare tandeloze kaken, waarmee hij wel prooien kon vangen.



Kwastvinnige en Straalvinnige

Wat is het verschil tussen deze vissen? De vin. Bij de ene steunen de vinnen op een waaier van dunne beentjes met daartussen een vlies, terwijl bij de andere beweegbare beenderen en spieren in het middelste vlezige deel van de vinnen zitten.

bodemsamenstelling grondig. Als er later sporen en nog later zaden verschijnen, veroveren de planten het land. Er vormen zich naalden, andere bladeren en wortels; nadien ook hout, waardoor er op het eind van het Devoon hoge planten kunnen groeien.

Kaken en tanden

Geen tanden of kaken

De eerste vissen waren eenvoudig van vorm. Ze hadden enkel een staartvin en geen kaken. De meeste van hen leefden op de zeebodem waar ze het sediment opzogen op zoek naar weke voedseldeeltjes. Andere leefden van plankton dat ze uit het zeewater filterden. Nog andere bezaten een schijf met ruwe tandjes, wat erop wijst dat ze zich waarschijnlijk als een parasiet aan een prooi hechtten en het vlees wegvraten, zoals de huidige prikken doen.

TE BEKIJKEN:

Drie tekeningen: mond van de zeeprik, vissen zonder tanden noch kaken

De eerste kaken

De kaken zijn uit de kieuwbogen gegroeid, dat zijn harde onderdelen die de kieuwen ondersteunen. Twee beenderen van de kieuwboog evolueerden tot de bovenkaak en de onderkaak. Later schoof de tweede kieuwboog op naar de eerste en kreeg een ondersteunende functie.

TE BEKIJKEN:

Drie afgietsels: de ontwikkeling van kieuwboog tot kaak

TE DOEN:

Interactief spel: het voedsel bij vissen met of zonder kaak

Een handige nieuwigheid

Kaakvissen hadden een concurrentievoordeel. Hun kieuwen werden beter van zuurstof voorzien en ze konden nieuwe voedselbronnen aanboren. Het openen en sluiten van de kaken laat het water sneller in hun bek stromen. Ze hoefden dus niet te bewegen om vlot adem te halen. De kaken worden gebruikt om de prooi vast te klemmen vóór ze worden ingeslikt. Dankzij deze kaken werden deze vissen actieve jagers.

TE DOEN:

Doe-opdracht: zuurstofopname bij vissen

Een grote bek

Pantseervissen of placodermen waren de eerste grote kaakvissen. Het voorste deel van hun lichaam was bedekt



Goniatiet

Kijk goed naar deze doorgesneden goniatiet. Je ziet duidelijk de kamers en het kanaal dat ze verbindt. Door dit kanaal circuleert het gas dat de goniatiet nodig heeft om in het water te zweven.



Hedendaagse zeeprik en fossiele pantservis

met een pantser van dikke scharnierende beenplaten. Ze verbrijzelden hun prooi met hun krachtige kaken. Het gebrek aan tanden werd goedgemaakt door de vlijmscherpe platte uitsteeksels op hun kaken. Deze grote roofdieren domineerden de oceanen voor een hele periode, tot ze volledig uitstierven op het einde van het Devoon.

TE BEKIJKEN:

Zes tekeningen: pantservissen

Allerlei vormen op allerlei plaatsen

Veel vissen hebben niet alleen tanden op hun kaken, maar ook op hun gehemelte, tong en op de beenderen in hun keelholte. Ze gebruiken de tanden in hun bek vooral om het voedsel vast te houden. Met hun keeltanden kauwen ze het of transporteren het naar hun slokdarm. Hun gebit is aangepast aan hun voedingswijze: plantenetende vissen hebben snijtanden vooraan op hun kaak en vissen die koraal vermalen hebben brede en aaneengegroeide tanden.

TE BEKIJKEN:

Video: de verschillende types tanden bij vissen



Dunkleosteus marsaisi

Vinnen en poten

Vinnen, een bijkomende nieuwigheid

De kaakvissen vertonen een bijkomende nieuwigheid: ze hebben voorste en achterste gepaarde vinnen ontwikkeld. Hiermee kunnen ze gemakkelijker bewegen, van snelheid veranderen en hun lichaam in evenwicht houden. Waarschijnlijk hebben de genen die voor de lichaamsontwikkeling van kop tot staartas instaan, op een nieuwe manier gewerkt, met gepaarde vinnen en later ledematen als resultaat.

TE BEKIJKEN:

Drie tekeningen: vinnen

TE DOEN:

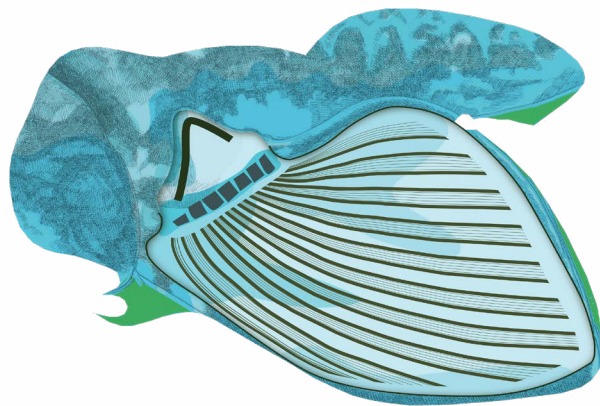
Interactieve animatie: het zwemmen met vinnen

Kwastvinnen en straalvinnen

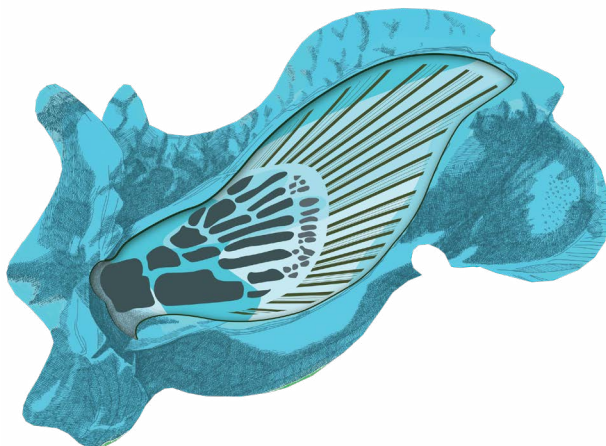
De kaakvissen evolueerden tot twee groepen: de kraakbeenvissen en de beenvissen. Uit de beenvissen ontstonden de straalvinnigen en de kwastvinnigen. De straalvinnigen evolueerden tot een enorm diverse groep. De kwastvinnigen die sterk op de huidige coelacanthen lijken, evolueerden tot de eerste landvertebraten.

TE DOEN:

Doe-opdracht: zwembeweging van twee soorten vinnen vergelijken met video's over zwembewegingen



Straalvin



Kwastvin

De eerste poten

De poten evolueerden uit de kwastvinnen. Een logische evolutie wanneer je naar de structuur kijkt. Deze bestaat immers uit een hoofdas met drie beenderen: een eerste die de basis vormt en twee beenderen naast elkaar, zoals bij de viervoeters. Deze beenderen zitten in de kwastvin die op zijn beurt door een waaivormig geheel van benige vinstralen wordt ondersteund. Daarna maakte een belangrijke verandering het leven op land mogelijk: de vinstralen werden vervangen door vingers.

TE BEKIJKEN:

Twee afgietsels: de ontwikkeling van vin naar poot

CARBOON

HET LEVEN KOLONISEERT DE CONTINENTEN

-359 MJ → -299 MJ

Het Carboon kende een tropisch vochtig klimaat, dat stilaan droger werd. De continenten vormden geleidelijk het supercontinent Pangea, dat door een eindeloze oceaan omgeven was.

TE BEKIJKEN:

Computeranimatie: continentendrift

De uitdaging van het vasteland

De overgang van water naar land gebeurt geleidelijk. In de moeraswouden van het Carboon staan de planten nog met hun 'voeten' in het water. Hieruit ontsnappen is niet simpel. Op het land moeten ze uitdroging weerstaan, water en voedingsstoffen uit de grond halen en zich staande houden tegen de zwaartekracht in. Een waslaagje, huidmondjes en houtvaten zijn aanpassingen die maken dat grote planten hierin slagen.

Zaad, een nieuwe strategie

Bij sporenplanten zorgen grote aantallen kwetsbare sporen voor de verspreiding van de soort. Als de omstandigheden gunstig zijn, komt er een bevruchting tot stand. Een zaad ontstaat pas als de eicel op de plant zelf bevrucht wordt. Vergeleken met een spore, is elk zaad groot. Het zit vol voedingsstoffen en is omgeven door een ondoordringbare zaadhuid die het jonge kiemplantje bescherming biedt.

Stap voor stap

Bij het aan land gaan, volgen de dieren de planten op de voet. Tot de eerste dieren die het water verlaten behoren sommige geleedpotigen: hun schaal beschermt hen tegen uitdroging en hun gelede poten vergemakkelijken het lopen op het land. Andere groepen, zoals spinnen



Neen, dit is niet de huid van een alligator!

Dit is de stam van een soort boomvaren, die tot 30 m hoog kon worden en een diameter van 1 m kon bezitten. De tekens die we zien zijn littekens nagelaten door de bladeren die tijdens de groei afvielen.

en slakken, volgen kort daarna. De gewervelde dieren, met de viervoeters of tetrapoden, zijn de laatste die het vasteland betreden.

Insecten gaan de lucht in

Terwijl er nieuwe plantensoorten ontstaan, veranderen ook de insecten. Sommige soorten ontwikkelen nieuwe organen: vleugels. Bij de ene komen ze voort uit vliezige uitstulpingen op de borstsegmenten. Bij de andere zijn ze ontstaan uit aanhangsels op de poten. Voor ze echt kunnen vliegen, hadden de vleugels waarschijnlijk een andere rol: het geven van alarmsignalen of seksuele prikkels, warmteregulatie, camouflage ...

De evolutie gaat door

De uittocht uit het water boeit ons zodanig dat we vaak vergeten dat het leven in het water verder evolueert. In zee blijven koralen, armpotigen en crinoïden zich diversifiëren en ook bij de vissen ontstaan steeds andere levensvormen. Er verschijnen nieuwe haaiensoorten en de beenvissen domineren voortaan de gewervelde zeedieren.



Benedenius deneensis

Longen en tracheeën

Gasuitwisseling

Wanneer dieren ademen, halen ze zuurstofgas uit de lucht of het water en stoten ze koolstofdioxide uit. Zuurstofgas is nodig om voedingsstoffen te verbranden en er energie uit te halen. Koolstofdioxide is een afvalstof. Afhankelijk van hun concentratie worden deze gassen door passieve diffusie uitgewisseld ter hoogte van een fijne vochtige laag die de ademhalingsoppervlakken bedekt. Deze kunnen zich in de huid, de kieuwen, de luchtpijp of de longen bevinden.

TE BEKIJKEN:

Interactieve computeranimatie: het ademen in het water en in de lucht

Vier 3D-modellen: verschillende longen

De eerste longen

De longen halen zuurstofgas uit de lucht. De eerste longen, zonder bronchiën, verschenen bij vissen vóór de viervoeters de aarde begonnen te koloniseren en waren een aanpassing aan het leven in zuurstofarm water. Sommige van de huidige vissen, afstammelingen van die eerste "longvissen", hebben longen en kieuwen behouden. De longen zijn zeer functioneel en staan in voor een groot deel van de ademhaling. Dergelijke vissen komen dus regelmatig aan de oppervlakte.

TE BEKIJKEN:

Video: de eerste longen

Tekening: schema van het ademhalingsstelsel van de longvis



Scaumenacia curta en *Heteropneustes fossilis*

Het zuurstofparcours

Longpijptakken die zich in steeds fijnere bronchiën vertakken vervoeren de ingeademde zuurstofrijke lucht naar de longen. De lucht belandt uiteindelijk in de longblaasjes, kleine zakjes met enorm veel haarvaten. De longblaasjes en de haarvaten worden door een ultrafijn membraan van elkaar gescheiden. Dit membraan laat de uitwisseling van de ademhalingsgassen toe: het zuurstofgas uit de lucht gaat over in het bloed en de koolstofdioxide, afval van het organisme, gaat van het bloed naar de longblaasjes en wordt vervolgens uitgeademd.

TE BEKIJKEN:

3D-model: hart-longsysteem met uitgewerkte aders (zuurstofrijk-zuurstofarm)

Een kwestie van efficiëntie

Twee wijzigingen hebben de ademhaling van landviervoeters verbeterd. Enerzijds de opening van de interne neusgaten (de choanen) die de doorgang tussen de neusholte en de keel verzekeren. De neus dankt zijn ademhalingsfunctie aan deze doorgang en zo wordt het mogelijk om met gesloten mond te ademen. Anderzijds ontwikkelen de spieren rond de thorax zich. De borstkas wordt een pomp en de toevoer en afvoer van lucht in de longen verloopt vlotter.

Een netwerk van trachea

Insecten ademen door een reeks lange buizen die zich over het hele lichaam vertakken. De buitenlucht dringt hun lichaam via lichaamsopeningen binnen en gebruikt vervolgens de steeds fijner wordende vertakkingen die uitmonden in de cellen. Daar gaat het zuurstofgas op passieve wijze door het membraan. Vliegende insecten en sommige "grote" insecten, die meer zuurstofgas gebruiken, krijgen meer lucht en dus ook meer zuurstofgas dankzij de spiercontractie van de vleugels of van de balgstructuren.

TE BEKIJKEN:

3D-model: het tracheeënstelsel bij een insect

Op het land lopen

Talrijke recylages

De geleedpotigen waren de eerste dieren die zich massaal buiten het water gewaagd hebben. Ze hadden dan ook meerdere anatomische voordelen: dankzij hun stevige schaal die een heus extern skelet vormde, overwonnen ze de zwaartekracht en waren ze tegen uitdroging beschermd. Hun talrijke aanhangsels werden omgevormd tot poten en dankzij de gewrichten tussen de verschillende onderdelen van hun exoskelet konden ze zich op uiteenlopende terreinen voortbewegen.

TE BEKIJKEN:

Vijf tekeningen: geleedpotigen



Meganeuridae ind.



Eurypterus lacustris

De zwaartekracht weerstaan

Op het vasteland worden verticale krachten uitgeoefend op de wervelkolom. Er waren enkele aanpassingen nodig om het gewicht van het lichaam te kunnen dragen en zich te kunnen verplaatsen. De rug mocht immers niet inzakken, het hoofd moest ondersteund worden en de ingewanden moesten op hun plaats worden gehouden. Daarom werden de beenderen dikker, de bekken- en schoudergordels breder en de ledematen sterker. Nieuwe of krachtigere spieren ontwikkelden zich. De gewrichten veranderden om vrije bewegingen toe te laten.

TE DOEN:

Doe-opdracht: verschillen in hoofdbewegingen bij dieren met of zonder nek

Een golvende beweging

Alles wijst erop dat de eerste viervoetige landdieren goed ontwikkelde gewrichten, handen en vingers, robuuste beenderen en krachtige spieren bezaten. Dat hun ledematen lateraal in het lichaam ingeplant waren, met de ellebogen en knieën naar buiten gericht. Dergelijke inplanting bestaat nog steeds bij salamanders. Door deze gelijkenis denken we bijgevolg dat de eerste gewervelde landdieren zich zoals salamanders verplaatsten: bij elke stap maakt het lichaam een golvende beweging.

TE DOEN:

Doe-opdracht: verschillende ruggengraten bij dieren

Doe-opdracht: vergelijken van de beweging van een salamander met die van een kwastvinnige vis



Eryops megacephalus

Eieren

Insecteneitjes

Insecteneitjes zijn beschermd door een zeer fijn membraan en een iets dikkere en ondoordringbare laag aan de buitenkant. Deze voorkomt de absorptie of het verlies van water en beschermt de eitjes tegen uiteenlopende weersomstandigheden. Aan de binnenkant wordt de voeding van het embryo tijdens zijn ontwikkeling verzekerd door het amnion. Net als de vorm, de grootte en de kleur van de eieren, zijn er uiteenlopende legtypes: geïsoleerd of in groep, beschermd door een afscheiding of in een scheurtje geplaatst.

TE BEKIJKEN:

Video: het leggen van eitjes bij insecten

Tekening (schema): insectenei

Amfibieëneieren

Amfibieëneieren hebben geen schaal en zijn dus vatbaar voor uitdroging. Daarom worden ze in water of in een vochtig milieu gelegd en beschermd door een geleïachtige laag die ze bij elkaar houdt. Elk ei wordt omgeven door twee fijne membranen en bevat weinig voedingsreserves.



Eieren van amfibieën

Deze reserves volstaan voor de ontwikkeling van dikkopjes, waterlarven die een verdere metamorfose ondergaan. Elke soort heeft zijn legstrategie en weinigen bekommeren zich om hun eieren.

TE BEKIJKEN:

Drie foto's: amfibieëneieren

Amniotische eieren

Amniotisch eieren kunnen op het droge gelegd worden terwijl het embryo zich ontwikkelt in een micromilieu met water, beschermd door een poreuze schaal. In het ei zelf vormt het amnion de voedingsreserves en maakt het allantoïsvlies ademhaling en afvalopslag mogelijk. Oorspronkelijk zou de schaal een vezelmembraan geweest zijn dat het membraan van het ei verdubbelde, zoals bij dat van de 'Coquikikker'. Het allantoïsmembraan en de verkalking van het vezelmembraan zouden pas later ontstaan zijn.

TE BEKIJKEN:

3D-model: uitvergroete dwarsdoorsnede van een amniotisch ei

Twee foto's: amniotische eieren

250 MJ GELEDEN VERDWIJNEN OPEENS 95% VAN ALLE DIERSOORTEN IN EEN MASSA-EXTINCTIE.

JURA

NIEUWE FAUNA IN DE ZEEËN

-201 MAJ → -145 MJ

Tijdens de Jura barstte het supercontinent Pangaea, waardoor een bekken ontstond dat later de Atlantische Oceaan zou vormen. Op veel plaatsen ontstonden ondiepe warme zeeën.

TE BEKIJKEN:

Computeranimatie: continentendrift

Beroemde mollusken

Bij de overgang van het Perm naar het Trias sterven de koppotigen massaal uit. Slechts enkele soorten houden stand en brengen een grote verscheidenheid aan ammonieten voort, typisch voor de zeeën uit de Jura. Ze kunnen klein of juist heel groot zijn, en onderscheiden zich door hun versiering en de golvende lijnen die door de tussenschotten van de kamers op de buitenkant van de schelp achtergelaten zijn.

Een robuust pantser

Al sinds het Cambrium komen in zee schaaldieren voor. Zoals alle andere groepen, krijgen ook zij rake klappen tijdens de Perm-Trias-extinctie. Ze beginnen zich echter



Belemniet, *Megateuthis giganteus*

Hier ziet je het skelet van een andere koppotige: een belemniet. Bekijk het verpletterde deel, dat is homolog aan de opgerolde structuur van ammonieten. Het geheel is bedekt met een dik en gespieerd weefsel dat het dier het uiterlijk geeft van huidige inktvissen.

zeer snel opnieuw te diversifiëren. Zo ontstaan er, als antwoord op een alsmatigere predatiedruk, nieuwe soorten met een steeds dikker pantser, dat sommige schaaldieren zelfs verplicht het zwemmen op te geven en enkel nog over de zeebodem rond te zwerven.

Fossiele schelpen

Ernstig getroffen door de uitsterving aan het einde van het Perm, gaan de tweekleppigen snel de zeeën herbevolken. De Jura-fauna vertoont een grote soortenrijkdom met schelpen zoals we die vandaag nog vinden, en dieren met veelzijdige levenswijzen: verstopt in holtes, met byssusdraden vastgehecht aan een harde onderlaag, of vrij op de bodem.

Vissen in soorten en maten

De Holostei zijn vroege beenvissen met een gespierde ronde bek, stevige schubben en een asymmetrische staart. Ze overheersen nog in de Jura. Heel geleidelijk treedt een ander type vissen naar voor, sneller en gewapend met een geperfectioneerd kaakgewricht. Het merendeel van de haaien – dat zijn kraakbeenvissen – heeft dan al zijn moderne uitzicht.

Technische vooruitgang

De moderne vissen of beenvissen, bezitten een naar voren uitstulpbaar kaakgewricht dat vervolgens razendsnel weer sluit. Ze kunnen zowel koralen oppeuzelen of voedsel van de bodem happen, alsook gretig prooien naar binnen zuigen. Hun dunne, gladde schubben geven extra vaart bij het zwemmen. Vandaag omvat deze groep meer dan 20 000 soorten.

Tanden in de zee

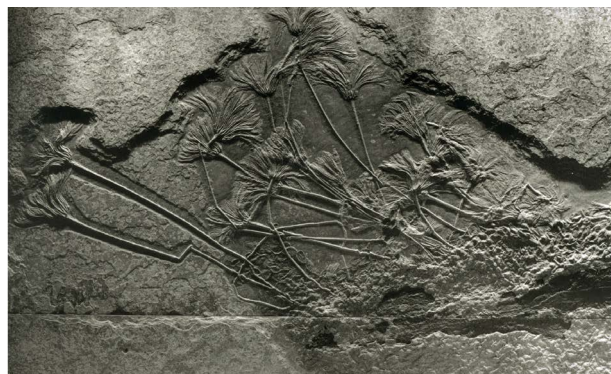
Over de kraakbeenvissen, waartoe haaien en roggen behoren, weten paleontologen niet bijster veel. Daar ze noch een uitwendig pantser, noch een benig skelet hebben, blijft er weinig van over. We vinden niet meer dan hun tanden en heel soms hun schubben. Toch weten we dat de moderne haaien in de Jura reeds goed vertegenwoordigd waren.

Zeelelies

Crinoïden bestaan sinds het Cambrium. Tijdens de Perm-Trias-extinctie werden ze bijzonder hard getroffen. De groep herleefde in het Mesozoïcum met vormen die zeer beweeglijke armen bezaten. Deze rare dieren filteren het water dat door hun armen stroomt en vangen zo plankton: eencellige algen, larven van ongewervelde dieren en kleine schaaldieren. Het merendeel leeft vastgehecht aan een hard substraat zoals een drijvende stam of een rif.

Grote roofdieren

Reptielen maken de zeeën al snel onveilig en nemen als roofdieren een superieure positie in. De snelle ichtyosaurussen uit de open zee voeden zich voornamelijk met belemnieten en kleine vissen. De plesiosaurussen, uitgerust met fijne en zeer scherpe tanden, jagen op alles wat beweegt en verslinden vooral vissen en koppotigen zonder schelp.



Zeelelies



Machimosaurus

Een van de grootste krokodillen van het Jura-tijdperk en misschien wel een van de meest geduchte, want er zijn sporen van zijn tanden teruggevonden op fossielen van dinosaurussen en schildpadden. Zwemmend tussen de eilanden en archipels, ging de *Machimosaurus* op jacht om zich te kunnen voeden

Het water veroveren

Reptielen waren aanvankelijk landdieren, maar gaandeweg neemt hun aantal toe en gaan ze er anders uitzien. Sommige verwerven eigenschappen die bij een leven in en onder water horen. Daar vinden ze een rijk gedekte tafel met allerlei zeedieren. Andere, zoals krokodillen of schildpadden, gaan leven als amfibieën. En nog andere wagen zich in volle zee, zoals de *Plesiosaurus* en de *Ichtyosaurus*.

Als een dolfijn in het water

Een torpedovormig lichaam met gedrongen nek, een krachtige staart die heen en weer zwiept, en vier zwempeddels, maken van de *Ichtyosaurus* een echt gestroomlijnd zeedier. Hij plant zich ook anders voort dan de meeste reptielen: normaal gezien leggen die eieren op het land, maar de *Ichtyosaurus* brengt zijn kleintjes ter wereld in volle zee.

Eten of gegeten worden

De band tussen jager en prooi heeft talrijke aanpassingen meegebracht, zowel op het vlak van de aanval als van de verdediging. De reptielen aan de top van de voedselpiramide lijken de verschrikkelijkste, maar ze zijn ook de meest kwetsbare aangezien hun overlevingskansen nauw samenhangen met het evenwicht van het ecosysteem in zijn geheel.

De hoorn van Amon

Ammonieten kenmerken de fauna uit de Jura-zeeën. Hun naam danken ze aan de gekrulde vorm van hun schelp: die doet denken aan de ramshoorn op de kop van de Egyptische god Amon. Er zijn honderden soorten ammonieten gevonden. Hun verscheidenheid, korte levensduur en wijde verspreiding stemmen paleontologen uiterst tevreden. Zij gebruiken ammonieten om Jura-sedimenten te dateren.



Plesiosaurus

Plesiosaurussen herken je aan hun gedrongen lichaam en korte staart. Sommige hebben een lange slangachtige nek en een minuscule hoofd terwijl andere dan weer een massief hoofd bezitten dat gedragen wordt door een gedrongen nek. Deze laatste worden plesiosaurussen genoemd.



Nautilae indet. en Cenoceras inornatum

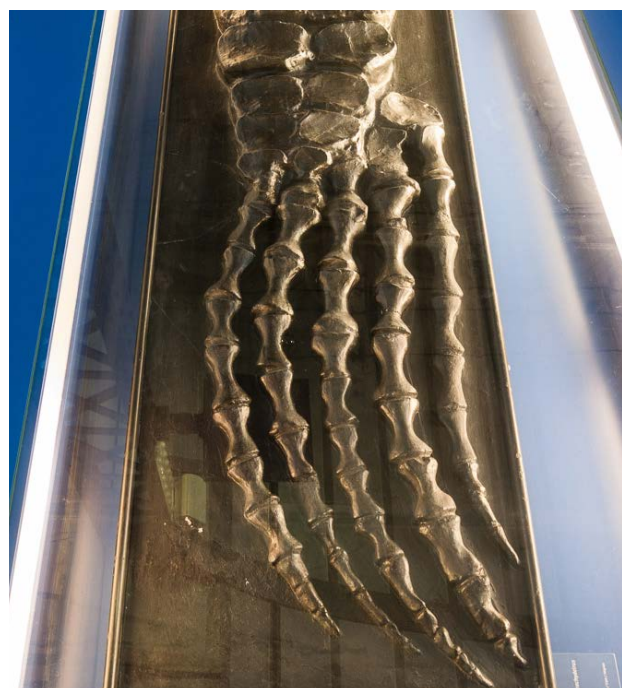
Reptielen en water

Zich aanpassen aan het water

Reptielen, landdieren, hadden enkele min of meer doorgedreven aanpassingen aan het leven in water nodig. Ze moeten nog steeds naar de oppervlakte komen om te ademen, maar enkele soorten ontwikkelden spatelvormige structuren in plaats van poten of wijzigden hun voortplanting door hun eieren in ondiep water te leggen. Hun huid heeft het voordeel dat ze ondoordringbaar is en een goede barrière tegen zeezout vormt. Het nadeel is dat het overvloedige zout niet via de huid kan worden afgevoerd. Het wordt uiteindelijk afgescheiden via een klier die zich dicht bij de ogen bevindt.

TE BEKIJKEN:

3D-aanraakmodel + video: een fictief reptiel met uitleg over aanpassingen aan het leven in het water



Plesiosaurus brachydeirus

Van poot tot vin

Bij bepaalde "zeereptielen" evolueerden de ledematen van hun voorvaders, de landviervoeters, tot spatelvormige structuren. Een aanpassing aan het mariene leven dankzij een alternatieve ontwikkeling van de ledematen: voorarm en kootjes werden steeds korter. De kootjes werden ronder en hun aantal nam aanzienlijk toe. De duim verdwijnt en de bestaande vingers worden aangevuld met extra kootjes en/of vingers.

Vlucht onder water

De *Plesiosaurus* had een massief tonvormig lichaam en een korte maar krachtige staart die diende als roer. Hun vier ledematen evolueerden tot spatelvormige structuren die hun verplaatsingen onder water mogelijk maakten. Ze bewogen zich zoals de schildpad met continue en trage bewegingen van deze spatelvormige structuren. De krachtige borstspieren verzekerden de neerwaartse bewegingen en inertie zorgde voor de opwaartse bewegingen.

TE DOEN:

Doe-opdracht: de vlucht onder water van de *Plesiosaurus*

Convergente evolutie

De *Ichtyosaurus* was het evenbeeld van onze dolfin: een gestroomlijnd lichaam, een stabiliserende rugvin en een staart ter ondersteuning van de staartvin. Hij had daarentegen vier spatelvormige structuren en verplaatste zich dankzij laterale en niet verticale bewegingen van de staart. Hij dankt zijn gelijkenis met de dolfinen – waarmee hij niet verwant is – aan de aanpassing aan gelijkaardige levensomstandigheden. Een aanpassing die we convergente evolutie noemen.

TE DOEN:

Doe-opdracht: de zwembeweging van een *Ichtyosaurus*



Stenopterygius quadriscissus

Eten en gegeten worden

Zeemenu

Zeelelies, sponzen, hoornkoraal en schelpdieren stonden op het menu van buikpotigen, zeesterren, ammonieten, belemnieten en schaaldieren. Deze roofdieren werden op hun beurt verorberd door vissen, krokodillen en zeereptielen die dan weer werden opgegeten door de grootste zeereptielen. Aan de top van deze voedselketen vonden we de *Pliosaurus* en de grote *Ichtyosaurus*, roofdieren die met de huidige orka en sommige grote haaien kunnen worden vergeleken.

TE BEKIJKEN:

Spel: vergelijking van de voedselketens van het ecosysteem van Jura en heden



Machimosaurus

Achterwaarts

Ammonieten en belemnieten zwommen achterwaarts: het water dat in de mantelholte werd opgenomen om de zuurstoftoevoer van de kieuwen te verzekeren, werd tijdens de contractie van de spieren van deze mantel uitgestoten, wat een achterwaartse beweging veroorzaakte. Het water werd onder druk afgevoerd door de sifon, een rechte oriënteerbare buis waarmee het dier zich kon richten. Net als octopussen en pijlintvissen spoten deze dieren een wolk inkt om zich tijdens hun vlucht te dekken.

TE BEKIJKEN:

Twee tekeningen: voortbeweging bij de inktvis

Zoals de goudvis

Het succes van de beenvissen is deels te danken aan de mobiele kaak waarmee ze prooi kunnen opzuigen en koralen kunnen opknabbelen. Wanneer de mond opengaat schiet de kaak uit de kom en strekt zich uit. Wanneer de mond gesloten wordt, neemt de kaak haar plaats zo snel in dat ze een zuigstroom creëert. Bovendien beschikten deze vissen over een symmetrische staart en soepele schubben, waardoor ze snel en nauwkeurig waren. Zo waren ze zeer handig in het ontsnappen en het jagen.

TE BEKIJKEN:

Video: beenvissen en hun mobiele kaken

Vier afgietsels: vissen

66 MJ GELEDEN STIERVEN OPNIEUW MASSAAL VEEL SOORTEN UIT, WAARONDER DE DINOSAURIËRS.

EOCEEN

DE OPKOMST VAN DE ZOOGDIEREN

-56 MJ → -34 MJ

In het begin van het Eoceen bedroeg de temperatuur gemiddeld 10°C meer dan nu en nam daarna geleidelijk af. De continenten dreven stilaan naar hun huidige ligging.

TE BEKIJKEN:

Computeranimatie: continentendrift

Een tropisch klimaat

Tien miljoen jaar is er voorbijgegaan sinds de Krijt-Paleogeengrens en het uitsterven van de dinosauriërs. Het warme klimaat van het einde van het Krijttijdperk houdt aan en tegen het einde van het Eoceen is het nog warmer. De gemiddelde temperatuur is dan wel 10°C hoger dan vandaag. Daardoor reikt de zone met tropische plantengroei op de twee halfronden tot voorbij de 50ste breedtegraad.



Palmvrucht

Deze gefossiliseerde vrucht is afkomstig van een palmboom. Exotisch? Neen, het werd gevonden in de Brusselse ondergrond. Een bewijs dat het tropisch klimaat in die tijd ook in onze streken heerste. De wouden waren er bevolkt met taxussen, vijgenbomen, sequoia's ...



Dyatrima

De hoge vlucht van de vogels

Het tropische klimaat doet meer verscheiden vogelsoorten ontstaan, een trend die al voor het einde van het krijt ingezet was. Bepaalde soorten gaan er min of meer uitzien als de moderne vogels, andere laten het vliegen varen in ruil voor het lopen. Er dagen groepen reusachtige loopvogels op die de vrijgekomen niche van de grote vleeseters inpalmen. Maar de beroemde *Dyatorima* moet een alleseter geweest zijn.

De opkomst van de zoogdieren

Succes dankzij tanden

Niet-bezette ecologische niches en een warm klimaat volstaan om de zoogdieren, die meer dan 170 miljoen jaar eerder verschenen, te diversifiëren en over de continenten te verspreiden. Een van de redenen van hun succes is de specialisatie van hun gebit. De lange snijtanden van knaagdieren, de knobbelkiezen van hoefdieren, de knipkiezen van roofdieren ... maken dat ze hun voedsel ten volle kunnen benutten.

Buitenkansjes

De niches die bij de massa-extinctie aan de Krijt-Paleogeenovergang vrijkomen, raken stilaan opnieuw bezet, soms door dieren waar men het niet van verwacht. Zo zijn er onder de zoogdieren, oorspronkelijk allemaal landdieren, groepen die het luchtruim gaan verkennen. Andere worden boombewoners en nog andere wagen zich aan een leven in het water. Met talrijke morfologische veranderingen tot gevolg.

Wie haalt het?

De diversificatie van zoogdieren en vogels brengt een toenemende strijd teweeg voor in het milieu beschikbare middelen. Nieuwe soorten moeten concurreren met diegene die de uitsterving hebben overleefd. Die rivaliteit is duidelijk bij de "reptielen": de overgebleven soorten moeten zich weren tegen de opkomst van de "moderne reptielen", waarvan de huidige kruipdieren afstammen.

Verandering van klimaat

In het begin van het Eoceen vertaalt de dubbele temperatuurpiek zich in een tropisch wereldklimaat. Op het einde van die periode koelt het klimaat weer af en wordt het droger. Antarctica krijgt een laagje ijs en de tropische regenwouden evolueren tot een smalle strook terwijl gematigde wouden en savannes de intermediaire zones bedekken. De diersoorten veranderen van generatie op generatie: enkel de transformaties die in deze nieuwe levensomstandigheden nuttig zijn, worden geselecteerd.

Migratie van de zoogdieren

Zo'n 55 miljoen jaar geleden wordt het klimaat op korte tijd warm en vochtig. De wouden breiden zich uit en bedekken zelfs de poolstreken. Er ontstaan doorgangen tussen Europa en Noord-Amerika. Zoogdieren gebruiken deze bruggen om van het ene continent naar het andere



Propalaeotherium

Dit kleine diertje staat aan de oorsprong van het paarden-ras. Het voedt zich voornamelijk met bladeren. Het heeft nog geen grote tanden, maar wel tanden die relatief kubusvormig zijn en met een kauwoppervlakte dat typisch is voor zijn nakomelingen.



Vleermuis

Vleermuizen maakten hun opwachting vanaf het begin van het Eoceen, en toen leken ze al op hun huidige neefjes. Hun oorsprong blijft een waar mysterie, maar hun verschijning valt samen met de toenemende diversiteit van planten en insecten, die dagelijks op het menu staan.



Dorudon

Walvissen vinden hun oorsprong op het land. Kijk maar naar de *Maiacetus*, een waterdier maar wel nog met vier poten. *Dorudon*, een recenter dier, heeft echter al sterk gekrompen achterpoten, terwijl de voorpoten zich transformeerden in zwemvinnen.

te reizen. De meest primitieve zoogdieren verdwijnen en "moderne" vormen maken hun opwachting. Deze kleine dieren wegen minder dan 10 kg, wat waarschijnlijk te maken heeft met het zeer warme klimaat: hoe dikker men is, hoe meer warmte men bewaart.

TE BEKIJKEN:

Interactieve computeranimatie: zoogdieren en het klimaat

Tanden

Succesvolle tanden

Zoogdieren danken hun succes aan hun gebit en aan de manier waarop ze voedsel kunnen vastnemen en vermalen. De molaren die gebruikt worden om te kauwen, zijn allemaal uit een primitieve vorm gegroeid: de bovenste kiestanden die, bij het merendeel van de zoogdieren, drie grote kegels bezaten. De verschijning van een vierde kegel was cruciaal voor de herbivoren: de kauwoppervlakte werd groter en de voeding kon fijner worden gemalen. Tussen de kegels verschenen dan kammen, wat de diversiteit van de verschillende soorten tanden verbeterde.

TE DOEN:

Doe-opdracht: verschillende types bewegingen van kaken en tanden bij zoogdieren

Sterker tandglazuur

Bij het kauwen wordt het tandglazuur van een zoogdier blootgesteld aan de druk van de malende kaken. Bij de eerste zoogdieren was dit tandglazuur eenvoudig en samengesteld uit parallelle vezels, schuin op de tandoppervlakte. Later ontwikkelden talrijke groepen zoogdieren, vooral de grote en de knaagdieren, tandglazuur dat was samengesteld uit twee kruisende lagen parallelle vezels. Een samenstelling die het verschil maakte: dit tandglazuur is veel resistenter tegen abrasie door voedsel en tegen breuken tijdens het kauwen.

TE BEKIJKEN:

Videofilm met computeranimatie: tandglazuur

Volledig betrouwbare tanden

De tanden van de eerste neushoorns bewijzen dat ze vooral bladeren aten. Die waren er dan ook in overvloed. Hun nakomelingen hadden tanden waarmee ze konden grazen in het toenemend aantal weilanden. Als reactie op de schurende bestanddelen, zoals zand, die met de voeding meekwam, werd het tandglazuur dikker, de kroon hoger en het tandcement overvloediger. De scheurende premolaren ontwikkelden zich tot molaren die voedsel konden verbrijzelen.



Tanden van een beverrat en *Pseudotomus hians*



Tanden van een ree en *Plagiolophus* sp.



Tanden van een vos en *Vassacyan promiocodon*

Nieuwe veroveringen

Veroveraars van de lucht

Vleermuizen ontstonden meer dan 50 miljoen jaar geleden, en kunnen vliegen dankzij de aanpassing van het beendergestel van hun voorste ledematen: een zeer lang spaakbeen en een korte ellepijp. De botjes in de handen werden langer en de vingers zijn hypertrofisch, behalve de duim. Deze vingers ondersteunen een zeer fijn, elastisch en soepel membraan waarmee ze kunnen vliegen en dat zich van de voorste naar de achterste ledematen uitstrekt. Enkel de duimen zijn vrij, zodat ze zich kunnen vastklampen.

Van land naar zee

Walvissen stammen af van hoefdieren die meer in het water zijn gaan leven. Deze voorvaders evolueerden tot goede zwimmers die sporadisch nog het land bezochten. Hierdoor krompen hun achterste ledematen en bekken tot ze uiteindelijk volledig verdwenen zijn. Hun voorpoten bezitten nog steeds de beenderstructuur van een hand met vingers, maar deze zijn uitgegroeid tot spatelvormige structuren. De neusgaten kwamen meer naar de top van de schedel, zodat ze konden ademen zonder hun kop te veel uit het water te moeten steken.

TE DOEN:

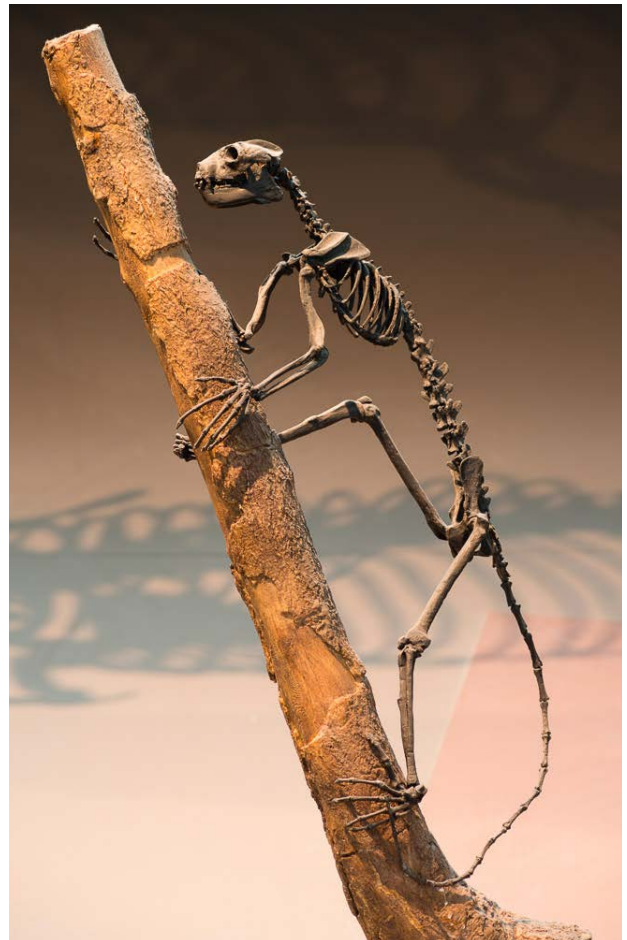
Doe-opdracht: bekijk en vergelijk de evolutie van walvissen

In bomen klimmen

De zeer beweeglijke armen, handige poten en vingers met klauwen die typisch zijn voor de groep van de *Plesiadapis*, verwant met de primaten, maakt hen geschikt om in bomen te leven. Hun ogen stonden aan de zijkant van hun kop. De groep van de primaten, die een beetje later verscheen, werd gekenmerkt door de voorwaartse positie van hun ogen. Hun grijphanden en -voeten met opponeerbare vinger en nagels, waren beter aangepast aan de manipulatie van takken en twijgen dan primitieve klauwen.

TE BEKIJKEN:

Interactieve computeranimatie: de klimcapaciteiten van zoogdieren



Notharcus tenebrosus

HEDEN

DE EVOLUTIE GAAT NU NOG STEEDS HAAR GANG

De temperatuur van de aarde is tegenwoordig gemiddeld 15 °C. Het klimaat is er heel verscheiden. Elk jaar schuiven de continenten enkele centimeters op.

TE BEKIJKEN:

Computeranimatie: continentendrift

De diversiteit van het leven

Nu leven er ongeveer 1,8 miljoen soorten dieren en planten op aarde. Deze rijkdom draagt ertoe bij dat ecosystemen stabiel zijn en kunnen voorbestaan. Maar voor hoelang nog? Ongebreidelde stadsgroei, klimaatveranderingen en verwoesting van natuurgebieden hebben de oorspronkelijke ecosystemen grondig verstoord of zelfs vernietigd, waardoor veel soorten in gevaar komen.

Nieuwe soorten

Nieuwe soorten

Niet zelden ontstaan nieuwe soorten: dit verschijnsel noemen we speciatie of soortvorming. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren wanneer er een geografische hindernis opduikt – zoals een bergketen, zeearm of woestijn – die het verspreidingsgebied van een soort verbreekt. De verschillende populaties evolueren apart tot ze zich niet meer met elkaar kunnen voortplanten.

Beetje bij beetje

Soms leven populaties van één soort rond een berg of over heel de lengte van een dal verspreid. Stilaan gaan ze steeds meer verschillen vertonen en van elkaar vervreemden. Elke populatie kan zich nog steeds met een naburige voortplanten, maar niet meer met een populatie die zich verder op de keten bevindt. Deze afgelegen populaties zijn verschillende soorten geworden.

De mens beïnvloedt de evolutie

De mens is geen dier zoals de andere: zijn dagelijks gedrag maakt het voor veel andere soorten moeilijk om te overleven en zich voort te planten. Dit is niet zozeer te wijten aan zijn activiteiten als predator, zoals de jacht en de visvangst, als wel aan zijn levenswijze, die leidt tot ontbossing, vervuiling, klimaatsverandering, verstedelijking.

Samenleven

De 300 soorten cichliden in het Tanganyikameer komen voort uit slechts enkele soorten, waarvan de nakomelingen stilaan meer en meer van elkaar gingen verschillen. Dit kwam onder andere doordat ze verschillende ecologische niches innamen, zodat er gaandeweg meer



Bruine beer

Hoewel de ouderdom van de moderne mens nu op 300 000 jaar bepaald is, is hij niet de recentste zoogdiersoort. Zo is de bruine beer een zoogdier dat pas 70 000 jaar geleden ontstond!



Meeuwen

De kleine mantelmeeuw en de zilvermeeuw leven wel samen aan onze kust, maar ze kunnen zich niet met elkaar voortplanten. Toch zijn het niet zomaar verschillende soorten, want tussen beide bestaat er een hele rij subpopulaties die wel telkens bij de burennakomelingen kunnen krijgen.

gespecialiseerde populaties ontstonden. Deze populaties vertoonden steeds toenemende afwijkingen in grootte, vorm, kleur, ornamentatie of zelfs dieet, tot ze verschillende soorten werden.

Samenleven in verscheidenheid

Om te paren lokken krekels hun partner met een soortspecifiek gesjirp. Deze soortbarrière is waarschijnlijk door seksuele selectie ontstaan: uit populaties die een steeds uitgesproken voorkeur vertonen voor een bepaalde geluidsfrequentie, een ritme of een gedrag zouden uiteindelijk aparte soorten ontstaan. Toch blijven die samen in éénzelfde milieu leven, dit noemen we sympatrie.

TE DOEN:

Audiospel: de roep van mannetjesinsecten

Metromuggen

In de Londense metro leven er andere muggen dan in de buitenlucht! In enkele decennia tijd ontstond uit de bovengrondse soort een ondergrondse. Beide soorten vertonen verschillen in habitat, dieet (zoogdier- of vogelbloed), levenscyclus. Ze planten moeilijk met elkaar voort, maar het lukt nog, wat een bijzondere populatie oplevert: de metro-ingangsmuggen!

Ringsoort

De salamander *Ensatina* trok vanuit Oregon naar het zuiden en koloniseerde de beide oevers van de San Joaquinvallei. Langs elke kant splitste de populatie zich op in subpopulaties, die mettertijd evolueerden. De naburige groepen kunnen zich nog steeds met elkaar voortplanten. Zo vormen ze een continuüm rond de vallei. Maar de twee vormen van *Ensatina* die elkaar helemaal aan het andere uiteinde van de vallei in Zuid-Californië tegenkomen, zijn niet onderling meer vruchtbaar: ze gedragen zich als verschillende soorten.

TE DOEN:

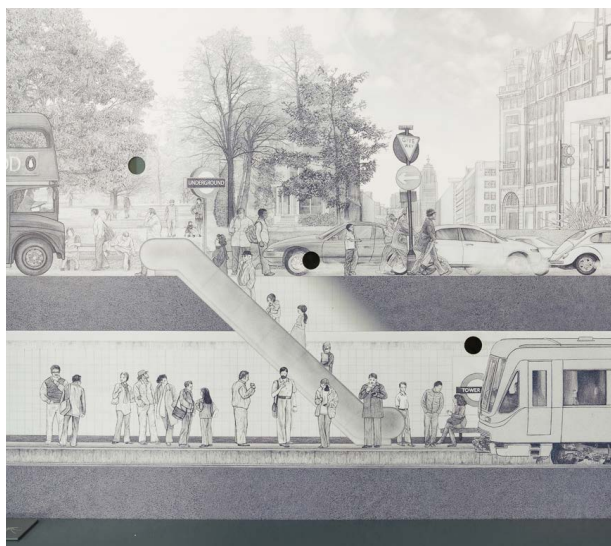
Educatief spel: soortvariatie bij salamanders

Woestijnvissen

Ongeveer 10 000 jaar geleden waren er in de Death Valley, een woestijn in het westen van de Verenigde Staten, veel meren en beken. Hierin leefden visjes (*Cyprinodon*) die, toen het water zich terugtrok, in kleine poelen achterbleven. In deze nieuwe en geïsoleerde milieus evolueerden de subpopulaties langzamerhand tot aparte soorten, die aan een uiterst specifieke habitat aangepast zijn.

TE DOEN:

Observatiespel: de evolutie van *Cyprinodon*



Metromuggen in Londen
(tekening met de drie verschillende soorten muggen)

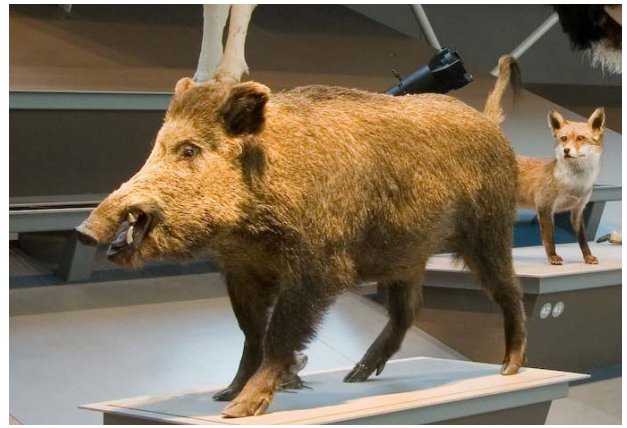
Menselijke druk

Kunstmatige selectie

Bij het kweken van dieren of het telen van planten gaat de mens bij de voor hem interessante soorten op zoek naar kenmerken die hij kan wijzigen of begunstigen. Zo stuurt hij hun evolutie. Het gaat hier niet meer over natuurlijke maar wel over kunstmatige of artificiële selectie, met esthetische of economische bedoelingen.

De mens als predator

Bij de jacht of bij de visvangst oefent de mens selectiedruk uit op bepaalde dieren. Zo wijzen metingen uit dat kabeljauwen kleiner worden. Alleen kleine vissen kunnen immers door de mazen van het net glijpen. Doordat de erfelijkheid de grootte van een volwassen dier beïnvloedt, komen er in verhouding steeds meer kleine kabeljauwen bij.



Het varken

Sinds ze gedomesticeerd zijn, zien varkens er helemaal anders uit. Als we een slachtvarken met een wild varken vergelijken, zien we dat zijn snuit kleiner geworden is en zijn achterste veel dikker, wat meer vlees oplevert.

Mensenwerk

Steeds meer vlees

Het Belgisch witblauw ras is het resultaat van kunstmatige selectie, want door overwogen keuzes werkten de kwekers de spierontwikkeling van deze runderen in de hand. Ze lieten melkvee evolueren tot slachtvee. Door nauwgezette en volgehouden selectie van de dieren die het meeste vlees produceren, konden ze deze verandering in enkele generaties tijd doorvoeren. De mens heeft dus bewust de evolutie van dit ras beïnvloed.

TE BEKIJKEN:

Tekeningen: de oorsprong en evolutie van de Belgische witblauw



Belgische witblauw

Noodlottige viskwekerij

Na 25 jaar kunstmatige selectie is het genetisch erfgoed van de Atlantische zalm grondig geëvolueerd en gekweekte zalmen verschillend sterk van wilde zalmen. Maar uit kwekerijen ontsnapte zalmen en wilde zalmen krijgen onderling nakomelingen. Het erfgoed van deze hybriden verspreidt zich nu onder de natuurlijke populaties. Er bestaat een ernstig risico dat de wilde zalm binnen 25 jaar uitsterft.

Evolutiedruk

(Niet) beet

De maaswijdte van visnetten is een selectiefactor die er onder andere voor gezorgd heeft dat kabeljauwen minder groot worden. Kleine volwassen dieren slagen er immers beter in tussen de mazen te glijpen, te overleven en zich voort te planten. Daar de lichaamsgrootte deels genetisch bepaald wordt, geven ze deze tendens door aan hun nakomelingen, waardoor het formaat van volwassen kabeljauwen stilaan afneemt.



Kabeljauw (sculptuur)

TE BEKIJKEN:

Observatiespel: kabeljauwen en visnetten

Uit de loop van het geweer

Ivoorjagers oefenen een selectiedruk uit op olifanten. Ivoor brengt namelijk veel op, waardoor de olifanten met de langste tanden het meeste risico lopen. Een olifant met korte slagstanden heeft zo meer overlevings- en voortplantingskansen. De genen die 'korte slangtanden' bevorderen, worden dus vaker aan de afstammelingen doorgegeven. Er komen daarom steeds meer olifanten met korte slagstanden voor. Zo draagt de jacht ertoe bij dat de genenpool van de soort wijzigt.

TE BEKIJKEN:

Interactieve computeranimatie: de olifantenjacht

Nare gevolgen

De paradox van de antibiotica

Antibiotica worden gebruikt om bacteriën massaal te doden. Ze zijn uiterst efficiënt, maar er zijn altijd enkele resistente bacteriën bij, met een mutatie die ze voor een bepaald antibioticum immuun maakt. Die enkele individuen overleven, vermenigvuldigen zich en geven hun mutatie aan hun nakomelingen door. Zo ontstaan resistente stammen, waartegen nieuwe antibiotica gebruikt moeten worden. Deze wapenwedloop houdt nooit op!

TE BEKIJKEN:

Videofilm met computeranimatie: resistentie tegen antibiotica

Muteren om te overleven

Luizen worden al 60 jaar bestreden met insecticiden die hun zenuwstelsel aantasten. Gaandeweg ontwikkelden sommige luizen een resistentie tegen deze moleculen. De analyse van hun genetisch erfgoed wees uit dat ze hun immuniteit aan twee mutaties te danken hebben. Ze kunnen dus overleven, zich vermenigvuldigen en hun mutaties doorgeven, waardoor de resistente afstammelingen in de populatie steeds meer toenemen.

TE BEKIJKEN:

Foto (100x vergroot): een luis

Foto (elektronische microscopie): een bacterie



Foto (100x vergroot): een luis



Foto (elektronische microscopie): een bacterie

TOEKOMST

DIT IS FICTIE

+50 MJ →

Door de vroegere continentenbewegingen te bestuderen, kunnen we hun toekomstige ligging voorspellen. Binnen 50 miljoen jaar zullen Europa en Afrika één blok vormen. De Middellandse Zee bestaat niet meer en Australië drijft nog altijd traag naar Indonesië.

De dieren van de toekomst

OPGELET:

Het gaat hier weldegelijk over imaginaire dieren!

Neopyghoscelis: peddelpinguïn

Lengte: tot 4 meter

Stamt af van: de ezelspinguïn, *Pygoscelis papua*

Evolutie: achterpoten ontwikkelen zich tot peddels; vleugels worden langer; tanden komen weer tevoorschijn

Rhombosepia: schevekubusinktvis

Lengte: gemiddeld 20 cm, met mogelijks reuzenformaten in diepzee

Stamt af van: de gewone inktvis, *Sepia officinalis*

Evolutie: tentakels vergroeien tot twee kaken, geschikt om plankton te vangen; sifo (adembuis) wordt kleiner en verplaatst zich naar de buik; de mantel breidt zich sterk uit; het dier beweegt zich onder water voort door 'tractie'.

Propellonectes: aangedreven stormvogel

Lengte: 1 meter

Stamt af van: de noordelijke reuzenstormvogel, *Macronectes halli*

Evolutie: verliest vliegvermogen; vleugels verdwijnen; achterpoten worden uitzonderlijk groot; lichaam wordt gestroomlijnder.

Helicopodus: zweefvliegende duizendpoot

Lengte: 25 cm

Stamt af van: *Scolopendra subspinipes*

Evolutie: het telson (laatste segment) wordt een soort 'roer'; de antennes worden korter; centrale cortex wordt langer; de ogen worden groter (beter dieptezicht), de sterk verlengde tergieten (rugplaten) schuiven voor een deel over elkaar (in de richting van de lengteas)

Trichopteryx: vliegende buidelrat

Lengte: 1,5 meter, met de staart inbegrepen

Stamt af van: de voskoesoe, *Trichosurus vulpecula*, een in bomen levende buidelrat

Evolutie: grijpstaart wordt langer en elastischer; vingers



Rhombosepia: schevekubusinktvis



Propellonectes: aangedreven stormvogel



Helicopodus: zweefvliegende duizendpoot

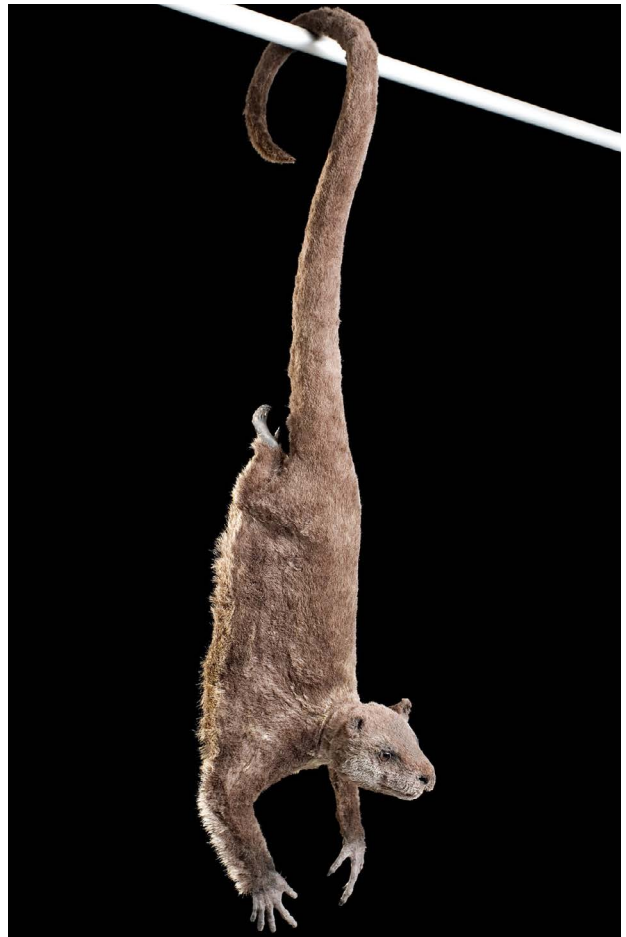
worden langer; buidel opent omgekeerd (met opening naar staart toe); ontwikkeling van huidplooien tussen de poten; hij doorprijkt zijn prooien.

Corticochaeris: schorsafstropende capybara

Lengte: tot 2 meter

Stamt af van: de capybara, *Hydrochaeris hydrochaeris*, het grootste knaagdier ter wereld

Evolutie: schoudergordel en kop worden massiever; knaagtanden worden groter en steken meer naar voren.



Trichopteryx: vliegende buidelrat

GEODE

HET RADERWERK VAN DE EVOLUTIE

In deze kleine filmzaal vertonen we een korte animatiefilm over evolutie waarin zes huidige organismen op zoek gaan naar hun gemeenschappelijke evolutionaire lijnen.



Geode