

## I. Inleiding: De wetenschappelijke manier van werken.

Wetenschapsonderwijs is nauw verbonden met de wetenschappelijke manier van werken. In de moderne wetenschappen speelt het experiment een belangrijke rol. Ooit was het anders. Voor de Renaissance was wetenschap nauwelijks meer dan het lezen en becommentariëren van teksten uit de (vooral Grieks-Romeinse) Oudheid. De werken van Aristoteles, Theophrastes, Galenus en anderen werden kritiekloos als 'de waarheid' beschouwd. In de Renaissance veranderde dit grondig. Eigen observatie en het experiment werden de hoeksteen van het wetenschappelijke denken en doen. Zo publiceerde Andreas Vesalius in 1543 zijn 'De humani corporis fabrica' waarin hij de bouw van het menselijke lichaam beschreef vertrekkende van eigen observaties gedaan tijdens dissecties van lijken. In zijn boek 'De eekhoornformule' beschrijft Vincent Icke de wetenschappelijke werkwijze in 5 stappen.

### Stap 1: De stap van de Nieuwsgierigheid.

Een waarneming of observatie prikkelt de nieuwsgierigheid van de onderzoeker. Waarom eenzelfde waarneming persoon X wel prikkelt en persoon Y niet is één van die onbegrepen fenomenen. Het zou de taak van het onderwijs moeten zijn om deze nieuwsgierigheid te stimuleren en aan te scherpen. Hoe je dit doet is het onderwerp van de constant veranderende pedagogie van het wetenschapsonderwijs.

### Stap 2: De Wil om te zoeken.

Wetenschappers zijn vaak intrinsiek gedreven om te weten hoe iets werkt. Het gaat niet om het nut of eventuele toepassingen, maar gewoon om het weten.

### Stap 3: De Sprong van de Vondst.

Icke omschrijft deze stap als "een gelijkenis zien die anderen ontgaat". Een stap die nogal wat te maken heeft met creativiteit. Het gaat over het geven van een nieuwe draai aan de voorliggende werkelijkheid zodat je de gelijkenis ziet. In dit opzicht is het opvallend hoeveel grote wetenschappers type Nobelprijswinnaar begenadigde muzikanten of schilders zijn.

### Stap 4: De Voorspelling.

Wetenschappelijke experimenten worden niet zomaar opgesteld. Quasi altijd wordt een hypothese opgesteld waarmee de uitkomst van het experiment wordt voorspeld. Vermits de hypothese beredeneerd wordt en vaak met vele literatuurgegevens onderbouwd is, bevestigt het experiment vaak de hypothese. Maar niet altijd, wat een goede wetenschapper opnieuw bij stap 1 kan brengen.

### Stap 5: Het Experiment.

Het sluitstuk van de wetenschappelijke werkwijze is het experiment. Soms verbazingwekkend simpel, soms ongelooflijk complex. Maar steeds zodanig opgezet dat het een uitspraak kan 'falsifiëren'. Dit betekent dat het experiment probeert de onwaarheid van de hypothese aan te tonen. Uitspraken of hypothesen die niet met een dergelijk experiment kunnen getoetst worden, zijn dan ook per definitie geen natuurwetenschap.

Goed wetenschapsonderwijs poogt ergens de leerlingen vertrouwd te maken met deze wetenschappelijke werkwijze.

## II. Evolutietheorie.

### 1. Inleiding.

De mens heeft zich altijd verwonderd over de verscheidenheid aan levensvormen. Het antwoord op de vraag naar de oorsprong van die verscheidenheid werd in veel culturen vanuit een schepping door een Opperwezen verklaard. Bij wijze van voorbeeld een stukje van het Bijbelse scheppingsverhaal uit het boek Genesis: " *1 In het begin schiep God de hemel en de aarde.... 11 En God zei: 'Het land moet zich tooien met jong groen gras, zaadvormend gewas en vruchtbomen die ieder naar zijn soort hun vruchten dragen met zaad erin.'* Zo gebeurde het ... *24 En God zei: 'Het land moet levende wezens voortbrengen van allerlei soort: tamme dieren, kruipende dieren en wilde beesten van allerlei soort.'* Zo gebeurde het. " (uit: *Bijbel, Uit de grondtekst vertaald Willibrordvertaling, 1995, Katholieke Bijbelstichting, 's-Hertogenbosch*). Tot en met de 19de eeuw hadden weinig mensen problemen met dit **fixisme**: soorten, inclusief de mens, waren ooit geschapen en sindsdien niet meer veranderd. Langzamerhand begonnen sommige wetenschappers te twijfelen aan het fixisme. Eén van de problemen met fixisme was de ontdekking van steeds meer fossielen. Zo werd in 1770 nabij Maastricht een volledig skelet opgegraven van een totaal onbekend dier, de *Mosasaurus hoffmanni*. Het toonde geen enkele overeenkomst met levende dieren. Een populaire verklaring voor dergelijke fossielen was de **catastrofentheorie**: fossielen waren de resten van organismen die door een grote catastrofe (type zondvloed) gestorven waren. Een andere verklaring suggereerde dat levende vertegenwoordigers van fossiele dieren in nog onbekende uithoeken van de aarde leefden.

De Fransman Buffon (George-Louis Leclerc, graaf van Buffon en Montbard, 1707-1788) schreef een monumentaal werk getiteld 'Histoire naturelle'. In dit werk behandelde hij diverse onderwerpen uit de biologie, geologie en kosmologie op een wetenschappelijk gefundeerde manier. In het hoofdstuk "Over de degeneratie van dieren" suggereerde hij de idee dat nieuwe soorten zouden kunnen ontstaan uit oudere soorten door degeneratie. Dit, en vele andere ideeën van Buffon zetten wetenschappers op het spoor van de evolutiegedachte: soorten kunnen veranderen (= evolueren) tot nieuwe soorten.

In 1809 publiceerde de Fransman Jean-Baptiste de Monet, ridder van Lamarck (1744-1829), beter bekend als Lamarck, zijn ideeën over evolutie in het boek "Philosophie zoologique". Invloedrijke wetenschappers, zoals Cuvier ((1769-1832), de man van de catastrofentheorie) bekritiseerden Lamarcks werk, waardoor de invloed beperkt bleef. Toch is het werk niet zonder verdienste: het effende mee de weg tot het aanvaarden van de evolutiegedachte. De grote doorbraak van de evolutiegedachte kwam er dank zij het werk van de Engelsman Charles Robert Darwin (1809-1882). In 1859 publiceerde hij zijn ideeën in het boek 'On the Origin of Species' (zie verder). Darwins theorie leidde onmiddellijk tot vele reacties. Bekend is het incident met de bisschop van Wilberforce. Toen hij Darwins werk bespote, repliceerde 'Darwins bulldog' Thomas Henry Huxley (1825-1895) dat hij; "liever verwant was aan een aap dan aan een man van grote bekwaamheid die zijn hersens misbruikte om te waarheid te verdraaien". Het darwinisme werd als theorie pas algemeen aanvaard omstreeks 1930 toen het klassieke darwinisme gecombineerd werd met de inzichten uit de genetica. Het geheel staat bekend als het neodarwinisme of de moderne evolutietheorie.

## 2. Lamarckisme.

Lamarck was een veelzijdig wetenschapper. Tegenwoordig wordt hij gezien als één van de grondleggers van de biologie. Hij publiceerde o.a een indeling van planten en van ongewervelde dieren. In zijn werk "Philosophie zoologique" (1809) zette hij zijn ideeën over evolutie uiteen. Kort samengevat geloofde Lamarck in het bestaan, van een 'scala naturae', de ladder van de natuur. Organismen kunnen op een ladder gerangschikt worden met onderaan de minst ontwikkelde en bovenaan de meest ontwikkelde soorten (met name de mens). Door een trage en stapsgewijze verandering kunnen organismen evolueren naar nieuwe soorten, en zo hoger op de ladder terecht komen. Om dit te bewerkstelligen zijn er 2 drijfveren. Ten eerste is er de ingebouwde eigenschap van alle levende wezens om te streven naar meer volmaking. Organismen proberen dus meer complex te worden. Ten tweede is er de invloed van de omgeving (het milieu) op het streven naar vervolmaking, zodat de ontwikkeling in principe niet rechtlijnig is.

Op planten werkt het milieu rechtstreeks in. In de 'Philosophie zoologique' verwoordde Lamarck het als volgt: *"Als bijvoorbeeld de zaden van een gras, of van een andere plant die thuis hoort op een vochtige weide, om welke reden dan ook die standplaats verlaten, eerst op de helling van een naburige heuvel terecht komen waar de bodem, ofschoon hoger gelegen toch nog vochtig genoeg is, zodat zo'n plant zich staande kan houden en indien later, nadat de plant daar talrijke generaties heeft doorleefd en gaandeweg een droge, of zelfs heel droge, standplaats op een berghelling heeft bereikt, en indien de plant daar weer talrijke generaties voortleeft, dan zal hij tenslotte zozeer gewijzigd zijn dat de plantkundigen hem als een eigen soort beschouwen"* (geciteerd in *Wat is leven ?, H.C.D. De Wit, Prometheus, 1993, p.310*).

Voor dieren is de situatie complexer. Daar spelen 'de gewoontes' van de dieren een rol. Wanneer een orgaan minder gebruikt wordt, degenereert het om uiteindelijk volledig te verdwijnen. Wanneer daarentegen een orgaan meer gebruikt wordt, ontwikkelt het zich sterk. Bovendien worden de bekomen veranderingen doorgegeven aan de nakomelingen ('erfelijkheid van verworven eigenschappen'). Ook 'het verlangen' van dieren speelt een rol. Slakken zouden bv. een verlangen hebben om voorwerpen te betasten, wat de ontwikkeling van voelhorens zou veroorzaakt hebben.

Lamarck illustreerde zijn theorie met de lengtetoename van de hals van een giraffe. Giraffen hadden trek in de sappige bladeren van de acaciabomen ('verlangen naar voedsel'). Om deze blaadjes te bereiken, staken ze hun nek uit. Hierdoor rekte hun nek sterk uit en werd deze langer ('het veelvuldig gebruiken van een orgaan doet dit ontwikkelen'). Deze langere nek werd overgeërfd ('erfelijkheid van verworven kenmerken'). Na verloop van tijd bezaten alle giraffen zo'n langere nek.

Tijdgenoten van Lamarck vonden dit een belachelijke theorie. Later werd experimenteel aangetoond dat zijn theorie niet klopte. Een eenvoudig voorbeeld: nogal wat mensen krijgen als kind een ontstoken appendix die operatief verwijderd wordt. Volgens het Lamarckisme zouden de kinderen van deze mensen bij de geboorte geen appendix meer hebben. En dat is niet zo ! Toch is Lamarck niet helemaal zonder verdienste. Zijn weliswaar manke theorie effende de weg naar het aanvaarden van de evolutie-idee.

### 3. Darwinisme.

#### 3.1. Charles Robert Darwin (1809-1882) en het ontstaan van de evolutietheorie.

Charles Darwin, de zoon van een plattelandsarts, studeerde 2 jaar vruchteloos geneeskunde in Edingburgh. Van 1827 tot 1831 studeerde hij in Cambridge theologie. Hij besteedde veel tijd aan het verzamelen van insecten, planten, mineralen en dies meer. Via de plantkundeprofessor Henslow kreeg hij de kans om in te schepen op 'The Beagle', die van 1831 tot 1836 een reis rond de wereld maakte. Doel van de reis was een deel van Zuid-Amerika in kaart te brengen voor handelsdoeleinden. Darwin reisde mee als natuuronderzoeker, weliswaar op eigen kosten. Gedurende de reis verzamelde Darwin een grote hoeveelheid planten, dieren, fossielen en mineralen. Deze werden opgestuurd naar Engeland voor verder onderzoek. Na zijn terugkeer trok Darwin zich terug op een landgoed in Kent. Darwin schreef hier een groot aantal boeken over biologische onderwerpen, gebaseerd op eigen waarnemingen (over orchideeën, aardwormen, afstamming van de mens,...). In 1842 schreef hij een ruwe schets van het later beroemde werk 'On the origen of species' waarin hij zijn evolutietheorie naar voren bracht. In 1844 werkte hij de schets verder uit maar durfde ze niet publiceren. Er was geen hard bewijs, en bovendien kon hij geen mechanisme aanduiden dat voor variatie zorgde (zie verder). In 1858 stuurde de jonge Alfred Russel Wallace (1823-1913) vanuit Indonesië aan Darwin een ontwerp van een artikel waarin Wallace dezelfde ideeën als Darwin uiteenzette i.v.m. evolutie en natuurlijke selectie. In 1858 werd zowel het werk van Darwin als dat van Wallace naar voor gebracht in een lezing van het Londense Linneausgenootschap. In 1859 publiceerde Darwin zijn boek 'On the origen of species by means of natural selection'. De eerste druk was in één dag uitverkocht. Er werden tijdens zijn leven nog 6 herdrukken uitgebracht.

#### 3.2. Bronnen voor Darwins evolutietheorie.

Bij het ontstaan van de evolutietheorie waren er enkele bronnen die een belangrijke rol speelden.

##### (1) Het werk van Malthus.

In 1798 publiceerde Thomas Malthus (1766-1834) een werkje getiteld "*Essay on the principle of population*" (Verhandeling over het bevolkingsvraagstuk). In dit werk ontwikkelde Malthus de idee dat een bevolking die sneller groeit dan de voedselproductie onvermijdelijk met hongersnood geconfronteerd wordt. In 1838 las Darwin dit werkje.

##### (2) Biogeografische gegevens.

Op de reis met de Beagle kon Darwin vele waarnemingen doen over de geografische verspreiding van dieren en planten (dit deel van de biologie/aardrijkskunde noemen we nu de biogeografie). Zo merkte Darwin op dat geïsoleerde eilanden veel minder dieren- en plantensoorten herbergen dan een vergelijkbare oppervlakte op het vasteland. Tevens was het aantal endemische soorten veel groter dan het vasteland. Met endemische soorten bedoelen we soorten die enkel op één bepaalde plaats voorkomen.

Eén van de eilandengroepen die Darwin kort bezocht waren de Galapagoseilanden, zo'n 1000 km ten westen van de kust van Ecuador. Darwin verzamelde er heel wat materiaal, waaronder vogels. Bij zijn terugkeer in Engeland werden ze bestudeerd door de ornitholoog (= vogelkenner) John Gould. Die

onderscheidde meerdere soorten van vinken, die allemaal op verschillende plaatsen en eilanden leefden. Nu weten we dat er 14 soorten zijn, 13 endemische en 1 soort die op nog 1 ander eiland (Cocos eiland, 400 mijl van de Galapagoseilanden verwijderd) voorkomt.

De vinken, nu bekend als Darwinvinken, lijken goed op vinken die Darwin op het vasteland van Zuid-Amerika had gezien. Hij vroeg zich af: "*Waarom is dit zo ? Waarom dragen soorten, waarvan we veronderstellen dat ze geschapen zijn op de Galapagos Archipel, en nergens anders, zo duidelijk gelijkenis met soorten geschapen in Amerika ?*" (geciteerd in: *Evolution*, Ed. Peter Skelton, Adison Wesley, 1994).

### (3) Kunstmatige selectie.

Als kind was Darwin, als zoon van een plattelandsarts, vertrouwd geraakt met kunstmatige selectie bij de plaatselijke landbouwers. Door het consequent selecteren van individuen met bepaalde kenmerken en alleen maar met deze verder te kweken, werd dit kenmerk versterkt bij de nakomelingen. Een mooi voorbeeld treffen we aan bij kolen. Ze stammen allemaal af van de wilde kool (*Brassica oleracea* L.). Door selectie werden bv. varianten gekweekt waar de bloeiwijze steeds groter werd (de bloemkool) of het aantal knoppen toenam (spruitjes).

### (4) Vergelijkende morfologie.

In de morfologie wordt de bouw van organen bestudeerd. Het was in Darwins tijd bekend dat bepaalde organen die uiterlijk verschillen toch eenzelfde bouwplan hebben. Dit kan duidelijk geïllustreerd worden met de voorste ledematen van gewervelde dieren. De vin van een walvis, de vleugel van een vogel, de poot van een paard, een mensenarm of een vleermuisvleugel zijn allemaal opgebouwd uit dezelfde beenderen. Dergelijke organen met een verschillend uiterlijk maar een gemeenschappelijk bouwplan noemt men homologe organen. Vinnen van vissen en vinnen van walvissen lijken wel uiterlijk sterk op elkaar maar missen een gemeenschappelijk bouwplan. Dergelijke organen noemen we analoge organen.

Darwins tijdgenoten wisten niet goed wat de betekenis van homologe organen was. Voor Darwin was dit echter zonneklaar: homologe organen wezen op een gemeenschappelijke voorouder waaruit al die verschillende soorten ontstaan waren. Het oorspronkelijke bouwplan van de voorouder was in alle afstammelingen bewaard, maar telkens wat aangepast aan de specifieke behoeften.

### (5) Fossielen.

Bij zijn verblijf in Zuid-Amerika vond Darwin vele fossielen. Sommige fossielen vertoonden geen enkele gelijkenis met nu nog levende dieren, zoals de resten van *Megatherium* (6 m lang, gelijkend op de nog levende luiaard) of de *Toxodon* (ongeveer 2,7 m lang, met een zeer sterk afgeplatte snuit). Bovendien was Darwin vrij goed op de hoogte van de moderne geologie, zodat hij de fossielen correct kon plaatsen in hun tijd. Hij las, voor en tijdens de reis het baanbrekende werk 'Principles of Geology' van Charles Lyell (1797-1875). Het vinden van uitgestorven dieren en planten versterkte nog de evolutie-idee bij Darwin.

### 3.3. Darwins evolutietheorie.

Schematisch kan je Darwins theorie als volgt voorstellen:

- Organismen kunnen veel meer nakomelingen voortbrengen dan er voedsel, leefruimte,... in de natuur beschikbaar is. Toch blijven de aantallen organismen vrij gelijk. Er moet zich dan ook een soort overlevingsstrijd voortdoen (***'struggle for life'***).
- In de natuur komen vrij veel verschillen voor tussen de verschillende leden van eenzelfde soort. Dit betekent dat de overlevingskansen tussen de leden verschillend zijn. Bepaalde kenmerken bieden een voordeel en verhogen de overlevingskansen. Er treedt een natuurlijke selectie op. (***'natural selection'***).
- Vele variaties van kenmerken zijn erfelijk. Het individu dat het best aangepast is, heeft de meeste overlevingskansen en zal zijn kenmerken doorgeven aan zijn nakomelingen. Het meest aangepaste individu ziet kans om zijn kenmerken te verspreiden in de natuur (***'survival of the fittest'***). Aangezien de nakomelingen weer wat verschillen van elkaar, kan alles opnieuw beginnen.

De lengtetoename van de nek van een giraf levert opnieuw een mooie illustratie van de theorie. Oorspronkelijk hadden giraffen een korte nek. In de droge Afrikaanse savanne was voedsel beperkt. Een belangrijke bron waren de bladeren van de acaciabomen. De sappigste blaadjes bevinden zich hoog in de boom (= struggle for life). Binnen de giraffenpopulatie was er een verschil in de lengte van de nek. Giraffen met een iets langere nek konden blaadjes bereiken die voor de meeste andere giraffen niet bereikbaar waren. Ze beschikten zo over meer voedsel (= natural selection). Deze giraffen konden met het meeste succes jongen grootbrengen. Deze jongen erfden de iets langere nek. Na verloop van tijd hadden de meeste giraffen in de populatie zo allemaal een iets langere nek (= survival of the fittest). Uit de theorie volgt dat nog steeds variatie voorkomt in neklengte tussen verschillende individuen.

### 3.4. Problemen met Darwins evolutietheorie.

Darwin beseftte heel goed dat zijn theorie op een aantal punten problematisch was. In 'On the origin of species' wees hij zelf de lezer op allerlei problemen. Zo is het zesde hoofdstuk bv. getiteld 'Difficulties on theory'. Het grote punt was de onmogelijkheid om de oorsprong van de variatie aan te duiden. Heel zijn verdere leven bleef Darwin zoeken en nadenken op dit probleem. Zo kweekte hij allerlei sierduiven in enkele volieres in zijn achtertuin in de hoop wat meer te leren over de oorsprong van variatie. Het ontbreken van een goed antwoord leidde tot een lange stilstand van de evolutiegedachte. De herontdekking van de Mendels erfelijkheidswetten en de daaruitvolgende ontwikkeling van de genetica bood nieuwe perspectieven. Vanaf omstreeks 1930 begon men een synthese te maken van genetica met de theorie van Darwin: de moderne evolutietheorie of neo-Darwinisme. Belangrijke architecten van deze theorie waren o.a. de Rus Theodosius Dobzhansky (publiceerde in 1937 een invloedrijk boek "Genetics and the Origin of Species"), de Duitser Ernst Mayr (de man die de moderne omschrijving van het begrip 'soort' formuleerde) en de Amerikaan George Simpson (bracht belangrijk fossielenmateriaal aan).

#### 4. Moderne evolutietheorie.

Vandaag beschikken wetenschappers over heel wat meer aanwijzingen voor evolutie dan Darwins tijdgenoten. Bepaalde bronnen die Darwin gebruikte zijn ondertussen grondiger uitgespit en een aantal nieuwe deelgebieden van de biologie leverden bijkomend materiaal. Bij wijze van voorbeeld bespreken we kort enkele aspecten van de studie van fossielen.

##### 4.1. Aanwijzingen uit de paleontologie.

###### (1) Wat verstaan we onder fossielen ?

De paleontologie bestudeert fossielen. Onder fossiel wordt elk overblijfsel verstaan van een lang geleden gestorven organisme. Fossielen zijn heel divers:

- *volledige organismen*: Voorbeelden zijn bevroren mammoets uit de permafrostgebieden van Siberië en insecten ingesloten in barnsteen (=amber of gefossiliseerd hars van naaldbomen).
- *versteende resten*: In bepaalde omstandigheden bedekken sedimenten een gestorven organisme zo snel dat afbraak zeer traag verloopt. Na verloop van tijd worden botten en dergelijke vervangen door harde mineralen, zodat deze resten zeer lang blijven bestaan. Voorbeelden zijn beenderen, schedels, schelpen.
- *afdrukken*: Soms is van het organisme enkel een afdruk in het gesteente bewaard. Voorbeelden zijn afdrukken van veren bij de Archaeopteryx (zie ook verder) en afdrukken van bladeren.
- *sporen*: Bepaalde dieren hebben sporen achtergelaten in modder, die verstenen. Voorbeelden zijn voetafdrukken, kruipsporen, wormgangen.
- *coprolieten*: of gefossiliseerde uitwerpselen. Op bepaalde plaatsen zijn honderden van dit soort fossielen gevonden. Soms kan uit de coprolieten het dieet van de producent worden achterhaald. Een probleem is het identificeren van het dier dat de uitwerpselen achterliet.

###### (2) Ouderdomsbepaling van fossielen.

Met fossielen kan men de evolutie van een soort volgen. Cruciaal in het gebruik van fossielen staat de bepaling van de ouderdom van de fossielen. Men kan hiervoor verschillende methodes van relatieve en absolute datering gebruiken. Relatieve dateringsmethoden vergelijken de leeftijd met gekende fossielen (bv. dit fossiel komt van een organisme dat leefde in een periode tussen de 25 en 45 miljoen jaar geleden). Absolute datering bepaalt (binnen bepaalde grenzen) de exacte leeftijd van een fossiel (bv. dit fossiel komt van een organisme dat 250.000 jaar geleden leefde).

###### (3) Aanwijzingen voor evolutie uit fossielenonderzoek

Fossielenonderzoek heeft duidelijke argumenten geleverd voor de evolutie-idee. Enkele voorbeelden:

1) ***Stijgende complexiteit***: Hoe jonger de fossielen, hoe complexer ze zijn gebouwd. De oudst gekende fossielen zijn stromatolieten (3,5 miljard jaar oud). Het gaat hier om matvormige afzettingen van blauwbacteriën. Fossielen van de eerste mensen zijn ongeveer 4 miljoen jaar oud, fossielen van de moderne mens slechts een goede 100.000 jaar.

2) **Continue reeksen**: Van sommige organisme heeft men zoveel fossielen gevonden, dat het mogelijk was om de hele ontwikkeling te volgen aan de hand van de fossielen. Een goed voorbeeld is de ontwikkeling van het paard van een kleine, 4-tenige bosbewoner naar een grote, 1-tenige steppenbewoner.

3) **Overgangsvormen**: Een aantal fossielen vertoont duidelijk kenmerken van verschillende groepen. Een mooi voorbeeld is de *Archaeopteryx*. Dit dier heeft duidelijk reptielachtige kenmerken (bv. tanden in de kaak, benige staart) maar draagt tegelijkertijd veren (een typisch voorbeeld van vogelkenmerken). *Archaeopteryx* is een overgangsvorm en toont aan dat vogels geëvolueerd zijn uit reptielen.

#### 4.2. Moderne evolutietheorie of neo-darwinisme.

Vereenvoudigd kan het ontstaan van een nieuwe soort verklaard worden met 4 elementen: (1) variatie door mutatie, (2) selectie/genetische drift voor bepaalde kenmerken, (3) isolatie van populaties, (4) ontstaan van een voortplantingsbarrière. Vertrekpunt is een groep van organismen die zich onderling voortplanten. We noemen dergelijke groep een populatie.

##### (1) Variatie door mutatie.

De eerste stap in het ontstaan van een nieuwe soort is het verschijnen van variatie in een populatie. Hiermee bedoelen we het ontstaan van verschillen tussen individuen. Darwin kon geen bron van variatie aangeven; de moderne evolutietheorie wel. De bron van variatie is namelijk het optreden van mutaties. (Mutaties zijn kleine of grote veranderingen in het genetisch materiaal van een organisme). In dit verband worden mutaties wel eens de motor van de evolutie genoemd. Het ontstaan van mutaties is louter toeval. Hoe groter een populatie, hoe meer kans dat een gunstige mutatie ontstaat. De kans dat meerdere verschillende vormen van een gen door mutatie ontstaan is in een grote populatie ook waarschijnlijker. En dit maakt de populatie beter aangepast om op veranderingen te reageren. Dat mutatie optreedt en voor variatie zorgt kan zowel experimenteel als spontaan vastgesteld worden. Bij wijze van voorbeeld bespreken we kort DDT-resistentie bij insecten.

DDT was een verbinding die in 1873 voor het eerst werd gemaakt. Pas in 1939 werd ontdekt dat het een krachtig insecticide was. Tijdens WOII en de jaren erna werd het wereldwijd op grote schaal gebruikt. Vrij snel stelde men resistentie vast bij vele insecten tegen DDT. Vele vliegen bleken niet meer gevoelig en gaven deze eigenschap door aan hun nakomelingen. DDT werd verboden o.a. wegens de slechte afbreekbaarheid in de natuur. Vandaag zijn de meeste vliegen nog steeds resistent tegen DDT, wat wijst op een mutatie. Men vermoedt dat op verschillende tijdstippen enkele insecten ooit eens toevallig een mutatie kregen die hun resistent maakten tegen DDT. Deze eigenschap was zo voordelig, dat deze zich snel verspreidde over de ganse wereld.

##### (2) Selectie/genetische drift voor bepaalde kenmerken.

Bepaalde genotypes geven hun dragers in bepaalde omstandigheden een overlevingsvoordeel. Selectie zal sommige mutaties bevoordelen en stuurt de evolutie in een bepaalde richting. *Selectie werkt dirigistisch*. Een voorbeeld vinden we bij de vlinder *Biston betularia* of Berkenspanner. Deze vlinder heeft een lichte kleur ('peper- en zoutkleur'), wat de vlinder goed camoufleert op met korstmossen

bedekte boomschors. Af en toe verschijnt een zwarte vorm. Dergelijke vlinders vallen goed op, waardoor vogels ze snel opeten. Tot het begin van de 19de eeuw was de zwarte vorm zo eerder zeldzaam. In de Britse industriegebieden nam het aantal zwarte exemplaren sterk in aantal toe naar het einde van de 19de eeuw toe. De sterke groei van de industrie zorgde tevens voor een sterke toename van de roetuitstoot door verbranding van kolen. De bomen raakten bedekt met een laagje roet. Op deze schors zijn zwarte exemplaren goed gecamoufleerd. Dit verhoogt de overlevingskans, waardoor de zwarte vorm meer nakomelingen produceert en in de populatie sterk in aantal toeneemt. De verschuiving van lichte naar donkere exemplaren o.i.v. roetuitstoot noemt men industrieel melanisme.

*Genetische drift zal eerder mutaties bevoordelen op toevalsbasis.* Genetische drift is een verzamelnaam voor toevalsveranderingen in het erfelijk materiaal van een populatie. Zo kunne alle nakomelingen op een plaats afkomstig zijn van een beperkt aantal voorouders. We noemen dit het stichtereffect. Als gevolg hiervan zal deze groep genetisch sterk lijken op hun voorouders en vaak ster verschillen van groepen in de omgeving. Een voorbeeld vinden we bij de Noordamerikaanse Amishgemeenschappen. Vele Amish stammen af van enkele immigranten die vanuit Europa in de 19de eeuw naar Noord-Amerika emigreerden. Bepaalde erfelijke eigenschappen komen bij Amish veel meer voor dan in de rest van de wereld. Waarschijnlijk had één van de 'founding fathers' een vrij zeldzame erfelijke afwijking die hij of zij doorgaf aan de nakomelingen. Een zekere mate van inteelt (enkel huwen met mensen van de eigen gemeenschap) versterkte nog het voorkomen van deze afwijkingen. Een ander voorbeeld van genetische drift is het flessenhalseffect. Dit betekent dat door een of andere ramp de genetische variatie van de overblijvende populatie heel sterk kan verschillen van de oorspronkelijke populatie. Een voorbeeld vinden we bij het Pingelapese volk op de Oostelijke Caroline Islands. 4 tot 10 % van de inwoners wordt geboren met een zeldzame vorm van gezichtsstoornis (een combinatie van kleurenblindheid, bijziendheid en een troebele ooglen). Deze gezichtsstoornis is het gevolg van een zeer zeldzame genetische afwijking. De oorzaak van het grote aantal gevallen is een flessenhals. In 1780 doodde een orkaan een groot deel van de inwoners van de eilanden. Slechts 9 mannen overleefden de catastrofe. Zij zijn de voorouders van alle huidige bewoners. Waarschijnlijk had 1 van deze 9 mannen de zeldzame afwijking. Tezamen met de inteelt die op eilanden vaak voorkomt, zorgde dit voor een sterke toename van dit allel in de populatie.

### (3) Isolatie.

Een volgende stap in soortvorming is het isoleren van meerdere populaties van elkaar. De deelpopulaties kunnen een verschillende selectie ondergaan, wat andere mutaties/allelen bevoordeelt in beide populaties. Beide populaties gaan er anders uitzien. Er zijn heel wat mogelijkheden om populaties te isoleren. Enkele voorbeelden:

#### (a) *Geografische isolatie.*

Twee populaties worden fysisch van elkaar gescheiden door geografische of geologische fenomenen. Voorbeelden zijn zeeën, meren, rivieren, bergketens, valleien, landijs, vulkaanuitbarstingen... Een voorbeeld van het laatste vinden we op het eiland Hawaii, waar lavastromen stukken bos van elkaar scheiden. Deze bosjes gedragen zich als gescheiden eilandjes. Elk bos'eilandje' is zo een illustratie van het stichtereffect.

#### (b) *Ecologische isolatie.*

Dieren of planten die op een verschillende plaats leven in een ecosysteem, komen niet met elkaar in

contact. Een mutatie die een nieuwe voedselbron aanboort kan bepaalde individuen op een andere plaats doen leven.

(c) *Ethologische isolatie.*

Door een verschillend gedrag (bv. bij paarvorming) herkennen organismen elkaar niet als partner. Een mutatie die zorgt voor een afwijkende paarzang kan enkele individuen afzonderen van de rest van de populatie.

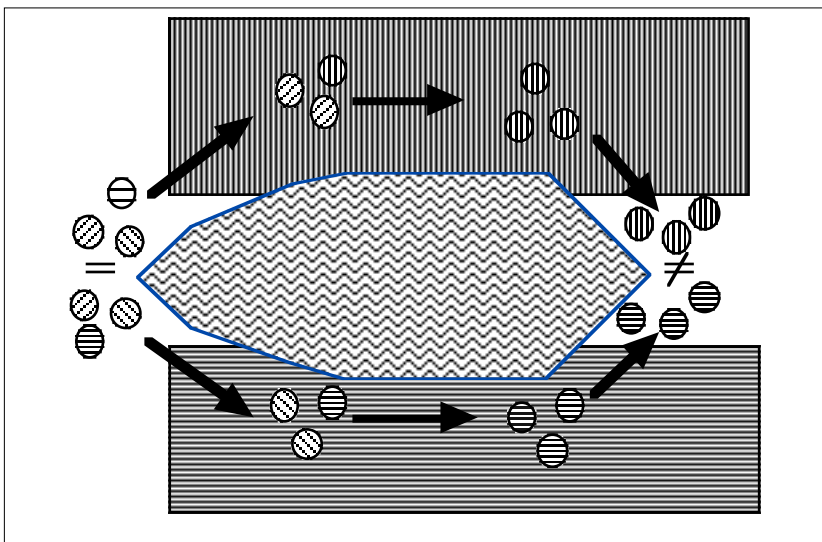
(d) *Morfologische isolatie.*

Een mutatie die een afwijkend uiterlijk veroorzaakt (vb. kleurpatroon bij vogels) kan zorgen dat een deel van de populatie deze individuen niet meer herkent.

#### (4) Ontstaan van een voortplantingsbarriere.

Na verloop van tijd kunnen de verschillen tussen de twee gescheiden populaties zo groot worden, dat ze niet meer succesvol met elkaar kunnen kruisen. Wanneer beide populaties elkaar ontmoeten, zullen ze zich effectief als twee gescheiden soorten gedragen.

(De onderstaande figuur geeft een geschematiseerde voorstelling van hoe de 4 stappen van de moderne evolutietheorie tot nieuwe soorten kunnen leiden).



*Legende: in dit schema evolueren organismen met een aanvankelijk gelijk streepjes-uiserlijk naar twee groepen met elk een ander streepjes-uiserlijk, aangepast aan de leefomgeving. Elke groep valt niet op in zijn eigen omgeving, wat ze minder zichtbaar maakt voor rovers. De verschillen tussen beide groepen zijn zo groot dat ze als twee aparte soorten kunnen beschouwd worden.*

#### 4.3. Een voorbeeld van soortvorming: Darwinvinken.

Op de Galapagoseilanden komen 13 verschillende soorten Darwinvinken voor. Deze vinkensoorten zijn endemisch. Op sommige eilanden komen meerdere soorten vinken naast elkaar voor. Wat opvalt aan deze vinken is hun verschillend gevormde snavel. Elk snaveltype is een aanpassing aan een bepaald type voedsel. Zo zijn er vinken met grote, stevige snavels, ideaal voor het kraken van noten, andere vinken hebben dan weer een kleine, maar stevige snavel, bruikbaar voor het kraken van kleine, harde zaden. Nog een ander type vink bezit een kleine, puntige snavel, wat deze vink toelaat om allerlei insecten uit spleten en holtes te peuteren.

Darwin, en heel wat latere wetenschappers, merkten op hoe sterk deze vinken wel op elkaar leken. Het was dan ook niet meer dan logisch om te veronderstellen dat ze allemaal afstammelingen waren van 1 en dezelfde soort. Sommige wetenschappers menen zelfs deze soort te kunnen identificeren op het Zuid-Amerikaanse vasteland.

Hoe is die ene soort dan geëvolueerd in 13 (+ 1 op het Cocoseiland, zie hiervoor) soorten ? De Galapagoseilanden zijn nooit met het vasteland verbonden geweest. Het zijn oude vulkanen die enkele miljoenen jaren geleden ontstonden. Alle eilandbewoners zijn afstammelingen van exemplaren die, meestal per toeval, de oversteek van het vasteland maakten. Men neemt aan dat enkele vinken (misschien slechts 1 bevrucht wijfje !) één van de eilanden bereikten. Misschien waren deze individuen uit koers geraakt, of waren ze door hevige winden richting eilanden geblazen. Hoe dan ook, ze vonden op dit eiland veel voedsel (er waren geen andere vogels aanwezig !). De vinken vermenigvuldigden zich en pasten zich aan het beschikbare voedsel aan. Onder invloed van mutaties waren er verschillende maten en vormen van snavels, niet erg verschillend, maar toch merkbaar. Daardoor konden sommige dieren aan voedsel geraken dat voor anderen oneetbaar was. Selectie zorgde voor het versterken van dit kenmerk. Darwinvinken blijven meestal op en rond hun eiland leven. Toch gebeurde het wel eens dat enkele vinken een ander eiland bereikten. Hier vonden ze opnieuw een maagdelijk gebied, en ze raakten langzaam aangepast aan de nieuwe omgeving. Door geografische isolatie waren ze gescheiden van de vinken op het eerste eiland. Enkele vinken van het tweede eiland zagen na verloop van tijd kans om terug te keren naar het eerste eiland. Ze waren echter zo gaan verschillen van de vinken op het eerste eiland (hun voorouders) dat ze niet meer konden paren. Op dat moment spreken we van twee verschillende soorten. Dit proces herhaalde zich verscheidene keren. Zo kennen we op dit moment 13 verschillende soorten. Het proces van soortvorming is op dit moment nog altijd bezig, zodat de 13 soorten misschien maar een momentopname zijn.

## **5. Evolutietheorie versus creationisme.**

Hoewel de meeste wetenschappers niet twijfelen aan de juistheid van de evolutietheorie, is dit buiten de wetenschappelijke wereld wel anders. Zo bestaat er in de Verenigde Staten van Amerika een sterke beweging die de evolutietheorie verwerpt en zich vasthoudt aan een fixistische theorie, het creationisme. Creationisten vertrekken vanuit het bijbelboek Genesis om verschijnselen in de natuur te verklaren. Gedurende een groot deel van de twintigste eeuw probeerden de creationisten de evolutietheorie in de VSA te elimineren. Dit gebeurde door rechtszaken aan te spannen tegen leerkrachten die evolutietheorie onderwezen, lobbyen bij politici om wetten te stemmen die onderwijs in evolutietheorie verbieden, bewerken van media (TV, radio, internet) om hun visie als enige waarheid te propageren,.... Zo was er in 1925 de beruchte rechtszaak tegen de leerkracht John Scopes. Pas in 1968 werden de wetten verboden van verschillende staten die het onderwijzen van evolutie strafbaar maakten. De laatste jaren werken ze met de theorie van 'intelligent design' (een nieuwe 'verpakking' van hun ideeën die kort gesteld zegt dat het leven zo complex is dat het niet door evolutie kan ontstaan zijn en dus door een ontwerper moet zijn gemaakt) die ze proberen bij wet in te voeren in het biologieonderwijs als een evenwaardige theorie naast het Darwinisme. In 2005 werd nog een spraakmakend proces gevoerd waarbij het schoolbestuur van Dover (Pennsylvania) werd veroordeeld omdat ze leerlingen verplichtten om in de biologielees les te krijgen over Intelligent Design. Intelligent Design is geen wetenschap omdat ze eenvoudigweg niet falsifieerbaar is. Elk argument tegen creationisme wordt weggewuifd met de uitspraak 'dat de zaken zo zijn omdat de wereld zo geschapen is'. In de Islamwereld bestaat een gelijkaardige beweging.

In dit verband is het interessant om te wijzen op de nefaste gevolgen van het radicaal doortrekken van theorieën. Zowel van het fixisme als van de evolutietheorie bestaan voorbeelden. Creationisme kan je

beschouwen als een extreme vorm van fixisme (zie hierboven). Een extreme vorm van evolutietheorie vinden we bij het sociaal darwinisme. Op het eind van de 19de eeuw werden Darwins inzichten op de mens en zijn samenleving toegepast. Zo kwam men tot de overtuiging dat sommige culturen en 'rassen' superieur waren aan andere: rijken over armen, blank over niet-blank,... In nazi Duitsland werden deze ideeën zo ver ontwikkeld dat men overging tot de fysieke eliminatie van zogezegd minderwaardige mensenrassen.

### **III. Genetische manipulatie.**

#### **1. Wat is genetische manipulatie ?**

Genetische manipulatie is een vrij recent voorbeeld van biotechnologie. Onder biotechnologie verstaan we het gebruik van cellen om moleculen te produceren, af te breken,... Het produceren van bier, wijn en brood met tussenkomst van gist is een heel oud voorbeeld van biotechnologie. Genetische manipulatie is het doelgericht veranderen van de genetische informatie van cellen om bepaalde moleculen te produceren of om organismen bepaalde nieuwe eigenschappen te geven.

#### **2. De genese van genetische manipulatie.**

Genetische manipulatie is het logische gevolg van een aantal ontdekkingen uit de jaren 50, 60 en 70 van de 20ste eeuw.

In 1953 beschreven James Watson en Francis Crick de ruimtelijke structuur van DNA. Dit inzicht vormde de basis voor een enorme evolutie in de biologie. Genetische manipulatie is hier maar één aspect van. Om één en ander te begrijpen is een summier kennis van DNA en zijn functie in de cel nodig.

##### 2.1. DNA: structuur en functie in de cel.

DNA (letterwoord van de Engelse term 'desoxiribonucleic acid') is een molecule dat bestaat uit een eindeloos lange aaneenschakeling van een bouwsteen die we 'nucleotide' noemen. Een nucleotide bestaat zelf uit 3 verschillende onderdelen: een suiker (2'-desoxyribose), een fosfaatgroep en een organische base. Van deze organische base bestaan 4 soorten, nl. adenine, guanine, cytosine en thymine. De eerste letter van deze basen wordt gebruikt als symbolische voorstelling van een volledig nucleotide. Deze nucleotides worden aan elkaar gehecht tot een lange keten. Een DNA-molecule bestaat uit 2 van deze ketens die schroefvormig in elkaar gedraaid zijn (de bekende DNA dubbele helix). Je kan dit het best vergelijken met een dubbele wenteltrap.

De opeenvolging van de nucleotides bepaalt de informatie die op het DNA aanwezig is. Vereenvoudigd gesteld: op een DNA-molecule komen stukken voor die we genen noemen. Een gen bevat de informatie die nodig is om een eiwit te maken. Eiwitten zijn belangrijke moleculen bestaande uit een lange aaneenschakeling van een bouwsteen, het aminozuur, waarvan er een 20-tal verschillende voorkomen in cellen. 3 opeenvolgende nucleotides bevatten de informatie om één aminozuur in een eiwit te plaatsen.

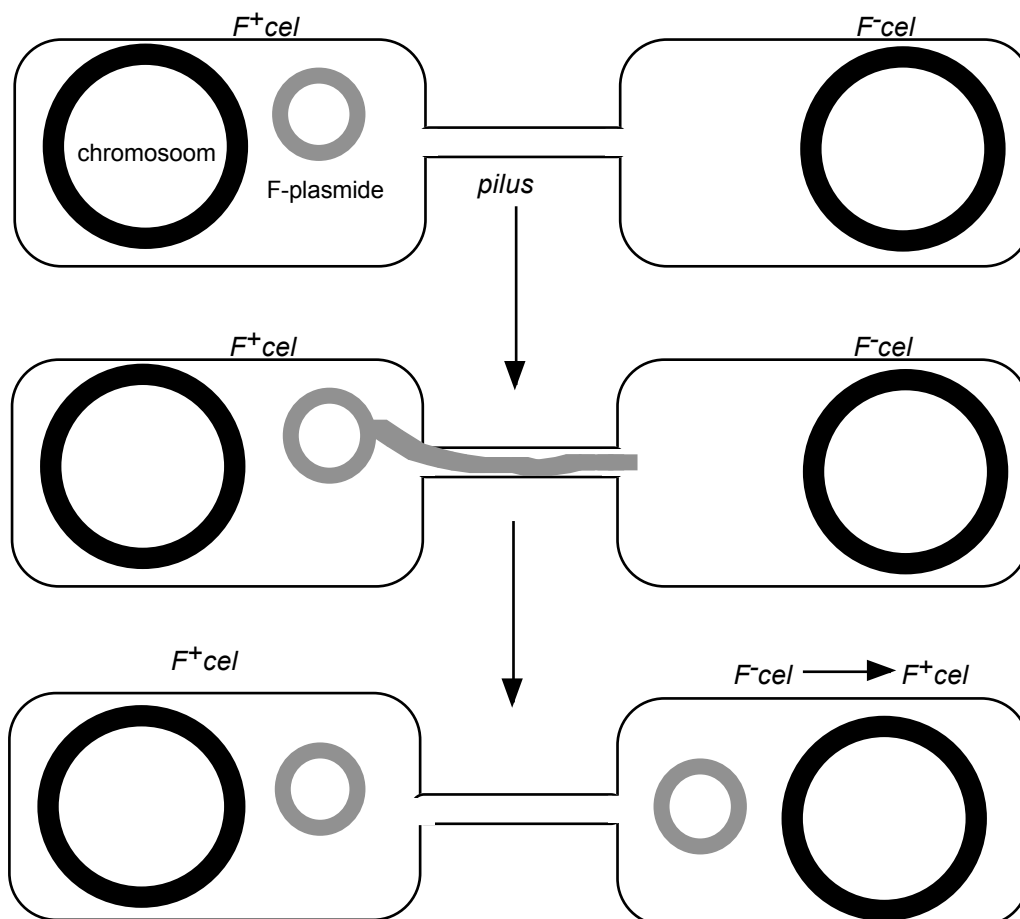
In cellen worden de DNA dubbele helixen op een vrij ingewikkelde manier verpakt tot chromosomen.

## 2.2. Werktuigen voor genetische manipulatie.

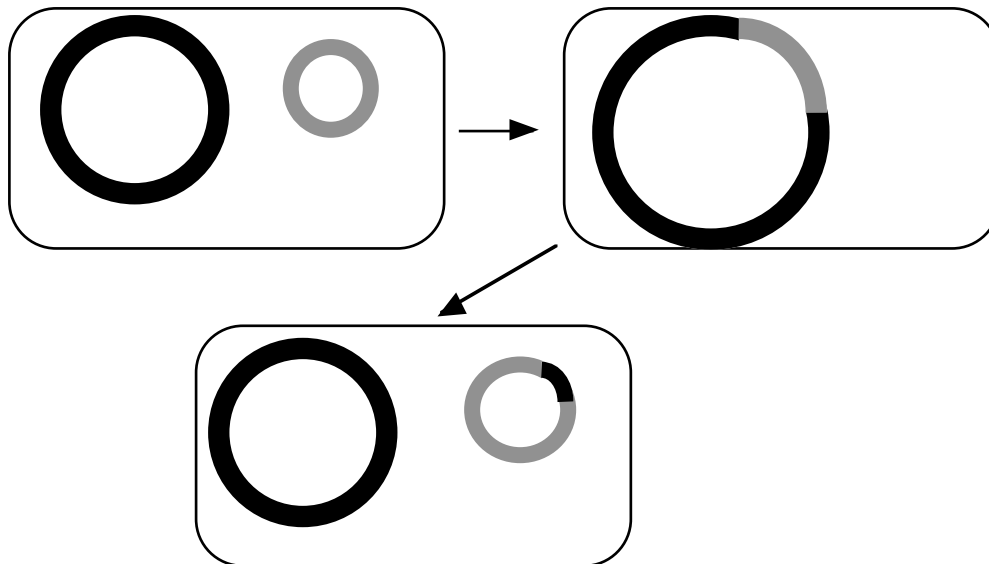
### 2.2.1. Natuurlijke genoverdracht.

Na de tweede wereldoorlog ontdekten wetenschappers dat genen van het ene naar het andere organisme konden overgaan. Een mooi voorbeeld werd bij bacteriën aangetoond. In bacteriën komt normaal één groot cirkelvormig chromosoom voor. Daarnaast komen vaak 1 of meerdere kleine cirkelvormige mini-chromosoompjes voor. Algemeen worden deze cirkelvormige minichromosoompjes plasmiden genoemd.

Bij de bacterie *Escherichia coli* komen twee soorten cellen voor,  $F^+$  en  $F^-$  genoemd. Een  $F^+$  cel kan een soort buisvormig uitsteeksel vormen (pilus genaamd) die contact maakt met een  $F^-$  cel. Doorheen deze pilus stuurt de  $F^+$  cel 'iets' naar de  $F^-$  cel waardoor deze  $F^+$  wordt. Dit 'iets' blijkt een plasmide te zijn (het F-plasmide). Op dit plasmide liggen alle genen nodig voor het maken van de pilus en de transfer. Het ganse proces noemt men conjugatie.



Soms voegt zo'n F-plasmide zich in het grote chromosoom in. Om naar een  $F^-$  cel te gaan, moet zo'n F-plasmide eerst uit het chromosoom komen. Soms loopt hier iets verkeerd, zodat een stukje van het bacteriële chromosoom in het F-plasmide terecht komt. Na conjugatie kan het plasmide in de nieuwe gastheercel het meegebrachte bacteriële chromosoom overbrengen naar het gastheerchromosoom. De aanwezige genen kunnen nu omgezet worden tot eiwitten in de nieuwe gastheer.



Een ander voorbeeld vinden we bij de bacterie *Agrobacterium tumefaciens*. Deze bacterie besmet allerlei planten. Via wondjes dringt de bacterie binnen in de plant. Op deze plaats ontstaan een 'crown gall' (een plaatselijke sterke zwelling van het plantenweefsel, vergelijkbaar met een tumor). De cellen van de plant groeien sterk. Tegelijkertijd verandert het metabolisme van deze cellen: ze beginnen een speciaal aminozuur te maken dat als voedsel dient voor de bacterie). Om het weefsel te veranderen gebruikt de bacterie een plasmide, het Ti-plasmide. In dit plasmide komt een stukje voor dat het T-DNA genoemd wordt. De bacterie brengt dit stukje over van het plasmide naar de chromosomen van de plant. Op dit stukje liggen enkele genen die de plantencellen aanzetten tot celdeling en de genen voor de enzymen nodig in de synthese van de speciale enzymen.

Zelfs bij sommige eukaryoten kon men plasmiden aantonen. Zo komt bij bakkersgist (*Saccharomyces cerevisiae*) het 2 $\mu$ m-plasmide voor.

Natuurlijke genoverdracht is ook mogelijk door virussen. Deze eigenschap werd ontdekt bij een speciale groep, de retrovirussen. Deze virussen bestaan uit een RNA-molecule (RNA is een nucleïnezuur dat sterk lijkt op DNA en in cellen een belangrijke rol speelt in de aanmaak van cellen) dat omgeven is door een mantel. Wanneer het RNA-molecule binnendringt in cellen maakt het een DNA kopie van het RNA-molecule met behulp van een speciaal enzym, het reverse transcriptase. Deze DNA-kopie kan zich in de chromosomen van de gastheercel gaan verbergen. In 1911 beschreef Peyton Rous het Rous sarcoma virus, een virus dat kippen infecteert. Soms bleek het virus bij kippen kanker te veroorzaken. De kankerverwekkende virussen hadden, naast de normale virusgenen, ook een vreemd gen dat identiek bleek aan een gen uit kippenchromosomen. Onderzoek toonde aan dat dit kippengen in het virus terecht kwam tijdens de vermenigvuldiging van het virus. Bij de vermenigvuldiging komt het virus uit het gastheer chromosoom vrij. Soms neemt het toevallig een stukje van het kippenchromosoom mee. Bij het Rous sarcoma virus bleek op zo'n stukje een gen te liggen voor een eiwit dat tussenkomt in celdeling. Na infectie van nieuwe gastheercellen verbergt het virus met het kippengen zich opnieuw in de chromosomen. Het kippengen wordt nu omgezet in een slecht werkend eiwit of een eiwit dat niet onderhevig is aan regulatie. De celdeling ontspoorde hierdoor en de normale cel wordt zo omgezet in een kankercel.

### 2.2.2. Restrictie-endonucleasen.

De Zwitser Werner Arber kreeg in 1976 de Nobelprijs voor de ontdekking van een speciaal soort eiwitten in bacteriën, de restrictie-endonucleasen of restrictie-enzymen.

#### (a) Wat zijn restrictie-enzymen ?

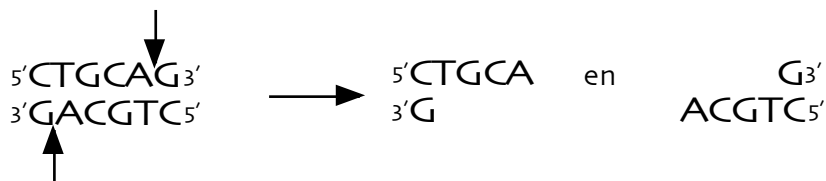
Bacteriën worden vaak geïnfecteerd door een type virussen, de bacteriofagen. Tijdens de infectie injecteren de bacteriofagen hun eigen DNA in de bacteriecel, waarna dit DNA de controle over de cel overneemt. Sommige bacteriën verdedigen zich door enzymen te maken die dit DNA kapot knippen, zodat de bacteriofaaginfectie stopt.

#### (b) Hoe werken restrictie-enzymen ?

Een voorbeeld van een restrictie-enzym is *Pst*I uit de bacterie *Providencia stuartii*. Elk restrictie-enzym knipt DNA op een bepaalde plaats en op een bepaalde manier. De plaats waar het restrictie-enzym knipt is een stukje DNA. We noemen dit de herkenningsequentie. Voor *Pst*I is deze sequentie



Op de plaats van de pijltjes knipt het enzym zodat er twee stukken ontstaan:



### 2.2.3. Plasmiden en andere vectoren.

Vertrekkende van natuurlijk voorkomende plasmiden is het mogelijk om kunstmatige plasmiden te bouwen. Sommige van deze plasmiden zijn gebouwd om genen te isoleren en over te brengen naar andere organismen. Andere plasmiden zijn voorzien van de nodige signalen om grote hoeveelheden van een eiwit te maken. Globaal moet een plasmide over een 3tal-elementen beschikken:

- behoud en vermenigvuldiging in de cel: allerlei genen en genetische elementen die nodig zijn voor de werking en de vermenigvuldiging van het plasmide.
- selectiemerker: plasmiden hebben de vervelende eigenschap dat ze wel eens bij een celdeling verloren kunnen gaan. Om te zorgen dat alle cellen een plasmide behouden kan je een selectiemerker in het plasmide stoppen. Een voorbeeld is een gen dat resistentie biedt tegen een antibioticum. Als je de bacteriecellen kweekt in aanwezigheid van dit antibioticum, dan sterven ze. Cellen die beschikken over een plasmide met het antibioticumresistentiegen, hebben geen last van het antibioticum en blijven groeien. Een andere mogelijkheid is het wegnemen van een gen uit het bacterieel chromosoom dat nodig is voor de synthese van een voedingsstof (bv. aminozuur). Wanneer je de bacterie kweekt op een voedingsbodem waar dit aminozuur niet aanwezig is, dan sterft de bacterie. Het ontbrekende gen zit op het plasmide. Bacteriën met dit plasmide kunnen wel het ontbrekende aminozuur aanmaken en blijven groeien.
- kloonplaats: in dit stukje van het plasmide kan een vreemd gen ingebracht worden. Vaak beschikt dit stukje DNA verschillende herkenningsequenties voor restrictie-enzymen die in de rest van het

plasmide niet voorkomen.

#### 2.2.4. DNA-bewerkende enzymen.

Naast restrictie-enzymen zijn heel wat andere DNA-bewerkende enzymen geïsoleerd en commercieel beschikbaar. Via chemische synthese is het mogelijk om kleine stukjes DNA in een proefbuis te maken. Het maken van dergelijke oligo's is volledig geautomatiseerd. Met de DNA-bewerkende enzymen kan je de kleine stukjes DNA met elkaar verbinden tot grotere stukken.

Een speciale vermelding is het *Taq*-polymerase en z'n toepassing in PCR. *Taq*-polymerase is een DNA-polymerase uit de bacterie *Thermophilus aquaticus*. Deze bacterie leeft in warmwaterbronnetjes en beschikt over enzymen die vooral werken bij heel hoge temperaturen (meer dan 60 °C).

In 1985 stelde Kary Mulis (Nobelprijs 1993) de PCR-techniek voor. PCR (polymerase chain reaction) is een eenvoudige techniek om met dit *Taq*-polymerase DNA te vermenigvuldigen in een proefbuis. Aan een DNA-staal worden enkele kleine stukjes synthetisch DNA toegevoegd die het begin en einde van een stuk DNA aflijnen dat moet vermenigvuldigd worden. Het *Taq*-polymerase vermenigvuldigt enkel dit stuk, maar dan op grote schaal. Vertrekkende van enkele DNA-dubbele helixen maak je op een paar uurtjes snel voldoende DNA om vele experimenten mee uit te voeren.

#### 2.2.5. Transformatietechnieken.

Om een genetisch gemanipuleerd organisme (GGO) te maken moet je op een of andere manier een stukje DNA (bv. een plasmide) binnenbrengen in een organisme. Dit gaat bij de meeste organismen met bijzonder eenvoudige technieken.

Behandeling van cellen met een zout, zoals calciumdichloride of lithiumacetaat, gevolgd door een korte hittebehandeling, is vaak voldoende om DNA op te nemen in de cel.

Andere technieken zijn:

- cel met korte maar hevige stroomstoten behandelen. Tijdens de stroomstoot ontstaan kleine tijdelijke openingen in de celmembraan. Langs deze openingen kan DNA binnenraken in de cel. Deze techniek noemt men elektroporatie.
- cel infecteren met een virus waarin een vreemd gen zit.
- DNA rechtstreeks in een celkern inspuiten met een miniatuurspuitje. Uiteraard gebeurt dit onder een krachtige microscoop.
- cellen beschieten met goudkorreltjes waarop DNA zit. Sommige korreltjes leveren het DNA in de kern af.
- voor planten kan je een bewerkt plasmide inbrengen in de bacterie *Agrobacterium tumefaciens* die dan dit plasmide overbrengt naar planten.

### 2.3. Een algemene werkwijze om een genetische gewijzigd organisme te maken.

Hieronder vind je een algemene werkwijze om een GGO te maken. We bespreken een mogelijk voorbeeld voor vorming van een genetisch gemanipuleerde bacterie. De volgende stappen moet je kunnen uitvoeren:

1. isoleren of maken van een gen en behandelen met een restrictie-enzyme.
2. een plasmide behandelen met zelfde restrictie-enzyme. Plasmide en restrictie-enzyme zo kiezen dat op slechts 1 plaats het plasmide opengaat.
3. gen en plasmide mengen. Het gen zal in het geopende plasmide komen.
4. gen en plasmide met tussenkomst van DNA-ligase verbinden.
5. nieuwe plasmide in een bacterie brengen door transformatie
6. isoleren van bacteriën die het plasmide bevatten en het toegevoegde gen omzetten in eiwit.

### **3. Enkele voorbeelden van genetisch gewijzigde organismen.**

Een belangrijk jaar voor de ontwikkeling van genetische manipulatie was het jaar 1977. Toen werd voor het eerste een menselijk eiwit (het hormoon somatostatine) door een bacterie geproduceerd. In 1978 werd voor het eerst menselijk insuline door bacteriën geproduceerd. Sinds dat jaar zijn honderden verschillende genetisch gewijzigde organismen gemaakt. Sommige GGO's worden op grote schaal gekweekt en commercieel toegepast. Hieronder vind je enkele voorbeelden van toepassingen die al gerealiseerd werden.

#### (a) Herbicide-resistentie.

Aan een plant wordt een gen toegevoegd dat een bepaald herbicide (glyphosaat) afbreekt. Dit gen is afkomstig uit een bodembacterie. Voordeel: Bij spuiten van een veld met dit herbicide worden alle planten vernietigd behalve de GGO die het herbicide kunnen onschadelijk maken.

#### (b) Insectenresistentie.

De bacterie *Bacillus thuringiensis* produceert een giftig eiwit dat enkel rupsen van vlinders doodt. Het spuiten van een poeder met hierin deze bacteriën is een beproefde methode. Je moet wel op het juiste moment het middel toepassen. Wanneer het gen voor dit eiwit ingebouwd wordt in planten, wordt het middel permanent gemaakt. Gevolg: wanneer rupsen van GGO-plant eten, krijgen ze giftig eiwit binnen en sterven.

#### (c) Productie van insuline.

Insuline is een eiwit dat in het lichaam van de mens als hormoon werkt. Bij de meeste suikerziektepatiënten komt te weinig van dit eiwit voor. Vroeger werd dit uit bloed geïsoleerd en aan patiënten toegediend. Het gen voor insuline werd geïsoleerd uit de mens en in een plasmide gestopt met de nodige signalen om het gevormde insuline uit de cel te transporteren. In grote tanks worden bacteriën of gisten met dit plasmide gekweekt. Na een tijdje zit menselijk insuline in de vloeistof en kan dit relatief eenvoudig en goedkoop uit de vloeistof gefilterd worden.

#### (d) Vaccinproductie.

Vaccinatie gebeurt door verzwakte ziekteverwekker in te spuiten in lichaam mens. Het immuunstelsel reageert sterk en bereidt zich op een echte infectie voor. Als de ziekteverwekker echt binnendringt, wordt deze opgeruimd voor er schade aan het lichaam toegebracht wordt. Een probleem is dat ziekteverwekker soms nog actief blijkt, waardoor een patiënt na vaccinatie ziek wordt. Vaak lukt een vaccinatie even goed door een enkel eiwit in te spuiten dat uit de ziekteverwekker afkomstig is. Via

biotechnologie kan men het gen isoleren voor een dergelijk eiwit. Dit gen wordt in een plasmide gestopt en in een bacterie of gist gebracht. Deze maakt dit eiwit dat, na isolatie en zuivering, in een vaccin kan toegepast worden. Omdat dit vaccin de ziekteverwekker zelf niet bevat, is de kans op besmetting onbestaande.

(e) Blutsvrije tomaten en andere landbouwgewassen.

Rijpe tomaten zijn zacht en raken tijdens transport snel beschadigd (blutsen). Dit zacht worden gebeurt door enzyme dat pectine tussen celwanden afbreekt. In GGO-tomaten is het pectineafbraakenzyme veranderd zodat rijpe vruchten veel minder zacht worden en minder gemakkelijk blutsen.

Een nieuwe rijstvariant, de 'gouden rijst' kreeg extra genen om vitamine A aan te maken. In ontwikkelingslanden worden veel mensen ziek (o.a. blindheid) door een gebrek aan vitamine A in de voeding.

**4. Enkele ethische aspecten.**

Rond genetisch gemanipuleerde organismen kunnen heel wat ethische vragen gesteld worden. In de eerste plaats werden deze vragen gesteld door wetenschappers zelf. Reeds in 1972 vroeg de latere Nobelprijswinnaar Paul Berg om duidelijke richtlijnen voor genetische manipulatie. Dit leidde tot de Asilomar conferentie in 1975. Op deze bijeenkomst van wetenschappers, beleidsmakers, journalisten en juristen uit gans de wereld werd een oproep gelanceerd naar de overheid om richtlijnen op te stellen rond genetische manipulatie. In 1976 kwamen die er in de Verenigde Staten, al snel gevolgd door vele andere landen. Genetisch gemanipuleerde organismen of producten van GGO's kom je tegenwoordig op heel wat plaatsen tegen. Het grote publiek stelt zich dan ook heel wat vragen.

Hieronder vind je enkele invalshoeken om ethische aspecten van GGO's aan te kaarten.

1) Ongewenste verspreiding in de natuur.

Genetisch gemanipuleerde planten worden nu al op grote schaal gekweekt. Het gaat dan vooral om maïs, soja, katoen,.. die resistent gemaakt zijn tegen insecten. Net zoals andere planten produceren deze GGO's stuifmeel. De vrees bestaat dat dit stuifmeel op wilde verwanten terecht komt. Na bevruchting ontstaat zaad dat in principe ook het gemanipuleerde kenmerk heeft. Zo zouden in principe onkruiden kunnen ontstaan die bv. ook resistent zijn tegen de spuitmiddelen. Dergelijke onkruiden zouden zich op grote schaal kunnen verspreiden en zo een belangrijk deel van het landbouwareaal ongeschikt maken voor voedselproductie. Dit aspect wordt al geruime tijd uitvoerig bestudeerd.

2) Voedselveiligheid mens.

In een reeks experimenten werden genen uit bepaalde noten overgebracht naar menselijke voedingsgewassen (bv. maïs). De bedoeling was om aan deze planten een aantal zeer voedzame eiwitten toe te voegen. De voedingswaarde van de planten ging zeker sterk omhoog, maar een relatief groot aantal mensen bleek sterk allergisch te reageren, net als bij het eten van noten. Dit stelt dan ook de vraag naar de veiligheid van GGO in de menselijke voeding. Immers, een GGO bevat een vreemd eiwit. En alles wat vreemd is wordt in principe door het menselijke immuunstelsel aangevallen. Een van de oplossingen is om een deel van de GGO te gebruiken waarin het vreemde eiwit niet voorkomt.

### 3) Ontstaan van resistentie tegen herbiciden, insecticiden,...

Wanneer GGO's op grote schaal gekweekt worden, is de kans reëel dat ergens op de wereld spontaan een insect, bacterie, schimmel of onkruidplant verschijnt die resistent is tegen het eiwit dat in de GGO zit. Indien dit gebeurt, dan kan dit een grote ramp betekenen.

### 4) Kunnen GGO's gepatenteerd worden ?

Om een GGO te maken, moet je een gen toevoegen dat je uit een ander organisme haalt. Wetenschappers van grote multinationals zoeken ijverig naar planten met interessante eigenschappen zoals ziekteresistentie. Heel vaak vindt men zo'n planten in derde wereldlanden. Na creatie van de GGO patenteren nogal wat firma's hun GGO. Dit heeft verregaande gevolgen. Zo kunnen boeren in derde wereldlanden de dure GGO's vaak niet betalen. Maar door het patent kunnen ze meestal ook niet meer beschikken over inheemse planten die ze al eeuwenlang telen. Er rust immers een patent op .... Dat een bepaald product gepatenteerd wordt is geen probleem. Maar kan je een gen patenteren dat vrij beschikbaar is in een plant en dan zomaar het gebruik van deze planten verbieden ? Aan de plant zelf is niets veranderd.....

### 5) Multinationals, GGO's en de derde wereld.

GGO's produceren is een dure onderneming. Vooral het soms moeizaam isoleren van een gen en de vele testen nodig om een vergunning te krijgen voor gebruik van een GGO maken het prijskaartje van een GGO gigantisch hoog. Om de investering terug te winnen is de prijs om een GGO aan te schaffen vrij hoog. In het rijke Westen is dit haalbaar. Arme boeren in ontwikkelingslanden kunnen meestal geen GGO's aanschaffen. Toch zijn het vaak zij die het meeste profijt zouden kunnen halen uit het gebruik van een GGO. Er is meestal geen geld om bestrijdingsmiddelen aan te schaffen. Planten die zichzelf beschermen leiden tot hogere opbrengsten, een betere voedselvoorziening en dus meer ontwikkelingskansen.

### 6) Voedselproblematiek.

Tot 60% van de wereldwijde productie van soja komt van genetisch gewijzigde planten. Deze planten horen tot een klein aantal rassen. De vrees bestaat dat ooit eens een ziekte of parasiet opduikt die specifiek deze rassen aantast. Binnen korte tijd zouden wereldwijd grote arealen kunnen aangetast worden (immers, allemaal hetzelfde ras). GGO-rassen duwen vaak lokale varianten uit de markt. En het zijn nu net die lokale varianten die vaak betere resistentie bieden.

## **IV. Klonen.**

### **1. Wat verstaan we onder de begrippen klone en klonen ?**

Het woord klonen heeft in de biologie verschillende betekenissen.

Betekenis 1: Een klone kan je definiëren als een groep individuen die allemaal genetisch volledig identiek zijn. Bij planten komt dit vaak voor. Wanneer je bv. een geranium stekt (takjes afsnijden en laten wortelen) dan produceer je een kloon. Alle plantjes zullen genetisch 100 % gelijk zijn aan elkaar en aan de moederplant. Klonen is dan het maken van een klone.

Betekenis 2: Klonen is het isoleren van een gen en dit via gentechnologie vermenigvuldigen. Concreet betekent dit vaak het inbouwen van een gen in een plasmide en dit overbrengen naar een bacterie. Bij het opkweken van deze bacterie zullen alle cellen hetzelfde plasmide met gen bezitten en zo een klone

vormen (zie ook de tekst over genetische manipulatie).

**Betekenis 3:** Klonen is het maken van een nieuw individu, vertrekkende van cellen van een ander individu, zodat beide individuen genetische volledig identiek zijn.

In dit stukje behandelen we enkel klonen in betekenis 3.

## **2. Klonen: een indeling.**

We onderscheiden twee verschillende soorten klonen.

1) **Reproductief klonen.** Hier is het de bedoeling om een genetisch identieke kopie van een individu te maken. Bij sommige diersoorten lukt dit, met weliswaar wisselend succes. Bij de mens is dit voor zover bekend nog niet gelukt.

2) **Therapeutisch klonen:** Hier is het de bedoeling om uit een lichaamscel een genetisch identiek embryo te maken. Dit embryo wordt een tijdje opgekweekt om er vervolgens stamcellen uit te isoleren (zie verder).

Zowat overal ter wereld is het reproductief klonen van mensen wettelijk aan banden gelegd of verboden. Het therapeutisch klonen is in sommige landen verboden, in andere niet maar wel wettelijk geregeld.

## **3. Klonen: een kleine geschiedenis.**

De idee van klonen was afkomstig van de Duitse Nobelprijswinnaar Hans Spemann. De praktijk bleek lastig te zijn. De eerste echte kloonexperimenten dateren van 1952 toen mislukte pogingen werden ondernomen om kikkers te klonen. In 1970 lukte het wel om kikkers te klonen, maar geen van de klonen geraakte voorbij het stadium van kikkervisje. De techniek die hiervoor gebruikt werd kreeg veel navolging. In 1981 beweerden wetenschappers muizen te hebben gekloond. Al snel bleek dit niet waar te zijn. In 1984 lukte het wel om schapen te klonen vertrekkende van een schapenembryo. In 1996 kwam de grote doorbraak toen in het Roslin Instituut (Roscoe, Schotland) de geboorte van Dolly plaatsvond. Dolly was een schaap ontstaan uit de kern van een uiercel van een ander schaap.

## **4. Klonen: de techniek.**

### **4.1. Inleiding: de cel, een korte inleiding.**

Een cel is de bouwsteen waaruit alle levende wezens opgebouwd zijn. Om klonen te begrijpen volstaat het om een cel te beschouwen als een grote ruimte. In deze grote ruimte komen vele kleine kamertjes voor. In elk van deze kamertjes wordt een bepaald proces uitgevoerd dat nodig is voor het functioneren van de cel. Enkele voorbeelden:

- mitochondrium: levert energie aan de rest van de cel.
- kern: bevat de erfelijke informatie en 'bestuurt' de cel.
- ruw endoplasmatisch reticulum: maakt eiwitten voor de cel.

### **4.2. Hoe klonen: een algemene strategie.**

De basis van klonen is een speciale eigenschap van eicellen: na bevruchting gaat de eicel delen en zich ontwikkelen tot een embryo. Dit embryo kan uitgroeien tot een nieuw individu. Dit betekent dat de embryonale cellen het vermogen hebben om zich te ontwikkelen tot verschillende celtypes (zoals vb.

huidcel, zenuwcel, levercel, .....). Dit vermogen gaat verloren bij de vorming van de verschillende celtypen. Zo kunnen huidcellen nog wel delen maar ze vormen enkel nieuwe huidcellen.

In normale omstandigheden zal een eicel niet delen. Eén van de problemen is de kern: in de eicel zit maar de helft van het genetisch materiaal dat in een normale cel zit. Bij een bevruchting dringt de kern van een zaadcel binnen. Deze zaadcel levert de andere helft van het genetisch materiaal. De bevruchte eicel (zygote genoemd) beschikt nu wel over de volledige hoeveelheid erfelijk materiaal en kan zich verder ontwikkelen.

Om te klonen wordt een eicel geïsoleerd. Onder de microscoop wordt met een speciale naald de kern van de eicel verwijderd. Uit een lichaamscel van een ander organisme wordt ondertussen op dezelfde manier een kern geïsoleerd. Deze kern bevat de volledige hoeveelheid genetisch materiaal. Vervolgens wordt de kern van de lichaamscel ingespoten in de eicel waar de kern uit verwijderd is. Als alles goed gaat, denkt de eicel dat ze bevrucht is en begint ze met delen. In een voedingsoplossing kan dan deze 'zygote' verder ontwikkelen tot een embryo.

Een andere mogelijkheid is het gebruik van embryo's. De cellen van embryo's die nog maar enkele celdelingen achter de rug hebben blijken elk apart te kunnen uitgroeien tot een nieuw embryo. Uit één embryo kunnen zo cellen gehaald worden voor meerdere kloonpogingen.

## **5. Mogelijke toepassingen en ethische bedenkingen.**

Hoewel het onderzoek naar klonen op volle toeren draait, zijn er momenteel weinig toepassingen in de praktijk. Het is waarschijnlijk dat in de al dan niet nabije toekomst meer toepassingen op de markt zullen komen.

Enkele voorbeelden:

Voorbeeld 1: Isoleren van stamcellen (therapeutisch klonen). Stamcellen zijn een speciaal soort van cellen die nog het vermogen hebben om uit te groeien tot om het even welk celtype. Mits de nodige signalen (hormonen, groeifactoren) kan je stamcellen laten ontwikkelen tot bv. hersencel, zenuwcel, levercel,.... In principe zou het moeten mogelijk zijn om hiermee vele ziekten te genezen. Een voorbeeld is suikerziekte of diabetes. Bij vele suikerziektepatiënten zijn de insuline-producerende cellen in de alvleesklier kapot. De behandeling nu bestaat in het toedienen van insuline via injecties. Dat werkt behoorlijk goed, maar het moet levenslang volgehouden worden. De idee is nu om stamcellen in de alvleesklier te brengen en ze de nodige signalen geven om zich om te vormen tot insulineproducerende cellen. Indien dit zou lukken, dan kan je in principe genezen van suikerziekte.

Een groot probleem met deze aanpak is het menselijke immuunstelsel. Alles wat vreemd is wordt door ons immuunstelsel aangevallen en opgeruimd. Je kan dus niet zomaar om het even welke stamcel inbrengen. De enige optie is een stamcel afkomstig van het eigen lichaam. Via klonen zou dit mogelijk moeten zijn. Immers, de manier waarop cellen door het lichaam herkend worden ligt erfelijk vast. Deze informatie zit in de kern van elke cel en verschilt van mens tot mens. Als je nu een lichaamscel kloon, dan zit je eigen lichaamskern in de cel, dus ziet de cel er uit als elke andere lichaamscel.

Om dit soort cellen te maken moet je eerst eicellen of embryo's bekomen. Na een succesvolle overplanting van een kern moet het embryo een zekere ontwikkeling doormaken. Op een bepaald ogenblik kan men dan uit het embryo de gezochte stamcellen afzonderen. Zeker het gebruik van menselijke embryo's (die uiteindelijk vernietigd worden) stuit op grote ethische bezwaren. In België werd in 2003 wetgeving opgesteld rond het gebruik van embryo's.

Een beloftevolle manier om dit probleem te omzeilen is het gebruik van bloedstamcellen. In het bloedvormend weefsel van de mens blijken kleine hoeveelheden stamcellen te zitten. Deze zijn wel niet zo krachtig inzetbaar als embryonale stamcellen, maar voor vele toepassingen zouden deze best bruikbaar zijn. Het isoleren van deze cellen begint men onder de knie te krijgen. Door rechtstreeks stamcellen uit een patiënt te gebruiken, verdwijnt de noodzaak eicellen en embryo's te gebruiken. Onderzoek naar toepassing is volop aan de gang.

Voorbeeld 2: Gestorven huisdieren en mensen dupliceren (reproductief klonen). In principe is het mogelijk om uit bewaarde cellen van een gestorven dier of mens door klonen een genetisch identieke kopie te maken. Met dat doel zijn verschillende firma's opgericht die (tegen grove betaling) beloven om gestorven honden, katten, paarden,..... te klonen. Het systeem werkt: zo werd in CopyCat geboren, een gekloond poesje (geboren 22-12-2001). In 2005 werden voor het eerste honden gekloond.

Klonen bij mensen blijkt zeer moeilijk te gaan. Verschillende claims werden de wereld ingestuurd, maar geen enkele kon hard gemaakt worden. Zo kondigde in 2002 de sekte van Raël, via hun firma Clonaid, de geboorte aan van een eerste gekloonde mens. Ze gaven echter geen informatie vrij en lieten niet toe het kind te onderzoeken of het wel om een kloon ging. Volgens Clonaid zouden ze reeds meerdere kinderen gekloond hebben. Clonaid kondigde ook aan een overleden meisje te klonen via bewaarde huidcellen. Van al deze projecten is verder niets meer gehoord. Een Zuid-Koreaanse onderzoeksgroep kondigde ook succesvol klonen van mensen aan. Hun verhaal bleek in 2005 vals te zijn.

Een piste die verschillende wetenschappers bewandelen is het klonen van mensen om onvruchtbare koppels toch aan een kind met het genetisch materiaal van één van beide ouders te helpen. Ook hiervan is voorlopig weinig meer gehoord.

Voorbeeld 3: Verhinderen van uitsterven bedreigde diersoorten. Een recente toepassing van klonen is het behoeden van bedreigde diersoorten voor uitsterven. De idee is om diersoorten waarvan er wereldwijd een zeer klein aantal overzijn door klonen in aantal te laten toenemen. De eicellen kan men halen uit verwante, niet bedreigde diersoorten. Dezelfde verwante diersoorten kunnen als draagmoeder dienst doen. Zo werd in 2001 een gaur gekloond met een eicel uit een koe en een koe als draagmoeder. (een gaur is een met uitsterven bedreigde runderachtige). Jammer genoeg stierf het kalf na 2 dagen. Hoewel de techniek veelbelovend lijkt, zal dit nooit meer dan een lapmiddel zijn. Immers, de redenen waarom dieren op de rand van uitsterven komen worden niet aangepakt !

Voorbeeld 4: De voedselproductie verhogen. Door klonen zouden bepaalde super-dieren snel op grote schaal kunnen vermenigvuldigd worden. Stel dat een koe een record-aantal liter melk produceert, dan zou je vele honderden nakomelingen kunnen maken die, ten minste genetisch, allen dezelfde aanleg voor

record-melkproductie zouden hebben. De kostprijs en de omslachtigheid van het klonen maken dit voorlopig niet haalbaar.

## **6. Problemen bij klonen.**

De beperkte ervaring met klonen heeft toch al enkele pijnpunten en gevaren blootgelegd. Naast de ethische bedenking in hoeverre de mens zo diepgaand op het leven mag ingrijpen enkele voorbeelden van deze pijnpunten en gevaren:

1. Gekloonde dieren blijken vaak groter te zijn dan niet-gekloonde dieren. Dit kan bv. complicaties geven bij de geboorte en het leven van de moeder in gevaar brengen.
2. Gekloonde dieren zijn bij de geboorte soms al heel oud. De kern die gebruikt wordt komt uit een individu met een bepaalde leeftijd. De chromosomen in de kern zijn getekend door die leeftijd. Cellen kunnen maar een bepaalde leeftijd bereiken. De chromosomen registreren dit door bij elke celdeling wat korter te worden. Als een 'oude' celkern gebruikt wordt, dan zal het gekloonde dier dezelfde biologische ouderdom hebben als het dier waaruit hij gekloond is. Dolly stierf op 6-jarige leeftijd. Normaal worden schapen 10 tot 12 jaar oud. Het schaap dat de uiercelkern leverde voor Dolly was op het moment dat de kern werd verwijderd 6 jaar oud.
3. Klonen heeft een laag succespercentage. Voor Dolly werden bv. 277 pogingen ondernomen vooraleer het lukte om 1 schaap te klonen. Voorlopig blijft klonen dan ook een zeer dure techniek met een laag rendement.
4. Bij gekloonde dieren werden veel meer genetische afwijkingen vastgesteld dan bij niet-gekloonde dieren. Welke afwijkingen voorkomen is totaal onvoorspelbaar.
5. Hoewel een gekloond dier in principe hetzelfde genetisch materiaal bezit als de kerndonor, ziet het gekloonde dier er niet noodzakelijk hetzelfde uit. Dit werd mooi aangetoond bij CopyCat: de vacht vertoonde een ander vlekkenkleurpatroon dan de de moeder. De omgeving speelt ook een grote rol bij het bepalen van het uiterlijk. En 100 % identiek is eigenlijk niet correct. In de mitochondria van de eicel komt een kleine hoeveelheid erfelijk materiaal voor. Aangezien enkel de kern overgebracht wordt, zal het gekloonde dier hetzelfde kern-DNA hebben als de kern-donor maar het mitochondriale DNA zal verschillen van de kern-donor. En of gekloonde mensen hetzelfde karakter zullen hebben als hun origineel is nog maar zeer de vraag.
6. Een andere manier om stamcellen te bekomen is ze te isoleren uit navelstrengbloed. In principe kunnen deze stamcellen jarenlang bewaard wordt in diepgevroren toestand. Een aantal commerciële firma's bieden ouders aan het navelstrengbloed van hun pasgeboren kinderen tegen (stevige) betaling te bewaren. Er is op dit moment geen enkele garantie dat deze cellen in de toekomst ooit zullen kunnen gebruikt worden.

## **V. Enkele referenties voor wie meer wil weten.**

### Boeken-brochures.

- De eekhoornformule, Vincent Icke, Prometheus Amsterdam, 2001, ISBN 90 446 00621 (*verzameling van een reeks columns uit de Nederlandse krant NRC Handelsblad die Vincent Icke schreef rond allerlei domeinen van de wetenschap*)
- Evolutie-Triomf van een idee, Carl Zimmer, Het Spectrum, 2002, ISBN 90 274 7583 0 (*uitgebreid werk over de evolutietheorie, vlot leesbaar en helder geschreven*)
- Kaas en de evolutietheorie, Bas Haring, Houtekiet, 2001, ISBN 90 5240 600 6 (*won de Eurekaprijs 2002, Haring legt op een kinderlijk eenvoudige manier de evolutietheorie uit*)
- Een kijk op biotechnologie, een reeks van 8 brochures over biotechnologie en klonen. Gratis te bekomen op het VIB (zie URL hieronder)

### Internet.

- [www.vib.be](http://www.vib.be) Op de webstek van het Vlaams Instituut voor Biotechnologie vind je heel wat informatie. Klik op de link 'Informatie en educatie'. Je kan een overzicht krijgen van heel wat erg interessant materiaal. Voor Belgische leerkrachten is veel van dit materiaal gratis aan te vragen. Sommige documenten kan je ook downloaden.
- [www.talkorigins.org](http://www.talkorigins.org) Deze Engelstalige webstek biedt een schat aan informatie rond de discussie evolutietheorie versus creationisme. Je kan er zowat alle argumenten van de creationisten terugvinden en hun wetenschappelijke weerlegging.
- [www.ethiek.nl/links/klonen.htm](http://www.ethiek.nl/links/klonen.htm) Deze Nederlandse site brengt een aantal links samen rond het thema 'klonen en ethiek'.
- [www.kuleuven.be/cbmer](http://www.kuleuven.be/cbmer) Site van het Leuvense Centrum voor Biomedische Ethiek en Recht.