



## PEDAGOGISCH DOSSIER 3

TALEN, AARDRIJKSKUNDE, WETENSCHAPPEN, GESCHIEDENIS

# KLIMAATVERANDERING (1/2): WAT WETEN WE ?

## MEER DAN 100 JAAR WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

→ KLIMAATVERANDERING, BROEIKASEFFECT, BROEIKASGAS, IJSKERNEN, IPCC



# THEORETISCH GEDEELTE

## WAT IS EEN KLIMAATVERANDERING ?

### DEFINITIE

De weersomstandigheden veranderen voortdurend. De wetenschap die deze veranderingen op korte termijn (enkele dagen) bestudeert, is de **meteorologie**. Ze bestudeert de veranderingen in de weersverschijnselen (wolken, depressies, neerslag, enz.) aan de hand van nauwkeurige terreingegevens, zoals de temperatuur, de vochtigheid, enz. De **klimatologie** bestudeert op haar beurt de opeenvolging van deze weersomstandigheden op lange termijn, op basis van statistieken die werden opgesteld aan de hand van metingen gedurende minstens 30 jaar. Op die manier kan men het **klimaat** van een streek bepalen (vb. continentaal, tropisch vochtig, enz.).

Het algemene klimaat van de aarde en de regionale klimaten worden bepaald door het 'klimaatstelsel'. Dat is een bijzonder complex mechanisme, op het niveau van de planeet, dat uit een hele reeks interacties tussen verschillende elementen bestaat<sup>1</sup>:

- de atmosfeer (interacties via de wind, de samenstelling van de atmosfeer, enz.)
- de **lithosfeer** (positie van de continenten, aard van de gesteenten, **albedo**, enz.)
- de hydrosfeer (oceanen, temperatuur en samenstelling van de oceanen, zeeën, meren, enz.)
- de **cryosfeer** (ontstaan van koude diepe oceanen, **albedo**, enz.)
- de **biosfeer** (invloed op de samenstelling van de atmosfeer en de oceanen).

Men denkt vaak, ten onrechte, dat de atmosfeer het belangrijkste compartiment van de klimaatverschijnselen is. De andere compartimenten spelen echter een even belangrijke rol in de vorming en de regulering van het klimaat op aarde.

We spreken over **klimaatverandering** als het globale klimaat van de aarde of het geheel van regionale klimaten een duurzame verandering ondergaan (minimum over een periode van zes jaar). Omdat een klimaat door talrijke variabelen wordt bepaald, kan een klimaatverandering niet zomaar worden beperkt tot een verandering van de gemiddelde temperatuur. Ze omvat zeer waarschijnlijk ook een verandering van de gemiddelde waarde of de variabiliteit van de neerslag, de wind, de gemiddelde vochtigheidsgraad van de bodem, ...

### DE KLIMAATVERANDERINGEN IN HET VERLEDEN

De geschiedenis van de aarde is een opeenvolging van klimaatveranderingen. Globaal verandert het klimaat weinig in een periode van 100 jaar in een bepaalde regio, maar het kan wel sterk veranderen op een geologische tijdschaal (honderdduizenden of miljoenen jaren). De paleoklimatologie is de wetenschap die het klimaat van de voorbije eeuwen reconstrueert op basis van gegevens die we in de sedimenten of in het ijs vinden<sup>2</sup>. Vandaag weten we dat de gemiddelde temperatuur op aarde ooit veel lager of veel hoger is geweest dan nu. Dankzij deze onderzoeken konden de wetenschappers de belangrijkste factoren bepalen die het klimaat van de aarde beïnvloeden op de geologische tijdschaal:

- **De beweging van de aarde ten opzichte van de zon** (Milankovitch-cycli). Deze beweging verandert heel geleidelijk in de loop van honderdduizenden jaren en beïnvloedt de hoeveelheid energie die de aarde van de zon ontvangt. De weg die de aarde rond de zon aflegt, kan bijvoorbeeld een kortere of langere ellips vormen.
- **De samenstelling van de atmosfeer**. Bepaalde componenten van de atmosfeer, 'broeikasgassen' genoemd, hebben een directe invloed op het klimaat van de aarde. Ze beïnvloeden namelijk de hoeveelheid zonne-energie die door de atmosfeer wordt vastgehouden (zie verder). De samenstelling van de atmosfeer verschilt naargelang van talrijke factoren (vb. – uitstoot van gassen bij vulkaanuitbarstingen, opname of uitstoot van gassen door de planten, de oceanen, enz.)
- **De intensiteit van de zonneactiviteit**. Tijdens perioden van sterke intensiteit ontvangt de aarde meer energie en dat beïnvloedt de temperatuur op aarde.

1 Voor meer informatie, zie de animatie 'De complexiteit van het klimaat' op [www.educapoles.org](http://www.educapoles.org)

2 Voor meer informatie, zie de animatie 'Het klimaat van de aarde doorheen de geschiedenis' op [www.educapoles.org](http://www.educapoles.org)

- **De positie van de continenten.** De continenten verplaatsen zich geleidelijk (door de beweging van de tektonische platen). Naargelang van hun positie op de aardbol zullen ze de grote oceaanstromingen veranderen en de atmosferische stromingen beïnvloeden, zodat ze het globale klimaat van de aarde wijzigen.

## DE HUIDIGE KLIMAATVERANDERING

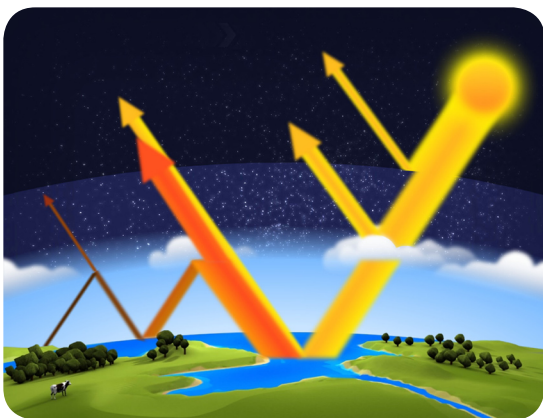
Als de aarde al sinds het begin der tijden klimaatveranderingen ondergaat, dan kunnen we ons terecht afvragen waarom er zoveel heisa wordt gemaakt rond de huidige klimaatverandering, die ook 'opwarming van de aarde' wordt genoemd. De huidige klimaatverandering is echter onrustwekkend omdat ze erg snel gaat. Daardoor krijgen veel planten- en diersoorten te weinig tijd om zich aan te passen en bestaat het gevaar dat ze verdwijnen. Maar de huidige klimaatverandering is vooral uniek omdat de mens er voor het eerst een belangrijke rol in speelt.

De doorslaggevende factor in de huidige klimaatverandering is de wijziging van de samenstelling van de atmosfeer. Om dat mechanisme beter te begrijpen, moeten we een onderscheid maken tussen het 'natuurlijk' broeikaseffect en het 'bijkomende' broeikaseffect.

### HET NATUURLIJKE BROEIKASEFFECT<sup>3</sup>

De atmosfeer is een dunne laag gas die de aarde omvat en de levende wezens op onze planeet op verschillende manieren beschermt. Ze beschermt hen namelijk niet alleen tegen inslaande meteorieten en een overdaad aan UV-stralen (dankzij de **ozonlaag**), maar zorgt er ook voor dat aan het aardoppervlak een aangename gemiddelde temperatuur van 15°C heerst dankzij de broeikasgassen die ze bevat. Dat noemen we het natuurlijke broeikaseffect. De aarde ontvangt veel energie van de zon, in de vorm van stralen (hoofdzakelijk lichtstralen). Een deel van deze energie wordt door de atmosfeer, de wolken of het aardoppervlak meteen naar de ruimte weerkaatst (zie tekening hieronder). De rest wordt tijdelijk geabsorbeerd en vervolgens in de vorm van warmte (infraroodstralen) weer afgegeven. Daar komen de broeikasgassen in werking: ze blokkeren de infraroodstralen gedeeltelijk en beletten dat ze onmiddellijk weer naar de ruimte ontsnappen. Door deze energie op die manier een beetje langer vast te houden, verhogen de broeikasgassen de gemiddelde temperatuur op het aardoppervlak. Uiteindelijk stuurt de aarde dezelfde hoeveelheid energie die ze van de zon ontvangt, weer naar de ruimte, maar niet altijd onmiddellijk. Het mechanisme van het natuurlijke broeikaseffect is van levensbelang: zonder dit systeem zou de gemiddelde temperatuur op aarde ongeveer gelijk zijn aan de temperatuur op de maan: -18°C.

Dit zijn de belangrijkste broeikasgassen die van nature in de atmosfeer aanwezig zijn:



- waterdamp (H<sub>2</sub>O), die ontstaat door verdamping vanuit de bodem, de planten, de rivieren, de oceanen, enz.
- kooldioxide (CO<sub>2</sub>), dat bijvoorbeeld vrijkomt door de ademhaling van mensen en dieren, de ontbinding van een dood lichaam of bij een bosbrand.
- methaan (CH<sub>4</sub>), dat hoofdzakelijk vrijkomt door ontbinding in vochtige zones (moerassen, tropische wouden, ...) en verteringsprocessen bij dieren (vooral herkauwers en termieten).
- distikstofoxide (N<sub>2</sub>O), dat wordt afgegeven door de oceanen en de bodem.

↪ Figuur 1: Verklaring van het mechanisme van het natuurlijke broeikaseffect. Illustratie uit de animatie 'De mens, verantwoordelijk voor en slachtoffer van de huidige klimaatverandering' op [www.educapoles.org](http://www.educapoles.org)

<sup>3</sup> Voor een meer gedetailleerde uitleg over het mechanisme, zie de flashanimaties 'De mens, verantwoordelijk voor en slachtoffer van de huidige klimaatverandering' en 'Algemeen evenwicht van de aarde: de zon, de drijvende kracht van de aarde', op [www.educapoles.org](http://www.educapoles.org)

## HET BIJKOMENDE BROEIKASEFFECT

Sinds het begin van de industriële revolutie heeft de mens een grote hoeveelheid verschillende gassen in de atmosfeer gebracht, voornamelijk door de verbranding van steenkool, gas en olie. Een gedeelte van deze gassen zijn broeikasgassen. Hun ophoping in de atmosfeer doet een 'bijkomend' broeikaseffect ontstaan dat het klimaatsysteem verandert en de gemiddelde temperatuur op aarde verhoogt.

## HOE HEEFT MEN DE HUIDIGE KLIMAATVERANDERING ONTDEKT?

In 1896 stelt de Zweedse wetenschapper, Svante Arrhenius, een volledige theorie over het broeikaseffect voor, uitsluitend gebaseerd op fysische principes. Daarna lanceert hij de hypothese dat de verbranding van fossiele energiebronnen door de mens een constante verhoging van de concentratie CO<sub>2</sub> in de atmosfeer kan veroorzaken, die tot een temperatuurstijging zou leiden. Hij voorzag (volgens een rekenkundige reeks) een verdubbeling van het gehalte CO<sub>2</sub> in de atmosfeer binnen 3000 jaar. Deze theorie werd niet meer gevolgd omdat Arrhenius zich vergist had in de metingen, maar in 1950 wordt ze opnieuw van onder het stof gehaald. De Amerikaan Gilbert Plass creëert dan een klimaatmodel met een nieuwe uitvinding: de computer<sup>4</sup>. Hij toont aan dat de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer het klimaat wel degelijk kan beïnvloeden. Hij verwachtte een gemiddelde stijging van de temperatuur op aarde met 1,1°C tegen het jaar 2000, door de verbranding van fossiele brandstoffen door de mens (in werkelijkheid steeg de temperatuur met 0,6°C). Vanaf het einde van de jaren '60 wijzen de wetenschappers erop dat de klimaatverandering als gevolg van dit bijkomende broeikaseffect in de toekomst problemen kan veroorzaken.

In 1958 beginnen de wetenschappers, in het raam van het Internationaal Geofysisch Jaar, het gehalte CO<sub>2</sub> in de atmosfeer op regelmatige basis te meten, op twee meetpunten in de wereld die ver verwijderd zijn van de antropogene bronnen: het ene bevindt zich op Hawaï, het andere op Antarctica. Vanaf de eerste jaren van de metingen wordt vastgesteld dat het gehalte CO<sub>2</sub> inderdaad voortdurend stijgt. Deze metingen worden tot op vandaag op Hawaï voorgezet. Vandaag veronderstellen we dat het gehalte CO<sub>2</sub> in het midden van de 21e eeuw zal verdubbelen, veel vroeger dan het tijdstip dat Arrhenius had voorspeld.

## METINGEN IN HET IJS: 800 000 JAAR KLIMAATARCHIEVEN

Vanaf 1966 onthult het onderzoek van ijskernen, afkomstig van de **ijskappen**, bijzonder waardevolle informatie. Luchtbellens die tijdens de vorming van het ijs in het ijs werden gevangen, hebben tot vandaag alle informatie over de samenstelling van de atmosfeer uit die tijd bewaard<sup>5</sup>. In deze luchtbellens kunnen we de hoeveelheid aanwezige gassen meten. Bovendien kunnen we met behulp van een indicator 'delta O18' genoemd, de temperatuur op dat ogenblik berekenen. Aan de hand van de ijskernen op Arctica (Groenland) kunnen we de klimaatomstandigheden tot 115 000 jaar geleden berekenen. De Antarctische ijskap is dikker en bevat dus oudere ijslagen. Ze geeft ons informatie tot perioden van 800 000 jaar geleden. Deze metingen hebben aangetoond dat de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer vandaag erg snel stijgt: sinds het begin van de industriële revolutie werd een stijging van 40% gemeten, en de huidige hoeveelheid is de grootste sinds 800 000 jaar.

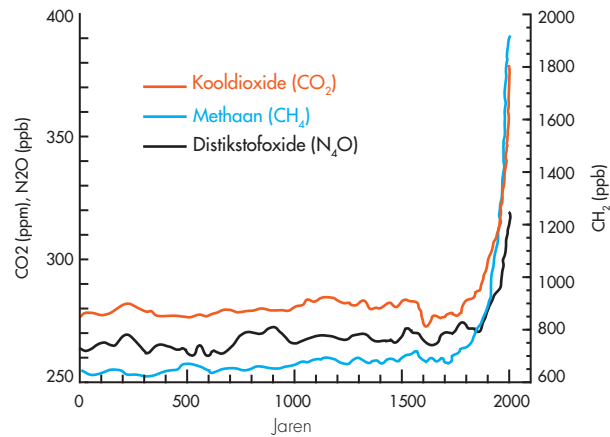
## HET KLIMAATSYSTEEM: COMPLEXE INTERACTIES

In de jaren '70 maakten nieuwe gegevens het mogelijk om de jaarlijkse wereldwijde CO<sub>2</sub>-emissies, afkomstig van de verbranding van fossiele energie, te meten. Volgens de metingen die op Hawaï werden verricht, kwam minder dan de helft van de hoeveelheid uitgestoten kooldioxide in de atmosfeer terecht. Waar was de rest gebleven? In wat we de 'koolstofcyclus' noemen. Dit begrip was al lang bekend, maar er werden nu verschillende onderzoeken opgestart om er meer over te weten te komen. In elk compartiment van het klimaatsysteem treffen we koolstof aan: atmosfeer, **lithosfeer** (vb. kalksteen), **cryosfeer**, hydrosfeer en **biosfeer**. Dit complexe systeem is in

4 Zie ook animatie 'Klimaatmodellering' op [www.educapoles.org](http://www.educapoles.org)

5 Voor meer details, zie de animatie 'Klimaatarchieven' op [www.educapoles.org](http://www.educapoles.org)

evenwicht dankzij permanente uitwisselingsstromen tussen de compartimenten (ademhaling van de dieren, gasuitwisseling tussen de atmosfeer en de oceanen, enz.). Als er een onevenwicht ontstaat, zoals bijkomende  $\text{CO}_2$ -emissies in de atmosfeer door de mens, heeft dat gevolgen voor het hele systeem: een gedeelte van de bijkomende koolstof komt in de andere compartimenten terecht. De stijging van het gehalte  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer is dus slechts de weerspiegeling van een veel ernstigere storing die de hele werking van de planeet aantast<sup>6</sup>. Vandaag stellen we vast dat deze stijging versnelt, wat erop zou kunnen wijzen dat de aarde stilaan haar natuurlijke capaciteit verliest om de miljarden tonnen koolstof die elk jaar worden uitgestoten te absorberen.



→ Figuur 2: Concentraties  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  in de atmosfeer sinds 200 jaar (IPCC, 2007)

## ANDERE BROEIKASGASSEN

$\text{CO}_2$  is het bekendste broeikasgas omdat vooral dit gas het bijkomende broeikaseffect veroorzaakt. Het is ook het eerste broeikasgas dat werd bestudeerd. In 1975 ontdekt men echter dat er nog andere broeikasgassen bestaan, waarmee we eveneens rekening moeten houden: methaan ( $\text{CH}_4$ ), distikstofoxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ), **troposferisch ozon** ( $\text{O}_3$ ), CKF's, enz. Al deze gassen laten het zichtbare licht door en houden de infraroodstralen gedeeltelijk vast.

De activiteiten van de mens hebben steeds meer van deze gassen gegenereerd, waardoor de atmosferische hoeveelheid sinds de industriële revolutie voortdurend stijgt (zie grafiek). De verbranding van fossiele energie voor transport, verwarming of elektriciteitsproductie, stoot  $\text{CO}_2$  uit; het gebruik van chemische meststoffen voor de landbouw en bepaalde industriële processen stoten  $\text{N}_2\text{O}$  uit; de intensieve veeteelt verhoogt de uitstoot van  $\text{CH}_4$ , enz. De menselijke activiteiten verhogen niet alleen de hoeveelheid broeikasgassen die van nature in de atmosfeer aanwezig zijn, ze genereren ook nieuwe, tot dan toe onbestaande broeikasgassen. De meeste zijn gefluoreerde koolwaterstoffen, zoals de CFK's. Deze gassen ontsnappen bijvoorbeeld uit koel- en airconditioningsystemen (vb. airconditioning in auto's). Bepaalde gassen die afkomstig zijn van de verbranding van koolwaterstoffen (transport, enz.) gaan bovendien verbindingen aan met andere elementen die van nature in de atmosfeer aanwezig zijn om **troposferisch ozon** ( $\text{O}_3$ ) te vormen.

Elk broeikasgas heeft specifieke eigenschappen.  $\text{CO}_2$  blijft bijvoorbeeld minstens 100 jaar in de atmosfeer aanwezig, terwijl methaan slechts ongeveer 12 jaar in de atmosfeer blijft. Methaan is echter een veel sterker broeikasgas dan  $\text{CO}_2$ . Om hierover meer te weten te komen, hebben de wetenschappers een index opgesteld waarmee we de impact van de verschillende broeikasgassen voor een bepaalde periode kunnen vergelijken: het GWP of 'Global Warming Potential'.  $\text{CO}_2$  werd als referentie genomen voor deze vergelijking, daarom is zijn GWP gelijk aan 1.

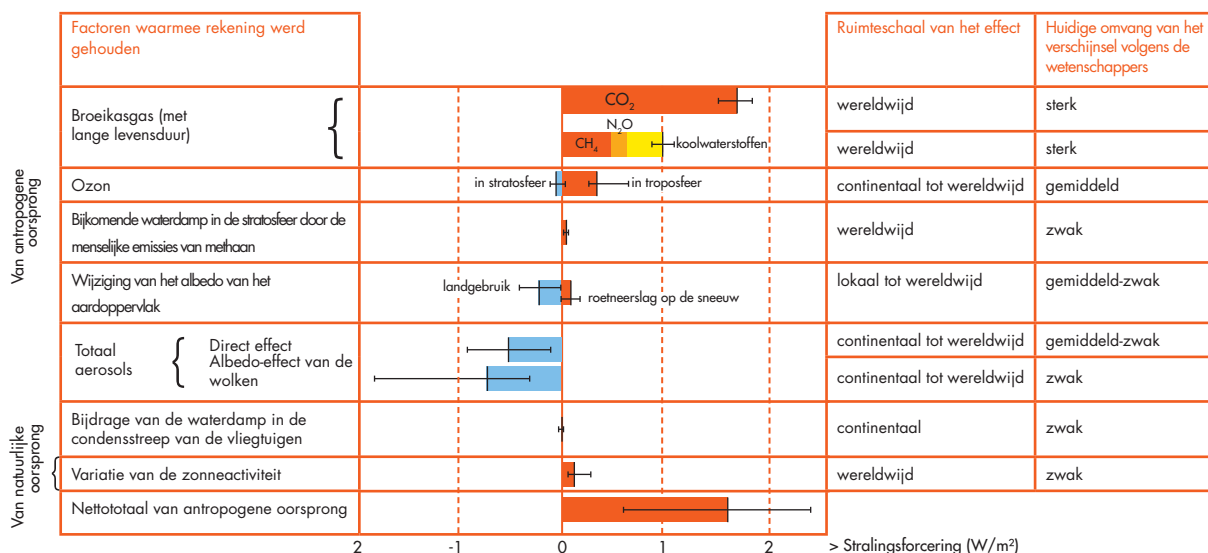
Enkele voorbeelden van broeikasgassen	Geschatte duur van de aanwezigheid in de atmosfeer	GWP (op 100 jaar)
kooldioxide (CO <sub>2</sub> )	100	1
methaan (CH <sub>4</sub> )	12	25
distikstofoxide (N <sub>2</sub> O)	114	298
HFC-23 (hydrofluorkoolwaterstof)	270	14800
HFC-134a (hydrofluorkoolwaterstof)	14	1430
Zwavelhexafluoride (SF <sub>6</sub> )	3200	22800

→ (IPCC, 2007)

## ELEMENTEN DIE DE OPWARMING TEMPEREN

Het werd duidelijk dat dit thema nog complexer is dan eerst werd gedacht toen de wetenschappers in het begin van de jaren '70 verschillende verschijnselen ontdekten die de klimaatopwarming zouden kunnen temperen. Ze vermeldden bijvoorbeeld de **aerosols** die de atmosfeer verduisteren en beletten dat de zonnestralen de aarde bereiken, en de mogelijkheid dat deze vervuiling de vorming van wolken in de hand werkt. Dertig jaar later is de rol van aerosols en wolken in de klimaatopwarming nog steeds niet helemaal duidelijk. Daarna werden er nog andere factoren geïdentificeerd, zoals bijvoorbeeld het **albedo**.

De tabel hieronder, afkomstig uit het rapport 2007 van het IPCC, geeft een overzicht van de waarschijnlijke impact van deze verschillende factoren op de huidige klimaatverandering. We zien dat de belangrijkste factor van **antropogene** oorsprong, die het klimaat beïnvloedt, de uitstoot van broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, ozon, enz.) is. De impact van de andere factoren (variatie van het albedo als gevolg van het gebruik van de gronden, emissies van aerosols, enz.) is veel minder groot. Het effect van de aerosols wordt bijvoorbeeld geraamd op een vermindering van de ontvangen straling met ongeveer 0,5 W/m<sup>2</sup> (zie figuur 3), maar de omvang van dit verschijnsel wordt momenteel klein tot middelgroot geacht. Ondanks de onzekerheden en de talrijke elementen die nog moeten worden gedetailleerd, is het duidelijk dat de totale impact van de menselijke activiteiten op het klimaat een algemene opwarming tot gevolg heeft, voornamelijk als gevolg van de emissies van broeikasgassen: de totale **antropogene** impact stemt overeen met een toename van de ontvangen straling van ongeveer 1,5 W/m<sup>2</sup>.



→ Figuur 3: Impact van de verschillende factoren die de huidige klimaatverandering beïnvloeden (IPCC, 2007)

## WAAROM WORDT ER OVER DIT ONDERWERP ZOVEEL GEDEBATTEERD?

De realiteit van de klimaatverandering en de verantwoordelijkheid van de mens hierin aanvaarden, verplicht ons ertoe onze levenswijze, onze productiemethoden en onze consumptie te herbekijken. Vooraleer we dat doen, wil iedereen graag onomstotelijke bewijzen van de klimaatverandering en nauwkeurige voorspellingen van de gevolgen ervan. Maar zoals we hebben gezien, is dit een zeer complex onderwerp. Bovendien maakt de wetenschap vorderingen door tegengestelde hypothesen met elkaar te vergelijken en ze vervolgens te controleren of te verwerpen en dat vraagt natuurlijk tijd. Daarom is het voor het grote publiek erg moeilijk om een standpunt in te nemen in dit complexe en langdurige debat.

### OPRICHTING VAN HET IPCC

Om een antwoord te bieden op deze problematiek, hebben de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) en het Milieuprogramma van de Verenigde Naties (UNEP) in 1988, op verzoek van de G7, het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) opgericht. De missie van dit organisme is op een begrijpelijke manier alle wetenschappelijke, technische en sociaal-economische informatie over de evolutie van het klimaat te analyseren en samen te vatten. Honderden wetenschappers werken mee aan het IPCC om de leiders in staat te stellen met kennis van zaken beslissingen te nemen. Het IPCC doet dus zelf geen onderzoek en neemt geen maatregelen. Het verzamelt, analyseert alleen de resultaten van alle onderzoeken die over dit onderwerp worden gepubliceerd en vat ze samen.

De officiële publicaties van het IPCC houden tegelijk rekening met de punten waarover iedereen het eens is en de punten waarover de wetenschappers nog in discussie zijn, zonder de onzekerheden in verband met de voorgestelde resultaten te vergeten. Deze rapporten worden als een referentie beschouwd omdat ze het resultaat zijn van een lang tegensprekelijk debat tussen specialisten. Tot nu toe werden er vier rapporten gepubliceerd, in 1990, 1995, 2001 en 2007<sup>7</sup>. Sommige 'sceptische' wetenschappers spreken de rapporten van het IPCC soms tegen in de media. De meeste wetenschappers trekken echter de algemene conclusies van het IPCC niet in twijfel, maar eerder technische details: bijvoorbeeld bepaalde berekeningsmethoden of de manier waarop bepaalde factoren werden geïntegreerd.

## ZEKERHEDEN EN GEVOLGEN

Vandaag hebben de wetenschappers al zeer veel belangrijke wijzigingen kunnen waarnemen en meten, allemaal signalen die indirect bewijzen dat er een klimaatverandering plaatsvindt: stijging van de gemiddelde temperatuur in de meeste streken, stijging van de temperatuur van het oppervlaktewater van de oceanen, smelten van het ijs, migratie van de dieren, opduiken van bepaalde plantensoorten in streken waar ze niet voorkwamen, enz. Het zal nog vele jaren duren vooraleer we een goed overzicht hebben van de verschillende verschijnselen, want de observatie van deze verschijnselen is een immense taak. Maar hoewel er nog enkele schaduwzones moeten worden verduidelijkt, is iedereen het erover eens: de opwarming van de aarde is een feit.

De klimaatmodellen kunnen de wijzigingen die in de afgelopen 30 jaar werden gemeten, slechts weergeven als we de emissies van broeikasgassen van antropogene oorsprong erin opnemen. De natuurlijke parameters volstaan niet om de vastgestelde wijzigingen te verklaren. Dit argument, en verschillende andere technische factoren, verklaren momenteel dat de meeste wetenschappers de verantwoordelijkheid van de mens in de huidige klimaatverandering erkennen. Wat we vooral moeten onthouden is dat, als we deze veranderingen hebben veroorzaakt, we de situatie ook kunnen verbeteren als we onmiddellijk actie ondernemen.

Wilt u meer weten over de gevolgen van de huidige klimaatverandering, vandaag en in de toekomst, lees dan het tweede deel van dit dossier: 'Klimaatverandering 2/2: gevolgen in de wereld en in de poolgebieden' [www.educapoles.org](http://www.educapoles.org).

7 Deze rapporten en talrijke grafieken vindt u in het Engels en het Frans op de site [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

## WOORDENLIJST:

**Aerosols:** Zeer kleine vaste of vloeibare deeltjes (ter grootte van een micron) in suspensie in de lucht

**Albedo:** Verband tussen de energie die een oppervlak weerkaatst en de invallende energie. Het albedo wordt uitgedrukt op een schaal van 0 tot 1. Het albedo is 0 voor een zwart lichaam, ongeveer 0,1 voor een bodem bedekt met begroeiing, ongeveer 0,8 voor verse sneeuw en 1 voor een perfecte spiegel.

**Antropogeen:** verbonden met de menselijke activiteit.

**Biosfeer:** geheel van levende organismen op aarde

**Ijskap:** ijsmassa die een continent helemaal of gedeeltelijk bedekt. De ijskappen kunnen verschillende kilometers dik zijn en bestaan uit sneeuw die zich tienduizenden jaren lang heeft opgehoopt.

**Klimaat:** gemiddelde klimaatomstandigheden op een bepaalde plaats (temperatuur, neerslag, ...) berekend op basis van jaarlijkse en maandelijkse statistieken van waarnemingen in een periode van minstens 30 jaar. Het wordt gekenmerkt door gemiddelde waarden, maar ook door variaties en extremen.

**Cryosfeer:** al het ijs dat op aarde aanwezig is (gletsjers, ijskappen, sneeuw, permafrost, enz.)

**Delta O18:** (symbool:  $^{18}\text{O}$ ) Indicator gebaseerd op de meting van zuurstofisotopen die in een staal aanwezig zijn. Als we deze metingen op ijskernen toepassen, kunnen we de vroegere temperaturen terugvinden, aangezien de verhouding van de isotopen  $^{18}\text{O}$  en  $^{16}\text{O}$  die zich in de sneeuw bevinden, verschilt naargelang van de temperatuur. Om de delta O18 te berekenen, vergelijken we de isotopenverhouding  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  van een staal (Re) met deze van een standaard (Rs). Formule:  $^{18}\text{O} = ((\text{Re}-\text{Rs})/\text{Rs}) * 1000$

**Lithosfeer:** buitenste omhulsel van de aarde, vast en onderverdeeld in tektonische platen die ten opzichte van elkaar bewegen .

**Ozon:** ( $\text{O}_3$ ) De ozonlaag in de hoge atmosfeer is een concentratie van ozon die een gedeelte van de UV-stralen van de zon filtert. Deze beschermende laag wordt bedreigd door vervuiling (CFK). In de lage atmosfeer werkt ozon als een broeikasgas en is het een belangrijke luchtvervuiler, schadelijk voor de gezondheid van mensen, dieren en planten. Dit 'troposferisch ozon' (of 'slechte ozon') is hoofdzakelijk van antropogene oorsprong. Het ontstaat door de reactie van elementen die worden geproduceerd door de verbranding van koolwaterstoffen en zuurstof.

## HULPMIDDELEN:

Ontdek de animatie "De mens, verantwoordelijk voor en slachtoffer van de huidige klimaatverandering" die het verschijnsel van het broeikaseffect gedetailleerd verklaart en de verschillende broeikasgassen en hun oorsprong in detail bespreekt; de animatie "Biodiversiteit en klimaatverandering" en het pedagogische dossier 'Klimaatverandering (2/2): gevolgen in de wereld en in de poolgebieden' op de educatieve website van de International Polar Foundation (IPF). Er worden ook talrijke pedagogische activiteiten voorgesteld op <http://www.educapoles.org> (NL, FR, EN)

Andere websites met informatie over de huidige klimaatverandering:

<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/dossiers/changement-climatique/effet-serre.shtml> (FR)

<http://www.manicore.com/> (FR, EN)

<http://www.exploratorium.edu/climate/> (EN)

[http://www.climatechange.be/climat\\_klimaat/nl/evolutie.html](http://www.climatechange.be/climat_klimaat/nl/evolutie.html) en <http://www.klimaatportaal.nl/> (NL)

Een pedagogisch dossier over het klimaat en de klimaatverandering met praktische informatie, methodologieën, mogelijkheden om het thema verder uit te diepen, fiches voor de leerlingen:

[http://www.klimaat.be/climat\\_klimaat/fr/climatcestnous.html](http://www.klimaat.be/climat_klimaat/fr/climatcestnous.html) (FR)

[http://www.klimaat.be/climat\\_klimaat/nl/inweervoorklimaat.html](http://www.klimaat.be/climat_klimaat/nl/inweervoorklimaat.html) (NL)





# PRAKTISCH GEDEELTE

## DE UITDAGINGEN VAN HET LEERPROCES

De bijdrage van de wetenschap is essentieel om de klimaatverandering te begrijpen. Met dit dossier kunt u de leerlingen nog beter duidelijk maken dat de wetenschap een geheel van rationele en nauwgezette methoden is, die ons meer inzicht geven in de complexe verschijnselen die ons universum beheersen. Door deze complexiteit te bespreken, zullen de leerlingen ook inzien dat de hele planeet en al haar inwoners door de huidige klimaatveranderingen worden getroffen. En tot slot zijn ook de wetenschappelijke publicaties van primordiaal belang. Het is belangrijk om dit thema te behandelen door de leerlingen enerzijds gegevens te laten verzamelen en persoonlijke nota's te laten opstellen in verschillende vormen (teksten, tabellen, tekeningen, schema's, ...), en anderzijds door de wetenschappelijke publicaties te bestuderen. Hieruit kunnen we twee uitdagingen afleiden:

- Een wetenschappelijke houding ontwikkelen bij de leerlingen. Het accent leggen op de wetenschappelijke aanpak (experimenten, waarnemingen, systematisch benadering, analyse van gegevens, modelleringen, simulaties) en op de documenten die nodig zijn om deze aanpak in de praktijk te brengen.
- De leerlingen bewust maken van het feit dat het klimaatsysteem een complex verschijnsel is en dat de studie ervan door de wetenschappers duidelijk heeft gemaakt dat er zonder twijfel een belangrijke opwarming plaatsvindt.

## DE ACTIVITEITEN VAN DIT DOSSIER

### 1) METINGEN EN OPZOEKING "DE METEOROLOGIE EN HET KLIMAAT"

Doelgroep	<12 jaar	Duur	metingen, daarna 60 minuten
Doel	Wetenschappelijke gegevens verzamelen, de gegevens in een grafiek weergeven, de informatie samenvatten, onderscheid tussen meteorologie en klimaat		

Gedeelte meteorologie: de meetapparaten van een weerstation verzamelen en de leerlingen leren de gegevens te lezen. De leerlingen opdragen om elke dag metingen te doen, in groep (bijvoorbeeld een week per groep) en een grafiek op te stellen die de evolutie van bepaalde parameters illustreert ( $t^{\circ}$ , druk, enz.). Daarna een samenvatting maken van de resultaten van alle groepen (de grafieken samenbrengen om bijvoorbeeld de evolutie over een maand te bekijken).

Onderscheid tussen meteorologie en klimaat:

- Na de twee definities te hebben gelezen aan de leerlingen vragen om in eigen woorden het verschil tussen klimaat en meteorologie uit te leggen.
- De leerlingen vragen om op te zoeken in welke klimaatzone ze nu wonen, met behulp van de klimaatkaart van de wereld.
- De meteorologische waarnemingen vergelijken met het klimaat van de regio (Stemmen de gegevens met elkaar overeen? Hoeveel metingen zijn er nodig om het klimaat van een regio te bepalen?, enz.)
- Na een korte inleiding over de gevolgen van de huidige klimaatverandering (opwarming, toename van de neerslag op bepaalde plaatsen, ...) aan de leerlingen vragen om zelf een 'weerbericht' op te stellen voor een dag in het jaar 2020 in eigen regio, en met behulp van de tabel met de meteorologische metingen. (Zie ook het volgende dossier 'Klimaatverandering (2/2): gevolgen in de wereld en in de poolgebieden')
- De leerlingen laten nadenken over het klimaat in eigen regio in het jaar 2020. Zal deze nog altijd in dezelfde klimaatzone liggen? Indien niet, in welke zone dan wel?



## 2) "EXPERIMENTEN IN VERBAND MET HET BROEIKASEFFECT"

Doelgroep	12-15 jaar	Duur	45 minuten
Doel	Het broeikaseffect beter begrijpen aan de hand van een experiment		

Naargelang van het niveau van de leerlingen en de uitleg die ze hebben gekregen, hen het gevolg van de drie volgende situaties laten raden, of ze hen uitleggen:

- Het recipiënt zonder plasticfilm stelt de aarde voor zonder broeikaseffect
- Het recipiënt met plasticfilm met gaatjes stelt het natuurlijke broeikaseffect voor
- Het recipiënt met plasticfilm zonder gaatjes stelt het versterkte broeikaseffect voor (met bijkomend broeikaseffect)

## 3) DENKOEFFENING IN GROEP EN ACTIVITEIT "WAT KUNNEN WE ZELF DOEN?"

Doelgroep	15-18 jaar	Duur	30 minuten
Doel	Nadenken over reële acties (groepswork), mogelijkheid om een concreet project te realiseren om de emissie van broeikasgassen te verminderen		

Naargelang van de voorkeuren kan de leerkracht de groepjes leerlingen aanmoedigen om grote projecten te kiezen (vb. communicatiecampagnes in de school, evaluatie van het energieverbruik van de school en de mogelijkheden om te bezuinigen, enz.), of eerder voor persoonlijke en geïsoleerde acties te opteren (vb. de verwarming thuis een graad lager zetten). Grote projecten bieden de leerkracht de kans om verschillende thema's ver uit te diepen (energie, vervuiling, enz.). Bovendien kan hier al veel gemakkelijker een succesvolle communicatiecampagne aan verbonden worden. Over het algemeen zullen grote projecten ook een belangrijke impact hebben. Zonder een dergelijke sterke motivatie is het niet gemakkelijk om dingen te veranderen! Uiteraard zijn kleine acties soms veel gemakkelijker om in de klas toe te passen.

Andere voorbeelden van grote projecten:

- Een lijst opstellen van de meest en minst vervuilende auto's van het moment en een overzicht van de nieuwste technologieën om het brandstofverbruik te verminderen (verschillende soorten hybride auto's, auto's die op waterstof rijden, elektrische auto's, enz.). De leerlingen van de klas een kopie van het resultaat geven. Opmerking: vragen om na te gaan hoe waterstof en elektriciteit worden geproduceerd .
- Een onderzoek instellen naar de hoeveelheid ozon in de atmosfeer in de regio (bij een weerstation in de regio).
- Een week organiseren over voeding op school, conferenties organiseren en affiches maken die niet alleen bewust maken van de impact van onze voeding op onze gezondheid, maar ook op het milieu (emissie van broeikasgassen, ontbossing, goederentransport, enz.).

Na een korte introductie over de belangrijkste bronnen van broeikasgassen, kunnen we de leerlingen vragen om voor elke activiteit in hun lijst aan te duiden van welke broeikasgas(sen) ze de emissies vermindert.

## ANDERE IDEEËN VOOR ACTIVITEITEN

- Experimenten uitvoeren die duidelijk maken hoe complex de klimaatverschijnselen zijn. Bijvoorbeeld op verschillende plaatsen rond de school de temperatuur opmeten op verschillende momenten van de dag om de dagelijkse variaties en de temperatuurverschillen op de verschillende plaatsen vast te stellen.
- Een (fictief) weerbericht opstellen dat in de klas wordt voorgesteld zoals het weerbericht op televisie. Kijk voor documentatie en ideeën op <http://www.meteo.be/meteo/view/> .
- Op het internet de laatste cijfers over de emissie van broeikasgassen in je land opzoeken. België: <http://www.climat.be/> op <http://www.klimaat.be/>

# DE METEOROLOGIE EN HET KLIMAAT

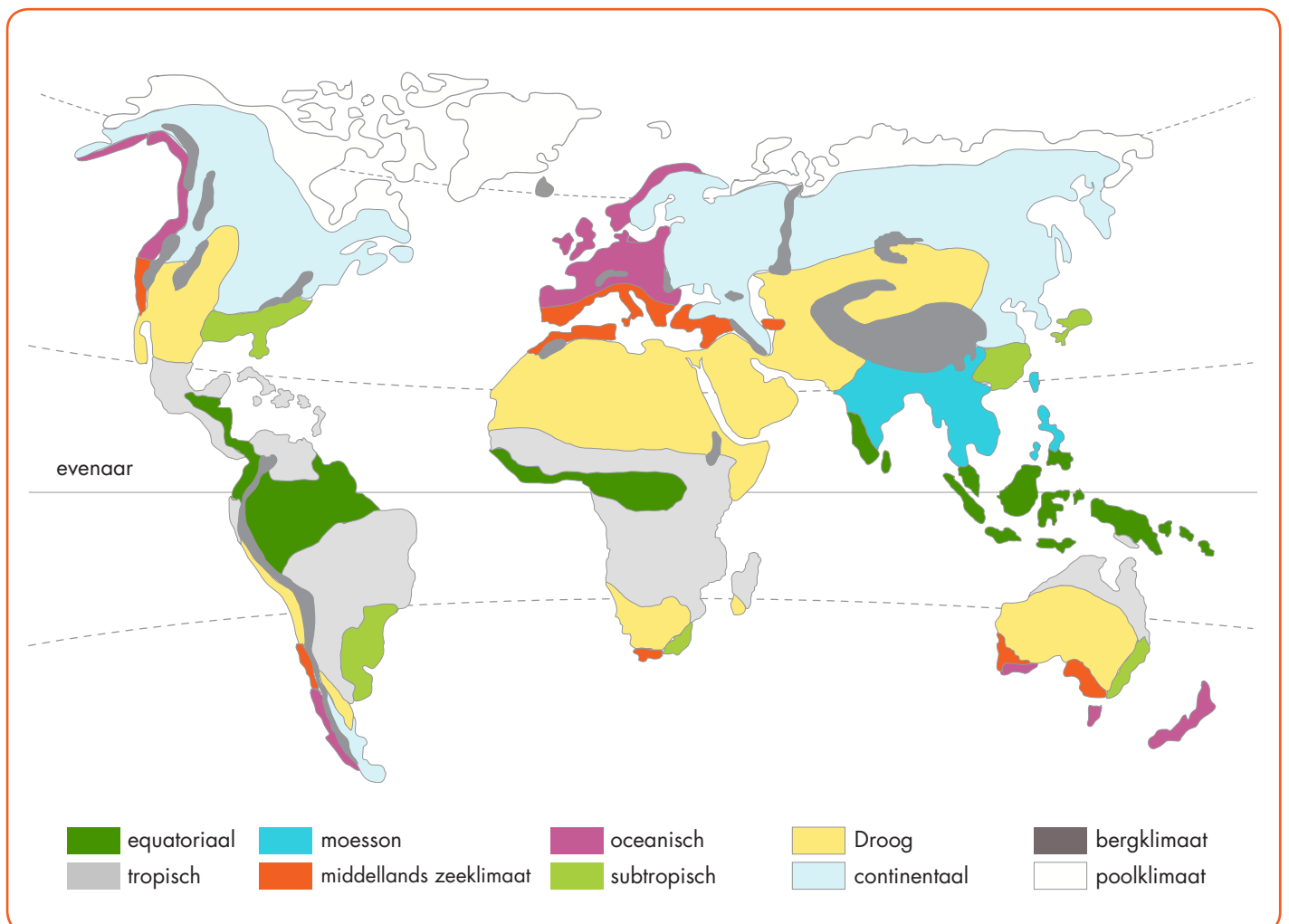
## 1) METEOROLOGISCHE METINGEN

Meteorologie is de wetenschap die de variaties in de weersverschijnselen bestudeert (wolken, regen, sneeuw, wind, ...). Het doel is te begrijpen hoe deze verschijnselen ontstaan en hoe ze evolueren. Men gebruikt hiervoor nauwkeurige terreingegevens, zoals de temperatuur, de vochtigheidsgraad, ...

Datum										
Temperatuur										
Vochtigheidsgraad										
Neerslag (in cm)										
Windsnelheid										
Windrichting										
Wolkendek										
Soort weer										

## 2) HET KLIMAAT IN MIJN STREEK, VANDAAG EN MORGEN

Klimatologie is de wetenschap die de opeenvolging van de weersomstandigheden over lange perioden op een bepaalde plaats bestudeert aan de hand van statistieken op basis van minimum 30 jaar metingen. Hiermee kan men het klimaat van een regio definiëren.





# EXPERIMENTEN MET HET BROEIKASEFFECT

## SIMULATIE VAN HET PRINCIPE VAN HET BROEIKASEFFECT

### MATERIAAL

- 3 doorzichtige slakommen / aquaria
- 3 thermometers
- 3 bureaulampen als er geen zon is
- 1 rol plasticfilm

### HET EXPERIMENT

1. De 3 recipiënten vullen met dezelfde hoeveelheid water (ongeveer 2 cm)
2. Een thermometer tegen de binnenwand bevestigen en erop letten dat het uiteinde van de thermometer zich onder water bevindt
3. Twee van de recipiënten met plasticfilm bedekken
4. In een van de films die over de recipiënten gespannen zijn gaatjes maken met ongeveer 1 cm diameter
5. De 3 recipiënten in de zon zetten (of onder een lamp van 100 Watt)
6. Gedurende 30 minuten de temperatuurverschillen in elk recipiënt elke 5 minuten opmeten en ze noteren.

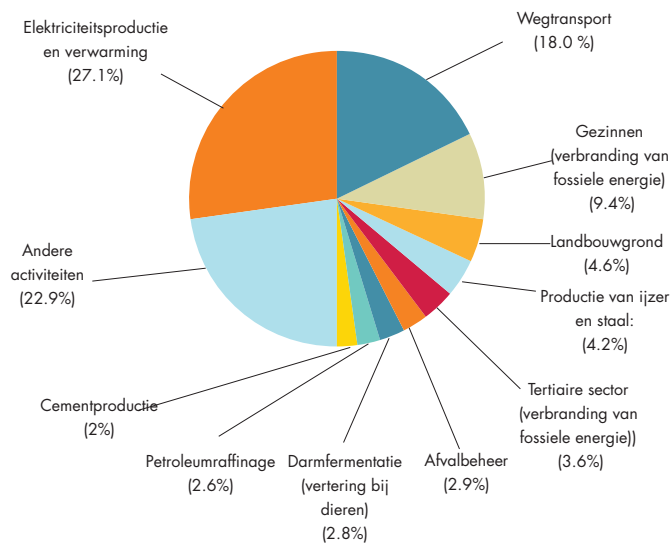
Recipiënt 1	Uur						
	Temperatuur						
Recipiënt 2	Uur						
	Temperatuur						
Recipiënt 3	Uur						
	Temperatuur						

7. Een rapport opstellen dat de volgende gegevens bevat:

- een grafiek met de meetgegevens (drie curven in één grafiek)
- een fysische verklaring voor het verschil in de metingen tussen de recipiënten
- het antwoord op de volgende vragen:
  - a) Wat is de gelijkenis tussen dit experiment en het broeikaseffect?
  - b) Wat stelt elk recipiënt voor?
  - c) Wat zijn de belangrijkste broeikasgassen?
  - d) Welke menselijke activiteiten produceren broeikasgassen?

# WAT KUNNEN WE ZELF DOEN?

↳ Verdeling van de broeikasgassen in Europa (EU-27) per sector voor het jaar 2006  
(Bron: European Environment Agency, rapport nr. 5/2008)



## 1) GEGEVENS

In Europa zijn de emissies van broeikasgassen vooral afkomstig van de elektriciteitsproductie, verwarmingssystemen en de transportsector (individueel en goederentransport).

De industrie produceert eveneens veel broeikasgassen omdat ze fossiele energiebronnen gebruikt om de fabrieken van energie te voorzien, of omdat de fabricageprocessen deze gassen direct produceren (vb. chemische producten).

Andere bronnen zijn bijvoorbeeld de airconditioningsystemen (auto's of gebouwen), veeteelt, meststoffen die in de landbouw worden gebruikt, enz.

Als de Europeanen het huidige beleid en de maatregelen niet veranderen, zal het energieverbruik tegen 2030 met 26% stijgen – en zullen de fossiele brandstoffen de belangrijkste energiebron blijven .

Opmerking: de emissies van internationaal lucht- en zeetransport zijn niet in deze grafiek opgenomen (want ze zijn niet opgenomen in het Kyoto-protocol). Als ze in de grafiek zouden worden opgenomen, zouden ze respectievelijk 2,4 en 3,2 % van de emissies van de EU-27 vertegenwoordigen.

## 2) ALLES IS MOGELIJK

Maak een lijst van alle acties die je volgens jou in je omgeving kunt ondernemen en die bijdragen tot het verminderen van de broeikasgasemissies. De mogelijke acties gaan van kleine, dagelijkse activiteiten (vb. het licht uitdoen) tot acties in de media (vb. sensibiliseringscampagne) en acties op school (vb. installatie van een systeem voor het recycleren van afval).

Je lijst moet minstens 15 verschillende voorstellen bevatten.

## 3) EN NU, AAN DE SLAG!

Kies 5 voorstellen uit de lijst die je volgens jou kunt uitvoeren. Nummer ze van 1 tot 5. Zet de actie die je zelf het belangrijkste vindt en die je direct en elke dag in praktijk wilt brengen, bovenaan.

En ga dan aan de slag: breng de actie die je het cijfer 1 hebt gegeven vanaf nu elke dag in praktijk!