

# HOOFDSTUK 1. DE EVOLUTIE VAN HET KLIMAAT IN BELGIË

## 1.1 Inleiding

Is het klimaat van ons land in het verleden veranderd? Verandert ons klimaat nu? Zijn de neerslaghoeveelheden bij onweertijd overvloediger, komen zij meer voor? Zijn er meer hittegolven? Dit zijn enkele van de vele vragen die dagelijks aan het KMI worden gesteld sinds de problematiek van de klimaatveranderingen regelmatig opduikt in de media.

In een poging om op deze vragen een antwoord te geven, stellen wij in dit hoofdstuk de resultaten voor van meerdere trendanalyses tijdens de 20ste eeuw, uitgevoerd op een reeks klimatologische parameters. De studie van het klimaat van een bepaalde regio en de evolutie ervan is niet mogelijk tenzij men over reeksen waarnemingen van hoge kwaliteit beschikt die over een voldoende lange periode werden uitgevoerd. Daarom zullen we, voor we een reeks resultaten van de trendanalyses van het klimaat in ons land voorstellen, eerst het netwerk van de waarnemingen dat door de wetenschappers gebruikt kan worden, beschrijven.

De langste reeksen klimatologische waarnemingen in België zijn die van de regio Brussel, die al sinds 1833 op regelmatige basis uitgevoerd worden. Eerst in Sint-Joost-ten-Node (op de oude site van de Sterrenwacht van België) en daarna in Ukkel vanaf 1886. Toen moest de Sterrenwacht naar de zuidelijke rand van de stad verhuizen om een betere omgeving te hebben voor de astronomische waarnemingen. We beschikken dus over reeksen metingen van meer dan 100 jaar voor de temperatuur, de luchtvochtigheid, de hoeveelheid en het aantal dagen neerslag, de luchtdruk, de windsnelheid, de zonnenschijnduur, het aantal dagen met sneeuw en de sneeuwbedekking van de bodem.

Het KMI heeft studies van hoge kwaliteit uitgevoerd op de waarnemingen van Sint-Joost-ten-Node/Ukkel om ze zo goed mogelijk te "homogeniseren". Deze homogenisering werd dikwijls enkel voor de maandelijkse waarden van de parameters uitgevoerd. Om een klimatologische reeks te homogeniseren moeten de tijdelijke tendensen, die in een reeks voorkomen door niet-klimatologische factoren<sup>2</sup>, geëlimineerd worden. De verplaatsing van het station van Sint-Joost-ten-Node naar de waarnemingsplaats van Ukkel, bijvoorbeeld, heeft gezorgd voor een wijziging in de temperatuurwaarden door de verandering van de eigenschappen van de omgeving (hoogte, openheid van het meetpunt, ...). Om dit probleem op te lossen werd tussen 1886 en 1890 de temperatuur op beide waarnemingsplaatsen tegelijkertijd gemeten. Na de analyse van de verschillen tussen de twee metingen, werden de gemiddelde maandtemperaturen, gemeten in Sint-Joost-ten-Node tussen 1833 en 1885, "verbeterd" om ze "aan te passen" aan de metingen die daarna in Ukkel uitgevoerd werden. Dankzij dit werk hebben we nu een thermometrische reeks van meer dan 180 jaar waaruit we, door analyse, kunnen afleiden of er tijdens die periode eventueel een thermometrische tendens was in de regio Brussel.

Voor de studie van het regionale klimaat en zijn evolutie worden er heel nuttige data gehaald uit de meetgegevens die het Belgisch klimatologische netwerk ter beschikking stelt. Dit netwerk, met vandaag al meer dan 250 meetpunten, werd opgericht in de jaren 1870. Het bestaat uit quasi vrijwillige waarnemers die elke ochtend rond 8 uur, nauwgezet een aantal waarden opmeten. Deze waarden zijn bijvoorbeeld de hoeveelheid neerslag in 24 uur en enkelen onder hen meten ook de minimum- en maximumtemperaturen. De bedoeling van dit netwerk is metingen te hebben van het hele Belgische grondgebied, maar de homogeniteit van die reeksen is minder zeker dan in Ukkel en het aantal stations dat reeksen metingen heeft van meer dan 50 jaar is vrij beperkt.

Op de vliegvelden van de Luchtmacht (militaire luchtvaart) en Belgocontrol (burgerluchtvaart) volgen ook professionele waarnemers de evolutie van het weer en geven deze waardevolle informatie door aan het KMI. Deze vijftiental stations zijn bijna allemaal al verschillende decennia operationeel; hun waarnemingsplaats is dikwijls zeer open zodat er geen hinderlijke invloed is van obstakels die zich in de buurt bevinden.

<sup>2</sup> Men zegt dat deze factoren aan de basis liggen van de "heterogeniteit" van de reeks.

## 1.2 Klimatologische tendensen

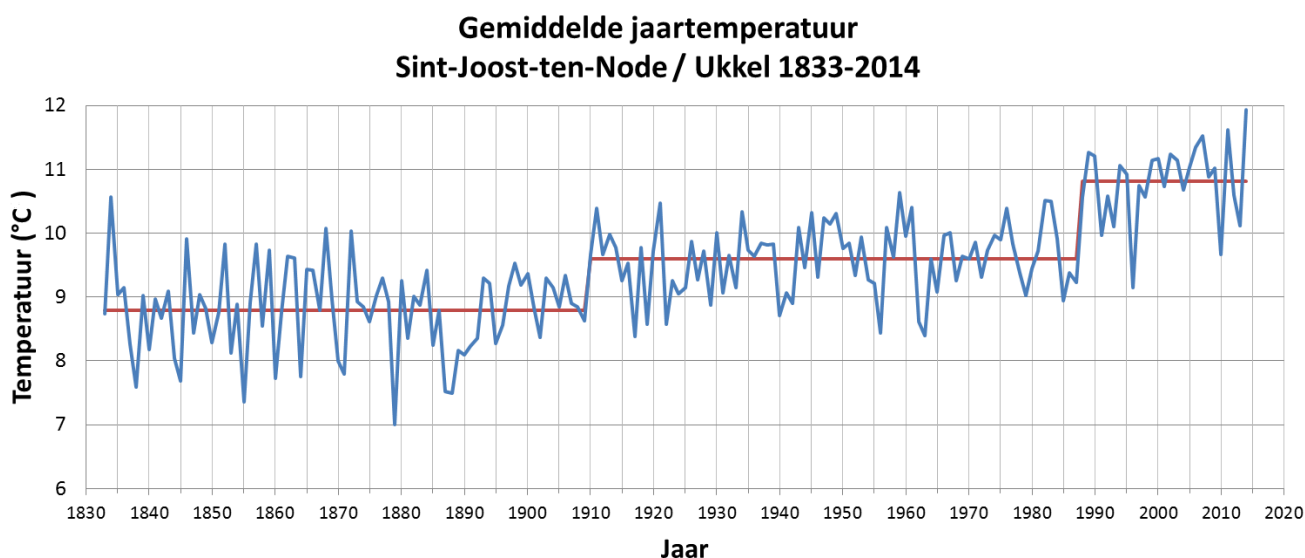
De statistische analyse van de langste klimatologische reeksen van Sint-Joost-ten-Node/Ukkel en van de gegevens van enkele andere stations in het land laten het KMI toe het Belgische klimaat te “surveilleren” en zijn evolutie te analyseren. In de actuele context van de studie van de klimaatveranderingen op planetaire schaal<sup>3</sup> zullen wij, als dit mogelijk is, antwoorden op de vaakst gestelde vragen van het publiek en de media wat de evolutie van het Belgische klimaat betreft.

### 1.2.1 Temperaturen

#### Stijgen de temperaturen?

De temperaturen en hun evolutie zijn interessant voor verschillende domeinen of activiteitensectoren, zoals de landbouw, de energieconsumptie, het hogere sterftecijfer bij risicobevolkingen en de geografische spreiding van de fauna.

Om te antwoorden op de gestelde vraag kunnen we best de lange homogene reeksen met temperaturen van Sint-Joost-ten-Node en Ukkel bestuderen. Figuur 1.1 geeft eerst en vooral de evolutie van de gemiddelde jaartemperatuur tussen 1833 en 2014. Voor de beschouwde periode werd de temperatuur aangepast volgens deze gemeten in een standaard gesloten thermometerhut. We zien dat er een globale opwarming is van ongeveer 2°C in die periode. De stijging van de temperaturen was niet gelijkmatig. Zij deed zich voor in twee relatief abrupte etappes: er was een eerste zeer significante<sup>4</sup> stijging rond 1910 en een tweede, eveneens zeer opmerkelijke, aan het einde van de jaren 1980. In beide gevallen bedroeg deze stijging ongeveer één graad. De verschillende periodes van relatieve stabiliteit van de temperatuur zijn voorgesteld in figuur 1.1 door horizontale segmenten, die de gemiddelde jaartemperatuur weergeven voor elke periode.



Figuur 1.1. Gemiddelde jaartemperatuur (in °C) in Sint-Joost-ten-Node/Ukkel tijdens de periode 1833-2014.

3 Voor dit onderwerp verwijzen wij de lezers naar de laatste rapporten van de intergouvernementele experts van het IPCC verschenen in 2014 op de website <http://www.ipcc.ch/>

4 In het vervolg van de tekst zal men zeggen dat de tendens of de evolutie van een parameter “significant”, “opmerkelijk” of “duidelijk” is als het statistisch resultaat van de waarnemingsreeks van die parameter aangeeft dat de tendens statistisch “significant” is. Indien de verandering van een parameter “zeer significant” is zullen we zeggen dat de tendens “zeer significant”, “zeer opmerkelijk” of “zeer duidelijk” is. In de andere gevallen zal men zeggen dat de parameter geen enkele significante tendens vertoont of dat hij “stabiel” is. Voor bijkomende details verwijzen wij de lezer naar de kader “Statistische detectie van een klimaatverandering”.

Het onderzoek van de reeksen met de seizoentemperaturen toont aan dat de gemiddelde temperatuur in de winter en in de lente, net zoals de jaarlijkse gemiddelde temperatuur, ook een eerste, vrij abrupte en zeer opmerkelijke opwarming heeft gekend rond 1910 en een tweede tegen het einde van de jaren 1980. De zomer en de herfst hebben ook twee zéér opmerkelijke periodes van opwarming meegemaakt, maar de eerste manifesteerde zich rond 1925-1930 en de tweede rond het begin van de jaren 1980.

Samengevat kunnen we dus besluiten dat er een onweerlegbare stijging is in de jaar- en seizoentemperaturen vanaf de 19de eeuw. Deze stijging is in twee etappes gebeurd: eerst een eerste opwarming in het begin van de 20ste eeuw en dan een tweede, van een gelijkaardige amplitude, tijdens de jaren 1980. De analyse van de gegevens van andere meetpunten, digitaal beschikbaar sinds het midden van de jaren 1950, toont aan dat de opwarming van de jaren 1980 overal in het land gebeurd is.

Sinds het einde van de jaren 1980 bedraagt de gemiddelde jaarlijkse temperatuur 10,8°C, dus ongeveer 2,0°C meer dan het gemiddelde van de periode 1833-1910, d.i. voor de eerste significante opwarming waargenomen te Brussel-Ukkel. Wat betreft het meest recente verleden, was het jaar 2014 het warmst sinds het begin van de waarnemingen te Brussel-Ukkel (de temperatuur bedroeg 11,9°C). De andere zes warmste jaren zijn respectievelijk : 2011 (11,6°C), 2007 (11,5°C), 2006 (11,4°C), 1989 (11,3°C), 2002 en 1990 (11,2°C). De 4 warmste jaren deden zich voor na 2005 en de 18 warmste jaren na 1988, of met andere woorden, tijdens de loop van de laatste 26 jaar.

### Statistische detectie van een klimaatverandering

Om de klimaatveranderingen te kunnen bestuderen, is er een analyse van de interne structuur van de klimatologische tijdsreeksen zonder heterogeniteiten nodig. Twee testen zijn gezamenlijk nuttig in deze studie om het gedrag van de bestudeerde reeksen te bepalen: de test van *Pettitt* en de test van *Mann-Kendall* (voor meer informatie verwijzen we de lezer naar de bibliografie aan het einde van het hoofdstuk).

De veranderingen in een reeks kunnen te wijten zijn aan, hetzij een heterogeniteit te wijten aan een wijziging van de waarnemingsplaats, de gebruikte instrumenten of de waarnemingsmethode, hetzij aan een verandering van de weertypes waarvan de gemiddelden en de extremen het klimaat van een regio bepalen. In het laatste geval kunnen de klimaatveranderingen, schematisch beschouwd, zich onder verschillende vormen (of combinaties ervan) voordoen:

- Progressief (min of meer lineaire tendens naar boven of naar onder),
- Abrupt (een of meerdere sprongen, naar boven of naar onder in de tijdsreeks),
- Cyclisch (opeenvolgende en progressieve tendensen, naar boven of naar onder).

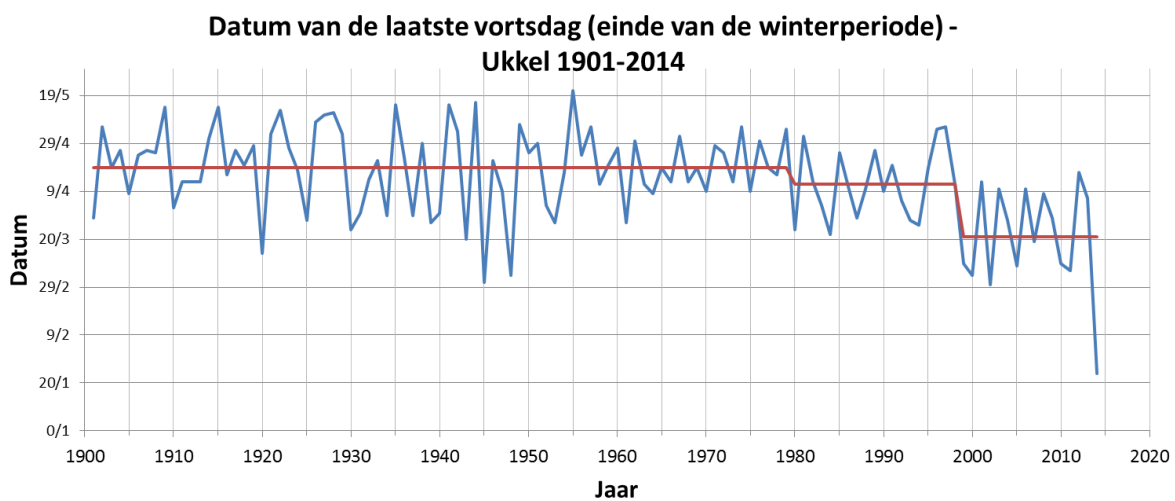
Meestal kan de reeks dalende of stijgende tendensen vertonen over de ganse bestudeerde periode. In de discussies over de trendanalyse zullen we soms verplicht zijn een onderscheid te maken tussen tijdelijke tendensen tijdens de beschouwde periode en een globale trend over de gehele periode.

Als we statistische testen toepassen, bepalen we een drempel vanaf welke we denken dat er in de reeks een duidelijke verandering waarneembaar is. Meestal neemt men een sleutelwaarde van de statistische test die overeenkomt met de waarschijnlijkheid om deze statistische waarde te bekomen in afwezigheid van een verandering (meestal 5 of 10%). In dit hoofdstuk zal een resultaat als statistisch significant of zeer significant worden beschouwd als de waarschijnlijkheid dat de verandering op een foutieve manier is verkregen maximum 10 of 5% bedraagt (dit wil zeggen dat het kanspercentage dat de verandering te wijten is aan toeval en niet aan een echte klimaatverandering maximaal respectievelijk 10% en 5% bedraagt).

Als we de reeksen met extreme temperaturen in Ukkel sinds 1901 bekijken, valt het op dat de opwarming tijdens de eerste helft van de 20ste eeuw vooral te wijten was aan een zeer significante stijging van de maximale temperaturen, terwijl de opwarming tijdens de jaren 1980 te wijten was aan een zeer opmerkelijke stijging van zowel de maximale als de minimale temperaturen. Het zou interessant zijn om na te gaan of de klimaatmodellen die de evolutie van het klimaat sinds het begin van de 20ste eeuw simuleren, boven onze regio's hetzelfde gedifferentieerd gedrag vertonen en of ze toelaten dit fysisch te kunnen verklaren.

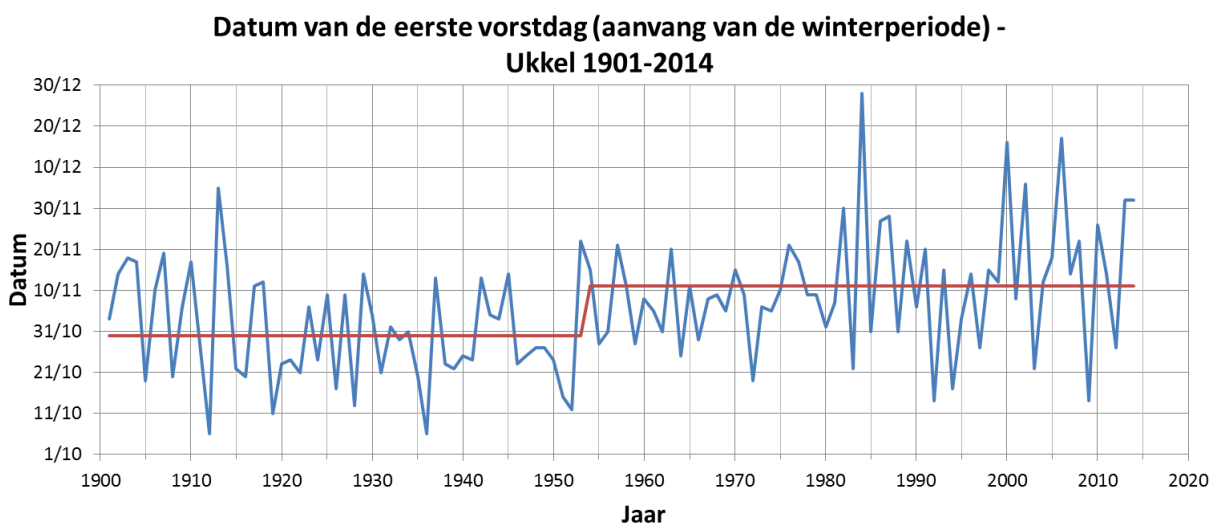
De stijging van de minimumtemperaturen tijdens de 20ste eeuw weerspiegelt zich eveneens in de datums van de eerste en de laatste vorstdag in de loop van een jaar. We gebruiken hier de minimale dagtemperaturen die sinds 1901 gemeten worden in een halfopen thermometerhut in het klimatologisch park van het KMI. Deze reeks is de meest homogene wat betreft de overzichten van dagelijkse extreme temperaturen.

In figuur 1.2 zien we de evolutie sinds 1901 van de laatste vorstdag in Ukkel, aan het einde van de winterperiode. De laatste decennia vertoont het einde van de vorstperiode de tendens zich vroeger in het jaar te manifesteren. De statistische analyse van de waarnemingsreeks toont aan dat deze tendens hoofdzakelijk te wijten is aan twee relatief abrupte stijgingen. De eerste opmerkelijke sprong rond 1980 en de tweede zeer opmerkelijke sprong rond 2000. In 2014 was het einde van de vorstperiode uitzonderlijk vroeg.



Figuur 1.2. Datum van de laatste vorstdag (minimumtemperatuur lager dan 0°C) op het einde van de winter in Ukkel tussen 1901 en 2014.

Vergelijkbaar hiermee toont figuur 1.3 de jaarlijkse evolutie sinds 1901 van de datum van de eerste vorstdag bij de aanvang van de winterperiode die eveneens coherent is met de stijging van de temperaturen. In de loop van de 20ste eeuw vertoont de aanvang van de vorstperiode op het einde van het jaar de tendens zich later te manifesteren. Zoals de trendanalyse het aangeeft, is deze evolutie hoofdzakelijk te wijten aan een relatief abrupte en zeer opvallende sprong rond 1955.



Figuur 1.3. Datum van de eerste vorstdag (minimumtemperatuur lager dan 0°C) bij de aanvang van de winter in Ukkel tussen 1901 en 2014.

Het gevolg van de evolutie van deze data van aanvang en einde van de vorstperiodes in de loop van het jaar is een verlenging tijdens de 20ste eeuw van de maximale duur van het aantal opeenvolgende dagen zonder vorst. Twee abrupte sprongen worden gedetecteerd: de eerste, significant, rond 1955 en de tweede, zeer duidelijk, nabij het einde van de jaren 1990.

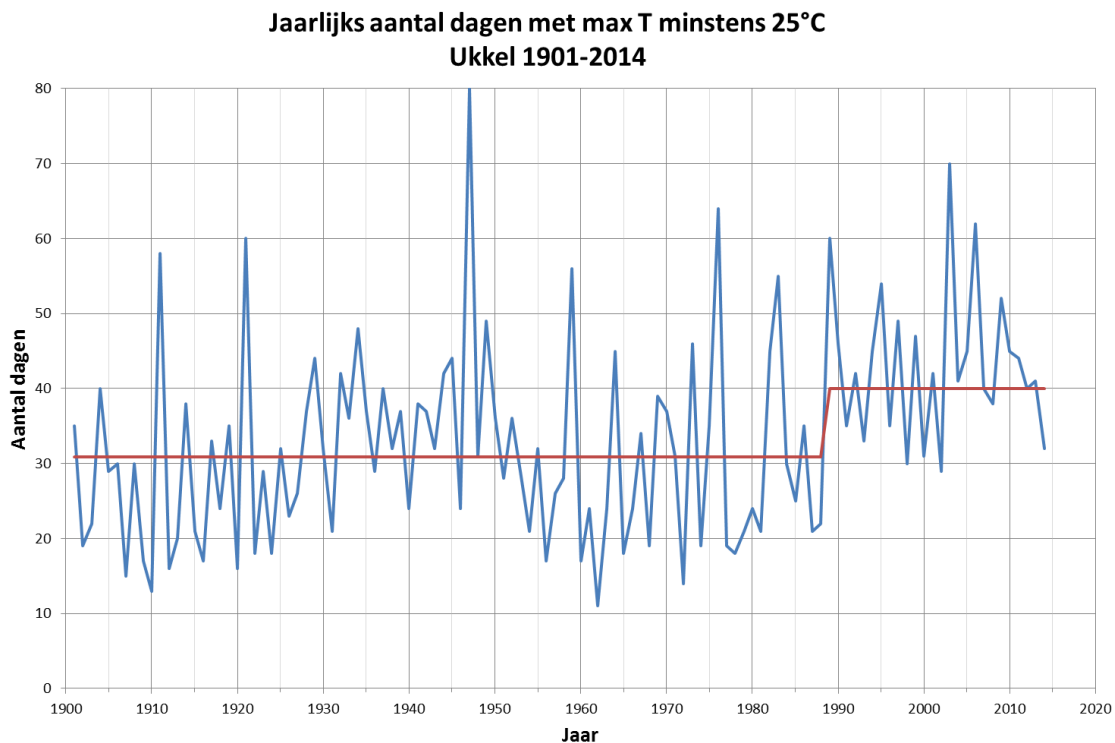
Om te eindigen kan men zich afvragen of de verstedelijking van Brussel niet, althans voor een deel, bijgedragen heeft aan de opwarming die we in Ukkel tijdens de 20ste eeuw konden vaststellen. Recente theoretische studies uitgevoerd op het KMI tonen aan dat de toename van de totale ondoordringbare oppervlakten in de Brusselse agglomeratie sinds de jaren 1960 geleid heeft tot een grotere opwarming dan in rurale gebieden (Hamdi *et al*, 2009; Hamdi and Van de Vyver, 2011). Wij stellen enkele resultaten van deze studies voor in hoofdstuk 4, die meer bepaald een grotere impact van de urbanisatie illustreren op de minimumtemperaturen.

### Zijn er meer hittegolven?

Om na te gaan of er een evolutie is in de frequentie en de intensiteit van de hittegolven, beschikken we in het station in Ukkel over verschillende reeksen met dagelijkse thermometrische metingen over min of meer lange perioden. We gebruiken ook hier de extreme dagtemperaturen die sinds 1901 gemeten worden in een halfopen thermometerhut, gelegen in het klimatologische park van het KMI.

Laten we eerst en vooral de evolutie bekijken van het aantal dagen per jaar dat de maximale temperatuur minimum 25°C bereikt (zie figuur 1.4), deze worden *zomerdagen* genoemd.

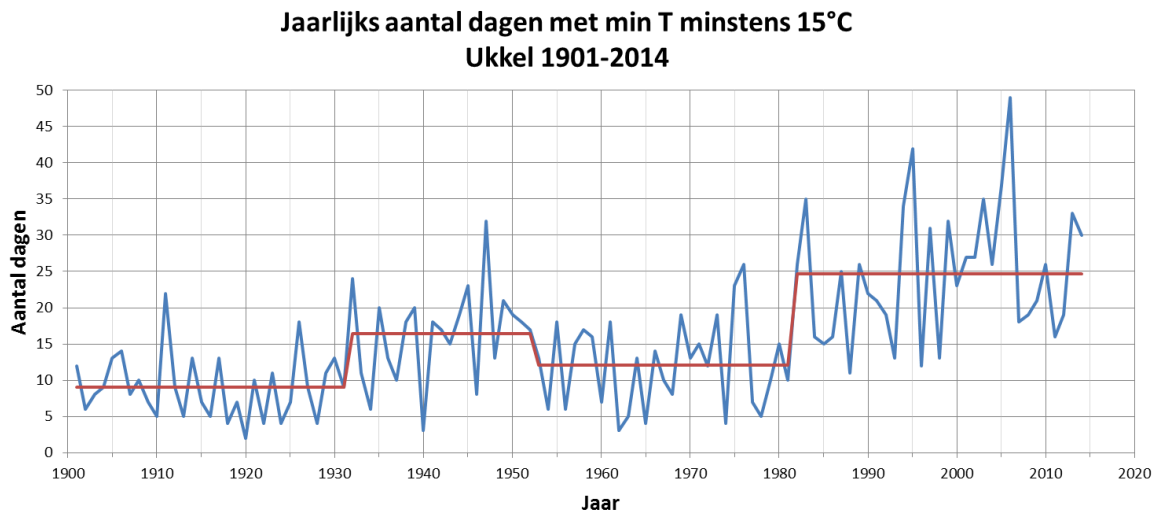
De figuur 1.4 toont aan dat na de opwarming tijdens de zomer in de jaren 1980 het aantal zomerdagen is toegenomen. Deze toont eveneens aan dat waarden vergelijkbaar met de hoogste opgemeten waarden uit het begin van de 21ste eeuw, reeds in het verleden waargenomen werden zij het op een meer punctuele wijze (het absolute record dateert van 1947). Men stelt een belangrijke variabiliteit vast op een schaal van enkele decennia: na een relatief abrupte stijging van deze parameter rond het einde van de jaren 1920, werd een daling waargenomen aan het begin van de jaren 1950 en, uiteindelijk, doet zich in de jaren 1980 een nieuwe zeer significante stijging voor die tot op heden verder gaat. 2014 onderscheidt zich door een relatief lage waarde voor deze parameter.



Figuur 1.4. Jaarlijks aantal zomerdagen (maximumtemperatuur  $\geq 25^\circ\text{C}$ ) in Ukkel tijdens de periode 1901-2014.

Een gelijkaardige vaststelling is toepasselijk op het *jaarlijkse aantal hittedagen* (d.w.z. aantal dagen per jaar dat de maximale temperatuur hoger dan of gelijk is aan 30°C).

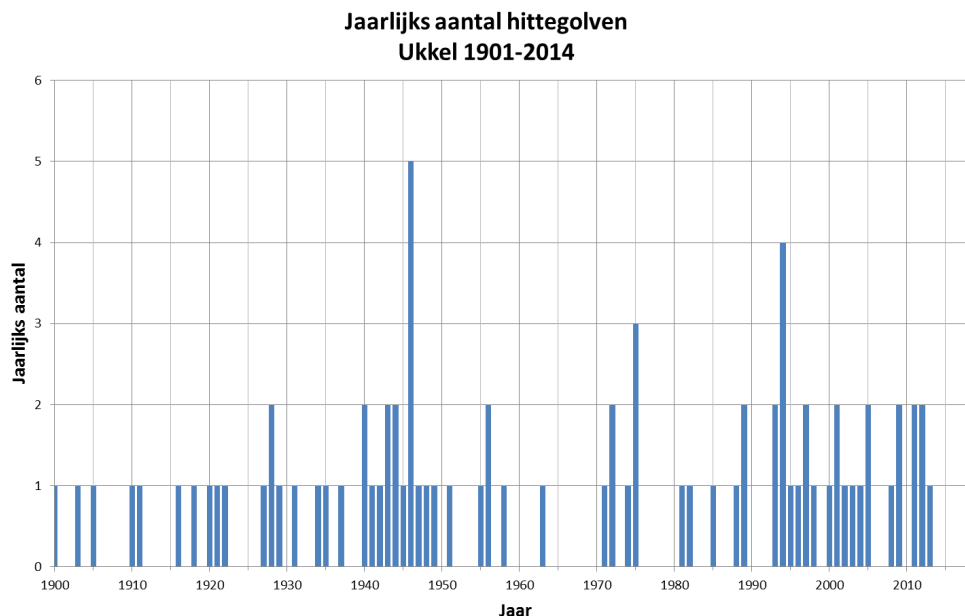
Zoals voor de hoogste maximumtemperaturen zijn hoge nachtelijke temperaturen eveneens niet zonder gevolg voor de gezondheid van risicogroepen. Figuur 1.5 toont de evolutie sinds 1901 van het jaarlijkse aantal dagen waarop de dagelijkse minimumtemperatuur minstens 15°C bereikte. De stijgende tendens van deze parameter tijdens de 20ste eeuw staat buiten discussie, met een eerste zeer opmerkelijke "sprong" naar omhoog vastgesteld rond het midden van de jaren 1930 en, vooral, een tweede sprong omhoog, eveneens zeer opmerkelijk, in het begin van de jaren 1980. Het is eveneens opmerkelijk dat de waarden die de laatste jaren werden bereikt zeer hoog zijn.



Figuur 1.5. Jaarlijks aantal dagen met een minimumtemperatuur  $\geq 15^{\circ}\text{C}$  in Ukkel tijdens de periode 1901-2014.

Laten we nu de evolutie van het aantal hittegolven onderzoeken. Wij zullen hier op een eenvoudige manier een hittegolf definiëren als zijnde een periode van vijf opeenvolgende dagen tijdens welke aan de twee volgende criteria gelijktijdig wordt voldaan:

- De maximumtemperatuur bereikt of overtreft elke dag 25°C,
- De maximumtemperatuur bereikt of overtreft 30°C tenminste gedurende drie dagen van de beschouwde periode.



Figuur 1.6. Jaarlijks aantal hittegolven in Ukkel tijdens de periode 1901-2014.

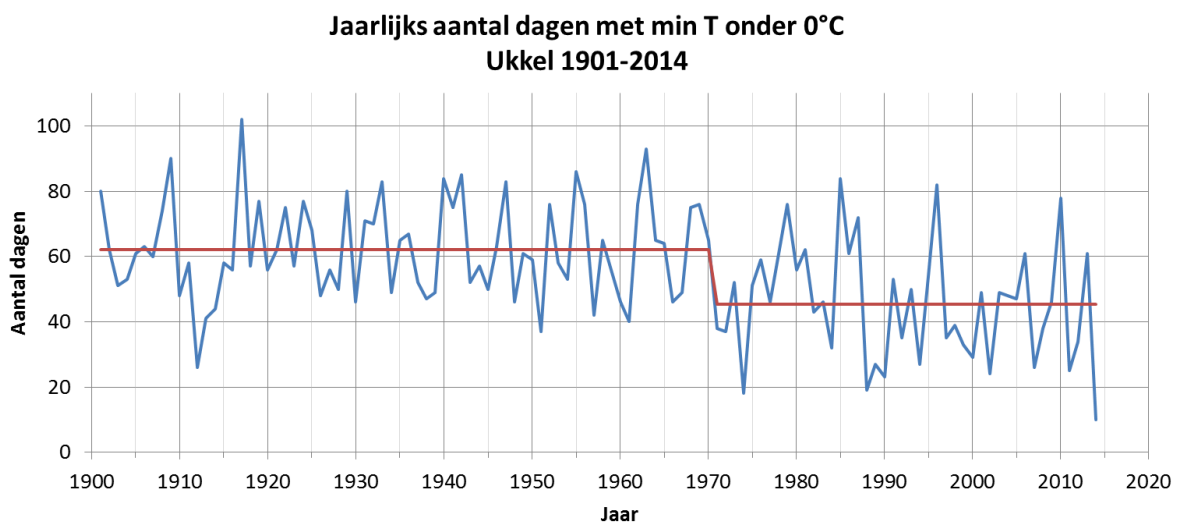
Figuur 1.6 illustreert de evolutie van het jaarlijkse aantal hittegolven te Ukkel sinds 1901. Wij merken een grote variabiliteit van het ene jaar naar het andere. Sinds het begin van de 20ste eeuw stellen wij vast dat er gemiddeld ongeveer elke twee jaar minstens één hittegolf is. De trendanalyse geeft een significante stijging aan van deze parameter rond het begin van de jaren 1990. Men merkt op dat de hittegolven frequenter waren tijdens de jaren 1940 en dit sinds een twintigtal jaren opnieuw zijn.

### Zijn er minder koudegolven?

Hiervoor gebruiken we ook de dagelijkse extreme temperaturen, sinds 1901 gemeten in een halfopen thermometerhut gelegen in het klimatologische park van het KMI.

Voordat we proberen een antwoord op deze vraag te vinden, gaan we eerst de evolutie sinds 1901 van het aantal dagen per jaar dat de minimumtemperatuur onder 0°C lag, bekijken (zie figuur 1.7). Dit noemen wij het *jaarlijkse aantal vorstdagen*.

Sinds het begin van de 20ste eeuw wordt er een onbetwistbare daling van deze parameter waargenomen. Rond 1970 vond er een, statistische zeer opvallende, abrupte daling plaats. De laagste waarde werd in 2014 waargenomen.



Figuur 1.7. Jaarlijks aantal vorstdagen (minimumtemperatuur < 0°C) in Ukkel tijdens de periode 1901-2014.

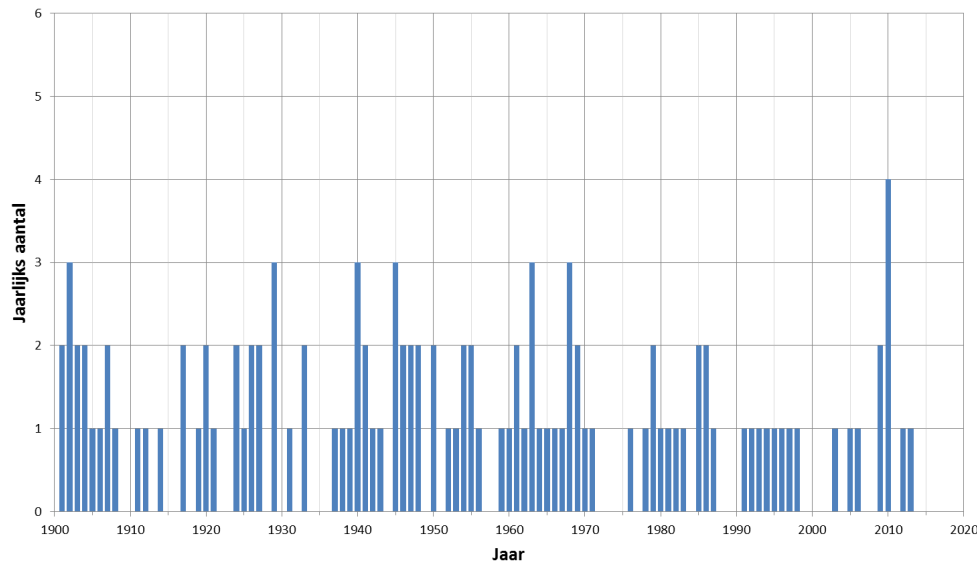
Laten we nu de vraag van de koudegolven onderzoeken. Zoals een hittegolf zullen we hier op een eenvoudige manier een koudegolf definiëren: een periode van vijf opeenvolgende dagen tijdens welke aan de twee volgende criteria gelijktijdig wordt voldaan:

- De minimumtemperatuur is elke dag negatief (dit wil zeggen dat elke dag een vorstdag is),
- De maximumtemperatuur is tijdens de beschouwde periode minstens drie keer negatief (dat wil zeggen dat er minstens drie winterdagen zijn tijdens de periode en dat het dus permanent vriest).

Figuur 1.8 illustreert de evolutie van het aantal koudegolven in Ukkel sinds 1901. Wij merken op dat er een grote variabiliteit is van het ene jaar naar het andere; sinds het begin van de 20ste eeuw was er gemiddeld bijna elk jaar minstens één koudegolf. De trendanalyse vertoont een afname van de frequentie van de koudegolven met een opvallende sprong naar beneden rond het begin van de jaren 1970.

Het is interessant op te merken dat de opwarming die zich heeft voorgedaan tijdens de winter en in de lente in het begin van de 20ste eeuw niet direct aanleiding heeft gegeven tot een afname van het aantal koudegolven, terwijl de afname van het verschijnsel duidelijk verbonden is aan de opwarming aan het einde van de 20ste eeuw.

Jaarlijks aantal koudegolven  
Ukkel1901-2014



Figuur 1.8. Jaarlijks aantal koudegolven in Ukkel tijdens de periode 1901-2014.

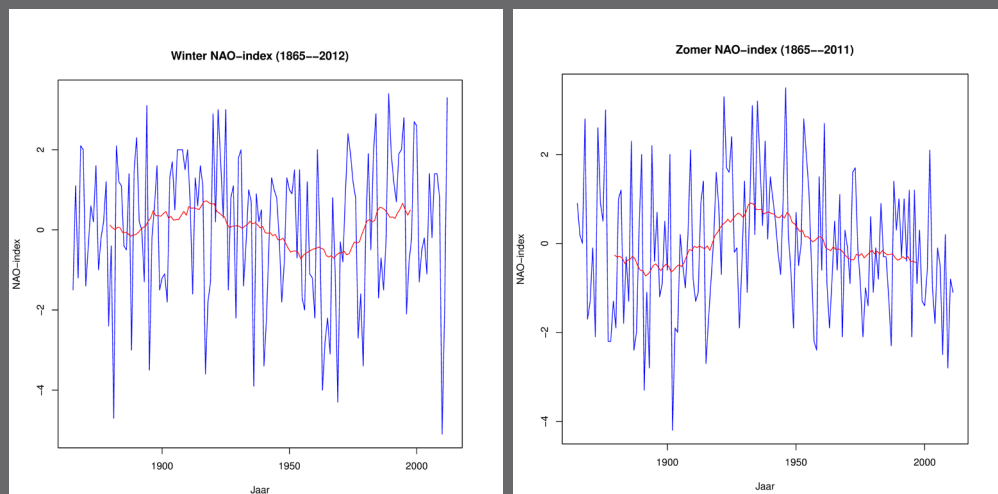
## Hoe evolueren de dagelijkse extreme temperaturen?

Een recente studie heeft de evolutie sinds 1950 van de extreme temperaturen waargenomen in het Belgisch klimatologisch netwerk, bestudeerd (Van de Vijver, 2012). Meer bepaald heeft men bestudeerd hoe de hoogste dagelijkse maximumtemperatuur en de laagste dagelijkse minimumtemperatuur jaarlijks evolueerden tijdens de laatste zes decennia, dus vanaf het moment wanneer het KMI beschikte over digitale gegevens hierover in haar databanken. In totaal werden waarnemingen, afkomstig van negen stations verspreid over België, die voldoen aan de hoogste kwaliteitsnormen, bestudeerd.

In eerste instantie werden er statistische relaties gevonden tussen temperatuurextremen en grootschalige atmosferische circulatiepatronen zoals de Noord-Atlantische Oscillatie (NAO, zie kader). Een belangrijk resultaat uit de extremewaardenanalyse is dat er fundamentele verschillen bestaan tussen de manier waarop warme en koude extremen veranderen.

### NAO

De Noord-Atlantische Oscillatie (NAO) is een grootschalig atmosferisch circulatiepatroon welk van belang is voor het weer in West-Europa, vooral in de winter, maar in mindere mate ook voor de zomer. De NAO-index is een maatstaf voor het verschil in luchtdruk tussen de depressie bij IJsland en het hogedrukgebied bij de Azoren (Hurrell, 2012). In België is de temperatuur relatief laag bij een lage NAO-index en hoog bij een hoge index. De NAO-index index bevat onregelmatige cyclische schommelingen met een tijdschaal van hoogstens 10 jaar. Vandaar dat we soms periodes hebben met een hele serie zachte winters en dan weer een aantal koudere winters op rij.



Figuur 1.9. Blauw: gemiddelde NAO-index van winter (links) en zomer (rechts) - Rood: glijdende 30-jaar gemiddelde.

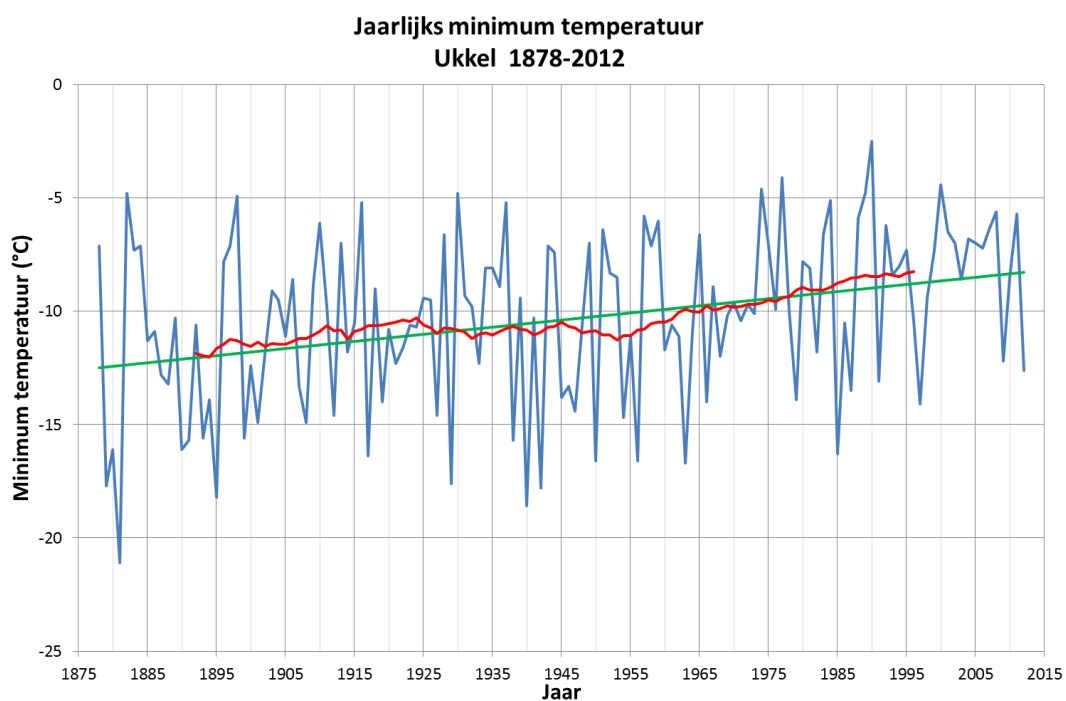


Zo werd er een lineaire groei in de jaarlijkse maxima gedetecteerd van gemiddeld 0,4°C per decennium. Deze lineaire trend kon niet gerelateerd worden met de zomerse NAO-index (die op zich geen trend vertoont in de bestudeerde periode), en zou eventueel kunnen toegeschreven worden aan externe factoren zoals broeikasgas-activiteiten.

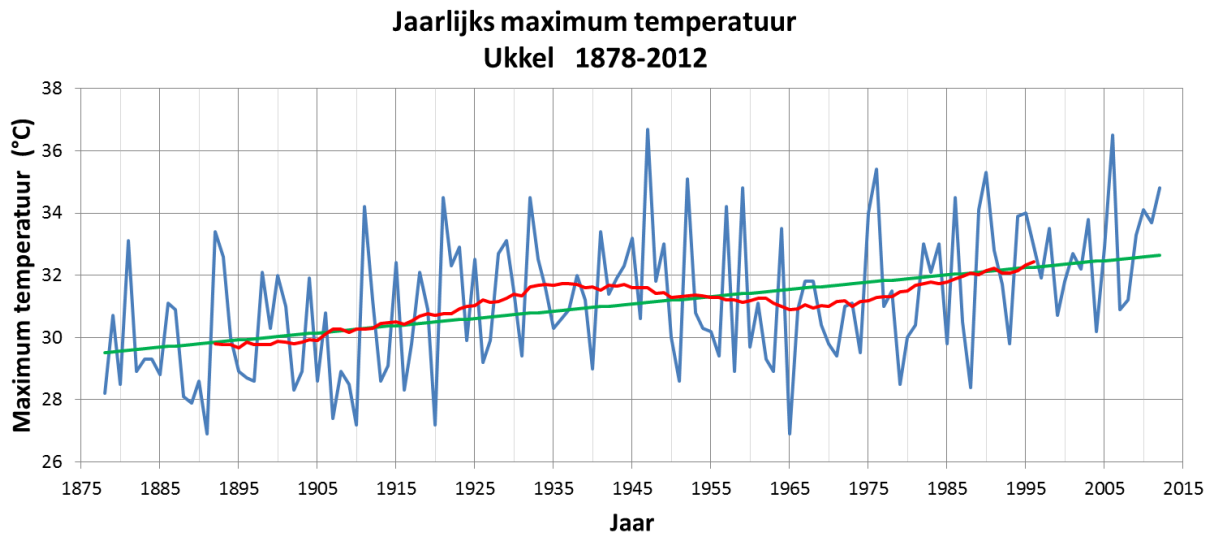
Dit is echter niet het geval voor de koude extremen die, naar analogie met de NAO-index, een veel variabelere en grilliger gedrag vertonen, wat het bekomen van een duidelijk signaal voor klimaatverandering aanzienlijk bemoeilijkt. Ruwweg geschat zijn er hier significante oscillaties, met vooral erg koude winterse extremen in de jaren 1960 en 1980, maar zijn de extremen sedert de jaren 1950 tot op heden, gemiddeld gezien, toch gestegen. De mildere koude extremen houden grotendeels verband met de toegenomen winterse NAO-index.

Spectaculaire veranderingen van de temperatuurextremen (zomer en winter) vonden vooral plaats in de jaren 1980 tot eind jaren 1990. Sindsdien zijn er geen aanwijsbare veranderingen meer gebeurd en lijkt de opwarming een relatieve rustpauze in te lassen.

Om de evolutie van het klimaat in het breder kader te plaatsen, moeten we veel langere reeksen bestuderen. Immers, de voorgaande studie beslaat slechts 60 jaar. In Ukkel bestaan er meerdere langdurige reeksen (vanaf 1833), maar deze vertonen veel gebreken in homogeniteit. In Demarée *et al* (2002) werd gepoogd een langdurige homogene dagelijkse reeks te construeren voor centraal België (CBT). In de figuren 1.10 en 1.11 hebben we de jaarlijkse extreme temperaturen (minima en maxima) in Ukkel getekend voor de periode 1878-2012. Naast de korte oscillaties van de NAO is er nog een natuurlijke fluctuatie te zien met een veel grotere periode. Dit is de zogenaamde Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) met een periode van vele decennia (tot 70 jaar), en is vrij recent ontdekt door Schlesinger and Ramankutty (1994). Het is zeker niet uit te sluiten dat de huidige stagnatie van de mondiale temperatuur sinds het einde van de jaren 1990 te wijten is aan deze AMO. Hoe dan ook, los van deze natuurlijke schommeling vertonen de extremen een significante lineaire groei over de volledige periode.

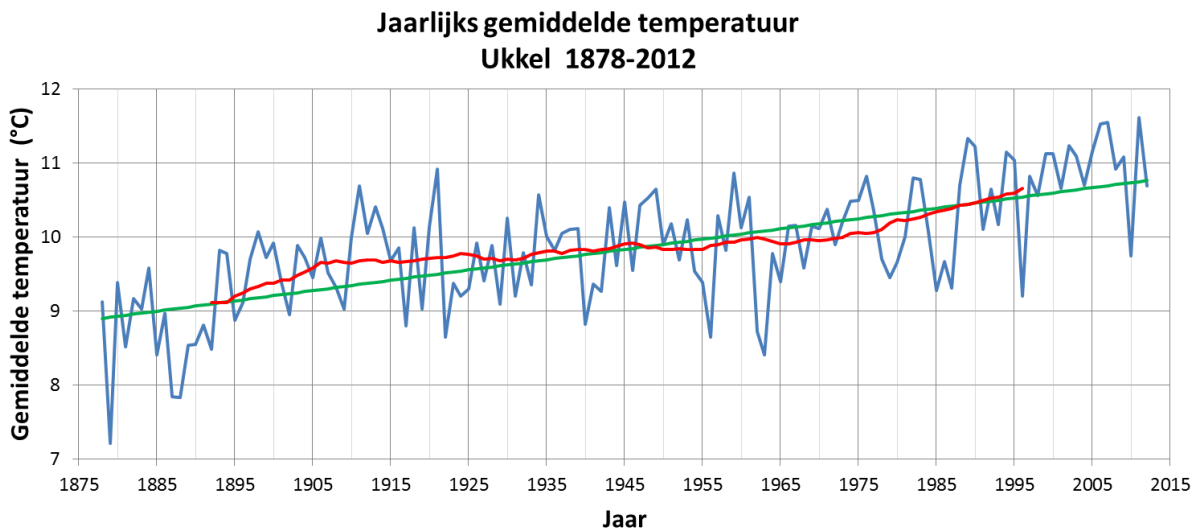


Figuur 1.10. Evolutie van de jaarlijkse extreme minimum temperatuur te Ukkel tijdens de periode 1878-2012. Rood: glijdend 30-jaar gemiddelde. Groen: trendlijn.



Figuur 1.11. Evolutie van de jaarlijkse extreme maximum temperatuur te Ukkel tijdens de periode 1878-2012.  
Rood: glijdend 30-jaar gemiddelde. Groen: trendlijn.

Vergelijkbare resultaten werden eveneens verkregen door Brabson and Palutikof (2002) bij het analyseren van lange temperatuurreeksen gereconstrueerd voor centraal Engeland (1772-heden). In Ukkel ligt sinds 1878 de stijging van de jaarlijkse minima en maxima gemiddeld op respectievelijk  $0,3^{\circ}\text{C}$  en  $0,2^{\circ}\text{C}$  per decennium. Ter vergelijking: de gemiddelde jaartemperatuur is toegenomen met gemiddeld ongeveer  $0,15^{\circ}\text{C}$  per decennium in dezelfde periode (zie figuur 1.12), wat lager is dan de groei van jaarlijkse uitersten.



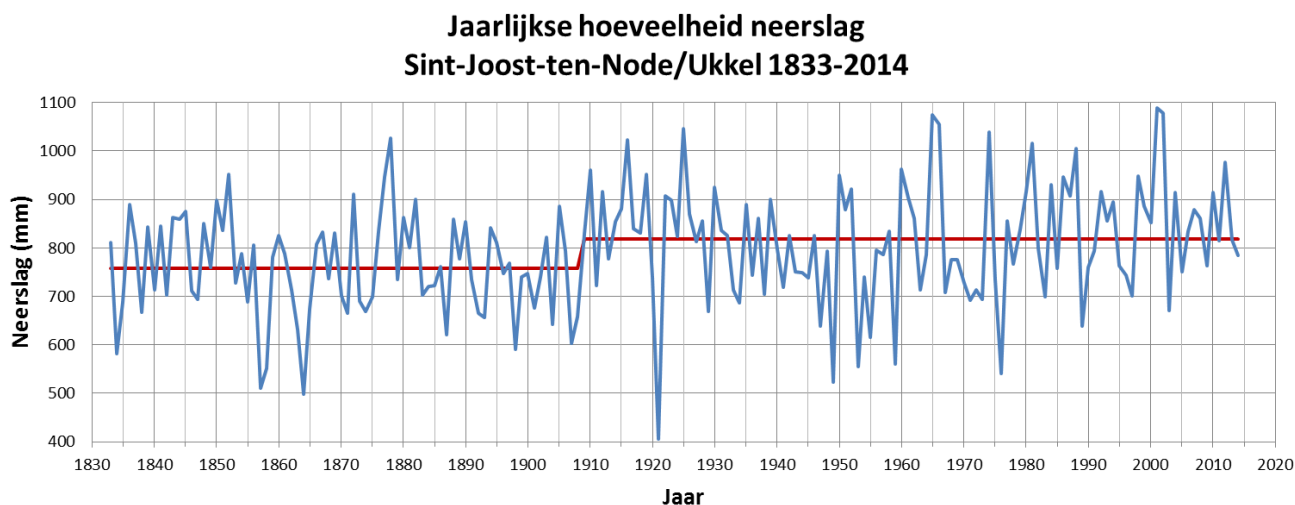
Figuur 1.12. Evolutie van de gemiddelde jaarlijkse temperatuur in Ukkel tijdens de periode 1878-2012.  
Groen: de trendlijn. Rood: het glijdende gemiddelde gedurende 30 jaar voor deze parameter.

## 1.2.2 Neerslag

### Regent het meer of minder?

De neerslaghoeveelheden en hun evolutie zijn interessant voor talrijke instanties, zoals deze die zich bezig houden met het voorkomen van hoogwaterstanden en overstromingen, de dimensionering van de rioleringsnetwerken, de voorziening van drinkwater en de landbouw.

We beginnen met het bestuderen van de evolutie van het jaarlijks pluviometrisch totaal, dat eerst opgemeten werd in Sint-Joost-ten-Node en later in Ukkel. Figuur 1.13 geeft de jaarlijkse neerslaghoeveelheden sinds het begin van de regelmatige metingen in 1833. De analyse van de reeks toont een zeer significante sprong naar omhoog, gekenmerkt door een stijging in de orde van 7%, rond 1910. Op het niveau van de seizoenen vertonen de winterneerslag en de lenteneerslag eveneens een stijging in de orde van 15%, respectievelijk zeer opvallend rond 1910 en opmerkelijk rond 1965. We nemen echter geen significante evolutie waar voor de neerslaghoeveelheden tijdens de zomer en de herfst.

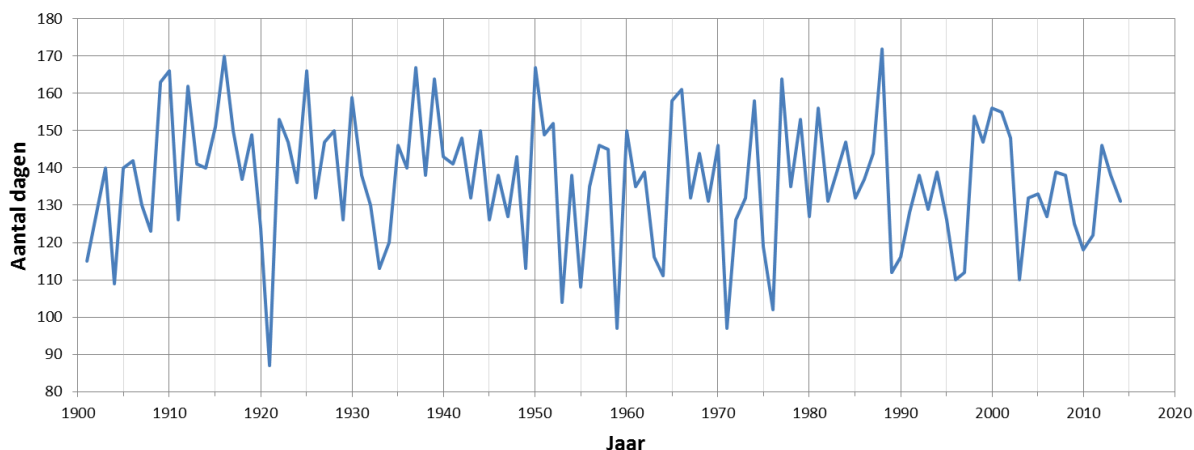


Figuur 1.13. Jaarlijkse hoeveelheid neerslag te Sint-Joost-ten-Node/Ukkel tijdens de periode 1833-2014.

We kunnen ons ook afvragen of de frequentie van het aantal dagen met neerslag veranderd is sinds het begin van de 20ste eeuw. Figuur 1.14 geeft de evolutie van het *jaarlijks aantal dagen met neerslag* waargenomen in Ukkel sinds 1901. Een *dag met neerslag* is een dag waarop minstens 1 mm neerslag werd waargenomen (zo kunnen we de dagen met een heel kleine gemeten neerslaghoeveelheid elimineren). We observeren geen duidelijke tendens van deze parameter sinds het begin van de 20ste eeuw. Recent valt het wel op dat er tijdens de jaren 1990 en de jaren 2000 gemiddeld relatief weinig neerslag is gevallen.

Voor de seizoenen tonen gelijkaardige trendanalyses eveneens geen merkbare evolutie aan sinds 1901, met uitzondering van de lente waar een significante stijging werd waargenomen van het aantal neerslagdagen in het midden van de jaren 1960.

### Jaarlijks aantal dagen met minstens 1 mm neerslag Ukkel 1901-2014



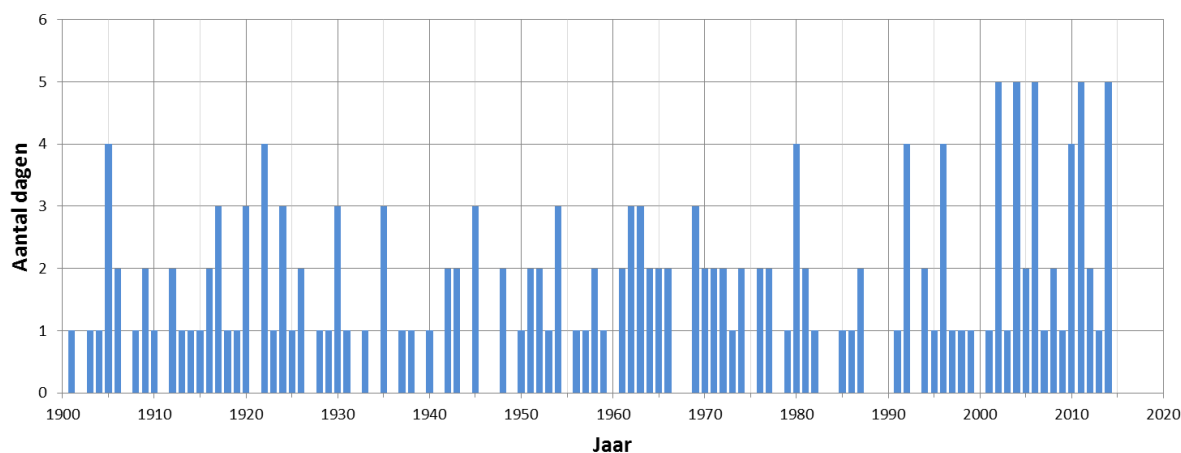
Figuur 1.14. Jaarlijks aantal neerslagdagen (neerslaghoeveelheid van minstens 1 mm), te Ukkel, tijdens de periode 1901-2014.

### Komen intense neerslaghoeveelheden vaker voor?

Om op dit soort vragen te antwoorden, moeten we eerst kijken of het aantal dagen met overvloedige neerslag al dan niet gestegen is. Figuur 1.15 toont voor het station in Ukkel de evolutie tussen 1901 en 2014 van het aantal dagen met een dagelijkse neerslaghoeveelheid van meer dan 20 mm tijdens de zomer (periode juni-juli-augustus). Tijdens de zomer worden deze hoeveelheden meestal veroorzaakt door intense onweersbuien die in een korte tijdsspanne vallen (maximaal enkele uren).

Figuur 1.15 toont aan dat er sinds de jaren 2000 een verhoogde tendens is voor deze parameter. Inderdaad, de vijf hoogste waarden van de reeks hebben we kunnen waarnemen tijdens de laatste dertien jaren. Statistisch gezien is de recente verhoging van de frequentie van dit soort neerslag nog niet significant gezien de te korte periode, maar de tendens is wel duidelijk. Het valt af te wachten of deze zich verder zet in de komende jaren. Als besluit kunnen we dus stellen dat we niet op een onbetwistbare manier kunnen bevestigen of de overvloedige neerslaghoeveelheden tijdens onweders tegenwoordig frequenter voorkomen dan in het verleden.

### Aantal dagen tijdens de zomer met een totale neerslaghoeveelheid van minstens 20 mm - Ukkel 1901-2014



Figuur 1.15. Aantal dagen tijdens de zomer met een dagelijkse neerslaghoeveelheid van minstens 20 mm in Ukkel, tijdens de periode 1901-2014.

## Zijn de extreme neerslaghoeveelheden overvloediger?

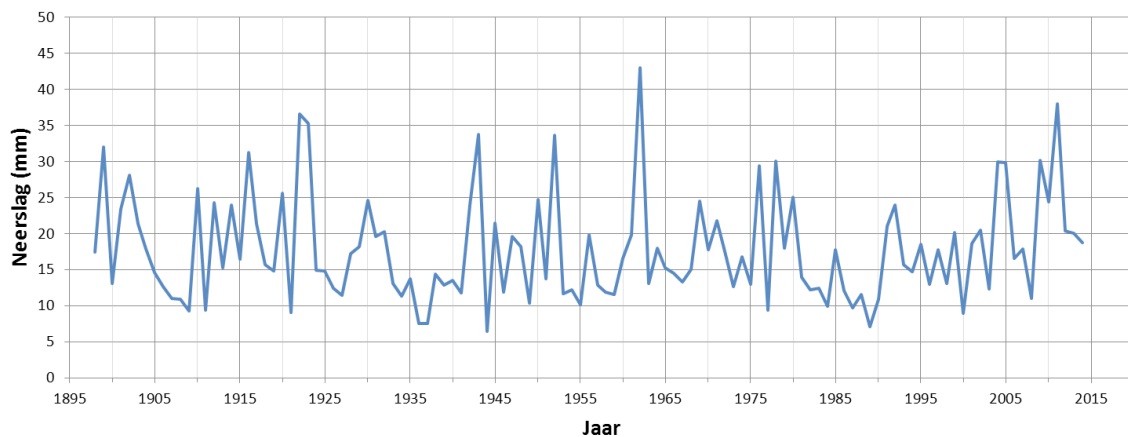
### In Ukkel

Met de gegevens van de pluviograaf van Ukkel tijdens de periode 1898-2014 kunnen we de evolutie van de dagelijkse extreme neerslaghoeveelheden bestuderen gedurende tijdsintervallen van 10 minuten tot meerdere dagen. Als voorbeeld illustreren de figuren 1.16 en 1.17 respectievelijk de evolutie sinds 1898 in Ukkel van de maximale uurlijkse neerslaghoeveelheid die ieder jaar gemeten wordt en deze van de maximale hoeveelheid gedurende 24 uur elk jaar. De figuren laten zien dat wat de uurlijkse en dagelijkse neerslag betreft er, naast natuurlijke variaties, geen merkbare trend in de jaarlijkse maxima binnen deze periode waar te nemen valt. Deze natuurlijke fluctuaties werden door analyse van de zelfde reeks gegevens ook al vastgesteld in de studie van Ntegeka and Willems (2008).

Zelfs als we sinds het begin van de 21ste eeuw een lichte tendens tot verhoging van deze twee jaarlijkse hoeveelheden vaststellen, is de periode te kort opdat deze tendens statistisch opmerkelijk zou zijn.

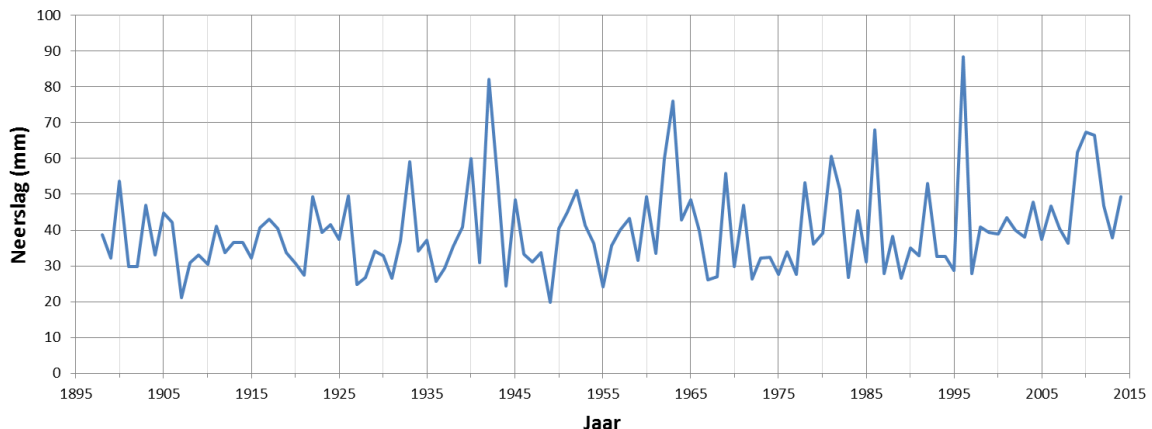
Ook hier kunnen we besluiten dat de hierboven beschreven resultaten het gevoel dat onweersbuien, die één of meerdere uren kunnen duren, recentelijk intenser en overvloediger geworden zijn, niet bevestigen. Echter, de evolutie van de gegevens in de komende jaren, zal er ons misschien toe leiden om deze visie te herzien.

**Jaarlijkse maximale neerslaghoeveelheid gevallen in een uur  
Ukkel 1898-2014**



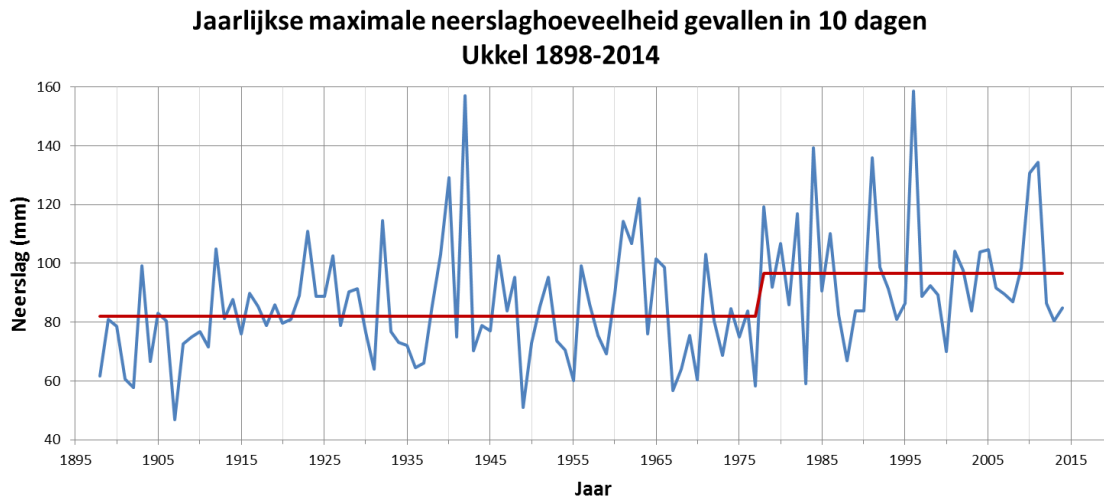
*Figuur 1.16. Jaarlijkse maximale neerslaghoeveelheid gevallen in een uur in Ukkel tijdens de periode 1898-2014.*

**Jaarlijkse maximale neerslaghoeveelheid gevallen in 24 u  
Ukkel 1898-2014**



*Figuur 1.17. Jaarlijkse maximale neerslaghoeveelheid gevallen in 24 uur (in mm) in Ukkel tijdens de periode 1898-2014.*

In Ukkel zien we dat de jaarlijkse extremen over een periode langer dan een week een zéér significante stijging vertonen, gekenmerkt door een abrupte sprong aan het einde van de jaren 1970. Dit type jaarlijkse extreme waarde komt meestal voor in de winter. Figuur 1.18 toont de evolutie in Ukkel voor de jaarlijkse maxima van de 10-daagse neerslag die sinds het einde van de 19de eeuw groeit met gemiddeld 2mm/decennium. In elk geval is er wel een stijgende trend voor deze parameter sedert het einde van jaren 1970 zoals hierboven reeds vermeld.



Figuur 1.18. Jaarlijkse maximale neerslaghoeveelheid gevallen in 10 dagen (in mm) in Ukkel tijdens de periode 1898-2014.

## Elders in het land

Verschillende analyses van pluviometrische gegevens van het Belgisch klimatologisch netwerk werden de voorbije jaren op het KMI uitgevoerd. In deze stations wordt door de waarnemers dagelijks om 8u 's morgens de totale hoeveelheid neerslag die gevallen is sinds 8u de dag voordien, gemeten. Deze gevalideerde gegevens laten dus niet toe om een 24u-analyse uit te voeren, maar zijn wel beschikbaar in digitale vorm in de databanken van het KMI vanaf het begin van de jaren 1950. We geven hier twee voorbeelden van reeds uitgevoerde studies.

In een eerste studie geeft Gellens (2000) aan dat de winterse neerslag die minstens gedurende een paar dagen gevallen is, in verschillende stations in het land, een tendens tot verhogen toont sinds het begin van de jaren 1950. Dit resultaat is vergelijkbaar met het resultaat dat eerder in de tekst voorgesteld werd voor Ukkel voor de 20ste eeuw. Uit deze studie bleek ook dat er geen waarneembare evolutie van intensere neerslaghoeveelheden was tijdens de zomer, d.w.z. onweersachtige neerslag, tijdens het tweede deel van de 20ste eeuw. Dit resultaat is dan ook coherent met de resultaten van Ukkel voor de hele 20ste eeuw, die hierboven werden voorgesteld.

Het zou interessant zijn om te proberen de stijging van de winterse neerslag over verschillende dagen, gedurende de laatste decennia, in relatie te brengen met de verschillende overstromingen in ons land. Tijdens de jaren 1990 waren er meer grote overstromingen dan tijdens de jaren 1980 en zeker meer dan tijdens de jaren 1970. De historische gegevens van voor de jaren 1970 zijn minder precies, zelfs al weten we bijvoorbeeld dat de jaren 1950 gekend waren voor verschillende belangrijke overstromingen. Tijdens de meer recente jaren hebben zich aan het begin van de jaren 2000 relatief frequente en uitgestrekte winteroverstromingen voorgedaan, maar hun intensiteit was lager dan in de jaren 90. De laatste jaren is het vooral het aantal lokale overstromingen, soms gekoppeld aan onweersbuien, dat een zekere stijging vertoont. Natuurlijk moeten we in de studie van de evolutie van de frequentie (en de intensiteit) van de overstromingen ook rekening houden met andere factoren zoals de ruimtelijke ordening.

In een tweede, meer recentere, studie probeert men een meer geografische evolutie van de jaarlijkse extreme neerslaghoeveelheden sinds de jaren 1950 weer te geven door de analyse van de pluviometrische gegevens van een dertigtal meetpunten in het land (Van de Vyver, 2012). De veranderingen in extreme neerslag zijn moeilijker in kaart te brengen omdat er onderling veel verschillen in trends bestaan. Dit in tegenstelling tot de verandering in temperatuurextremen die gedurende de laatste decennia overal vrijwel gelijkmatig verloopt.

In deze studie definiëren we de extremen als de jaarlijkse maxima van dagelijkse en 10-daagse neerslag. Door de opwarming van het zeewater is het aannemelijk te veronderstellen dat een sterke stijging van neerslaghoeveelheden zich vooral aan de kust situeert. De trend in de extremen van de dagelijkse neerslag is echter niet meer statistisch significant in gebieden verder dan 50 km van de kust, terwijl dit 100 km is voor 10-daagse neerslag. De invloed van de stijgende zeevatertemperatuur reikt dus veel verder voor 10-daagse neerslagextremen.

Als illustratie tekenen we in figuren 1.19 en 1.20 de jaarlijks maxima van dagelijkse en 10-daagse neerslag (1951-2012) van het meetpunt in Pollinkhove, dat zich op ongeveer 15 km van de kust bevindt. In beide gevallen is er een sterke stijging in de jaarlijkse maxima die, ruwweg geschetst, start in de jaren 1980.



*Figuur 1.19. Jaarlijkse maximale neerslaghoeveelheid gevallen in een dag te Pollinkhove tijdens de periode 1951-2012.*



*Figuur 1.20. Jaarlijkse maximale neerslaghoeveelheid gevallen in 10 dagen te Pollinkhove tijdens de periode 1951-2012.*

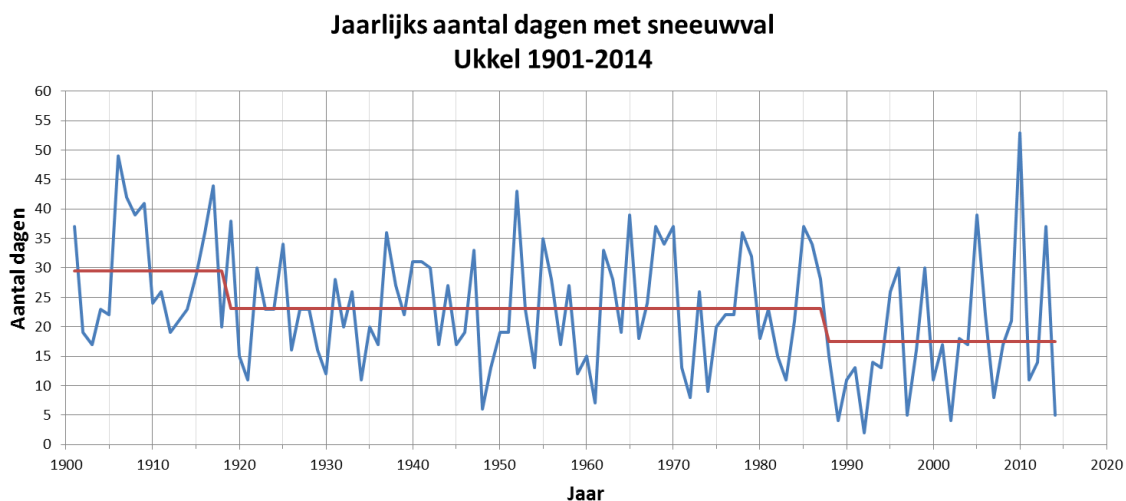
Als algemene conclusie kunnen we dus stellen dat het onderzoek van de neerslaggegevens heeft geleid tot veel minder opvallende resultaten dan bij de studie van de temperaturen. Dit kan gedeeltelijk verklaard worden door de zeer grote variabiliteit van de neerslaghoeveelheden in onze streken.

Toch kunnen we onthouden dat de jaarlijkse gecumuleerde neerslaghoeveelheden en de hoeveelheden tijdens de winter en de lente licht zijn toegenomen in Ukkel sinds de 19de eeuw en dat we hetzelfde patroon zien in verschillende streken van het land voor de jaarlijkse extremen van de gecumuleerde neerslaghoeveelheden over verschillende dagen (die zich meestal tijdens de winter voordoen) sinds de jaren 1950. Bij de jaarlijkse extremen van de totale neerslaghoeveelheden op kortere tijd (van 1 uur tot 1 dag) echter zien we geen opmerkelijke tendens, behalve voor de stations nabij de kust waar, volgens een recente studie, de jaarlijkse extreme waarden van de dagelijkse totale neerslaghoeveelheid duidelijk gestegen zijn vanaf het begin van de jaren 1980.

Dat de neerslag van korte duur niet toegenomen is, toch niet in het binnenland, strookt helemaal niet met de indruk die bij het publiek leeft. We zijn, vooral de laatste jaren<sup>5</sup>, immers getuige geweest van schade veroorzaakt door intense onweders. We moeten dus besluiten dat, indien de kwetsbaarheid van de stedelijke woongebieden ten opzichte van de onweersbuien gestegen is, dit waarschijnlijk ook het gevolg is van andere omgevingsfactoren, zoals de dichtheid van de bebouwing en de ondoordringbaarheid van de bodem. Wij benadrukken echter het feit dat deze bemerkingen geen voorlopige oordelen zijn betreffende de toekomstige evolutie van de onweersachtige neerslag in ons land en de hieraan verbonden lokale overstromingen.

### Valt er minder sneeuw?

In het station te Ukkel beschikken we over een reeks waarnemingen met het aantal dagen met sneeuwval<sup>5</sup> sinds 1901. Figuur 1.21 illustreert de evolutie van het jaarlijkse aantal dagen met neerslag onder de vorm van sneeuw sinds 1901. We merken op dat de waarde van deze parameter heel variabel is van het ene naar het andere jaar en dat het sinds de opwarming aan het einde van de jaren 1980 zeer duidelijk minder sneeuwt in Ukkel tijdens de jaren 1990 dan in het verleden. Er was al een eerste, zeer opvallende daling rond 1920, als gevolg van de opwarming in het begin van de 20ste eeuw. Hiertegenover staat dat men tijdens de laatste tien jaren een grote variabiliteit waarneemt van het ene jaar tegenover het andere, met daarbij een aantal zeer sneeuwrijke jaren. 2010 was trouwens het jaar met de meeste sneeuw in Ukkel sinds het begin van de 20ste eeuw.



Figuur 1.21. Aantal dagen met neerslag onder de vorm van sneeuw in Ukkel tijdens de periode 1901-2014.

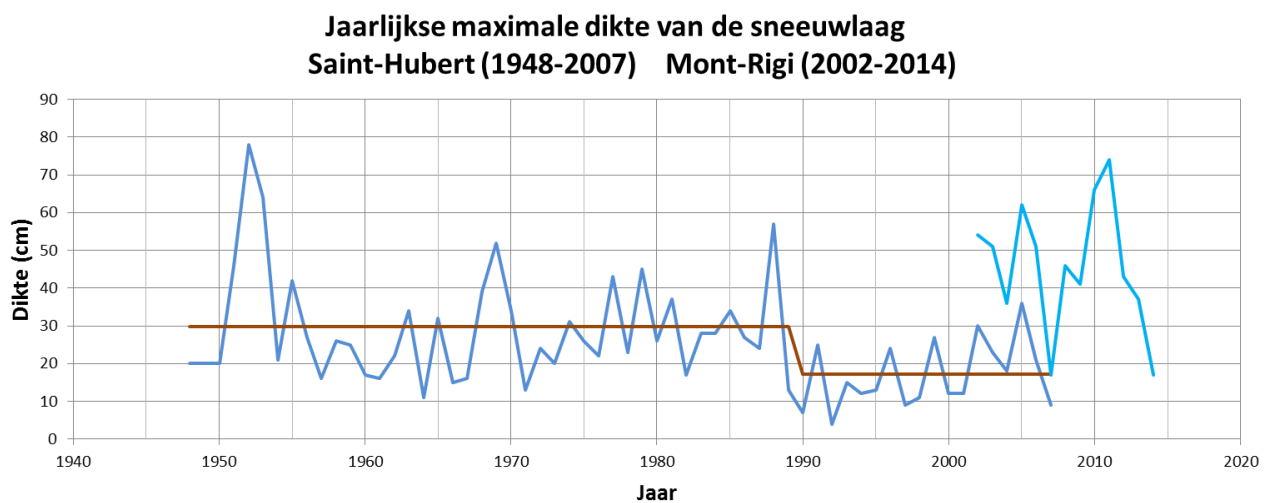
De dikte van de sneeuwlaag wordt in Ukkel sinds het einde van de 19de eeuw gemeten. De jaarlijkse maximale waarde vertoont een zeer grote variabiliteit van het ene jaar naar het andere. Ook al zijn de waarden gemeten sinds de opwarming tijdens de jaren 1980 vrij laag, toch kunnen we geen duidelijke tendens vaststellen voor die parameter gedurende de 20ste eeuw. Hetzelfde geldt voor het jaarlijkse aantal dagen met sneeuw op de bodem, sinds de jaren 1980 in het algemeen vrij laag in Ukkel, maar sinds het begin van de 20ste eeuw werd er geen merkbare tendens ontdekt.

5 Met 'sneeuwval' bedoelt men hier elke soort neerslag die bestaat uit sneeuw (dat kan bijvoorbeeld een paar sneeuwvlokken zijn met tegelijkertijd regen of meer klassieke sneeuwval).



Elders in het land zijn de reeksen met sneeuwmetingen veel korter en vaak minder nauwkeurig. We hebben wel sinds 1948 een heel waardevolle reeks met de dikte van de sneeuwlaag waargenomen in het station van Saint-Hubert, gelegen op het Ardens plateau en eigendom van Belgocontrol. In dit station zien we, na de opwarming van de jaren 1980, een zeer opvallende daling van de jaarlijkse maximale dikte van de sneeuwlaag, vooral tijdens de jaren 1990 (zie figuur 1.22). Spijtig genoeg zijn de sneeuwobservaties onderbroken sinds 2008. Een relatief homogene reeks gegevens over de sneeuwdikte is sinds de winter 2002 beschikbaar voor het station Mont-Rigi, op het plateau van de Hoge Venen (zie figuur 1.22).

We kunnen voorzichtig concluderen dat het geheel van de maximale sneeuwdikte in de Ardennen relatief zwak en stabiel blijft tijdens de jaren 1990, na de opwarming aan het eind van de jaren 1980. Toch lijkt de jaarlijkse maximale sneeuwdikte vanaf het midden van de jaren 2000 een lichte verhoging te vertonen. Het zal interessant zijn om de komende jaren de situatie betreffende de sneeuwval, verder op te volgen.



*Figuur 1.22. Jaarlijkse maximale dikte van de sneeuwlaag in Saint-Hubert tijdens de periode 1948-2007 en in Mont-Rigi tijdens de periode 2002-2014. De jaarlijkse maximale dikte is de maximale dikte die waargenomen werd tussen december en februari en het aangeduid jaar komt overeen met de maanden januari en februari.*

## Zijn er meer droogteperiodes?

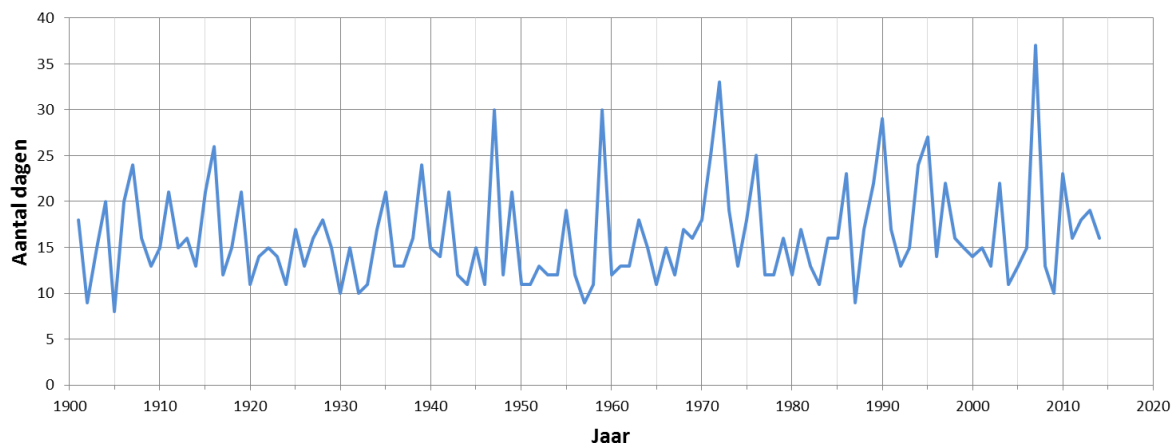
Een lange periode zonder neerslag, of met nagenoeg geen neerslag, kan schadelijke gevolgen hebben voor verschillende sectoren van onze samenleving. Zo verstoort bijvoorbeeld te weinig neerslag tijdens de winterperiode de aanvulling van de watervoorraad in de ondergrondse waterreserves. In de lente en in de zomer verstoort een watertekort het landbouwrendement. Een te lange droogteperiode werkt branden in de Hoge Venen tijdens de lente in de hand.

Het begrip *droogte* is niet op een eenvoudige en algemene manier definieerbaar. Zoals we al illustreerden hangt zij af van het domein waarin wij ons vooral interesseren. In elk geval speelt het neerslagtekort, beschouwd over een min of meer langere periode, een cruciale rol, maar andere parameters (zoals de wind, de temperatuur, de hoeveelheid water aanwezig in de bodem, ...) spelen eveneens een rol in het karakteriseren van de ernst van de droogte en helpt ons de omvang en de impact ervan in te schatten.

Wij zullen hier enkel de evolutie van de langste periodes zonder significante dagelijkse neerslag<sup>6</sup> in de loop van de 20ste eeuw onderzoeken. Figuur 1.23 illustreert sinds 1901 voor de zes warmste maanden van het jaar de duur van de langste periode zonder significante neerslag. De trendanalyse toont geen significante evolutie van deze parameter sinds het begin van de 20ste eeuw. Merk op dat het absolute record dateert uit 2007, met 37 opeenvolgende dagen zonder significante neerslag te Ukkel tussen 30 maart en 5 mei.

<sup>6</sup> Onder "significante neerslaghoeveelheid" verstaan wij hier een dagelijkse neerslaghoeveelheid die tenminste 0,5 mm bereikt. Dit laat ons toe om onder een droge dag een dag te verstaan als zijnde een dag waarop de gevallen neerslaghoeveelheid zeer klein was. Dit laat ons eveneens toe het soms delicate probleem van de meting van kleine neerslaghoeveelheden te omzeilen.

### Maximum jaarlijks aantal opeenvolgende 'droge' dagen Ukkel periode april-september 1901-2014



Figuur 1.23. Duur (in dagen) van de langste periode zonder significante neerslag (dagelijkse hoeveelheden kleiner dan 0,5 mm) gedurende de zes warmste maanden van het jaar te Ukkel tijdens de periode 1901-2014.

Een gelijkaardig resultaat wordt bekomen wanneer we de evolutie van de langste duur van een periode zonder significante dagelijkse neerslaghoeveelheden tijdens de koudste periode van het jaar bestuderen. Geen enkele significante evolutie van deze parameter werd waargenomen sinds het begin van de 20ste eeuw.

Als conclusie kunnen wij stellen dat, rekening houdend met het feit dat de duur van de periodes zonder significante neerslaghoeveelheden een aanwijzing zijn voor het karakteriseren van de intensiteit van droogteperiodes, de resultaten van de uitgevoerde analyses geen indicatie geven dat de droogteperiodes intenser zijn geworden gedurende de laatste 114 jaren.

Wij moeten echter benadrukken dat deze algemene conclusies niet noodzakelijk van toepassing zijn op alle soorten droogtes en dat complementaire studies nodig zullen zijn om de eerste resultaten die hier werden beschreven te vervolledigen. Bijvoorbeeld bij de bevoorrading van ondergrondse waterreserves moeten de neerslagtekorten meestal geanalyseerd worden over langere periodes (van een seizoen tot enkele jaren) en de droogte-indicatoren die in deze studie worden gedefinieerd zijn bijgevolg niet van toepassing in dat domein.

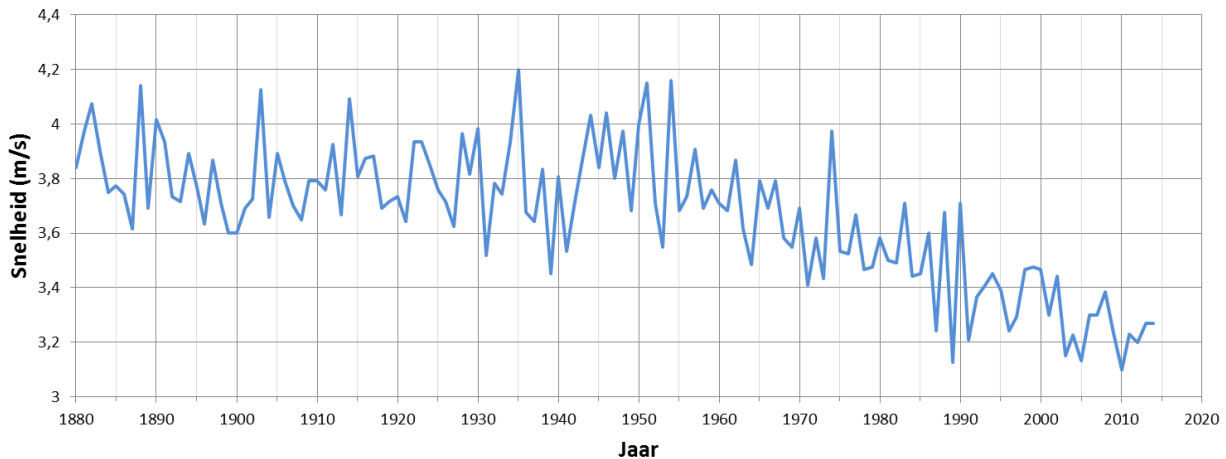
### 1.2.3 Wind

#### Zijn er meer stormen?

De windmetingen worden sterk beïnvloed door de karakteristieken van de omgeving rond de anemometrische meetmast (bijvoorbeeld obstakels te dichtbij zoals gebouwen of bomen), maar ook door de ruwheid en de topografie van de omgeving. Elke verandering van deze omstandigheden kan dus de trendanalyse van de anemometrische reeksen bemoeilijken.

We zullen eerst de algemene evolutie van de windsnelheid bestuderen. De langste reeks windmetingen beschikbaar in ons land is de waarnemingsreeks van de klimatologische meetmast te Sint-Joost-ten-Node, daarna te Ukkel. Figuur 1.24 illustreert de evolutie van de jaarlijkse gemiddelde windsnelheid vanaf 1880. De analyse van deze gegevens duidt aan dat de gemiddelde windsnelheid in de streek van Brussel relatief stabiel is gebleven tot ongeveer 1960, waarna zij op een relatief regelmatige wijze afneemt met meer dan 15% tot op heden, met relatief gelijkaardige waarden die tijdens de laatste jaren waargenomen werden. Toch moet dit resultaat a priori met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Er werd immers tijdens de homogenisering van deze reeks wel rekening gehouden met de constructie van een gebouw in de nabijheid van de meetmast in de jaren 1960 en met de recente verandering van het type anemometer, maar niet met de evolutie van de vegetatie rondom de waarnemingsplaats.

### Jaarlijkse gemiddelde windsnelheid Sint-Joost-ten-Node/Ukkel 1880-2014

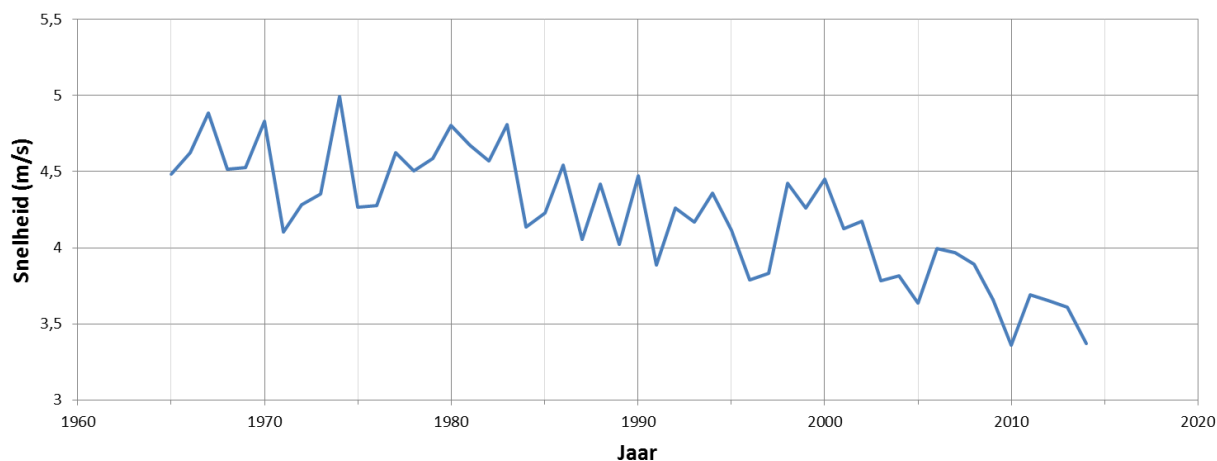


Figuur 1.24. Jaarlijkse gemiddelde windsnelheid in Sint-Joost-ten-Node/Ukkel tijdens de periode 1880-2014 (in m/s).

Er bestaan ook andere anemometrische reeksen in België maar over kortere periodes. Een recente studie van het KMI heeft de waarnemingsplaatsen van de stations onderzocht en zo goed mogelijk de historie van de metingen beschreven (Delcloo and Tricot, 2007). Zo kunnen we ervan uitgaan dat de metingen uitgevoerd in Zaventem vrij homogeen zijn sinds het midden van de jaren 1960. Figuur 1.25 toont de evolutie van de jaarlijkse gemiddelde windsnelheid op die plaats vanaf 1965. De windsnelheid is eerst relatief stabiel tot het begin van de jaren 1980; daarna, rond 1983, werd een duidelijke, vrij onverwachte daling merkbaar en een nieuwe daling lijkt zich in het begin van de jaren 2000 in te zetten. De vermindering van de windsnelheid tussen de eerste jaren van de reeks en de recentere jaren bedraagt ongeveer 10%. Dit resultaat is globaal gezien coherent aan het resultaat dat we verkregen uit de metingen gedaan in Ukkel (zie figuur 1.24) en aan het resultaat van het station te Saint-Hubert, in de Ardennen, waar de omgeving, net als in het station te Zaventem, redelijk onveranderd is gebleven sinds het midden van de jaren 1960.

Wanneer we de evolutie van de wind op schaal van de seizoenen sinds 1965 bestuderen, vinden we relatief coherente resultaten voor de drie hier besproken stations: met uitzondering van de winter (en eveneens de herfst in Ukkel) kenden we in de drie stations tijdens de andere seizoenen een relatief brutale en zeer opvallende afname van de windsnelheid sinds de jaren 1980. Er werd echter geen duidelijke tendens waargenomen tijdens de winter, met andere woorden tijdens het seizoen waarin de windsnelheden meestal het hoogst zijn.

### Jaarlijkse gemiddelde windsnelheid Zaventem 1965-2014



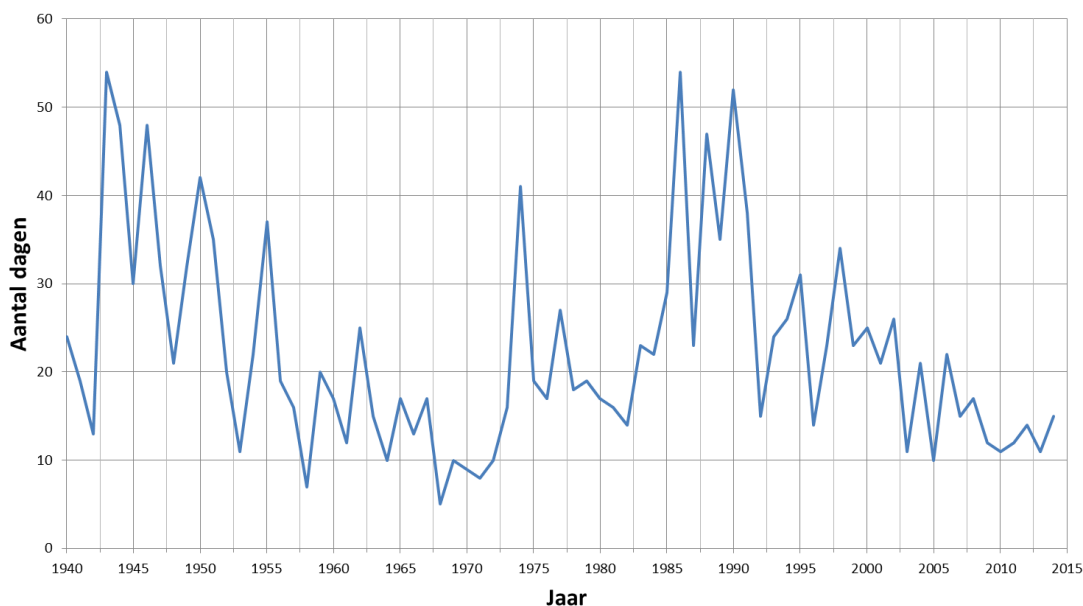
Figuur 1.25. Jaarlijkse gemiddelde windsnelheid, te Zaventem tijdens de periode 1965-2014 (in m/s).

Laten we nu de hoogste windsnelheden eens bekijken, die meestal voorkomen tussen oktober en april en die soms de oorzaak kunnen zijn van belangrijke schade in ons land.

Hier zullen we een *stormdag* op een gemakkelijke manier definiëren als een dag tijdens welke de windstoten minstens de drempelwaarde van 70 km/u overschrijden.

Figuur 1.26 toont de evolutie van jaarlijks aantal stormdagen te Ukkel tijdens de periode 1940–2013. Tijdens deze periode bedraagt het gemiddelde van deze parameter 24 dagen. De analyse van de evolutie van deze parameter leidt ons er toe te besluiten dat, globaal bekeken, er geen duidelijke evolutie van deze parameter tijdens de bestudeerde periode is. Bovendien kunnen we hier opnieuw een belangrijke variabiliteit van de waarde van deze parameter waarnemen op de schaal van enkele jaren: in het bijzonder zien we een hoge frequentie van het aantal stormdagen rond de jaren 1947 en 1989 en lagere waarden tijdens de jaren 1960 en in het begin van de jaren 1970. De recentste jaren worden eveneens gekenmerkt door relatief lage waarden van de frequentie van het aantal stormdagen.

### Jaarlijks aantal dagen dat de maximale windstoten 70 km/u overschrijden Ukkel 1940-2014



Figuur 1.26. Jaarlijks aantal stormdagen (maximale windstoot hoger dan 70 km/u) te Ukkel tijdens de periode 1940-2014.

De analyse van de beschikbare gegevens in de andere anemometrische stations sinds 1985, toont ons hetzelfde resultaat als dat van Ukkel: de terugkeerfrequentie van de stormen (als we deze definitie hanteren) is niet gestegen tijdens de laatste 25 jaar.

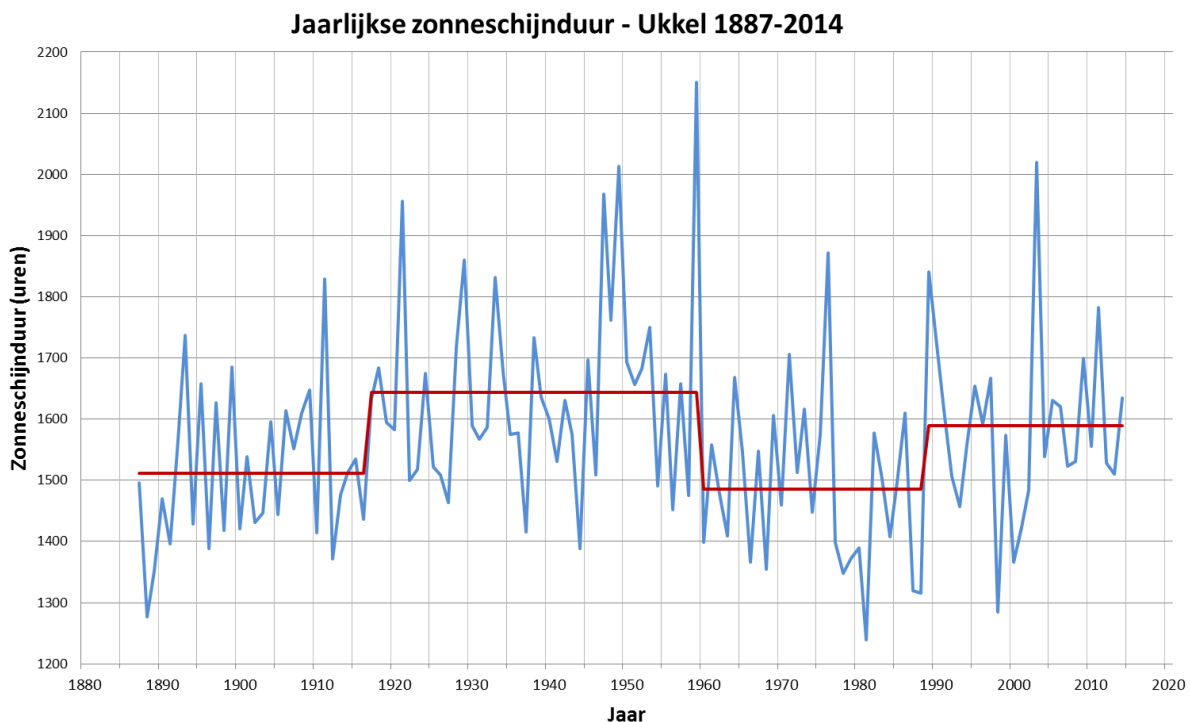
Dezelfde vaststelling van een globale stabiliteit, niettegenstaande een variabiliteit op schaal van enkele jaren, is van toepassing op de reeks waarnemingen van de maximale windstoten te Ukkel (sinds 1940) en in de andere stations (sinds 1985). In het bijzonder stellen wij vast dat de maximale windstoten relatief laag zijn geweest tijdens de laatste 20 jaren, na een verzameling van hoge waarden tussen 1983 en 1990. Wij kunnen dus besluiten, ons baserend op het geheel van de verkregen resultaten, dat de intensiteit van de stormen in ons land dus niet is toegenomen tijdens de laatste decennia, en in het bijzonder niet tijdens de laatste 20 jaar.

Om te eindigen merken we nog op dat in de zomer, tijdens de onweders, de winden soms ook *lokaal* heel hevig kunnen zijn; wat dit betreft herinneren wij de catastrofe die het Pukkelpop-festival in augustus 2011 trof. In het bijzonder kunnen in sommige gevallen tornado's ontstaan uit een onweerswolk en bij deze gelegenheid soms min of meer aanzienlijke schade aanrichten, zoals in Oostmalle in 1967 en in Léglise in 1982. Dit soort meteorologisch fenomeen maken we gemiddeld enkele keren per jaar mee in België. Het KMI beschikt over veel informatie over de tornado's die ontstaan zijn in ons land sinds meer dan een eeuw, maar alleen met een grondige analyse van die informatie en een controle van hun kwaliteit kunnen we misschien vaststellen dat de frequentie van dit extreme fenomeen gestegen is sinds het begin van de 20ste eeuw. Dit soort studie is bijzonder delicaat, rekening houdend met de moeilijkheid van het opmaken van homogene waarnemingsreeksen.

## 1.2.4 Zonnestraling

### Is de zonneshijnduur veranderd?

De zonneshijnduur wordt in Ukkel gemeten sinds 1887. Ze is nauw gecorreleerd met de hoeveelheid wolken in de lucht, één van de belangrijkste klimatologische parameters, maar waarvan de waarneming relatief delicaat is. Figuur 1.27 illustreert de evolutie van de jaarlijkse zonneshijnduur in Ukkel sinds het begin van de waarnemingen (de oude gegevens werden bijgesteld om overeen te stemmen met het nieuwe meetapparaat dat sinds enkele jaren gebruikt wordt). Er is geen globale tendens te zien in deze periode van 128 jaar, maar we hebben wel een belangrijke variabiliteit opgemerkt op meerjaarlijkse schaal, met meestal hogere waarden tussen de jaren 1920 tot 1950 en meestal lagere waarden tussen de jaren 1960 tot 1990. Tijdens de laatste 25 jaar situeren de waarden van de zonneshijnduur zich rond jaarwaarden die rond de gemiddelde waarde schommelen.



Figuur 1.27. Jaarlijkse zonneshijnduur (in uren) in Ukkel tijdens de periode 1887-2014.

Als we de tendensen op schaal van de seizoenen bekijken, zien we dat daar ook geen globale tendens detecteerbaar is sinds 1887. We zien dat er tijdens de lente, meer dan tijdens de andere seizoenen, duidelijke groeperingen zijn van relatief opvallende waarden, met waarden meestal boven het gemiddelde tussen 1910 en 1960 en waarden meestal onder het gemiddelde tussen 1960 en 1990. Na de zomer van 1976, die bijzonder zonnig was, was de zonnenschijnduur veel lager voor de volgende tien zomers, met waarden die meestal onder het seizoengemiddelde lagen. Vervolgens vertoont de zomerse zonnenschijnduur, sinds de jaren 1990, de tendens hogere waarden te hebben dan het seizoengemiddelde.

Tenslotte voegen we hier nog aan toe dat de evolutie van de globale zonnestraling aan het aardoppervlak, gemeten te Ukkel tijdens de laatste decennia, verder in de tekst voorgesteld en besproken zal worden (zie hoofdstuk 2). De resultaten van de periode 1887-2013 voor de zonnenschijnduur die hier verkregen werden, zijn coherent met de resultaten voor de zonne-energie die het aardoppervlak bereikt.

### 1.3 Samenvatting

De regelmatige meteorologische metingen zijn begonnen in 1833 in de regio Brussel, in Sint-Joost-ten-Node, en werden dan vanaf 1886 voortgezet in Ukkel wanneer de sterrenwacht naar de actuele waarnemingsplaats van het KMI verhuisde. De lange waarnemingsreeksen uitgevoerd te Brussel hebben ons toegelaten de vraag over de evolutie van het Belgische klimaat tijdens de laatste 180 jaar te behandelen. Er werd ook nuttige, bruikbare data geleverd door andere waarnemingsstations, maar over kortere periodes, die pas begonnen zijn tijdens de tweede helft van de 20ste eeuw.

Uit het geheel van geanalyseerde gegevens blijkt dat het Belgische klimaat geëvolueerd is in de loop van de 20ste eeuw. Meer in het bijzonder deden er zich twee opmerkelijke en vrij plotse stijgingen voor in zowel de seizoentemperaturen als de jaartemperaturen (in de orde van 1°C), de eerste in de eerste helft van de 20ste eeuw en dan tijdens de jaren 1980. In Ukkel is het jaar 2014 het warmste jaar ooit sinds het begin van de waarnemingen in 1833 en het verbreekt zelfs het vorige record van 2011. Bovendien hebben de 18 warmste jaren plaatsgevonden gedurende de laatste 26 jaar.

De frequentie van de hittegolven vertoont een significante stijgende trend in het begin van de jaren 1990. De variabiliteit van deze parameters is nochtans belangrijk tijdens de hele 20ste eeuw en de kenmerken van de hittegolven van de recentste jaren zijn relatief gelijkaardig aan deze waargenomen tijdens de jaren 1940, als gevolg van de zomerse opwarming tijdens het eerste deel van de 20ste eeuw. De gevoeligheid van de verkregen resultaten, afhankelijk van de door ons weerhouden definitie in deze studie om een hittegolf te karakteriseren, lonen zeker de moeite om verder onderzocht te worden.

De frequentie van de koudegolven lijkt echter op significante manier te zijn afgenomen in het begin van de jaren 1970. Ook hier zou het interessant zijn om de gevoeligheid van de verkregen resultaten in functie van de exact gehanteerde definities verder te onderzoeken.

De algemene stijging van de minimumtemperaturen tijdens de 20ste eeuw ligt ook aan de basis van de verlenging van de maximale jaarlijkse periode zonder vorstdagen. Inderdaad, de laatste vorst dag aan het einde van de winterperiode heeft de tendens zich steeds vroeger voor te doen, terwijl de eerste vorst dag bij de aanvang van de winterperiode de trend vertoont zich later te manifesteren.

Voor de neerslag tussen het begin van de waarnemingen in 1833 en het begin van de 21ste eeuw zien we voor de Brusselse regio een stijging van de totale jaarlijkse hoeveelheid (in de orde van 7%) en van de totale hoeveelheid in de winter en de lente (in de orde van 15%).

Bovendien nemen we in vele klimatologische stations van ons land tijdens de laatste zestig jaar een stijgende tendens waar, die significant tot zeer significant is voor de jaarlijkse extreme neerslaghoeveelheden gecumuleerd over verschillende dagen; deze extreme neerslaghoeveelheden komen meestal voor tijdens de winter. De jaarlijkse maxima op 24 uur (of zelfs voor kortere tijdsduren) echter zijn meer stabiel, behalve in het westen van het land waar, volgens een recente studie, in de jaarlijkse dagelijkse maxima al een opmerkelijke stijging aanwezig is.

In Ukkel blijkt, uit de analyse van de jaarlijkse maxima sinds 1898 van de neerslaghoeveelheden in een periode van 1 uur tot 24 uren, dat er geen duidelijke evolutie voor deze parameters merkbaar is. Bovendien, niettegenstaande enkele recordwaarden tijdens de recentste jaren, vertoont de jaarlijkse frequentie van het aantal dagen waarop de neerslaghoeveelheid meer dan 20 mm bedroeg, tot op heden ook geen significante evolutie in Ukkel.

Tenslotte kunnen we uit het geheel van de geanalyseerde neerslaggegevens tot de conclusie komen dat noch de intensiteit, noch de frequentie van onweersbuien in de Brusselse regio een statistisch significante stijging vertonen sinds het begin van de 20ste eeuw. Indien er de laatste jaren een tendens tot verhoging van deze parameters op korte termijn waargenomen werd, zal dit zich moeten bevestigen in de komende jaren om van een opmerkelijke evolutie te kunnen spreken voor de onweersbuien die ons land treffen. Deze vaak intense en overvloedige buien kunnen enkele uren aanhouden.

Vanuit de analyse van de jaarlijkse maxima van de dagelijkse neerslag, welke vaak een onweerachtige oorsprong heeft, opgemeten in het Belgisch klimatologisch netwerk, kunnen we eveneens besluiten dat er geen duidelijke tendens op schaal van ons land bestaat voor de 60 laatste jaren. Dit met uitzondering voor het westen van het land (tot op enkele tientallen kilometers van de kust) dat een verhoging van de jaarlijkse dagmaxima vertoont.

Een volledige studie van de evolutie van de droogtes in België zou talrijke analyses vereisen die niet uitvoerbaar waren in het kader van dit werk. Het hoofdresultaat van deze eerste studie duidt aan dat de duur van de langste periodes zonder significante neerslag geen enkele significante evolutie vertonen sinds het begin van de 19de eeuw.

Nauw verbonden met de stijging van de temperaturen in het begin en op het einde van de 20ste eeuw, is de neerslag onder de vorm van sneeuw zeer duidelijk minder frequent geworden in Ukkel. De hoeveelheid sneeuw op de bodem is heel veranderlijk van het ene jaar op het andere en we kunnen geen duidelijke evolutie ontdekken in de regio Brussel, zelfs al zijn de hoeveelheden gevallen sneeuw de laatste jaren meestal klein. Op het Ardens plateau, in de regio van Saint-Hubert, is er echter een zeer duidelijke daling te zien in de jaarlijkse maximale sneeuwdikte sinds de winterse opwarming van het einde van de jaren 1980.

In Ukkel nemen we een zeer duidelijke daling van de jaarlijkse gemiddelde windsnelheden waar in de tweede helft van de 20ste eeuw. Maar door de ontwikkeling van vegetatie gedurende al die jaren rondom het meetpunt, kunnen we niet met zekerheid zeggen dat deze trend enkel het gevolg is van een klimatologisch effect.

Elders in het land, in enkele meetpunten, bestaan er sinds het midden van de jaren 1960 windmetingen die waarschijnlijk, klimatologisch gezien, betrouwbaarder zijn. De analyse van die gegevens vertoont een vrij plotse daling in de windsnelheid in de jaren 1980, en vervolgens een lichte toename van deze tendens. Dit opmerkelijke gedrag is ook zichtbaar op schaal van de seizoenen, behalve tijdens de winter wanneer de wind, hoewel heel veranderlijk van het ene jaar op het andere, over de gehele periode toch "stabiel" is.

Wat de stormen betreft hebben de analyses, die tot nu toe werden uitgevoerd op de hogere windstoten in Ukkel sinds 1940 en elders in ons land sinds 1985, nog geen specifieke trend aangetoond, noch wat betreft de *intensiteit* van de jaarlijkse maximale windstoten, noch voor de *frequentie* van de maximale windstoten. Ook uit de analyse van de seizoengebonden en jaarlijkse zonnenschijnduur, gemeten in Ukkel, kunnen we geen globale tendens halen voor deze parameters sinds het begin van de metingen in 1887, maar we ontdekken wel een algemene belangrijke variabiliteit op schaal van enkele jaren.

## 1.4 Perspectieven

Wij moeten vermelden dat deze studie van het klimaat van België op schaal van de 20ste eeuw niet volledig is en dat er nog onderzoek in dit domein nodig is. Zo zou bijvoorbeeld het project voor het coderen van de lange reeksen waarnemingen van het klimatologische netwerk ons moeten toelaten de resultaten van de uitgevoerde analyses voor die reeksen te vergelijken met de reeds bekomen resultaten van het station te Ukkel.

Vervolgens zou het nuttig zijn om de evolutie van andere klimatologische parameters te onderzoeken die hier nog niet bestudeerd werden, hetzij door gebrek aan tijd, hetzij bij gebrek aan reeksen beschikbaar onder digitale vorm, zoals de bewolingsgraad maar eveneens de gecombineerde evolutie van verschillende parameters. Het zou bovendien ook bijzonder interessant zijn om de hier besproken veranderingen te linken aan waargenomen veranderingen in de atmosferische circulatie en de frequentie van de weertypes.

Tenslotte zou de analyse van de evolutie van de verschillende klimaatindexen, die verschillende klimatologische parameters combineren, uitgevoerd kunnen worden in samenwerking met personen of groepen die geïnteresseerd zijn in de studie van de impact van de klimaatveranderingen op verschillende domeinen (landbouw, bosbouw, fauna en flora, hydrologie, gezondheid, energie, verzekeringen, ...).

Wij hebben in dit hoofdstuk een geheel van resultaten gebundeld afkomstig van de analyses van de lange klimatologische waarnemingsreeksen uitgevoerd te Ukkel. Het volgende hoofdstuk illustreert de bijdrage van het KMI in onderzoekdomeinen die de opvolging van het klimaatsysteem betreffen, vertrekkende vanuit recentere meettechnieken. Als aanvulling van dit hoofdstuk zal de evolutie van andere klimatologische parameters, die eveneens te Ukkel worden gemeten (bvb ozon, zonne-straling, aerosolen) worden voorgesteld, maar over kortere periodes.



## Bibliografie

- Brabson, B.B. and Palutikof, J.P.: The evolution of extreme temperatures in the Central England temperature record. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 2163, 2002.
- Delcloo, A. and Tricot, Ch.: Reference meteorological stations and wind data. In «Improved prediction of wind power in Belgium», project CP/54 SPSP II (Y. Cabooter et al.), Final Report, published by the Belgian Science Policy, 11-62, 2007.
- Demarée, G.R., Lachaert, P.J., Verhoeve T. and Thoen, E.: The Long-Term Daily Central Belgium Temperature (CBT) Series (1767--1998) and Early Instrumental Meteorological Observations in Belgium. *Climate Change*, 53, 269-293, 2002.
- Gellens, D.: Trend analysis of k-day extreme precipitation over Belgium by means of nonparametric tests and principal components. *Theor. Appl. Climatol.*, 66, 117-129, 2000.
- Gellens, D.: Combining regional approach and data extension procedure for assessing GEV distribution of extreme precipitation in Belgium. *J. Hydrol.*, 268, 113-126, 2002.
- Hamdi, R. and Van de Vyver, H.: Estimating urban heat island effects on near-surface temperature records of Uccle (Brussels, Belgium) : An observational and modeling study. *Advances in Science and Research*, 6, 27-34, 2011.
- Hamdi, R., Deckmyn, A., Termonia, P., Demarée, G.R., Baguis, P., Vanhuyse, S. and Wolf, E: Effects of historical urbanization in the Brussels Capital Region on surface air temperatures series : A model study. *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 48, 2181-2196, 2009.
- Hurrell, J. (2012). NAO/NAM climate indices. Available at <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>.
- IPCC: Climate Change 2013 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013.
- Mann, H.B.: Non parametric test against trend. *Econometrika*, 13, 245-259.
- Ntegeka, V. and Willems, P.: Trends and multidecadal oscillations in rainfall extremes, based on a more than 100-year time series of 10 min rainfall intensities at Uccle, Belgium. *Water Resour. Res.*, 44, W07402, doi:10.1029/2007WR006471, 2008.
- Pettitt, A.N.: A non parametric approach to the change-point problem. *Appl. Stat.*, 28, 126-135.
- Schlesinger, M. E. and Ramankutty, N.: An oscillation in the global climate system of period 65-70 years. *Nature* 367, 723-726, 1994.
- Sneyers, S.: On the statistical analysis of series of observations. Technical note, n°143, WMO N°415, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 1990.
- Van de Vyver, H.: Spatial regression models for extreme precipitation in Belgium. *Water Resour. Res.*, 48, W09549, doi:10.1029/2011WR011707, 2012 a.
- Van de Vyver, H.: Evolution of extreme temperatures in Belgium since the 1950s. *Theor. Appl. Climatol.*, 107, 113-129, 2012 b.
- Van de Vyver, H.: Practical return level mapping for extreme precipitation. *IRM, Publication scientifique et technique*, n°62, 30 p., 2013.
- Vannitsem, S. and Naveau, P: Spatial dependences among precipitation maxima over Belgium. *Nonlinear Processes Geophys.*, 14, 621-630, 2007.