

# ECOSYSTEEMVISIE VOOR DE VLAAMSE KUST ABIOTISCHE FACTOREN

## KLIMAAT

**Carole AMPE**

31 januari 1996



Uitvoerder

Universiteit Gent  
Vakgroep Geologie en Bodemkunde  
Eenheid Bodemkunde  
Krijgslaan 281, S8, B-9000 Gent  
Promotor : Prof. Dr. R. Langohr

Opdrachtgever

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap  
Departement Leefmilieu en Infrastructuur  
AMINAL, Afdeling Natuur  
Belliardstraat 14-18, B-1040 Brussel  
Leidende ambtenaar : ir. J.-L. Herrier

Coördinator : Sam Provoost (Instituut voor Natuurbehoud, Kliniekstraat 25, B-1070 Brussel)

**ECOSYSTEEMVISIE VOOR DE VLAAMSE KUST  
ABIOTISCHE FACTOREN**

**KLIMAAT**

**Carole AMPE**

31 januari 1996



**Uitvoerder**

Universiteit Gent  
Vakgroep Geologie en Bodemkunde  
Eenheid Bodemkunde  
Krijgslaan 281, S8, B-9000 Gent  
Promotor : Prof. Dr. R. Langohr

**Opdrachtgever**

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap  
Departement Leefmilieu en Infrastructuur  
AMINAL, Afdeling Natuur  
Belliardstraat 14-18, B-1040 Brussel  
Leidende ambtenaar : ir. J.-L. Herrier

Coördinator : Sam Provoost (Instituut voor Natuurbehoud, Kliniekstraat 25, B-1070 Brussel)

# ECOSYSTEEMVISIE VOOR DE VLAAMSE KUST ABIOTISCHE FACTOREN

## KLIMAAT

**Carole AMPE**

31 januari 1996



### Uitvoerder

Universiteit Gent  
Vakgroep Geologie en Bodemkunde  
Eenheid Bodemkunde  
Krijgslaan 281, S8, B-9000 Gent  
Promotor : Prof. Dr. R. Langohr

### Opdrachtgever

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap  
Departement Leefmilieu en Infrastructuur  
AMINAL, Afdeling Natuur  
Belliardstraat 14-18, B-1040 Brussel  
Leidende ambtenaar : ir. J.-L. Herrier

Coördinator : Sam Provoost (Instituut voor Natuurbehoud, Kliniekstraat 25, B-1070 Brussel)

# *Klimaat*

## Voorwoord

Begin november 1995 (schrijven van 8 november 1995 door coördinator Sam Provoost) werd aan Lic. Carole Ampe, de opdracht gegeven om de bestaande gegevens over het klimaat van de Vlaamse kust te verzamelen en **bondig te bespreken**. Wegens het krappe tijdschema (einddatum van het project is 31 januari 1996) was het onmogelijk om een volledig uitgediept hoofdstuk aan dit onderwerp te wijten.

Bij het tot stand komen van dit document werden een aantal personen geraadpleegd die ik hiervoor wens te bedanken :

- Prof. Dr. C. Vernemmen van de Vakgroep Geografie, RUG, voor het kritisch doorlezen van het document;
- Ir. Bodeux van het K.M.I. voor klimatologische informatie;
- Adjudant-Chef Dirk Denil en Eerste Sergeant Peter Bruers van Meteo-Wing Koksijde voor klimatologische informatie voor de periode 1981 tot 1984 en 1995;
- Ir. G. Dumon en Bart Provoost van de Administratie Dienst der Kust voor informatie omtrent stormvloedfrequenties.

# Inhoud

<b>1. KLIMAAT</b> .....	<b>1</b>
1.1 WAARNEMINGSNETWERK.....	1
1.2 BESTAANDE KLIMAATSGEGEVENS VOOR HET KUSTGEBIED .....	1
1.2.1 METEOROLOGISCHE STATIONS BEHEERD DOOR HET K.M.I., METEO-RLW EN METEO-WINGI	
1.2.2 AANVULLENDE KLIMAATSGEGEVENS VOOR HET KUSTGEBIED.....	4
1.3 ALGEMENE KARAKTERISTIEKEN VAN HET KLIMAAT VAN HET KUSTGEBIED .....	5
1.3.1 INLEIDING.....	5
1.3.2 SAMENVATTING VAN DE GEBRUIKTE GEGEVENS IN GECONSULTEERDE PUBLICATIES.....	5
1.3.3 KLIMAATTYPES.....	6
1.3.4 TEMPERATUUR.....	7
1.3.5 VORST ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ ).....	11
1.3.6 NEERSLAG.....	13
1.3.7 DE VOCHTIGHEID VAN DE LUCHT.....	18
1.3.8 WIND.....	20
1.3.9 ZONNESCHIJNDUUR.....	23
1.3.10 MIST.....	25
1.3.11 STORMVLOEDFREQUENTIES.....	27
1.3.12 POTENTIELE EN ACTUELE EVAPOTRANSPIRATIE, DEFICIET EN SURPLUS.....	30
1.3.12.1 Potentiële evapotranspiratie.....	30
1.3.12.2 Actuele evapotranspiratie.....	30
1.3.12.3 Werkelijk deficiet volgens de waterbalans.....	31
1.3.12.4 Surplus.....	31
1.4 KLIMATOLOGISCHE PARAMETERS VOOR KOKSIJDE TUSSEN 1985 EN 1995.....	33
1.4.1 MINIMUM TEMPERATUUR.....	33
1.4.2 MAXIMUM TEMPERATUUR.....	33
1.4.3 NEERSLAG.....	33
1.4.4 WATERBALANS.....	33
1.4.5 RELATIEVE VOCHTIGHEID (RH).....	35
1.4.6 ZONNESCHIJNDUUR.....	35
1.4.7 WINDSNELHEID.....	35
1.5 MICROKLIMATOLOGIE.....	36
1.5.1 DE TOTALE ENERGIEBALANS VAN HET BODEMOPPERVLAK.....	36
1.5.2 WARMTEHUISHOUDING VAN HET BODEMOPPERVLAK.....	37
1.5.3 WARMTEHUISHOUDING VAN DE BODEM.....	38
1.5.4 VOCHTIGHEID.....	42
1.5.5 WIND.....	42
1.5.6 EXPOSITIE EN INCLINATIE.....	43
1.6 DE INVLOED VAN DE VEGETATIE OP HET MICROKLIMAAT.....	46
1.6.1 DE STRALINGS- EN TOTALE ENERGIEBALANS VAN HET BODEMOPPERVLAK.....	46
1.6.2 HET MIKROKLIMAAT.....	47
1.6.2.1 Het actieve oppervlak.....	47
1.6.2.2 De temperatuur.....	47
1.6.2.3 Neerslag.....	48
1.6.2.4 Luchtvochtigheid.....	49
1.6.2.5 Windsnelheid.....	49
1.7 VARIABILITEIT VAN HET KLIMAAT.....	51
1.8 BEKNOPTE WOORDENLIJST.....	52
1.9 BIBLIOGRAFIE.....	54
APPENDIX 1	
APPENDIX 2	

# 1. KLIMAAT

## 1.1 WAARNEMINGSNETWERK

Klimatologische waarnemingen in België worden uitgevoerd door hoofdzakelijk 3 verschillende diensten :

- 1) Koninklijk Meteorologisch Instituut (K.M.I.)
- 2) Meteorologische Dient - Regie der Luchtwegen (Meteo-RLW)
- 3) Meteorologische Wing van de Belgische Luchtmacht (Meteo-Wing).

De hieronder voorgestelde overzichtskaarten van neerslag en temperatuur maakten gebruik van de normaalwaarden berekend voor 360 neerslagstations (Dupriez et al., 1978) en voor 142 temperatuurstations (Sneyers et al., 1981). Rekening houdend met de ruimtelijke variabiliteit van het gemeten element en de gewenste precisie (Sneyers, 1973), bereikt de dichtheid van het waarnemingsnet niet de optimale situatie. Een correcte ruimtelijke spreiding van de stations zou betekenen dat de gemiddelde afstand tussen de stations in de winter 4 km moet zijn voor de neerslag, 2.45 km voor de dagelijkse maximale temperatuur en 22 km voor de pieksnelheden van de wind. In realiteit bedragen deze afstanden respectievelijk 10, 16.4 en 57 km (Alexandre et al., 1992).

## 1.2 BESTAANDE KLIMAATSGEGEVENS VOOR HET KUSTGEBIED

### 1.2.1 METEOROLOGISCHE STATIONS BEHEERD DOOR HET K.M.I., METEO-RLW EN METEO-WING

Onderstaande lijst poogt een overzicht te geven van de bestaande klimatologische gegevens voor het kustgebied. Deze is echter voor aanvullingen vatbaar (ondanks navraag bij het K.M.I.).

De exacte localisatie van deze waarnemingsstations in het kustgebied, met name de afstand tot de zee, de positionering tegenover de duingordel, vergt meer onderzoek. Ook werden een aantal stations gedurende de waarnemingsperiode verplaatst. Dit werd tot nu toe niet verder onderzocht.

#### **Oostende**

Coördinaten : 51°13'N, 2°54E, 4m (Orphelinat (weeshuis), gelegen op ongeveer 1 km van de kust, een beetje buiten het stad)

neerslag en temperatuur : 1901-1928 : Abbé Desmet, weeshuis  
1929-1930 / Personeel Aerogare

Coördinaten : 51°14'25"N, 02°55'16"E, hoogte 2m (pier?)

pluviometer vanaf jan 1951 tot feb 1982

thermometerhut vanaf dec 1953 tot feb 1982

straling vanaf 1/1/1958

synoptische waarnemingen (pier) : waarnemingen gebeuren in feite continu maar per dag worden 8 aflezingen uitgevoerd (alle drie uur)

- 1) de druk in 1/10 mb
- 2) de drukverandering in 1/10 mb
- 3) temperatuur in 1/10 °C
- 4) temperatuur van het dauwpunt in 1/10 °C
- 5) minimum of maximum temperatuur in 1/10 °C
- 6) de windrichting
- 7) de windsnelheid in 1/10 m/sec
- 8) de bewolking in 1/8
- 9) de hoogte der lage wolken in 1/8
- 10) de hoogte der lage wolken in decameter
- 11) de zichtbaarheid in decameter
- 12) de hoeveelheid neerslag in 1/100 mm
- 13) huidig weer
- 14) het verleden weer W1
- 15) het verleden weer W2
- 16) type lage wolken Cl
- 17) type middelhoge wolken Cm
- 18) type hoge wolken Ch
- 19) druktendens a

### **Middelkerke (= Raversijde)**

Coördinaten : 51°11'53"N, 02°52'04"E, hoogte 5m

pluviometer vanaf mei 1955

thermometerhut vanaf mei 1955

### **Metagri-net**

tabel omvat windrichting om 06u, windsnelheid in km/h om 06u, luchttemperatuur in °C om 08u, maximum van de luchttemperatuur in °C vanaf 08u de vorige dag tot 08u vandaag, minimum van de luchttemperatuur in °C vanaf 08u de vorige dag tot 08u vandaag, maximum van de luchttemperatuur in °C tussen 06u en 18u de vorige dag, minimum van de luchttemperatuur in °C tussen 18u de vorige dag en 06u vandaag, minimum temperatuur in °C van de nacht aan de grond op gazon, verzameld water vanaf 08u de vorige dag tot 08u vandaag, toestand van de grond om 08u, dikte van de sneeuwlaag om 08u, bewolking in achtsten om 08u

synoptische waarnemingen : (Oostende luchthaven = Middelkerke) : 8 waarnemingen per dag (alle drie uur)

hydrometeorologisch station vanaf 1967 voor neerslag

### **Knokke-Zwin**

Coördinaten : 51°21'37"N, 03°21'34"E, hoogte 5 m

pluviometer vanaf jan 1964

thermometerhut vanaf juni 1975



**Koksijde**

Coördinaten : 51°05'00"N, 02°39'00"E, hoogte 5 m  
pluviometer vanaf jan 1951  
thermometerhut vanaf dec 1953

**Metagri-net****Metagri-net**

tabel omvat windrichting om 06u, windsnelheid in km/h om 06u, luchttemperatuur in °C om 08u, maximum van de luchttemperatuur in °C vanaf 08u de vorige dag tot 08u vandaag, minimum van de luchttemperatuur in °C vanaf 08u de vorige dag tot 08u vandaag, maximum van de luchttemperatuur in °C tussen 06u en 18u de vorige dag, minimum van de luchttemperatuur in °C tussen 18u de vorige dag en 06u vandaag, minimum temperatuur in °C van de nacht aan de grond op gazon, verzameld water vanaf 08u de vorige dag tot 08u vandaag, toestand van de grond om 08u, dikte van de sneeuwlaag om 08u, bewolking in achtsten om 08u

hydrometeorologisch station vanaf 1967 voor neerslag, temperatuur en andere waarnemingen

stralingsmetingen (niet duidelijk welke) : vanaf 1/1/1988

synoptische waarnemingen : waarnemingen gebeuren in feite continu maar per dag worden 8 aflezingen uitgevoerd (alle drie uur)

**De Panne**

Coördinaten : 51°06'07"N, 02°34'50", hoogte 1 m  
pluviometer vanaf juni 1990  
thermometerhut vanaf juni 1990, terug gesloten sedert?

**Blankenberge**

Coördinaten : 51°18'39"N, 03°N06'43"E, hoogte 5 m  
pluviometer vanaf april 1951

**Nieuwpoort**

Coördinaten : 51°07'42"N, 02°45'49"E; hoogte 5 m  
pluviometer vanaf jan 1951

**Heist aan zee**

Coördinaten : 51°20'N, 3°12'E, hoogte 7 m  
neerslag : 1901-1914 : Bruggen en Wegen  
1915-1930 : Dermul

Coördinaten : 51°20'13"N, 03°13'27"E, hoogte 5 m  
pluviometer vanaf jan 1951

**Klemskerke - De Haan**

Coördinaten : 51°16'N, 3°00'E, hoogte 20 m (?)

neerslag :        1901-1914 : Bruggen en Wegen  
                      1915-1930 : Trodoux-brigadier douane  
                      nu gesloten sedert?

### 1.2.2 AANVULLENDE KLIMAATSgegevens voor het kustgebied

Door de afdeling hydrometeorologie van het ministerie van de Vlaamse gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust worden windmetingen, luchtdruk, temperaturen, neerslag, naast golf- en getijmetingen uitgevoerd voor een aantal stations. Het station met het grootst aantal opgemeten parameters (wind, luchtdruk, neerslag, luchttemperatuur, grondtemperatuur, natte bol temperatuur, relatieve vochtigheid) is Meteopark Zeebrugge. Dit station is gesitueerd nabij het zeesluisstation P. Vandamme, gelegen tussen de nieuwe voor- en achterhaven van Zeebrugge. De andere stations, waarvoor minder parameters worden opgemeten, zijn in zee gelegen.

Verder worden ook meteorologische waarnemingen uitgevoerd door de weeramateurs. Tot zover was het niet mogelijk om deze amateurs op te sporen en te contacteren.

### 1.3 ALGEMENE KARAKTERISTIEKEN VAN HET KLIMAAT VAN HET KUSTGEBIED

#### 1.3.1 INLEIDING

Het Vlaamse kustgebied kent een gematigd klimaat. Het is een oceanisch klimaat met zachte temperaturen, totale hoeveelheid neerslag aan de lage kant (Alexandre et al., 1992). In grote trekken verschilt het kustklimaat met het binnenlandse klimaat op de volgende punten. De gemiddelde luchttemperatuur in de winter is er hoger, in de zomer is ze lager dan in het binnenland. De dagelijkse en maandelijks temperatuurschommelingen zijn geringer. Wat betreft neerslag lijkt het kustgebied iets minder neerslag te ontvangen dan het binnenland; mist zou zelden voorkomen aan de kust in de zomer. Zowel gemiddelde windsnelheid, gemiddelde relatieve vochtigheid en aantal zonne-uren zouden iets hoger zijn in het kustgebied dan in het binnenland (Poncelet, 1951).

#### 1.3.2 SAMENVATTING VAN DE GEBRUIKTE GEGEVENS IN GECONSULTEERDE PUBLICATIES

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gebruikte gegevens in een aantal publicaties opgenomen in dit literatuuroverzicht. Een vergelijking van het bronnenmateriaal is noodzakelijk om tot een juiste interpretatie van de gegevens te komen.

Tabel 1 : Overzicht van de gebruikte temperatuurgegevens

Publicatie	temperatuur	kuststreek
Poncelet et al., 1947	periode 1901-1930 39 stations	Oostende
Dingens et al., 1964	periode 1901-1930 42 stations aangevuld met 6 stations voor een latere periode (na 1940) + gegevens afgeleid uit maandkaarten voor 34 stations	Oostende Koksijde Klemskerke-De Haan
Sneyers et al., 1985	periode afhankelijk van het station en berekend met behulp van de normale afwijking van Ukkel, uitgaande van de normalen van Ukkel voor de periode 1901-1979. 142 stations	Oostende Knokke-Zwin Koksijde Middelkerke Klemskerke

Tabel 2 : Overzicht van de gebruikte neerslaggegevens

Publicatie	neerslag	kuststreek
Poncelet et al., 1947	periode 1901-1930 97 stations	Oostende Klemskerke-De Haan Heist

Dingens et al., 1964	periode 1901-1930 42 stations aangevuld met : 6 stations voor een latere periode (na 1940) + gegevens afgeleid uit maandkaarten voor 34 stations	Oostende Koksijde Klemskerke-De Haan
Dupriez et al., 1982	periode afhankelijk van het station en berekend met behulp van de normale afwijking van Ukkel, uitgaande van de normalen van Ukkel voor de periode 1833- 1975 360 stations	Koksijde Nieuwpoort Middelkerke-Raversijde Klemskerke-De Haan Blankenberge Heist

### 1.3.3 KLIMAATTYPES

Het gehele klimaat van België behoort tot het type Cfb in de klimaatsclassificatie van Köppen (Dingens et al., 1964), dit wil zeggen een klimaat gekenmerkt door een gemiddelde temperatuur van de warmste maand groter dan 10°C en van de koudste maand tussen de -3 en 18°C (symbool C) met een relatief evenredige spreiding van de neerslag over het gehele jaar (symbool f) en met een gemiddelde temperatuur van de 4 warmste maanden boven de 10°C; de temperatuur van de warmste maand ligt onder de 22°C. Variaties in klimaat veroorzaakt door geografische verschillen in België komen niet tot uiting in deze klimaatsclassificatie.

Dingens et al. (1964) berekenden op basis van de gemiddelde maandelijksse temperatuur en neerslag voor de periode 1901-1930 de potentiële evapotranspiratie. Vergelijking van de verkregen PET-waarden met de neerslagwaarden laten toe een waterbalans op te stellen. Hierop gesteund werkte Thornthwaite een klimaatsclassificatie uit.

Voor geheel België worden zo'n 20 klimaatstypes onderscheiden. Aan de kust vindt men 3 types terug : de west- en oostkust behoren tot het vochtige subhumiede type (Koksijde C2rB'1a' (Vochtig subhumied klimaat (C2) van het quasi permanent vochtige type (r) mesothermaal 1 wat betreft de globale efficiëntie van de temperatuur (B'1) en megathermaal wat betreft de seizoenale efficiëntie van de temperatuur (a')) en Klemskerke- De Haan C2rB'1b'4 (idem als voor Koksijde, enkel de seizoenale temperatuurefficiëntie verschilt : mesothermaal 4)); de middenkust tot het humiede type (Oostende B1rB'1b'4 (humied, type 1 (B1), quasi permanent vochtig (r), mesothermaal 1 voor de globale efficiëntie van de temperatuur (B'1) en mesothermaal 4 wat betreft de seizoenale efficiëntie van de temperatuur (b'4)).

### 1.3.4 TEMPERATUUR

De temperatuur wordt beïnvloed door de hoogte en de nabijheid van de zee.

De hoogteligging beïnvloedt de ruimtelijke verdeling van de gemiddelde temperaturen en de gemiddelde extreme maandelijksse temperaturen. De gemiddelde afkoelingsgraad varieert echter van maand tot maand en is veel hoger in de winter dan in de zomer.

De invloed van de Noordzee en van Zeeland laat zich vooral op de maximumtemperaturen gelden, tot zo'n 30 à 40 km landinwaarts en dit van april tot augustus. Dit effect verzwakt de amplitude van het dagelijkse en het seizoenale verloop (Alexandre et al. 1992).

De gemiddelde luchttemperatuur voor de kuststreek bedraagt tussen 9.5 en 10°C. De hoogste jaarlijkse gemiddelde luchttemperaturen (10-10.5°C) komen voor in de Beneden-Schelde vallei en het ZW deel van West-Vlaanderen (Fig. 1). De gemiddelde luchttemperatuur toont de hoogste waarden voor de west- en middenkuststreek voor de maanden januari, februari, maart en voor de gehele kuststreek voor de maanden oktober, november en december. De gemiddelde maximum temperatuur is het hoogst langsheen de westkust voor de maanden januari en februari, november en december. De gemiddelde minimum temperatuur is het hoogst langsheen de kust gedurende het gehele jaar (Fig. 2). (Poncelet et al., 1947). Een iets meer gedetailleerd beeld, maar in grote trekken overeenstemmend met Poncelet et al. (1947) wordt voorgesteld in de publicatie van Dingens et al. (1964). De gemiddelde jaarlijkse temperatuur ligt voor de kust tussen de 9.5 en 10°C. De hoogste waarden worden bereikt in een strook die zich uitstrekt van Beneden-Schelde tot Brussel met een gemiddelde jaarlijkse temperatuur van 10.8°C. Deze zone ligt iets meer naar het oosten vergeleken met Poncelet et al. (1947). Wat het seizoenaal verloop van de temperatuur betreft worden de hoogste gemiddelde luchttemperatuurwaarden teruggevonden in Midden-België; enkel in de herfst (september tot november) is de gemiddelde luchttemperatuur van de kust even hoog als in Midden-België.

Het verloop van de temperatuur vertoont een variabiliteit van jaar tot jaar zodat de periode waarover de gemiddelden berekend worden het resultaat beïnvloeden. Zo is voor Ukkel de gemiddelde jaarlijkse temperatuur berekend over de periode 1887-1946 (60 jaar),  $9,38^{\circ}\text{C} \pm 0,047^{\circ}\text{C}$ , voor de periode 1901-1930 (30 jaar) is de gemiddelde temperatuur  $9,41^{\circ}\text{C} \pm 0,065^{\circ}\text{C}$  (Poncelet et al., 1947). Alexandre et al. (1992) vindt een gemiddelde temperatuur voor de periode 1901 tot 1992 van  $9,8^{\circ}\text{C}$  met een standaardafwijking van  $0,8^{\circ}\text{C}$ . Alexandre et al. (1992) stelt een opwarming vast tussen 1890 en 1960, maar er komt geen uitzonderlijk jaar voor met een afwijking van meer dan 2 keer de standaardafwijking wat betreft de temperatuur geen, behalve 1989, dat het warmste jaar is sedert het begin van de waarnemingen (waarnemingsperiode loopt tot 1990). De abnormale jaren worden gekenmerkt door de strengheid of de zachtheid van de wintermaanden. Sneyers et al. (1990) pasten een trend test toe op de maandelijksse en jaarlijkse lucht temperatuur gegevens van 1833 tot 1988 voor Ukkel (Fig. 3). De serie blijft stabiel tussen 1833 en 1909 en vanaf 1934 tot 1988. Tussen 1910 en 1933 heeft een progressieve toename van de luchttemperatuur met ongeveer  $1^{\circ}\text{C}$  plaats gegrepen. Deze temperatuursverhoging voor de winter en herfstmaanden is opgetreden rond 1910, voor de zomer en lentemaanden was dit rond 1930 (Sneyers et al., 1995). Volgens Sneyers et al. (1990) gebeurde deze toename op abrupte wijze. De toename in de jaarlijkse gemiddelde luchttemperatuur ging gepaard met een significante afname van de variabiliteit.

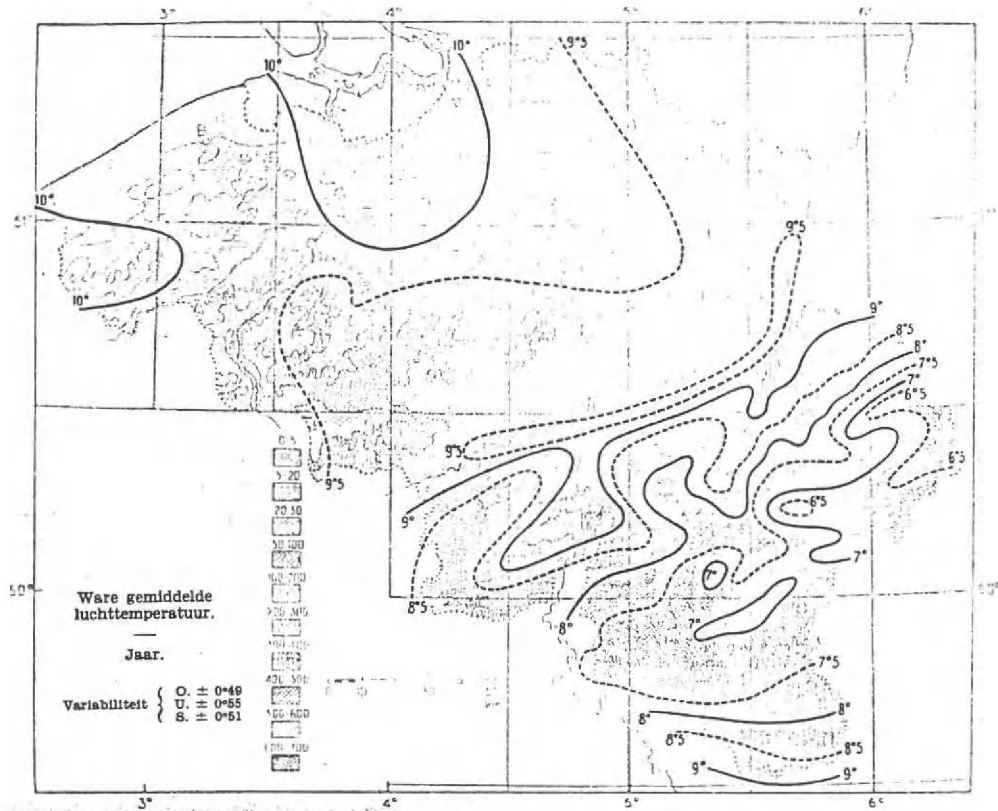


Fig. 1: Gemiddelde jaarlijkse luchttemperatuur (Ponçelet & Martin, 1947).

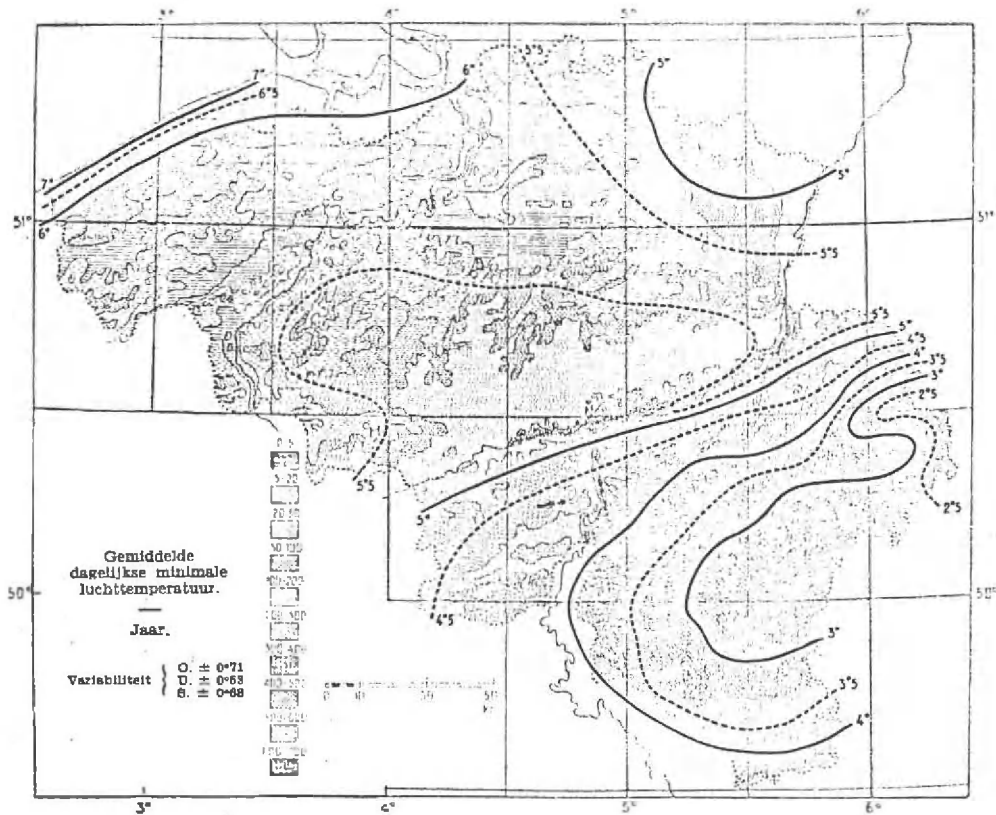


Fig. 2: Gemiddelde jaarlijkse minimum luchttemperatuur (Ponçelet & Martin, 1947).

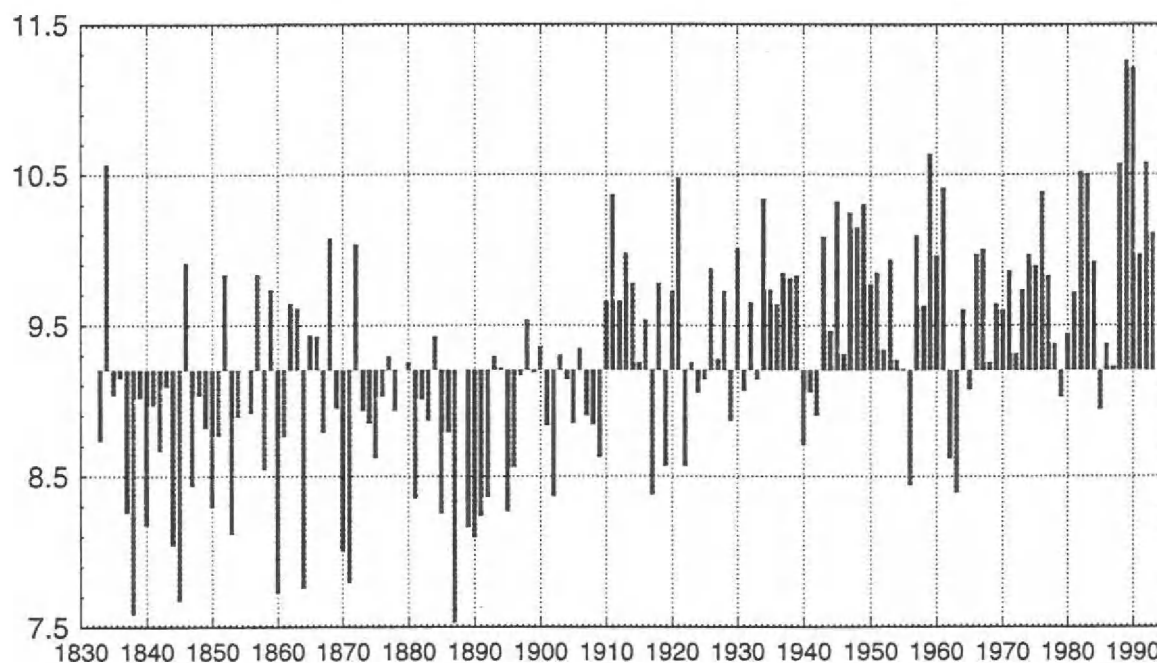


Fig. 3: Gemiddelde jaarlijkse temperaturen, Ukkel 1833 - 1993 (Sneyers & Vandiepenbeeck, 1995).

Een vergelijking van de waarnemingsstations Oostende, Ukkel en Kleine-Brogel (Landuyt et al., 1992) toont aan dat de ware gemiddelde temperatuur (= gemiddelde berekend op de 2-uurlijkse temperatuurwaarnemingen) voor Oostende hoger is van oktober tot februari dan voor de twee binnenlandse stations; van mei tot juli is de omgekeerde situatie waar (Fig. 4). De invloed van de zee laat zich gelden : de luchttemperatuur te Oostende is sterk door de zeewatertemperaturen beïnvloed. De watermassa dichtbij warmt traag op in de lente- en zomermaanden (verschil in warmtecapaciteit tussen land en zee). Van oktober tot februari is het omgekeerd : het zeewater koelt traag af en het land verliest snel de opgedane warmte.

Wat betreft de gemiddelde maximumtemperaturen : Kleine-Brogel heeft de hoogste gemiddelde maximumtemperaturen, Oostende de laagste, Ukkel ligt daar tussenin. Zowel in februari als in oktober zijn de gemiddelden van de 3 waarnemingsposten nagenoeg dezelfde. Van november tot januari heeft Oostende de hoogste gemiddelden en Kleine-Brogel de laagste. De gemiddelde minimumtemperatuur is in Klein Brogel beduidend lager dan deze van Oostende en Ukkel. De gemiddelde minimumtemperatuur is het resultaat van de nachtelijke afkoeling van het landoppervlak. Te Oostende speelt deze afkoeling het minst, omdat het zeewateroppervlak zeer traag in temperatuur daalt, de watertemperatuur verschilt weinig tussen nacht en dag. De afkoeling van de lucht wordt in Oostende (te land) gecompenseerd door de warmteoverdracht van het water naar de onderste luchtlagen. Enkel in mei en juni is het gemiddeld minimum te Oostende, een paar tienden lager dan in Ukkel.

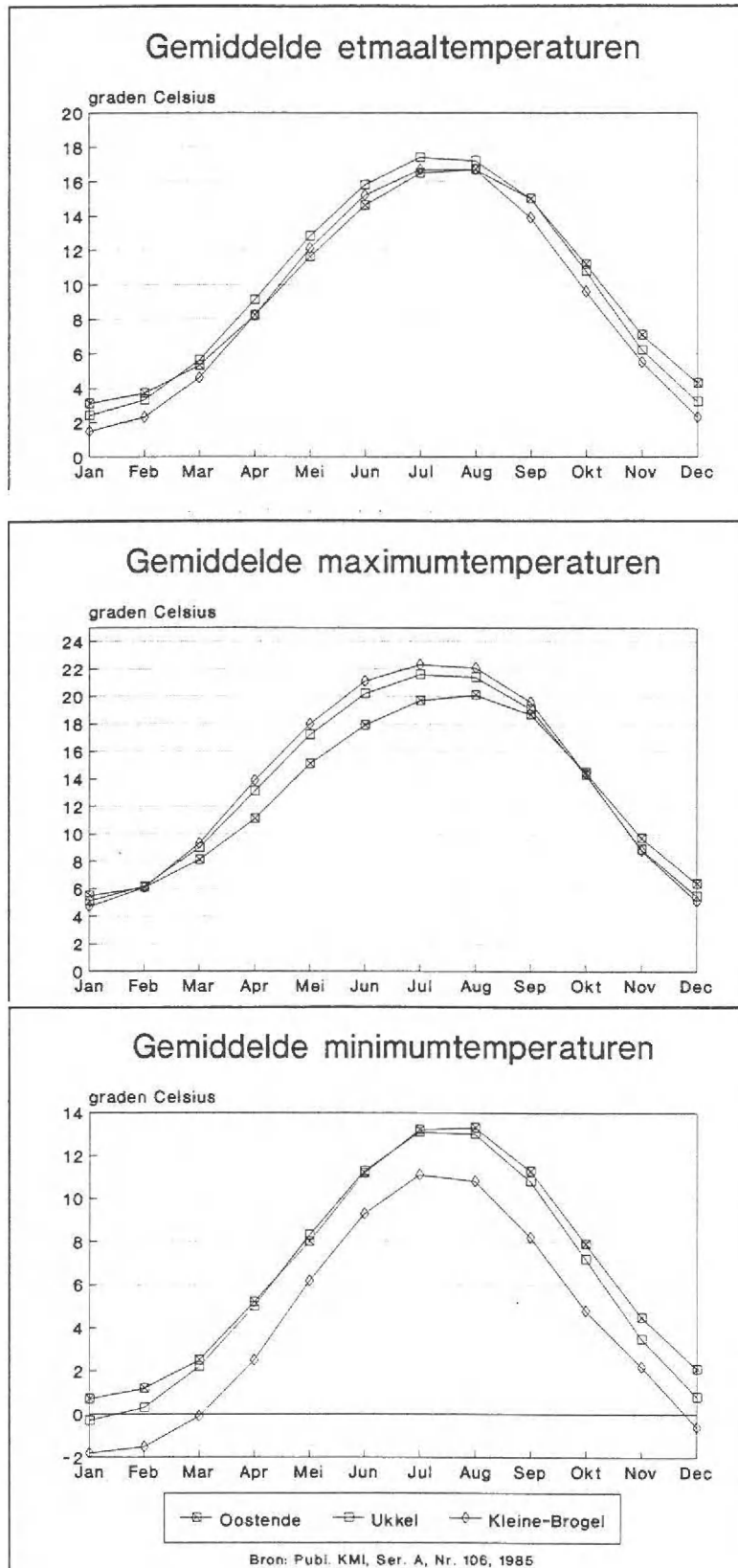


Fig. 4: Gemiddelde etmaal temperaturen, maximum- en minimumtemperaturen voor Oostende, Ukkel en Kleine Brogel (Sneyers & Vandiepenbeeck, 1985 in Landuyt et al., 1992)



### 1.3.5 VORST ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ )

Het gemiddeld aantal vorstdagen per jaar voor de kust bedraagt 45 dagen; naar het binnenland toe neemt het aantal vorstdagen toe tot meer dan 120 dagen voor de Ardense hoogten (Fig. 5).

De gemiddelde aanvangsdatum voor de vorstperiode is iets na 5 november voor de kuststreek; voor de Ardense hoogten is dit reeds rond 10 oktober (Fig. 6).

De gemiddelde einddatum voor vorst is voor de kust rond 10 april, voor de Ardense hoogten is dit rond 20 mei.

De gemiddelde duur van een aaneensluitende periode zonder vorst is aan de kust 220 dagen, op de Ardense hoogten is dit slechts 140 dagen (Poncelet et al., 1947).

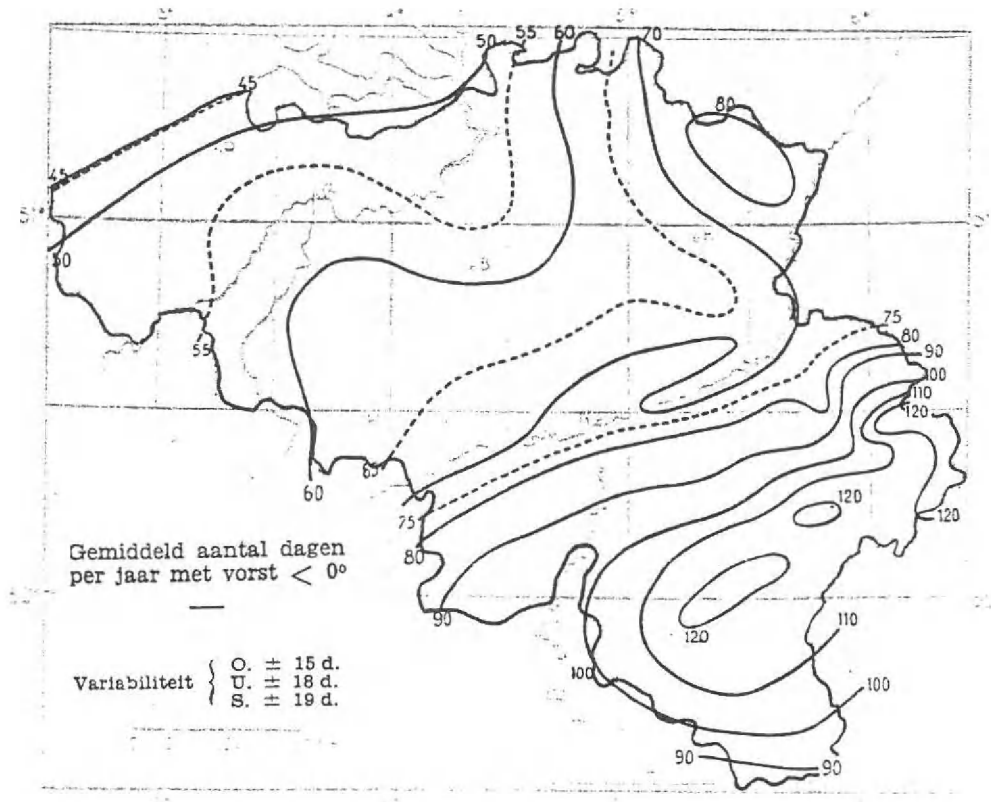


Fig. 5: Gemiddeld aantal vorstdagen per jaar (Poncelet & Martin, 1947)

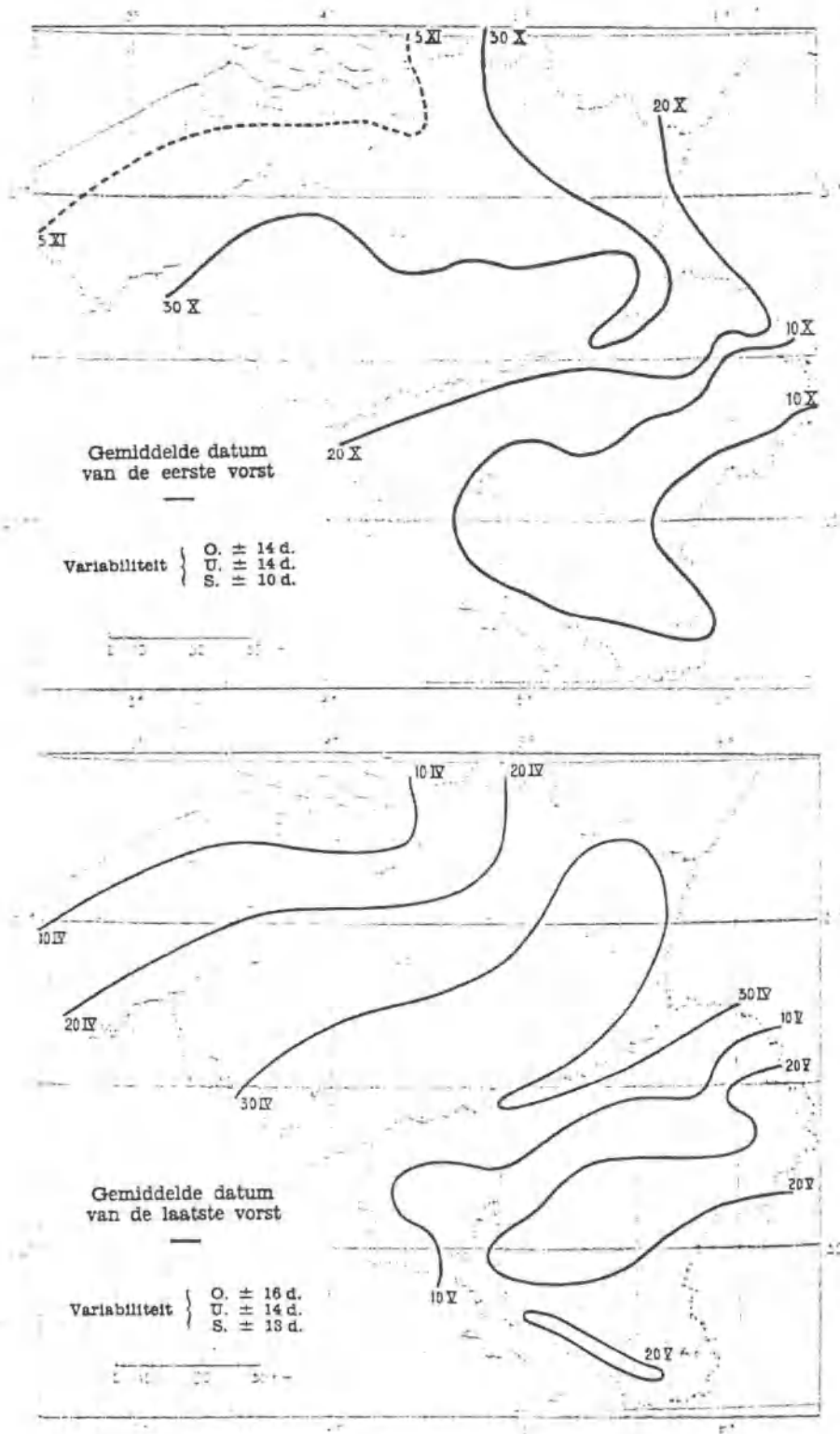


Fig. 6: Gemiddelde datum van eerste en laatste vorstdag (Poncelet & Martin, 1947)

### 1.3.6 NEERSLAG

De jaarlijkse normaalwaarden van de neerslag wijzen op een dominerende invloed van de hoogteligging; andere factoren die de neerslag hoeveelheid beïnvloeden zijn de algemene oriëntatie van de helling ten opzichte van de richting van de gevolgde storingen (regenschaduwgebieden), neerslagbuien afkomstig van onstabiele wolkenformaties (onweders).

De kust ontvangt jaarlijks tussen de 750 en 800 mm neerslag; meer naar het binnenland toe in Binnen-Vlaanderen bedraagt deze rond de 800 mm (Fig. 7). De streek Kanegem-Zomergem en de streek rond Ieper krijgen meer dan 850 mm neerslag. De zone vanaf Ath tot de Noorderkempen ontvangen tussen de 750 en 800 mm, de Scheldevallei vanaf Dendermonde tot aan de Nederlandse grens is iets droger en ontvangt tussen de 700 en 750 mm neerslag.

De hoeveelheid maandelijkse neerslag langsheen de kust varieert tussen de  $\pm 35$  en  $\pm 90$  mm. Februari is de droogste maand; oktober veruit de natste maand. De kuststreek krijgt het minste neerslag gedurende de maanden februari tot augustus. Neerslag gedurende het groeiseizoen, maanden mei-juni-juli: westkust ontvangt tussen de 170 en 180 mm de oostkust tussen de 180 en 190 mm, de laagste waarden voor België (Poncelet et al., 1947) (Fig. 8).

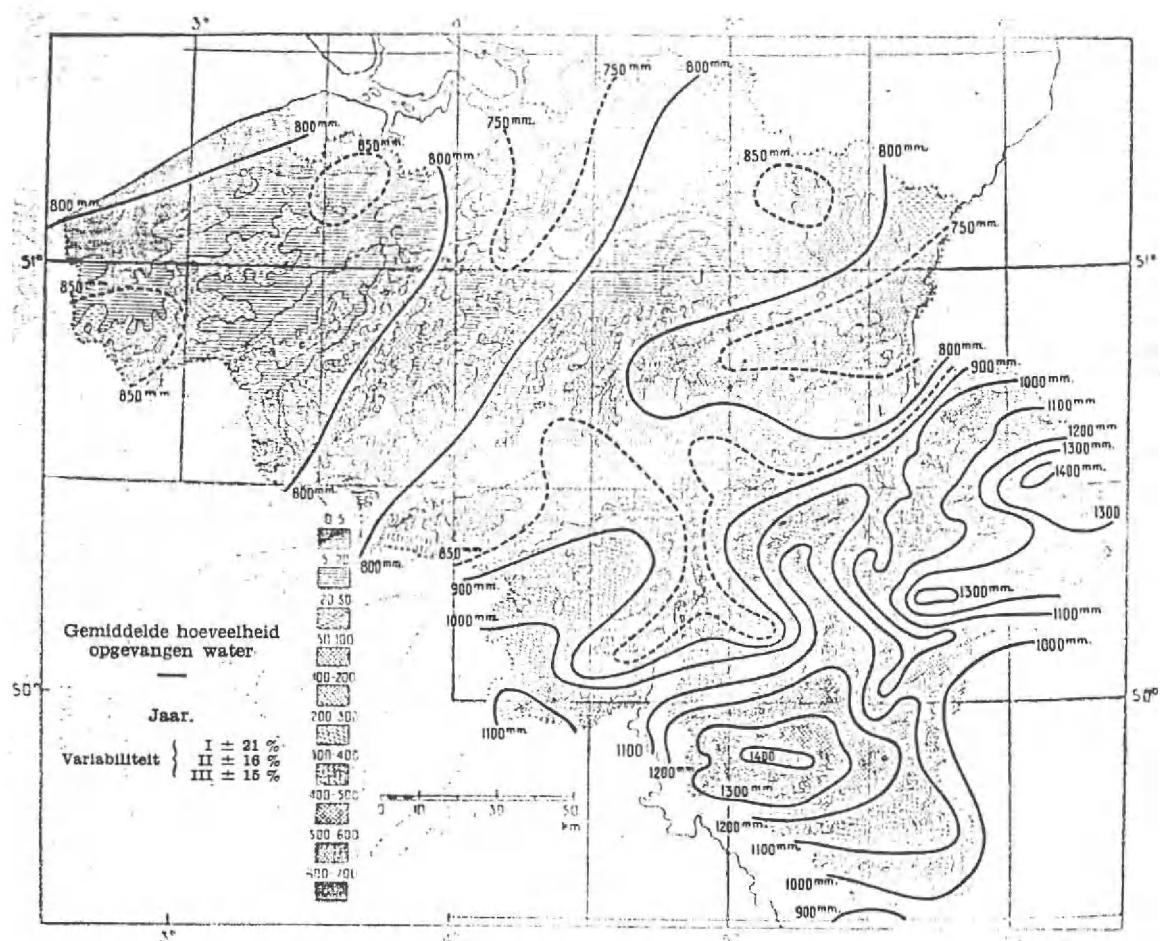


Fig. 7: Gemiddelde jaarlijkse neerslag (Poncelet & Martin, 1947)

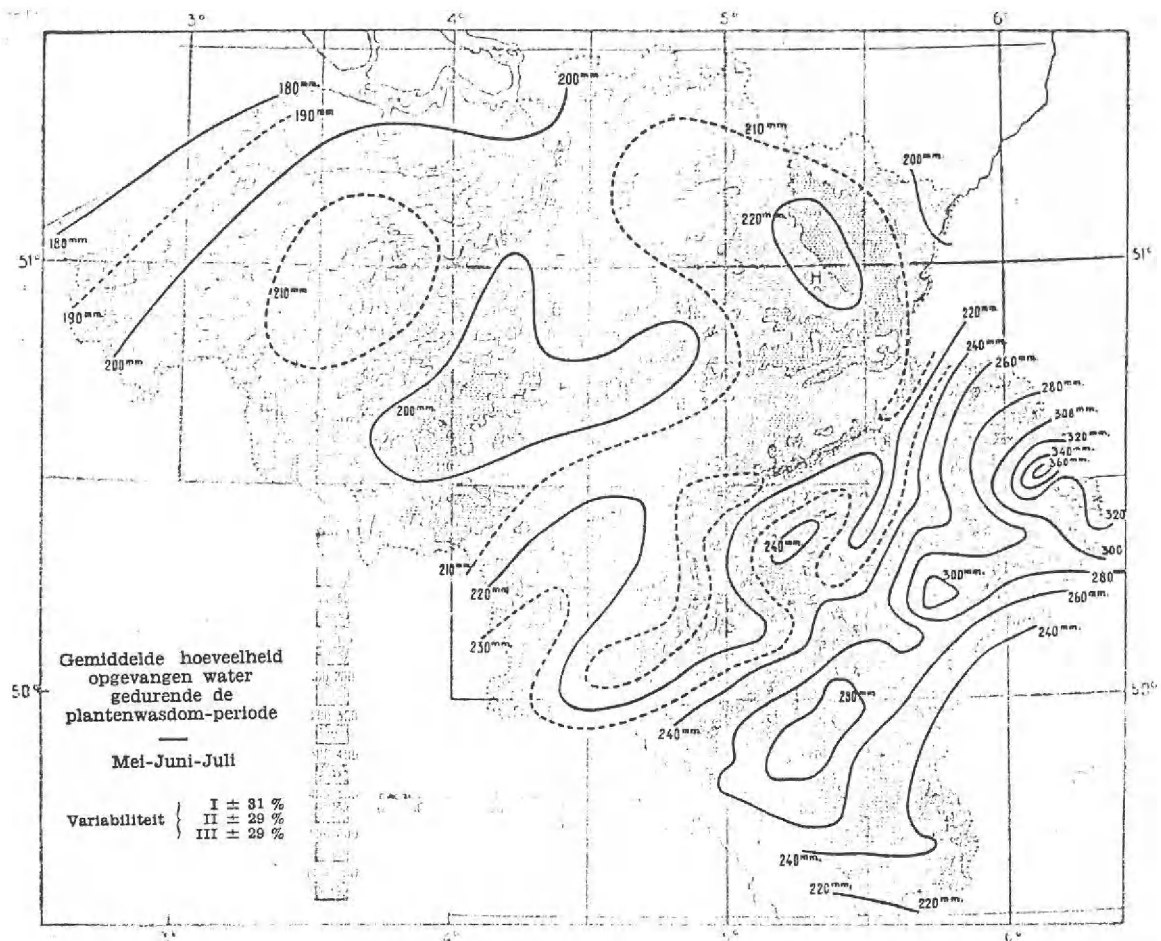


Fig. 8: Gemiddelde hoeveelheid neerslag gedurende de groeiperiode, mei tot juli (Poncelet & Martin, 1947)

De gegevens voorgesteld in Dingens et al. (1964) komen in grote trekken overeen met het kaartje van Poncelet. In Laag- en Midden België stijgt de neerslag vanaf de kust tot op ongeveer een 30-tal km van de kust (Ieper 875 mm, Zomergem 855 mm) met een relatief minimum nabij Gent, en een toenemend gemiddelde naar het zuiden toe. De N-Z lopende strook van Wuustwezel, Sint-Niklaas naar Ath heeft een lagere neerslag (Antwerpen 713 en Ath 758 mm). Zuid- en oostwaarts neemt de neerslag toe. In Hoog-België worden hoge hoeveelheden neerslag ontvangen op het Ardens plateau (hoogte > 600m) en in het zuidwesten van de Ardennen. De seizoenale gegevens tonen een minimum in de lente en zomer aan de westkust met 124 en 180 mm respectievelijk. De kuststreek kent een eenvoudig neerslagregime met een neerslagmaximum in de herfst; minste neerslag valt in het algemeen op het einde van de winter en het begin van de lente.

Een duidelijk verschil tussen de kaartjes van Dingens et al. (1964) en Poncelet (1947) is dat de westkust in de eerstgenoemde publicatie, aangetoond wordt als zijnde veel droger met 664 mm (Koksijde), de laagste jaarlijkse neerslagwaarde van het land. In de studie van Dingens et al. (1964) werd het station Koksijde opgenomen voor een periode van een 10-tal jaar. Dit station werd slechts in gebruik genomen vanaf 1951. Het is niet duidelijk of Koksijde een droger klimaat

heeft, of dat het verschil in lengte en tijdstip van de waarnemingen aan de basis ligt van dit drogere klimaat. Poncelet (1951) spreekt dan juist van een tegenovergestelde neerslaggradiënt met lagere neerslag in het NO en hogere neerslag in het ZW van het kustgebied. Dit zou veroorzaakt zijn door meer frequente kleine buien en motregen in de zone De Panne - Nieuwpoort.

De meest recente gegevens van Dupriez et al. (1979) tonen voor de stations Koksijde, Middelkerke, Oostende en De Haan minder dan 700 mm jaarlijkse neerslag. Blankenberge heeft een waarde van 701 tot 750, Heist een waarde tussen de 751 en 800 mm neerslag. Hier is de toenemende neerslag van ZW naar NO zeer uitgesproken (Fig 9). Deze cijfers geven lagere neerslagcijfers voor geheel België vergeleken met de gegevens van Poncelet et al. (1947) en Dingens (1964). Dit zou erop wijzen dat de periode 1901 tot 1930 relatief natter was dan de normalen van het pluviometrische net die herleid zijn tot de periode 1833 tot 1975.

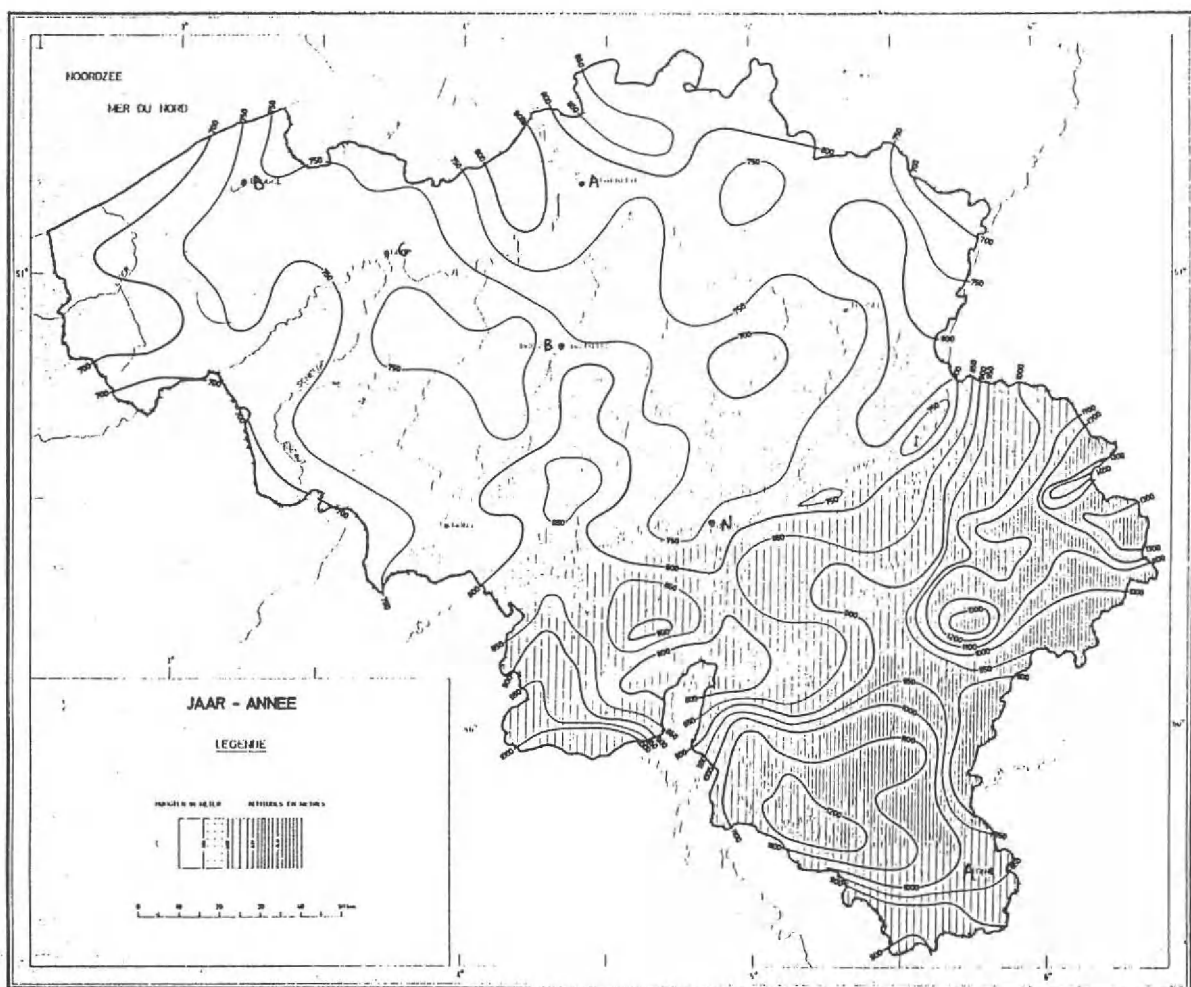


Fig. 9: Jaarlijkse neerslag (Dupriez & Sneyers, 1979)

In een vergelijking van 5 neerslagstations (Koksijde, Melsbroek, Leopoldsburg, St.-Hubert en Botrange) bereikt Koksijde de kleinste maandtotalen behalve voor de maanden september tot oktober. Aan de zee is de neerslagduur korter en zijn er vlugger opklaringen. September-oktober is de periode van herfststoringen die overal voor veel neerslag kunnen zorgen. In deze maanden is de zeewatertemperatuur nog relatief hoog, zodat over de zee en aan de kust gemakkelijker buien tot ontwikkeling komen dan in het binnenland (Landuyt et al., 1992).

Naargelang het type neerslag kan een onderscheid gemaakt worden tussen de stations Koksijde en Melsbroek enerzijds en St.-Hubert anderzijds. Het station St.-Hubert toont een groter aandeel van sneeuw en sneeuwbuien ten koste van de regen. De Ardennen vertonen eveneens een hoger aandeel van motregen (Landuyt et al., 1992 uit KMI, Misc B, 29, 1984) (Fig. 10).

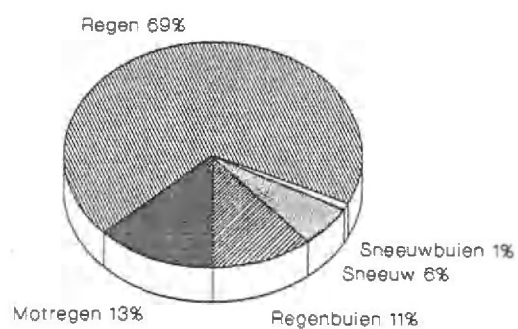
Tabel 3 : Gemiddelde duur neerslagtypes voor Koksijde, Melsbroek en St.-Hubert (Landuyt et al., 1992 uit KMI, Misc B, 29, 1984).

Neerslagtype	Koksijde	Melsbroek	St.-Hubert
regen	69	66	41
motregen	13	17	22
regenbuien	11	6	11
sneeuw	6	10	22
sneeuwbuien	1	1	4

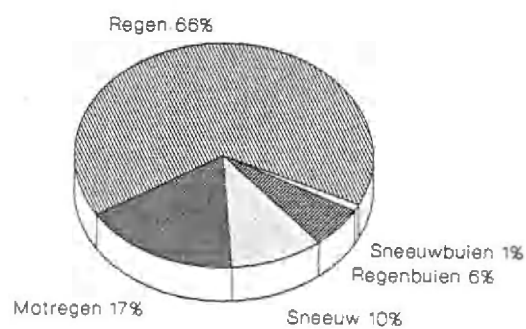
De jaarlijkse neerslag vertoont eveneens een variabiliteit. De periode waarover de gemiddelde jaarlijkse neerslag berekend wordt, beïnvloedt het resultaat. Zo is voor Ukkel de gemiddelde jaarlijkse neerslag 803 mm  $\pm$  10.5 over de periode 1887-1946 (60 jaar) en 835 mm  $\pm$  16.9 over de periode 1901-1930 (30 jaar). Voor Ukkel bedraagt de variabiliteitsindex van 0.15. Jaarlijkse waarden variëren tussen 406 mm (1921) en 1074 mm (1965) met een gemiddelde waarden van 782 mm en een standaardafwijking van 119 mm. Zeer neerslagrijke of neerslagarme jaren worden gekenmerkt door het karakter van de zomer of de herfst (Alexandre et al., 1992). Sneyers et al. (1990) vinden een positieve significante toename in jaarlijkse neerslag hoeveelheden vanaf 1987. Deze toename is te wijten aan hoge neerslagwaarden voor december, januari en maart. De toename in de jaarlijkse hoeveelheid gaat eveneens gepaard met een significante toename in de variabiliteit van de neerslag.

## Gemiddelde duur neerslagtypes

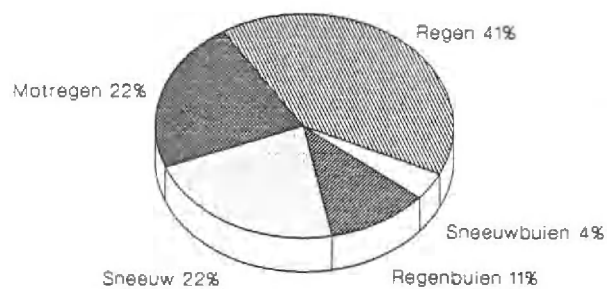
## Koksijde



## Melsbroek



## St.-Hubert



Bron: Publ. KMI, Ser. B, Nr. 29, 1984

Fig. 10: Gemiddelde duur neerslagtypes voor Koksijde, Melsbroek en St.-Hubert (Bodeux, 1984, in Landuyt et al., 1992)

### 1.3.7 DE VOCHTIGHEID VAN DE LUCHT

De vochtigheid van de lucht beïnvloedt de verdamping. Niet alleen wordt de snelheid van de verdamping bepaald maar ook het uiteindelijke watergehalte van organismen, indien deze hun watervoorraad niet door drinken of opname door wortels op peil kunnen houden (Barkman & Stoutjesdijk, 1987).

Hieronder zullen 2 parameters die de vochtigheid in de lucht beschrijven, de relatieve vochtigheid (RH) en het verzadigingsdeficiet (SD), behandeld worden.

De relatieve vochtigheid is de verhouding uitgedrukt in % tussen hetgeen de lucht bevat en kan bevatten aan waterdamp. Het verzadigingsdeficiet is het verschil tussen de grootst mogelijke druk van waterdamp bij de temperatuur van het ogenblik en de huidige dampdruk uitgedrukt in millibar (Bodeux, 1975).

Een algemene vaststelling relevant in het kader van deze studie is dat de RH afneemt met toenemende afstand van de zee en dat een grotere seizoenale variatie naar het binnenland toe optreedt (tabel 4 en fig. 10). Minima van RH voor de meeste stations treden op in de maanden april en mei dus voor de hoogste temperaturen bereikt worden. Dit kan verklaard worden door de vertraging die de opwarming van het zeewater oploopt vergeleken met de opwarming van het land wat resulteert in een geringere verdamping boven de zee en een geringere hoeveelheid vochtigheid die aangebracht wordt door de marieme luchtstromen (Sneyers & Vandiepenbeeck, 1995).

Het verloop van de RH gedurende de dag wordt bepaald door de luchttemperatuur. Gemiddeld worden de hoogste waarden bereikt rond 14u en de laagste rond 4u voor Ukkel (Sneyers & Vandiepenbeeck, 1995). Voor Middelkerke, gesteund op de 3-uurlijkse waarnemingen (Bodeux, 1975), worden de hoogste waarden bereikt om 12 uur voor elke maand, de laagste tussen 0 en 3 uur. Voor Koksijde zijn de laagste waarden meestal tussen 3 en 6 uur, de hoogste rond 15 uur.

Hoffman (1992) toont voor juli 1989, een relatief droge maand (51.8 mm versus de normale van 60 mm), de dagelijkse minimum waarde voor RH voor verschillende stations. De kuststations vertonen minder extreem lage minimumwaarden dan de binnenlandse stations.

Grootste verzadigingsdeficieten komen voor in de maanden juni, juli en augustus. Koksijde en Middelkerke vertonen geringere SD's dan Ukkel voor de maanden februari tot september, dit wil zeggen meer vochtigheid in de lucht in de kustgebieden voor deze maanden (Bodeux, 1975).

Gedurende een etmaal treden de grootste deficieten op rond 15 uur en 12 uur (afgeleid uit de 3-uurlijkse waarnemingen, Bodeux, 1975) en de kleinste deficieten rond 3 tot 6 uur en 3uur voor Koksijde en Middelkerke respectievelijk.



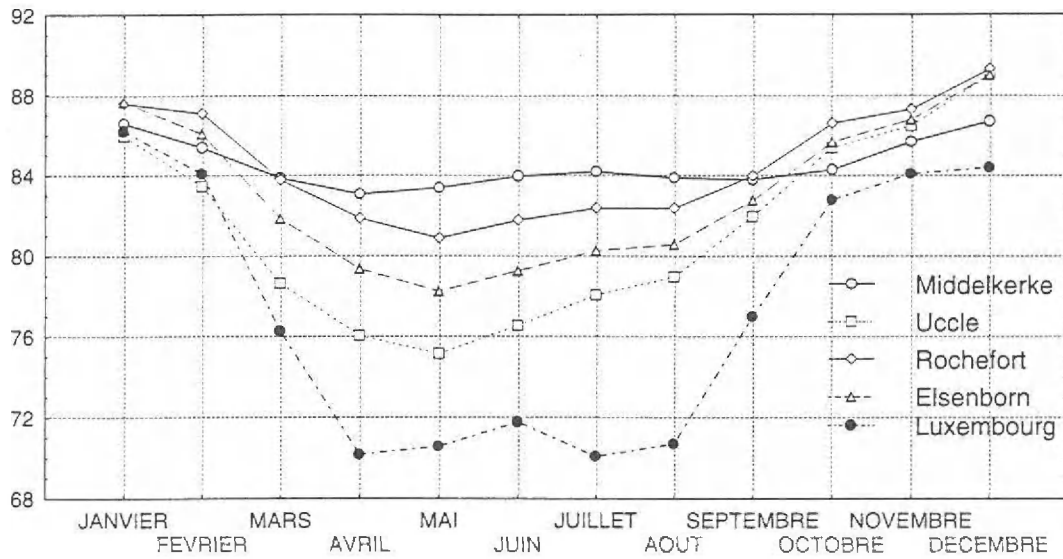


Fig. 11 : Maandelijkse normalen van relatieve vochtigheid voor Middelkerke, Uccle, Rochefort, Elsenborn en Luxembourg.

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MID	866	854	839	831	834	840	842	839	838	843	857	867
KLB	2	-15	-34	-49	-57	-56	-45	-28	-9	6	14	12
ZAV	-9	-21	-36	-52	-63	-67	-55	-51	-36	-20	-9	-5
UCL	-2	-24	-49	-69	-80	-78	-64	-41	-17	4	14	12
RFT	18	18	11	-5	-20	-24	-12	8	24	28	23	18
SHB	27	13	-7	-28	-43	-49	-44	-29	-9	11	26	32
ELS	20	11	-14	-42	-56	-51	-33	-15	-5	-2	4	14
LUX	-4	-13	-76	-129	-128	-122	-141	-132	-68	-15	-16	-23

MID = Middelkerke, KLB = Kleine-Brogel, ZAV = Zaventem, UCL = Uccle, RFT = Rochefort, SHB = Saint-Hubert, ELS = Elsenborn, LUX = Luxembourg.

Tabel 4 : Maandelijkse normalen van relatieve vochtigheid voor Middelkerke. Verschil van de normalen van relatieve vochtigheid van enkele binnenlandse stations vergeleken met Middelkerke (0.1%).

### 1.3.8 WIND

Bodeux (1976) heeft de waarnemingsstations van de luchthavens met elkaar vergeleken omdat de gegevens van deze meetstations het meeste uniform zijn wat betreft de opstelling van de anemometers en de meetperiode (referentieperiode 1963-1972).

De hoogste gemiddelde windsnelheden worden bereikt nabij zee. Middelkerke heeft elke maand het hoogste gemiddelde : het station is het dichtst bij de zee gelegen en de wind wordt er het minst afgeremd door het terrein. Koksijde heeft een reeds heel wat lager gemiddelde omdat het achter een vrij brede en hoge duingordel ligt. Hoe verder in het binnenland, hoe meer bebouwing en beplanting hoe ruwer het terrein wat resulteert in lagere gemiddelde snelheden (Landuyt et al., 1992) (Fig. 12). Over een afstand van 40 km vanaf de kust naar het binnenland toe zijn de windsnelheden iets minder. Over midden-België waait de wind minder sterk; naar het zuiden toe, over de Ardense plateaus wordt een nieuw maximum wat betreft windsnelheid bereikt (Alexandre et al., 1992).

Twee maxima worden gedurende het jaar onderscheiden : in de maand maart en in november; in juli is de wind gemiddeld het zwakst (Landuyt et al., 1992).

Wat betreft de windrichting zijn zuidwesten- en noordoostenwinden de meest voorkomende. Tevens is er het effect van de land- en zeebries (landbries van land naar zee 's nachts; zeebries van zee naar land overdag). Dit zijn meestal zuidelijke en noordelijke winden. De grootste frequentie van de krachtigste winden komt uit de west-zuidwest hoek (Fig. 13).

Depuydt (1967) onderzocht de windrichting- en windintensiteitsgegevens voor een periode van 6 jaar (1958-1963) (12 metingen per dag, 26293 metingen over 6 jaar). Frequentieel komen de winden voor 37.2% uit het zuidwest kwadrant (N. 214°). Indien men naast de richtingsfrequenties ook rekening houdt met de snelheid van de wind aan de hand van de formule van Landsberg (1956) dan zijn de belangrijkste winden deze uit WZW (N. 255°). Depuydt merkte op dat het grootste zandtransport niet noodzakelijk gepaard gaat met de hevigste zeestormen aan onze kust en omgekeerd. Zeestormwinden komen vooral voor uit WNW tot NW hoek. Bagnold (1954) stelde experimenteel vast dat zandbeweging pas mogelijk is bij een windsnelheid groter dan 4 m/sec en dat dit transport evenredig is met de snelheid tot de derde macht verheven. Over de voorgenoemde periode van 6 jaar heeft Depuydt telkens de sterkste dagelijkse wind geselecteerd en deze gegevens in een windroos samengevat. De harde winden komen uit het WZW en W voor 27% van het totaal. Winden komende uit het NO vormen een tweede maximum wat betreft de frequentie van de dagelijkse sterkste winden.

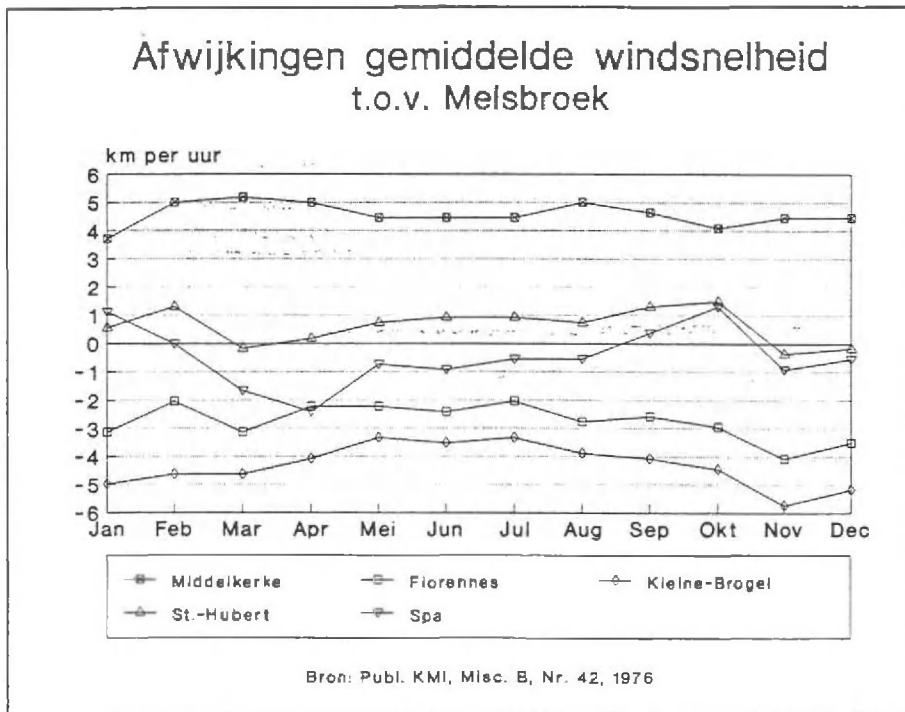
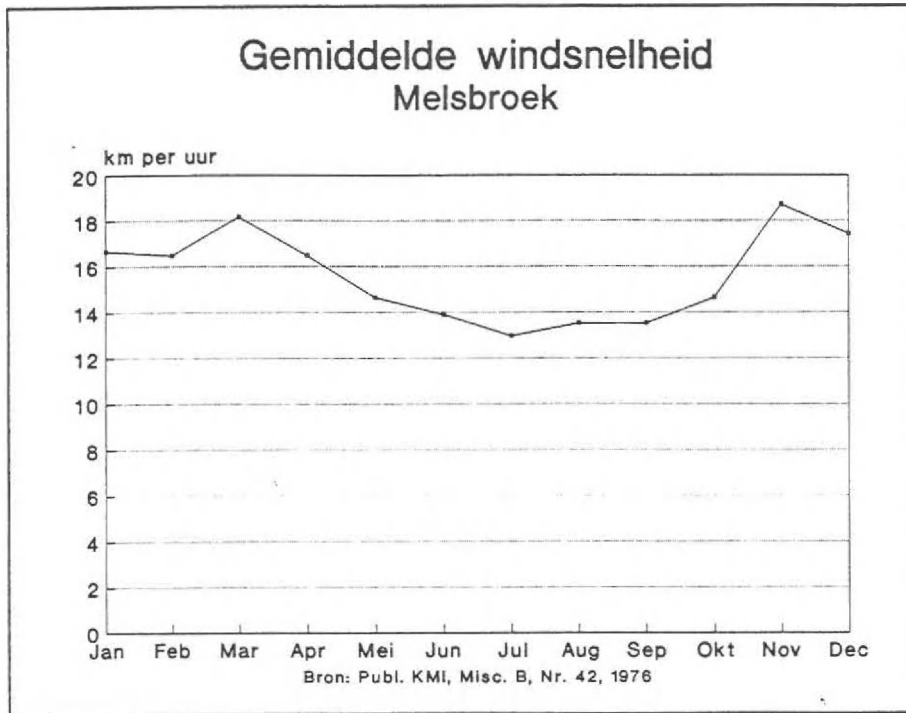


Fig. 12: Gemiddelde Melsbroek en afwijkingen gemiddelde windsnelheid tegenover Melsbroek (Bodeux, 1976 in Landuyt et al., 1992))

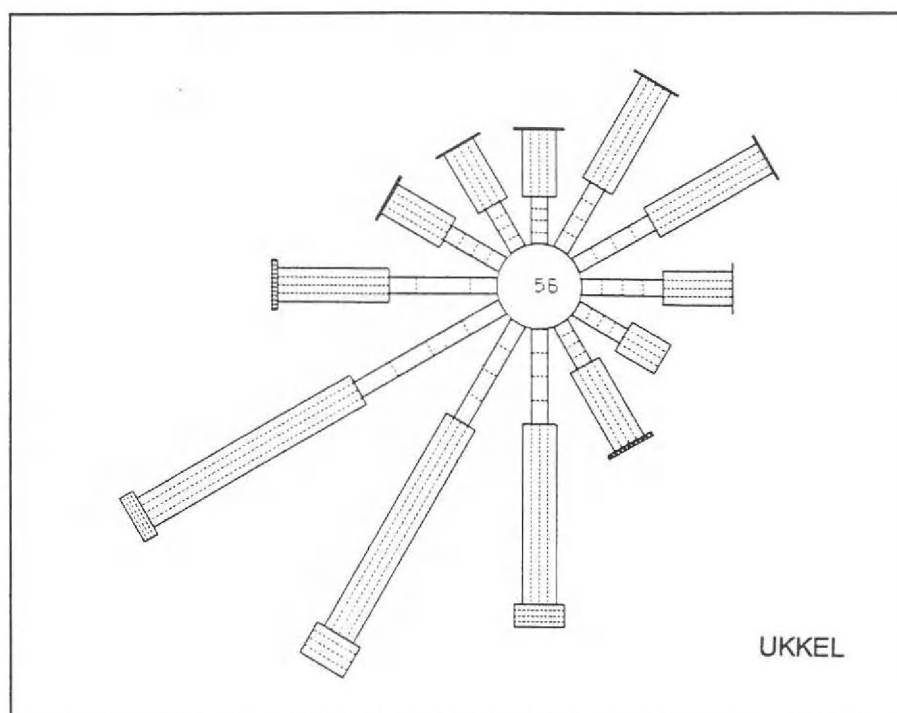
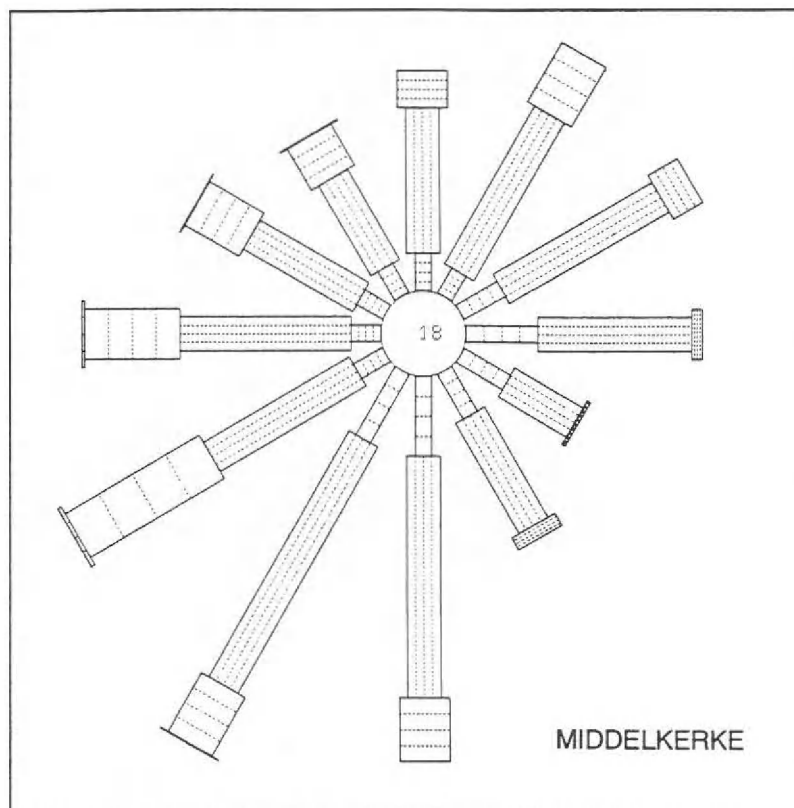


Fig. 13: Windroos voor Middelkerke en Ukkel (Landuyt & Schietecat, 1992). De windrichtingen zijn in 12 sectoren van elk 30° verdeeld. De windsnelheid is onderverdeeld in 4 klassen. De waarde in het centrum is gelijk aan 10 keer het percentage van de zwakke winden. Gearceerd, vanaf het midden naar het uiteinde van de staaf, worden de matige-, krachtige- en stormwinden getoond.

### 1.3.9 ZONNESCHIJNDUUR

Het net van de heliografen bestaat nog niet zo heel lang (sinds 1960); tevens zijn de waarnemingen in sommige stations niet zo homogeen. Zonneschijnduurgegevens zijn beschikbaar voor 32 stations waarvan sommigen nu niet meer in gebruik zijn of anderen slechts vrij recent gestart werden. Voor de kuststreek bestaan nu waarnemingen voor Oostende en Koksijde (KMI, 1993).

Door de breedteligging bedraagt de maximale zonneschijnduur van 8 (winter) tot 16 (zomer) uren. Het aantal zonne-uren en hoeveelheid stralingsenergie wordt bepaald door de stand van de zon ten opzichte van de aarde, die met haar omwentelingsas schuin staat op het baanvlak van de aarde omheen die zon. Juni zou normaal gezien de grootste hoeveelheid energie moeten krijgen, gezien de zon het hoogst aan de hemel staat en de dagen het langst zijn. Het actuele aantal zonne-uren wordt echter beïnvloed door de zeer veranderlijke weersfactor (Landuyt et al., 1992). In de winter bedraagt het werkelijke aantal zonne-uren slechts een vierde van het potentieel, terwijl dit op het einde van de lente en in de zomer de helft is (Alexandre et al., 1992).

De jaarlijkse totale duur van de zonneschijn is het hoogst aan de kust en in Lotharingen met meer dan 1700 uren/jaar (Dogniaux, 1971) (Fig. 14). De kust heeft zijn lange zonneschijnduur te danken aan de zomerperiode (Alexandre et al., 1992). Kortere zonneschijnduur - tussen de 1500 en 1550 uren/jaar - worden genoteerd op de plateaus aan weerszijden van de Samber-Maasvallei. De kust telt maandelijks het hoogste aantal zonne-uren uitgezonderd in de maand november waar Midden-België het hoogste aantal uren heeft (Dogniaux, 1971) De kaarten van Dogniaux (1971) steunen op metingen van 24 stations (Luxemburg inbegrepen) over een periode van wisselende lengte tussen 1951 en 1969. Voor de kuststreek werden metingen uitgevoerd te Oostende en te De Haan.

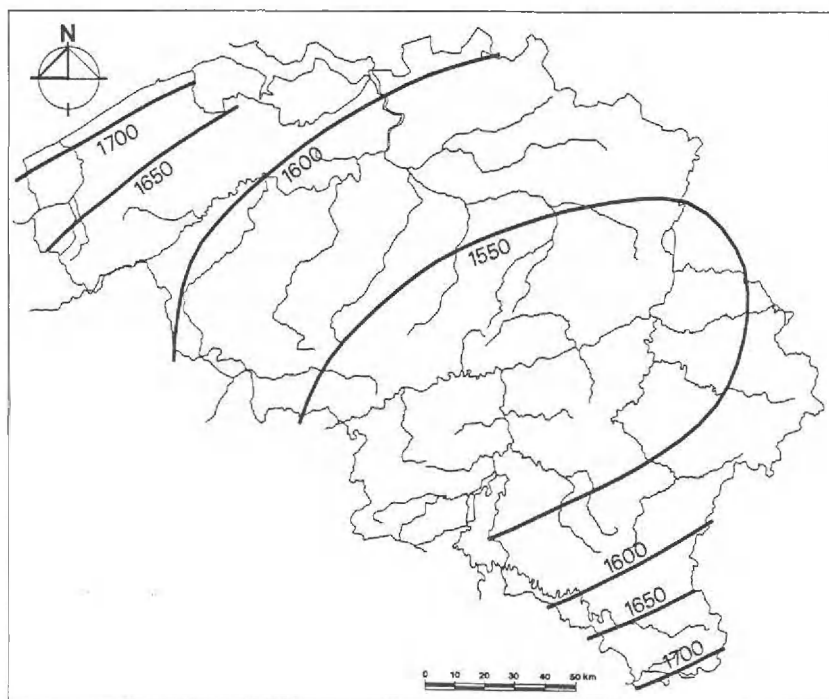


Fig. 14: Jaarlijkse zonneschijnduur (Dogniaux, 1971 in Alexandre et al., 1992)

Uit een vergelijking van het aantal zonneshijnduren voor Oostende, Ukkel en St.-Hubert (Landuyt et al., 1992; 1961-1990 waarnemingsperiode) is het duidelijk dat Oostende maandelijks het hoogste aantal zonne-uren telt, enkel in oktober en november heeft Ukkel enkele uren meer zonneshijn (Fig. 15). De kust is bevoordeeld door vluiggere opklaringen na doortocht van storingsgebieden die landinwaarts afgeremd worden en/of breder worden en zo de hemel langer bewolkt houden. Dit komt vooral tot uiting van maart tot augustus-september. Het verschil tussen de hoogst aantal en laagst aantal uren is het grootst tijdens het zomerhalfjaar, en neemt sterk af naar de wintermaanden; wat logisch is gezien de kortere duur van de dagen in de wintermaanden. De grootste marge komt voor in de maand mei.

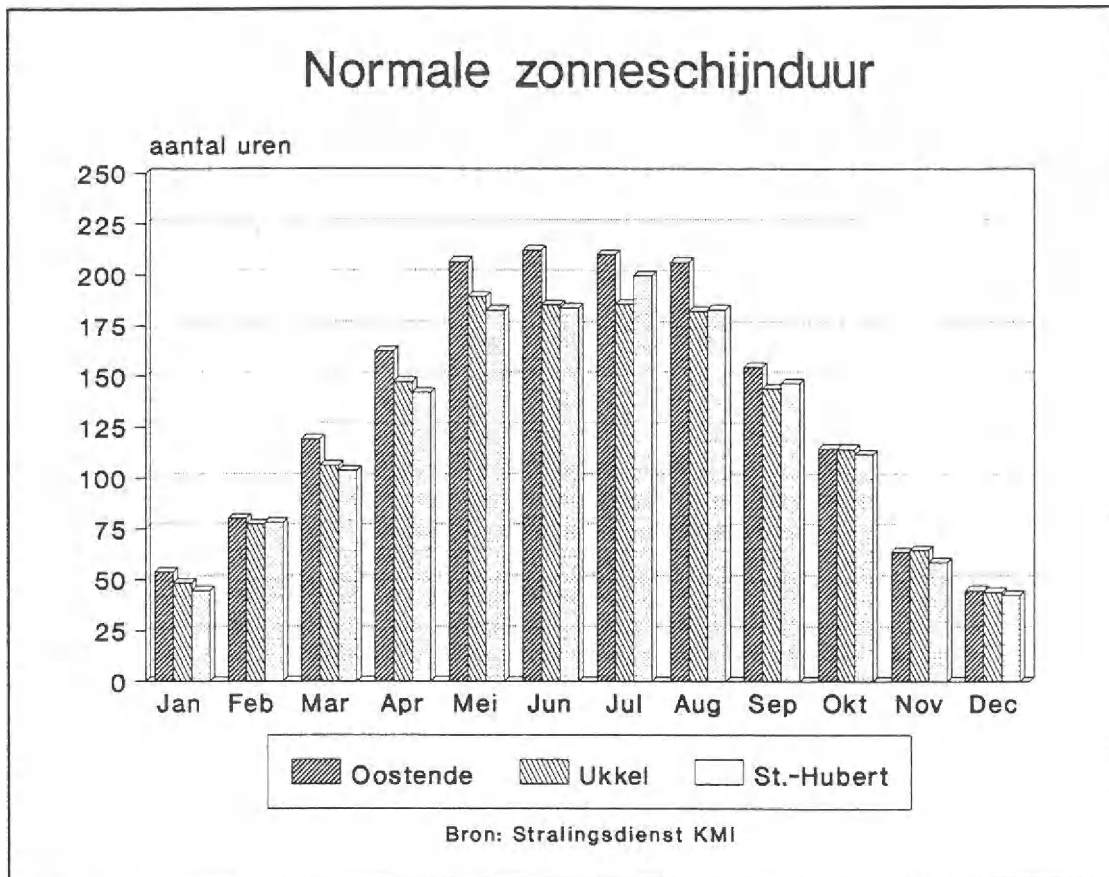


Fig. 15: Normale zonneshijnduur voor Oostende, Ukkel en St.-Hubert (Landuyt & Schietecat, 1992)

### 1.3.10 MIST

Mist : zichtbaarheid is minder dan 1000 m

Nevel : zichtbaarheid ligt tussen de 1000 en 2000 m

Mist is bijna altijd gebonden aan een "oceanische" anticycloon die vochtigheid, een stralingsweertype en weinig wind met zich meebrengt. Lokale factoren zoals de nabijheid van de zee, de graad van verstedelijking, de topografie, de aanwezigheid van de verdampende oppervlakken beïnvloeden sterk het al dan niet voorkomen van mist (Alexandre et al., 1992). Zo kan mist eveneens bevorderd worden door de aanwezigheid van veel vochtige weiden en moerassige gebieden (Landuyt et al., 1992). In valleien kan verdampend water uit de warme rivieren condenseren ten gevolge van contact met katabatische winden (koude lucht glijdt af van hogere hoogten naar de vallei) of direct door een advectie (horizontaal transport) indien de vallei voldoende breed is (Alexandre et al., 1992).

In zeer algemene termen kan men stellen dat er ongeveer 30 dagen per jaar met mist voorkomen in Laag-België, 40 in Midden-België en 50 tot meer dan 70 in Hoog-België. Het minst aantal dagen mist wordt gevonden in Virton, het hoogste aantal in St.-Hubert. Koksijde en Ukkel verschillen niet zo veel van elkaar waarbij Koksijde een iets hogere frequentie heeft. In Ukkel is het stralingsmist (mist gevormd in ter plaatse nachtelijk afgekoelde lucht, door uitstraling), te Koksijde gelegen in de polders achter de duinen heeft men meer advectiemist (zeemist die horizontaal aangevoerd wordt) en stralingsmist (Landuyt et al., 1992)

Maximale intensiteit van de mist treedt op bij de minimumtemperaturen en lossen vervolgens op door convectie (Alexandre et al., 1992). Het aantal mistdagen is het grootst rond 6 uur en het kleinst om 18 uur (Landuyt et al., 1992) (Fig. 16). De temperatuur is dan het laagst, zodat het verzadigingspunt van de aanwezige lucht het meest kan worden overschreden. Naar de middag toe vermindert de mist door de stijging van de temperatuur. De maximumtemperatuur wordt normaal gezien bereikt rond 14-15 uur. Rond die tijd mogen we dan ook de laagste mistfrequentie verwachten. Onderstaande tabel (Tabel 5) illustreert eveneens het verloop van het aantal mistdagen gedurende de dag. Opvallend is dat Middelkerke veel lagere waarden heeft dan Koksijde. (Verklaring : Koksijde kent stralingsmist en advectiemist; Middelkerke enkel advectiemist.

Tabel 5 : Mediaan waarde van het aantal dagen van de lichte, matige of dichte mist (Bodeux, 1977)

	Koksijde	Middelkerke
meetperiode	1952-1975	1955-1971
6 uur	32	19
12 uur	11	7
18 uur	9	7

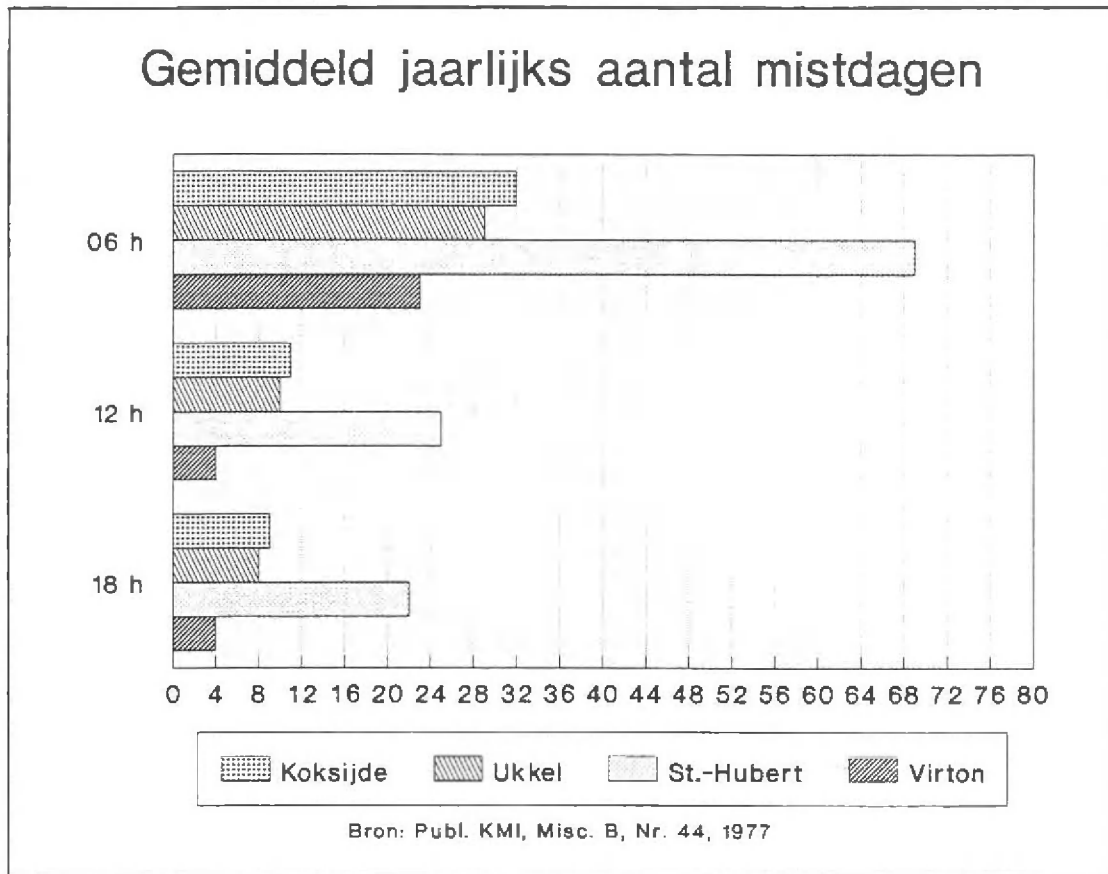


Fig. 16: Gemiddeld jaarlijks aantal mistdagen (Bodeux, 1977 in Landuyt et al., 1992)



### 1.3.11 STORMVLOEDFREQUENTIES

Deze paragraaf is gesteund op gegevens uit rapport Haecon ZHA732 89.2577 (1989) en Haecon PWH1455 (1995). Het korte tijdsbestek waarin dit hoofdstuk klimatologie opgesteld moest worden, liet slechts toe om in beperkte mate de bibliotheek van het AKW - Administratie Kust en Waterwegen, Oostende - te raadplegen.

Deze studies van Haecon geven een overzicht van alle opgemeten hoge waterstanden sinds 1925 te Nieuwpoort, Oostende en Zeebrugge. Hierbij zijn geen gegevens vermeld in verband met windsnelheid en windrichting.

In de onderstaande tabel wordt een hoogwaterpeil vermeld wanneer volgende grenzen zijn bereikt of overschreden :

Nieuwpoort : TAW +5.70m

Oostende : TAW +5.55m

Zeebrugge : TAW +5.45m

Het kritieke hoogwaterpeil neemt dus af van west naar oost.

Tabel 6 : Overzicht van hoge waterstanden sinds 1925 te Nieuwpoort (Haecon, 1989, 1995)

Datum	Nieuwpoort		Oostende		Zeebrugge	
	T.A.W.(m)	HN(m)	T.A.W. (m)	HO(m)	T.A.W. (m)	HZ(m)
26-11-28	-	-	5.83	6.22	-	-
23-11-30	-	-	6.19	6.58	-	-
28-11-32	5.77	6.28	5.69	6.08	5.70	5.89
1-12-36	5.68	6.19	5.47	5.86	5.48	5.67
1-12-36	5.80	6.31	5.71	6.10	5.67	5.86
3-4-38	5.51	6.02	5.44	5.83	5.56	5.75
3-11-40	5.51	6.02	5.41	5.80	5.51	5.70
26-6-44	5.86	6.37	6.01	6.40	5.63	5.82
1-3-49	-	-	6.04	6.43	-	-
26-10-49	5.69	6.20	5.43	5.82	-	-
1-2-53	6.73	7.24	6.66	7.05	6.69	6.88
1-2-53	5.89	6.40	5.80	6.19	5.69	5.88
23-12-54	5.54	6.05	5.54	5.93	-	-
16-10-58	5.69	6.20	5.54	5.93	-	-
12-1-59	-	-	5.54	5.93	-	-
21-3-61	6.10	6.61	5.88	6.27	5.86	6.05
15-11-62	5.47	5.98	5.53	5.92	5.51	5.70
24-10-64	5.57	6.08	5.43	5.82	5.44	5.63
10-12-65	5.88	6.39	5.87	6.26	5.67	5.86
16-11-66	5.84	6.35	5.70	6.09	5.56	5.75
2 8-2-67	5.69	6.20	5.61	6.00	5.51	5.70
5-10-67	5.81	6.32	5.65	6.04	5.52	5.71
22-11-71	5.77	6.28	5.62	6.01	5.48	5.67
3-4-73	5.63	6.14	5.58	5.97	5.44	5.63
13-11-73	5.67	6.18	5.58	5.97	5.56	5.75

14-12-73	5.93	6.44	5.78	6.17	5.64	5.83
14-12-73	5.62	6.13	5.56	5.95	5.56	5.75
28-11-74	5.62	6.13	5.58	5.97	5.48	5.65
20-11-75	5.55	6.06	5.47	5.86	5.44	5.63
3-1-76	5.95	6.46	5.90	6.29	5.86	6.05
4-1-76	5.62	6.13	5.55	5.94	5.41	5.50
21-1-76	5.61	6.12	5.57	5.96	5.49	5.68
15-11-77	5.79	6.30	5.75	6.14	5.63	5.82
12-1-78	6.07	6.51	5.83	6.22	5.59	5.78
2-1-79	5.65	6.16	5.55	5.94	5.53	5.72
6-11-79	5.63	6.14	5.55	5.94	5.51	5.70
20-4-80	5.62	6.13	5.53	5.92	5.54	5.73
25-10-80	5.63	6.14	5.53	5.92	5.45	5.64
14-11-81	5.66	6.17	5.49	5.88	5.55	5.74
2-2-83	5.96	6.47	5.68	6.07	5.71	5.90
24-11-84	5.85	6.36	5.36	6.02	5.41	5.60
22-1-88	5.70	6.21	5.51	5.90	5.46	5.65
27-2-90°	5.89	6.40	5.76	6.15	5.64	5.83
27-2-90°	5.88	6.39	*	*	*	*
28-2-90°	5.89	6.40				
1-3-90°	5.78	6.29				
20-9-90	5.58	6.09				
7-10-90	5.73	6.24				
25-1-93	5.60	6.11				
21-2-93°	5.70	6.21				
14-11-93	5.75	6.26				
15-11-93	5.95	6.46				
28-1-94°	5.87	6.38				
2-1-95°	5.85	6.36				
2-1-95°	5.72	6.23				

H = GLLWS = Gemiddeld Laag Laag Water Spring is het hydrografisch reductievlak voor België en Nederland; HN is het H referentievlak te Nieuwpoort en ligt 0.508 m onder TAW; HO is het H referentievlak voor Oostende en ligt 0.388 m onder TAW; HZ is het H referentievlak te Zeebrugge en ligt 0.188 m onder TAW (Tweede Algemene Waterpassing). - : geen waarmring; \* gegevens ontbreken.

Voor een aantal relatief recente stormen (in tabel 6 aangeduid met °) zijn gedetailleerde stormverslagen opgesteld waarin de hydro-meteorologische omstandigheden van de storm uitgelegd zijn.

De hydrometeorologische dienst van de Diensten van de Vlaamse executieve , Openbare Werken en Verkeer, Bestuur der waterwegen en van het Zeewezen, Dienst der Kust voert golf-, wind- en

getijwaarnemingen uit. De publicatie "Hydro-meteo waarnemingen voor de Vlaamse kust. Atlas" (Haecon, 1989) geeft een overzicht van de beschikbare statistische informatie in rapportvorm tot en met 1986. Hierin worden golf- en windgegevens en statistiek, golf- en windstatistiek per maand-, jaar- en meerjarig overzicht, bepaling van een gemiddeld golfspectrum voor de omgeving van Zeebrugge, stroomgegevens in vermeld. Verder onderzoek is nodig om de bruikbaarheid van deze gegevens in het kader van de ecosysteemvisie te evalueren.

De slufte La Brèche ten oosten van Bray-Dunes zou gevormd zijn tijdens de storm van 1-2-53. De storm van 1 en 2-1-76 veroorzaakte een duindoornbraak ten westen van De Panne zodat op 4 plaatsen waterindringing in het natuurreserveaat De Westhoek plaatsgreep.

### 1.3.12 POTENTIELE EN ACTUELE EVAPOTRANSPIRATIE, DEFICIET EN SURPLUS

#### *1.3.12.1 Potentiële evapotranspiratie*

Vermits de berekeningswijze van de potentiële evapotranspiratie (PET) volgens Thornthwaite, grotendeels gesteund is op de temperatuur, is de verdeling van de jaarlijkse PET over België sterk gelijklopend aan deze van de gemiddelde jaarlijkse temperatuur. De PET bereikt haar hoogste waarde in het gebied van Brussel (672 mm) en haar laagste waarde in het oosten bij Saint-Hubert (559 mm) en in het zuid-oosten van Stavelot. In Laag- en Midden-België varieert de PET tussen 672 en 633 mm. Langs de westelijke kust komen waarden beneden de 640 mm voor (Dingens et al., 1964).

Wat het seizoenale verloop betreft worden maximale PET-waarden opgetekend in de winter voor de kuststreek rond Oostende (39 mm), en in de herfst voor de kuststrook rond Koksijde (149 mm). Voor Laag-België valt bijna 50% van de jaarwaarde van de PET in de zomer.

Meer betrouwbare cijfers voor PET worden gegeven door de Penman methode. Deze methode is gesteund op veel meer parameters dan de Thornthwaite methode. Zo worden de windsnelheid, het verzadigingsdeficiet en de relatieve vochtigheid, het effectieve aantal uren zonneschijn naast de temperatuur in rekening gebracht. Een variante van de Penman methode, de Penman - Schofield methode, werd gebruikt door Lebbe (1978) en Mahauden & Lebbe (1980) voor de gegevens van Koksijde over de periode 1957-1976 en 1960-1980 respectievelijk. De gemiddelde jaarlijkse waarde van PET voor de periode 1957-1976 (Lebbe, 1978) bedraagt 484.3 mm, voor de periode 1960-1980 (Mahauden & Lebbe, 1982) is deze waarde 498.6mm. Indien dezelfde periode, d.w.z. 1960-1976, met elkaar vergeleken wordt dan zijn de jaarlijkse PET waarden volgens Mahauden & Lebbe (1982) gemiddeld 22.4 mm hoger dan deze van Lebbe (1978). Deze verschillen zijn te wijten aan het gebruik van verschillende empirische coëfficiënten in de berekeningswijze van PET.

Het K.M.I. heeft PET berekend volgens een gemodificeerde Penman - Monteith methode voor een referentiegewas (hier wordt gras aangenomen). Een gemiddelde jaarlijkse waarde van PET, berekend over de periode 1967-1986, bedraagt voor Koksijde 612.4 mm (Gellens-Meulenberghs & Gellens, 1992). Alhoewel de periode waarover de berekeningen lopen niet dezelfde is als deze van Lebbe (1978) en Mahauden & Lebbe (1982) ligt de waarde bekomen door het K.M.I. merklijk hoger dan deze van de Penman - Schofield methode.

In beide laatstgenoemde methodes is de berekeningswijze gesteund op de energiebalans en het evaporatievermogen van de lucht. De hoogste waarden voor PET worden dan ook genoteerd voor de Kuststreek wat dus in het geheel niet overeenkomt met de resultaten gevonden met de Thornthwaite methode (Dingens & Vernemmen, 1964). Alle gemiddelde maandelijkse waarden van PET, uitgezonderd juli, augustus en oktober, zijn het hoogst voor Koksijde vergeleken met de binnenlandse stations.

#### *1.3.12.2 Actuele evapotranspiratie*

De actuele evapotranspiratie (AET) kan berekend worden door gebruik te maken van een waterbalans. Het water voor de AET is afkomstig van de neerslag en wordt al dan niet aangevuld met water uit de bodemreserve. Indien deze bodemreserve niet voldoet, is de AET kleiner dan de

PET en zal er een deficit optreden. In de berekeningen van Dingens et al. (1964) werd vertrokken van een bodemreserve van 300 mm wat voor zandige bodems veel te hoog ligt. Indien een meer realistische bodemreserve van 100 mm in rekening gebracht wordt dan bekomt men lagere cijfers voor AET omdat de bodemreserve in dit laatste geval sneller uitgeput raakt. In het geval dat de PET kleiner is dan de neerslag en de bodemreserve is op maximum capaciteit, treedt een surplus op.

De AET bereikt terug een maximum rond Brussel (664 mm) en een minimum in het noorden van het G.H. Luxemburg (552 mm). Aan de westkust bedraagt de jaarlijkse AET 585 mm. Voor Klemskerke werd een AET van 612 mm gevonden.

De seizoenale waarden zijn het hoogst aan de west- en middenkust in de herfst en winter vermits daar de hoogste temperaturen en voldoende neerslag aanwezig zijn. Aan de kust worden matige waarden bereikt in de lente en laagste waarden in de zomer (lagere temperaturen en lagere neerslag); er is dus een meer evenredige spreiding van de AET over het jaar aan de kust dan voor het binnenland (Dingens et al., 1964).

De gemiddelde jaarlijkse waarde voor AET bekomen door Lebbe (1978) voor de periode 1957-1976 en Mahauden & Lebbe (1982) voor de periode 1960-1980 bedragen respectievelijk 407 en 429 mm. Vermits de PET-waarden lager zijn volgens de Penman - Schofield is het logisch dat de waarden voor AET een stuk lager liggen vergeleken met de waarden bekomen door Dingens & Vernemmen (1964).

#### *1.3.12.3 Werkelijk deficit volgens de waterbalans*

Het hoogste deficit volgens de waterbalans van meer dan 40 mm wordt gevonden aan de westkust.

In de berekeningen van Dingens et al. (1964) werd eenzelfde storage capaciteit van 300 mm aangenomen voor het gehele land. Deze storage capaciteit is afhankelijk van de textuur, structuur van de bodem en voor zandige bodems is een storage capaciteit van 100 mm meer aannemelijk. De voorgestelde deficitwaarden voor de kust zijn dus in feite te laag.

De seizoenale waarden tonen voor de kust geen deficit in de winter, zeer klein deficit in de lente en de herfst, groot deficit in de zomer. De periode van het deficit begint in mei of juni en eindigt in augustus of september en heeft dus een duur van 4 tot 5 maanden (Dingens et al., 1964).

Rekening houdend met een bodemreserve van 100 mm vinden Lebbe (1978) en Mahauden & Lebbe (1982) gemiddelde jaarlijkse deficitien van 77 en 70 mm respectievelijk.

#### *1.3.12.4 Surplus*

Laagste jaarlijkse surpluswaarden worden teruggevonden aan de westkust (69 mm/jaar - station Koksijde : dit lage cijfer lijkt zeer onwaarschijnlijk; door een kortere waarnemingsperiode of effectief veel droger?). Oostende toont reeds een veel hoger surplus van 169 mm/jaar. Ook hier zal de hoeveelheid surplus afhangen van de bodemreserve. Bij een grotere bodemreserve zal een kleiner surplus optreden omdat een groter deel van de neerslag gebruikt wordt voor het aanvullen van de bodemreserve.

Seizoenale waarden vertonen voor Laag- en Midden-België een surplus in de winter en de lente; in de zomer en de herfst komt er zowat geen surplus voor (Dingens et al., 1964).

De gemiddelde jaarlijkse surplus waarden, volgens de methodes van Lebbe (1978) en Mahauden & Lebbe (1982) bereiken waarden van respectievelijk 272 en 248 mm.

## 1.4 KLIMATOLOGISCHE PARAMETERS VOOR KOKSIJDE TUSSEN 1985 EN 1995

Klimatologische gegevens voor Koksijde werden verzameld uit het Maandbericht, deel 2 (Malcorps, 1985 tot 1995).

Normaalgegevens voor Koksijde werden bekomen van het K.M.I.. De normaalgegevens werden als volgt berekend. Voor neerslag en temperatuur werd een statistische vergelijking uitgevoerd met de lange waarnemingsreeks van Ukkel. De normale waarden voor zonnenschijnduur zijn gesteund op het werk van Dogniaux (1979). De normalen voor de relatieve vochtigheid zijn de mediaanwaarden van de periode 1985 tot 1991.

De tabellen met de maandelijks gegevens en de grafieken voor de periode 1985- 1995 en de normalen voor Koksijde worden voorgesteld in de appendix 1. Voor de volledigheid werden de gegevens van Lebbe (1978) en Mahauden & Lebbe (1982) toegevoegd aan de tabellen. Voor de periode 1981 tot 1984 werden de gegevens van temperatuur verkregen van het K.M.I., voor de zonnenschijnduur, windsnelheid en relatieve vochtigheid werden de waarnemingsboekjes geconsulteerd op de Meteo-Wing te Koksijde, neerslaggegevens werden ter beschikking gesteld door M. Leten.

**De bespreking die hieronder volgt beperkt zich wegens tijdsgebrek tot de periode 1985-1995, alhoewel er dus veel meer gegevens voorgesteld worden in appendix 1.**

### 1.4.1 MINIMUM TEMPERATUUR

Vriestemperaturen werden genoteerd in 1985, 1986, 1987, 1991 en 1992 in 1 of meerdere maanden van januari tot maart. Januari 1985 en 1987, februari 1985 en 1986 waren vrij koude maanden. De gemiddelde maandelijks minimum temperaturen liggen het gehele jaar hoger dan de normale waarde uitgezonderd voor de maand februari.

### 1.4.2 MAXIMUM TEMPERATUUR

Hoge maximum temperaturen komen voor in juli en augustus; in het oog springend zijn augustus 1990 en juli 1994. De gemiddelde maandelijks maximum temperaturen liggen het gehele jaar hoger dan de normale waarde uitgezonderd voor de maanden juni en september.

### 1.4.3 NEERSLAG

Wat betreft neerslagcijfers zijn 1988 en 1993 en 1994 zijn vrij natte jaren; 1989 en 1990 zijn vrij droge jaren. De periode 1985 tot juni 1995 is natter dan de normaal periode uitgezonderd voor de maand mei en augustus. Doorheen de tabel kunnen een aantal vrij droge en natte jaren geïdentificeerd worden.

Als criterium werd hier de helft of het dubbel van de normale neerslag gehanteerd. Vrij droog zijn feb 85, sept en okt 85, feb 86, jun 88, mei 89, aug 89, nov 89, mrt 90, mei 90, jul en aug 90, aug 91, jan 92, mrt 93, aug 93, nov 94. Natte maanden zijn jan tot mrt 88, feb 90, nov 91, sept en dec 93, jan en feb 95.

### 1.4.4 WATERBALANS

Een beter beeld wat betreft het al dan niet droog zijn van een jaar wordt gegeven door de waterbalans waarbij rekening gehouden wordt met de potentiële en actuele evapotranspiratie. De potentiële evapotranspiratie werd berekend volgens de gemodificeerde Penman-Monteith methode

voor een referentiegewas. Als referentiegewas wordt een grasmat aangenomen met een hoogte van 12 cm, een kruinweerstand van 69 en een albedo van 23%. Deze methode geeft zeer goede resultaten onder verschillende klimatologische omstandigheden en wordt aanbevolen door FAO (Smith, 1991). Het bekomen resultaat voor PET is terug hoger (zie § 1.3.12.1.) dan de waarden berekend volgens de Penman - Schofield methode gebruikt door Lebbe (1978) en Mahauden & Lebbe (1982). In samenwerking met Prof. C. Vernemmen werden de berekeningswijzen geanalyseerd. Hierui blijkt dat vooral in de wintermaanden relatief veel hogere PET-waarden worden bereikt met de Penman - Monteith methode wat gevolgen heeft op de verdere berekeningen van AET, deficit en surplus. De berekeningsmethoden gesteund op de Penman formule maken gebruik van stralingstermen. Deze bevatten empirische constanten die van auteur tot auteur verschillen en die de waarden van  $R_{ns}$  (netto inkomende kortgolvlige straling) en  $R_b$  (netto uitgaande langgolvlige straling) beïnvloeden. Verder wordt de term evaporatievermogen van de lucht, op een verschillende manier berekend in de twee methodes. Een derde belangrijk verschil is dat in de Penman - Schofield methode gebruik gemaakt wordt van een stomatale factor en de daglengtefactor. De Penman - Monteith methode heeft de gemodificeerde psychrometrische constante geïntroduceerd in de berekeningswijze van PET. Voor de bodemreserve werd 100 mm aangenomen wat voor de zandige duinbodems nog steeds een zeer hoge waarde is. De berekeningen zijn voorgesteld in appendix 2.

Tabel 7 geeft een jaarlijks overzicht van een aantal parameters van de waterbalans voor Koksijde

Tabel 7 : parameters van de waterbalans voor Koksijde (1985 - 1995)

Jaar	PET	AET	DEF	R	SUR
1985	577.6	560.2	17.4	754.8	
1985-86				693.1	216.4
1986	622.4	510.9	111.5	782.2	
1986-87				774.2	200.8
1987	568.0	551.8	16.2	789.0	
1987-88				939.6	442.1
1988	588.0	534.7	53.3	893.4	
1988-89				726.6	169.0
1989	651.6	489.0	162.6	611.3	
1989-90				622.3	155.1
1990	682.8	452.8	230.0	648.2	
1990-1991				653.3	132.6
1991	579.7	542.6	37.1	706.2	
1991-92				724.2	177.5
1992	599.5	580.3	19.2	752.7	
1992-93				668.7	193.2
1993	620.7	472.3	148.4	896.9	
1993-94				1027.2	436.7
1994	647.4	585.4	62.0	815.3	
1994-95				843.4	310.9
1995	671.7	519.1	152.6	767.8	



PET : potentiële evapotranspiratie; AET : actuele evapotranspiratie; DEF : deficit; R : neerslag; SUR : surplus

Surplus wordt gegenereerd mogelijks vanaf september en loopt door tot de maand mei in uitzonderlijke jaren. Deze gegevens werden dan ook berekend over de periode juli eerste jaar tot juni van het daaropvolgende jaar. Deficieten treden op in de zomermaanden zodat voor deze gegevens de kalenderjaren behouden werden.

Hoge waarden voor potentiële evapotranspiratie worden gedurende de zomermaanden aangetroffen. Hierbij zijn juni 86 en 94, juli 93 en 94, augustus 90 maanden met hoge waarden. Voor de actuele evapotranspiratie worden de hoogste waarden aangetroffen in de maand juli. Jaren met een groot deficit zijn 1989, 1990 en 1993 en in mindere mate 1986. Deficieten treden reeds regelmatig op vanaf de maand april, in uitzonderlijke jaren reeds in maart of zelfs februari. De deficit periode strekt zich uit tot en met september. Vanaf oktober, soms vanaf september, is er heropvulling van de bodemreserve. Eens de bodemreserve weer vol is (hier werd 100 mm aangenomen) kunnen surplusen resulteren.

Grote surplusen kwamen voor in de winter 1987-88 en 1993-94 en in mindere mate in de winter van 1994-95. Het is dan ook in deze laatste twee winterseizoenen dat de grote pannen in de duingebieden onder water stonden (waarnemingen van het Laboratorium Algemene Bodemkunde, RUG, voor 1987-1988 ontbreken). Surplusen treden vooral op in de maanden november tot maart, in mindere mate in de maanden oktober en april. In andere maanden zijn ze eerder uitzonderlijk.

#### 1.4.5 RELATIEVE VOCHTIGHEID (RH)

De laagste waarden voor RH worden genoteerd in de maanden april, mei en augustus; De grootste spreiding van de RH-waarden komen voor in februari, juni en september telkens veroorzaakt door een lage RH-waarde. Feb 86, jun94, sept 90 zijn deze uitschieters. De vergelijking met de normaalwaarden vertoont geen duidelijke trend.

#### 1.4.6 ZONNESCHIJNDUUR

Ondanks de mooie zomers van de laatste jaren lijkt de gemiddelde maandelijkse zonneshijnduur onder de normaalwaarde te liggen. Het is niet duidelijk of dat te wijten is aan de berekeningswijze van de normaalwaarden of dat de periode 1985-juni 1995 effectief minder zon heeft gezien. Een betere interpretatie van de zonneshijnduur is mogelijk indien men rekening houdt met de mogelijke zonneshijnduur (zie tabel 1, appendix 2, N). De meest opvallendste uitschieters worden inde zomer genoteerd : mei 89 en 90 waren bijzonder mooi. Andere zonnige maanden zijn : jul 85, jun en jul 89, apr, jul en aug 90, aug 91, mei 92, jul 94 en mei 95.

#### 1.4.7 WINDSNELHEID

De maanden met de hoogste gemiddelde windsnelheid in de periode 1985 - juni 1995, zijn de maanden december, januari en maart en in mindere mate februari en april. Het zijn vooral de maanden jan en dec 86, feb 90, dec 93, mrt 94 en jan 95 die hoge windsnelheden vertonen. De vergelijking met de normaalwaarden toont aan dat alle maanden gedurende de geobserveerde periode een hogere gemiddelde windsnelheden vertonen.

## 1.5 MICROKLIMATOLOGIE

Wat klimaat betreft worden vaak weinig relevante criteria gebruikt, bijvoorbeeld de gemiddelde winter- en zomertemperatuur of de gemiddelde relatieve vochtigheid in plaats van meer relevante factoren zoals het aantal ijsdagen, vorstdagen en tropische dagen, gemiddelde maximumtemperatuur van de warmste maand, neerslag/verdampingsbalans, frequenties van extreme verzadingsdeficieten, mistfrequentie en tijdstip waarop mist optreedt (dag-nacht) (Barkman et al., 1987).

### 1.5.1 DE TOTALE ENERGIEBALANS VAN HET BODEMOPPERVLAK

Voor planten en dieren is het microklimaat veel belangrijker dan het macroklimaat.

Vlakbij de grond treden enorme gradiënten op; niet alleen wat betreft de temperatuur maar ook bijvoorbeeld voor het verloop van de windsnelheid en van het vochtgehalte in de lucht vlak boven een nat oppervlak.

In de microklimatologie gaat het niet om gemiddelden maar om extremen en om meer directe biologisch belangrijke factoren als neerslag/evaporatiebalans, luchtvochtigheid en een combinatie van factoren. Bij deze extremen gaat het niet alleen om absolute waarden, maar ook en vooral om frequenties en duur (Barkman et al., 1987).

De **netto straling** ( $R_{net}$ ) ontvangen door het bodemoppervlak is het resultaat van zonnestraling (input - kortgolvig) ( $R_z$ ), gereflecteerde zonnestraling (output - kortgolvig) ( $R_r$ ), atmosferische warmtetraling (input - langgolvig) ( $R_{atm}$ ), geëmitteerde warmtetraling (output - langgolvig) ( $R_{em}$ ) waarbij

$$R_{net} = R_z - R_r + R_{atm} - R_{em}.$$

De netto-straling is de hoeveelheid energie die beschikbaar is voor de verwarming van de bodem en de lucht en voor de verdamping.  $R_{net}$  kan lokaal sterk verschillen en eveneens de effecten ervan op de klimatologische parameters. Zo kan een oppervlak dat een geringe nettostraling ontvangt sterk opwarmen, terwijl een oppervlak met een sterk verdampend gewas en eenzelfde albedo weinig opwarmt ondanks de hoge nettostraling.

Ook de **gereflecteerde zonnestraling** is van belang voor de microklimatologie. Deze wordt uitgedrukt door de term **albedo** (= % van de totaal ontvangen kortgolvige zonnestraling die gereflecteerd wordt) (Barkman et al., 1987).

Tabel 8 : albedo (%) van verschillende oppervlakten en vegetaties (Barkman et al., 1987)

oppervlak	albedo
droog grasland	20.4-21.0
schraal nat grasland	17.9
humeus duinzand	14-18.5
gelig zand	24.2
wit zand, zandverstuiving	29-36
naaldbos	9-13
eikenbos	16

Weelderig productiegrasland en lage landbouwgewassen met een homogene gesloten structuur en gelijkmatige hoogte hebben een vrij hoge albedo van omstreeks 25%. Meer natuurlijk grasland heeft door openingen en hoogteverschillen in de vegetatie een lager reflecterend vermogen. De netto stralingsenergie (zowel korte als lange golfstraling) ontvangen door het aardoppervlak wordt terug uitgestraald naar de atmosfeer onder de vorm van latente en voelbare warmte. De energiebalans wordt dus als volgt voorgesteld :

$$R_{net} = H + LE + B$$

H : door **convectie** aan de lucht afgegeven warmte (voelbare warmte). De hoeveelheid warmte die een verhit bodemoppervlak aan de lucht afgeeft is afhankelijk van het temperatuurverschil oppervlakte-lucht en van de windsnelheid. De sterkte van dit proces wordt gekarakteriseerd door de **warmteoverdracht-coëfficiënt**. Deze is voor zand hoger dan voor humus.

LE : **verdampingswarmte** (latente energie).

B : warmtestroom in de bodem (voelbare warmte). De warmtestroom in de bodem wordt mede bepaald door het **warmtegeleidingsvermogen** van de bodem. Op voldoende lange termijn is deze term gelijk aan nul te stellen.

Deze componenten bepalen het verloop van de microklimatologische parameters.

### 1.5.2 WARMTEHUISHOUDING VAN HET BODEMOPPERVLAK

De energiebalans maakt duidelijk waar en wanneer de hoogste temperaturen verwacht kunnen worden. Hieronder een voorbeeld ter illustratie (Barkman et al., 1987).

Tabel 9 : Energiebalans ( $W \cdot m^{-2}$ ) van een zandoppervlak en een oppervlak van kale heidehumus. Luchttemperatuur  $29.4^{\circ}C$ .

	Input		Output	
	zand	humus	zand	humus
Opp. T ( $^{\circ}C$ )	51.6	77.0		
helling	vlak	Z-helling		
Rz	832	909	Rr	154
Ratm	252	252	Rem	629
Ro	119	119	B	252
			H,LE	168
			warmte	7.6
			overdracht	4.7
			coëfficiënt	
Totaal	1203	1280	Totaal	1203
				1280

De input van energie op het vlakke zandoppervlak is minder dan voor het oppervlak van kale heidehumus gelegen op een Z-helling. Het verschil wordt veroorzaakt door de rechtstreekse inkomende zonnestraling (Rz); de termen, straling uit de atmosfeer (Ratm) en uit de omgeving (Ro), zijn voor beide gelijk. Aan de output zijde wordt meer energie gereflecteerd door het zandoppervlak (Rr) en gaat een grotere warmtestroom in de bodem (B). Het oppervlak van de kale heidehumus geeft door middel van latente en voelbare warmte meer energie af aan de lucht

dan het zandoppervlak (LE en H). Hoge oppervlaktetemperaturen zijn dus te verwachten bij sterke instraling (Rz), bij windstilte (kleinere H) op een slecht geleidend donker substraat (kleinere B).

Uit de energiebalans valt af te leiden dat naarmate de warmtestroom dieper in de bodem groter is, het effect van de wind op de oppervlaktetemperaturen geringer is. Bij goed geleidend materiaal heeft het warmereservoir in het materiaal een bufferende invloed zodat bij afkoeling er een warmtestroom kan optreden van dieper in de bodem naar het oppervlak toe wat leidt tot een vermindering van de temperatuursfluctuatie aan de oppervlakte. Barkman et al. (1987) stellen een temperatuursverschil tussen het oppervlak en de lucht voor tot 50°C voor donker organisch materiaal op gunstige hellingen; voor grijsig en licht gekleurd stuifzand gelden maximale waarden van respectievelijk 35 en 30°C op hellingen; op vlak terrein liggen de waarden 5 tot 10°C lager. Op te merken valt dat bij lagere luchttemperaturen, hogere waarden van het temperatuursverschil tussen lucht en het oppervlakte kunnen optreden dan bij hogere luchttemperaturen. Ook is de structuur van de oppervlakte van belang : wanneer het oppervlak losser van structuur is, wordt de absorptie van de zonnestraling over een laag van een zekere dikte gespreid en is de warmteoverdracht aan de lucht groter, waardoor minder hoge temperaturen optreden.

### 1.5.3 WARMTEHUISHOUDING VAN DE BODEM

Opwarming en afkoeling van de bodem wordt bepaald door een aantal **macrofactoren** : **breedtegraad, zeehoogte, seizoen, tijd van de dag, weertoestand, expositie en beschaduwning door vegetatie**. Verder spelen een aantal eigenschappen van de bodem een rol : **albedo, warmtecapaciteit, warmtegeleidingsvermogen**. Hoe kleiner deze drie factoren zijn hoe meer de temperatuur aan het oppervlak kan stijgen; hetzelfde geldt voor de afkoeling. Het vochtgehalte speelt in de warmtehuishouding van de bodem een zeer belangrijke rol door zijn invloed op het albedo, de warmtecapaciteit en het warmtegeleidingsvermogen. Nat zand heeft een kleiner albedo dan droog zand en absorbeert dus meer zonneënergie. Nat zand verdampt meer water dan droog zand. Het verdampingseffect is veel groter dan het effect van reflectie zodat natte bodems minder snel opwarmen in de zon; immers de warmtecapaciteit van water is zeer hoog en heeft dus een dempend effect op het opwarmings- en afkoelingsproces. De warmtegeleiding van een oorspronkelijk droge bodem neemt toe naarmate de bodem vochtiger wordt, doordat de bodemdeeltjes omgeven worden door een waterfilm wat het thermische contact tussen de bodemdeeltjes verhoogd. Een tweede reden is dat door toename van het watergehalte in de bodem, de bodem minder lucht zal bevatten. Het warmtegeleidingsvermogen van lucht is factor 20 kleiner dan van water waardoor bij toenemend watergehalte de temperatuur minder zal toenemen. De opwarming van een vochtig oppervlak overdag en de afkoeling 's nachts zal dus veel geringer zijn dan op droog zand. Toenemend watergehalte is echter niet blijvend gunstig voor opwarming van de ondergrond zodat zeer droge als zeer natte bodems op zekere diepte minder snel zullen opwarmen in de zomer (overdag) en afkoelen in de winter ('s nachts), de eerste vanwege de zeer geringe warmtegeleiding de tweede vanwege de grote warmtecapaciteit..

Tabel 10 : Thermische eigenschappen van een aantal materialen (Oke, 1987).

Materiaal	vochtigheids- toestand	warmtecapaciteit $J m^{-3} K^{-1} \times 10^6$	warmtegeleidings- mogen $W m^{-1} K^{-1}$	diffusiecoëfficiënt $m^2 s^{-1} 10^{-6}$
zandige bodem (40% poriën)	droog	1.28	0.30	0.24
	verzadigd	2.96	2.20	0.74
kleiige bodem (40% poriën)	droog	1.42	0.25	0.18
	verzadigd	3.1	1.58	0.51
venige bodem (80% poriën)	droog	0.58	0.06	0.10
	verzadigd	4.02	0.50	0.12
water (stilstaand, 4°C)		4.18	0.57	0.14
lucht (stilstaand, 10°C)		0.0012	0.025	20.50

De temperatuur en het tijdstip waarop, die de bodem op een zekere diepte kan bereiken wordt beïnvloed door de **warmte diffusiecoëfficiënt** ook wel de temperatuurgeleiding genoemd en de dempingsdiepte. De warmte diffusiecoëfficiënt geeft de tijd aan die nodig is om temperatuursveranderingen in de bodem door te zetten. Bodems met een hoge warmte diffusie worden gekenmerkt door een snelle penetratie van de oppervlakkige temperatuursveranderingen, zodat de effecten van die temperatuursveranderingen over een grotere bodemdikte uitgespreid worden. Voor eenzelfde input van energie zullen deze bodems minder extreme temperatuurregimes vertonen. De **dempingsdiepte** is de diepte in de bodem waarbij de amplitude van de temperatuurschommelingen is afgenomen tot 0 (OKE, 1987).

Fig. 17 illustreert het verloop van de temperatuurschommelingen aan het oppervlak en in de bodem voor kaal duinzand en voor duinzand onder duindoornvegetatie. Voor beide situaties geldt dat de temperatuurschommelingen het hoogst zijn aan het oppervlak; de grootte van de schommelingen nemen af met de diepte totdat op een bepaalde diepte een constante temperatuur bereikt wordt. De diepte tot waar schommelingen optreden is afhankelijk van het warmtegeleidingscoëfficiënt. De figuur toont ook de sterke invloed van de vegetatie. In het tweede geval is de bodem bedekt met een losse 5 cm dikke laag grasresten van duinriet; de temperatuuramplituden zijn hier dan ook veel geringer en de gemiddelde temperatuur ligt op alle diepten veel lager. De structuur van de oppervlakkige laag speelt een rol. Een vochtige zandbodem bedekt met een laag droog strooisel of mos van enige cm dikte treedt op als een sterk isolerende laag (geringe geleidbaarheid) en zal geringere temperatuurschommelingen vertonen dan de kale zandbodem (zie boven).

Het tijdstip waarop de maximum temperatuur bereikt wordt is afhankelijk van de bodemdiepte. Aan het oppervlak wordt de maximumtemperatuur op de middag bereikt, met toenemende diepte treedt er een vertraging op ten opzichte van het oppervlak (warmtetransport in de bodem). Zo kan men spreken van een dagelijkse vertraging, seizoenale vertraging. Er zijn dus diepten (enige dm) waarop de dagelijkse temperatuurmaxima om middernacht en diepten (5-10 m) waarop de jaarlijkse maxima midden in de winter bereikt worden.

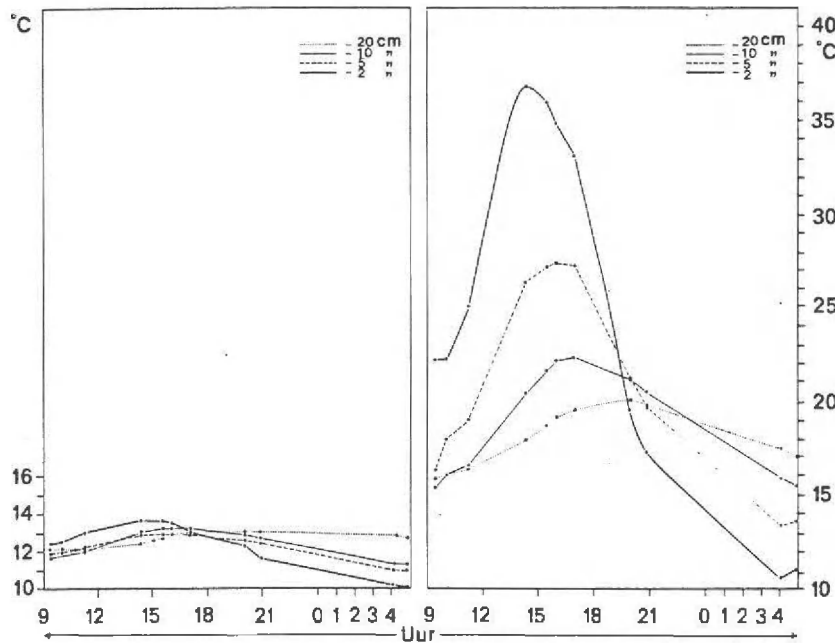


Fig. 17 : Bodemtemperaturen tussen 13 juni 1958, 9.00h en 14 juni, 5.00h in duinzand onder duindoornvegetatie (links) en in kaal duinzand (rechts)(Stoutjesdijk, 1961)

De Backer (1963) voerde een kleine microklimatologische studie in het duingebied ten oosten van de Leopold II laan te Oostduinkerke. Op verschillende sites gekenmerkt door een bepaalde plantengroei werden temperatuurmetingen uitgevoerd op 1, 5 en 10 cm diepte, tussen 7 en 8.30 uur 's morgens, in de periode 6 tot 17 augustus 1951. Deze gegevens zijn niet voldoende om het temperatuursverloop gedurende de dag te karakteriseren. Wat betreft de maximum temperatuur op 1 cm diepte worden de hoogste waarden meestal gevonden in een schaars begroeide panne op een helling van  $13^\circ$  naar het ZO gericht ; de laagste temperaturen, gemeten op 0.5 cm, werden gevonden in een panne begroeid met *Salix repens*; tusseninliggende waarden werden gevonden in een panne begroeid met een kruidachtige vegetatie (verschil in temperaturen tussen 2.0 en 8.3°C). De bereikte maximum temperaturen tussen 7 en 8.30 uur 's morgens bedroeg  $35.0^\circ\text{C}$  op het schaars begroeide duin; op de andere 2 sites waren de temperaturen lager. De minimum temperaturen op 1 of 0.5 cm diepte voor deze 3 sites liggen zeer dicht op elkaar (verschil tussen  $0.1$  en  $1.4^\circ\text{C}$ ).

Wat betreft het temperatuursverloop van de luchtlagen tot ongeveer 3 m boven het bodemoppervlak kan men het volgende besluiten (Fig. 18). De hoogste temperaturen worden bereikt in de onderste luchtlagen in contact met het bodemoppervlak. De maximumtemperaturen treden op met enige vertraging tegenover de input van energie ( $R_z$ ). In bovenstaand voorbeeld wordt de maximumtemperatuur bereikt om 14h20. De minimumtemperaturen worden bereikt rond zonsopgang omdat op dat ogenblik de cumulatieve energie-output de hoogste waarden bereikt. Op dit moment vertoont de curve van het temperatuursverloop een inversie, waarbij de laagste temperatuur gemeten wordt aan het bodemoppervlak en waarbij met toenemende hoogte de temperatuur toeneemt. De temperatuurschommelingen van de onderste luchtlagen zijn minder

sterk dan deze die optreden vlakbij het bodemoppervlak. Met toenemende hoogte nemen de temperatuurschommelingen af.

Het bodemoppervlak en de lagen van de lucht en de bodem in contact of nabij met het bodemoppervlak tonen dus extreem thermische omstandigheden voor planten en dieren.

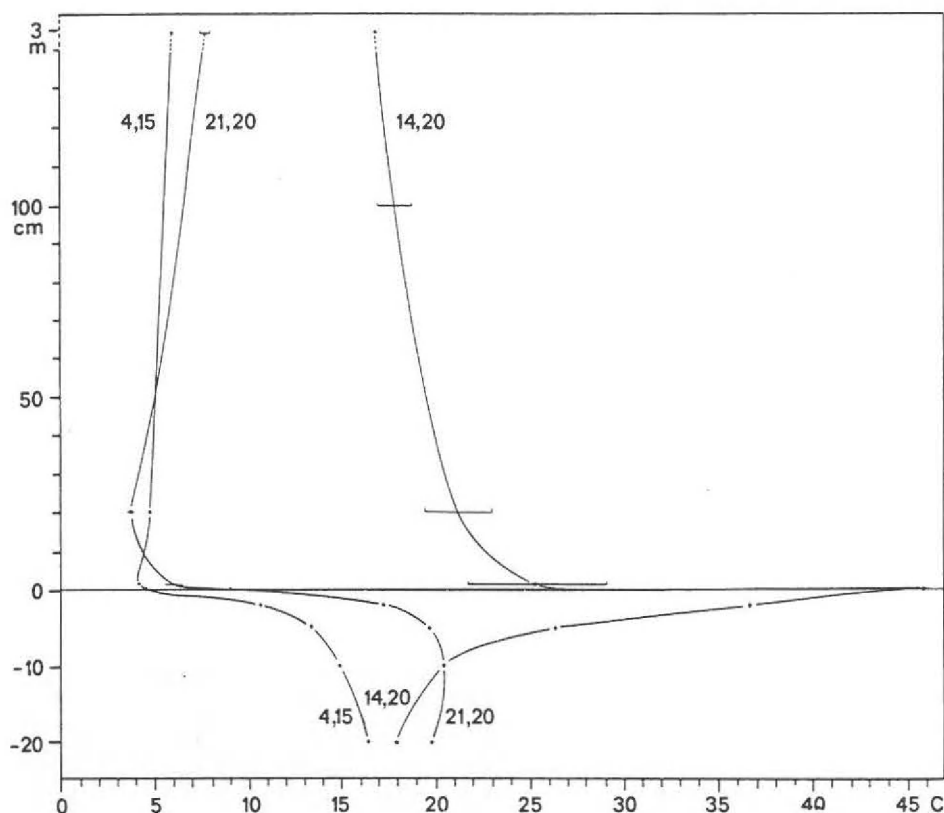


Fig. 18 : Temperaturen in en boven duinzand 13/14 juni, 14.20h, 21.20 h. en 4.15 h. (Stoutjesdijk, 1961)

Het warmtegeleidingsvermogen speelt ook een belangrijke rol bij het binnendringen van de vorst in de bodem. Vooral in korte vorstperiodes kan een bodem bedekt door een laag organisch materiaal met laag geleidingsvermogen het verschil betekenen tussen bevroren en niet bevroren van de bodem. Onderstaande tabel toont bodemtemperaturen in vrijwel kaal duinzand en in zand met een dichte moslaag (Barkman et al., 1987)(17-1-1957, 13.00h, luchttemperatuur 0.8°C). Bodemfauna kunnen dan nog actief zijn in de bodem bedekt met een ruige vegetatie met mos, terwijl dit in kort grasland of ijl begroeid duinzand niet meer mogelijk is.

Tabel 11 : Temperaturen in een kaal duinzand en in zand bedekt door een dichte moslaag.

Diepte (cm)	temperatuur (°C)	
	duinzand	mos
0-2.5	0.4	1.9
5	-0.2	4.1
10	-0.2	4.6

Het watergehalte speelt bij het bevriezen van de bodem weer een belangrijke rol. Niet alleen de warmtecapaciteit en het geleidingsvermogen van water beïnvloedt het bevroeringsproces, ook komt er bij dit proces warmte vrij zodat de vorst slechts langzaam dieper in de bodem dringt; het proces van ontdooien gaat eveneens zeer langzaam.

#### 1.5.4 VOCHTIGHEID

Water speelt een zeer belangrijke regulerende rol in het microklimaat. Water beïnvloedt het albedo, de warmtecapaciteit en het warmtegeleidingsvermogen van de bodem en dus de warmtehuishouding ervan. Uitwisseling van energie door middel van water is mogelijk via de latente warmte. Deze term omvat zowel het verdampings- en condensatieproces. Beide hebben een invloed op de temperatuur gezien de hoge verdampingswarmte van water. De verdamping zelf hangt ook af van de temperatuur en verder van de luchtvochtigheid.

Mist is van belang als bron voor watertoevoer voor organismen die geen water uit hun substraat kunnen opnemen, zoals lichenen op bomen, muren en rotsen. Het tijdstip waarop mist voorkomt is van belang vermits deze organismen overdag fotosynthetiseren. Dit kunnen zij immers alleen in vochtige (en niet te natte) omstandigheden en bij voldoende licht. Heerst de mist enkel 's nachts dan gaat de respiratie wel onverminderd door, terwijl de fotosynthese overdag door uitdroging stilvalt (Barkman et al., 1987).

Dauwvorming is een condensatieproces dat optreedt wanneer de temperatuur van het oppervlak van de bodem of de vegetatie daalt onder het dauwpunt van de omringende lucht. Bij dit proces komt dus energie vrij. De nachtelijke uitstraling wordt dus gedeeltelijk gecompenseerd door de warmtestroom uit de bodem, gedeeltelijk door de voelbare warmte die aan de lucht wordt onttrokken, gedeeltelijk door condensatie van waterdamp die eveneens aan de lucht wordt onttrokken. Waar de warmtestroom uit de bodem groot is, zal de energiebalans van het oppervlak weinig ruimte laten voor dauwvorming. Zo kan bij een onbegroeide goed geleidende bodem de dauwvorming geheel afwezig zijn. Dit is het geval voor oppervlakken van stuifzanden en verspreide mossen en lichenen, terwijl de omliggende vegetatie nat is van de dauw. Een deel van de gevormde dauw kan echter ook afkomstig zijn vanuit de bodem; door destillatie vanuit de bodem wordt vocht op de planten afgezet.

Bij hogere luchtvochtigheid treedt ook in de lucht condensatie op en wordt nevel gevormd. De nevel verzamelt zich in laagten. Boven het relatief warme water van sloten en rivieren blijft verdamping doorgaan; de gevormde waterdamp condenseert in de koude lucht boven het wateroppervlak.

Zoals mist kan dauw voor mossen en lichenen essentieel zijn.

#### 1.5.5 WIND

De wind is voor planten en dieren een ongunstige factor door de mechanische beschadiging, al of niet in combinatie met zout, zand of ijskristallen, door de verhoging van de transpiratie, door de vermindering van de dauw, door de aanvoer van luchtverontreiniging, door het belemmeren van het vliegen van insecten, alles uiteraard boven een bepaalde drempelwaarde, die per genoemd proces en per planten- en diersoort kan verschillen.

Positieve effecten van de wind zijn de verspreiding van pollen, sporen, zaden, cysten en kleine dieren. Verder is de wind een gunstige factor voor vliegende vogels, voor de vermindering van de



kans op nachtvorst (aanvoer voelbare warmte). Windeffecten kunnen ongunstig zijn voor de ene, gunstig voor het andere organisme zoals de aanvoer van stof, zand, kalk, kunstmest, wegblazen en elders ophopen van strooisel, van sneeuw, verhinderen van een sterke opwarming van bodem en vegetatie door de zon.

Als algemeen principe boven vlak terrein geldt afname van de windsnelheid met de afnemende hoogte. De afname van de windsnelheid vlakbij de grond is zeer sterk; in de hogere niveaus is de afname betrekkelijk gering. In de zone vlak boven de grond zijn de gradiënten het sterkst. In de vegetatie zelf ondergaat de windsnelheid een afname. Deze kan geleidelijk verlopen in meer open vegetaties; waar een dicht kroondak aanwezig is zal de sterkte van de luchtbeweging abrupt afnemen. Heggen, houtwallen en andere windschermen leiden tot een reductie van de windsterkte. Beschutting tegen wind beïnvloedt de warmte- en stofoverdracht en zo de oppervlaktetemperatuur, luchttemperatuur, verdamping, dauwval en nachtvorst.

De belangrijkste windwerking is uitdroging. In het open duin vinden wij planten zoals fijne kervel (*Anthriscus caucalis*) en mannetjesvaren (*Dryopteris filix-mas*) alleen in de beschutting (aan de oostzijde) van duindoornstruwelen. Bomen blootgesteld aan de wind dragen heel andere epifyten dan beschutte bomen (Barkman, 1958). De aanvoer van zeezout veroorzaakt ook een verdrogen en plasmolysen van jonge knoppen van de vegetatie. De hoeveelheid aangevoerd zeezout hangt af van de afstand tot de zee. De helft tot driekwart van het aangevoerde zeezout in de lucht zou binnen een afstand van enige honderden meters van de kust zijn neergeslagen (Vulto et al., 1983).

De mechanische werking van wind met zand beladen veroorzaakt een beschadiging van het blad. Verder kan de morfologie van de vegetatie aangetast worden, waarbij bosjes en bodem aan de lijkzijde iets hoger kunnen groeien.

Zeewind, met zand beladen, die over de duintoppen scheert, wordt in de bosjes zeer sterk geremd en laat zijn zand vallen, onder andere op de diep gegroefde schors van de vlierstammen. Na een storm kan men door schudden aan deze vlieren een heel zandregen veroorzaken. Dit heeft grote invloed op de mosbegroeiing van die vlieren.

Niet alleen wordt materiaal aangevoerd door de wind, er wordt ook materiaal afgevoerd. Bladstrooisel wordt steeds weggeblazen van de zijde blootgesteld aan de wind. Hierdoor worden de voedingsstoffen die door de vegetatie aan de grond worden onttrokken, steeds uit het ecosysteem verwijderd: een vorm van natuurlijke verschraling. De bodem verarmt en verzuurt. Het wegblazen van bladeren in bossen kan dan weer gunstig zijn voor terrestrische mossen.

#### 1.5.6 EXPOSITIE EN INCLINATIE

Met expositie wordt de kompasrichting, met inclinatie de steilheid van de helling bedoeld.

Afhankelijk van de hoogte van de zon, de steilheid van de helling en de expositie worden verschillende hoeveelheden zonnestraling per oppervlakte-eenheid ontvangen. Naarmate de atmosfeer minder helder is, zijn de verschillen kleiner, omdat de directe zonnestraling afneemt en de indirecte toeneemt. Als er bewolking voor de zon is, worden de verschillen tussen de exposities gering.

Natuurlijke steile hellingen van enige omvang komen voor in het duinengebied. Fig. 18 illustreert het temperatuursverloop van de bodem op onbegroeide hellingen met stuifzand met verschillende expositie op 25 mei 1955, op verschillende tijdstippen. De westhelling is in de bovenste lagen al voor het middaguur warmer dan de steile oosthelling.

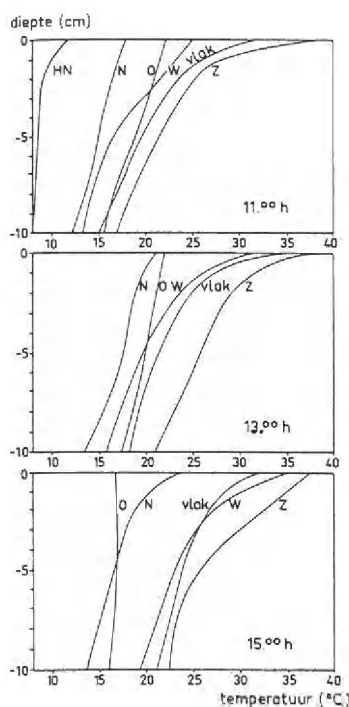


Fig. 19: Verloop van de bodemtemperatuur met de diepte op hellingen en vlak terrein in stuifduinen op drie verschillende tijdstippen op 25 mei 1955. Luchttemperatuur op 2 m om 11.00h: 15 °C, om 15.00h ; 18°C. N = noordhelling 30°, O = oosthelling 33°, Z = zuidhelling 25°, W = westhelling 15°. HN is noordhelling met hei. Uit Stoutjesdijk (1959).

Een meting op 31 oktober 1955 (tabel) laat zien dat de temperatuurverschillen tussen noord- en zuidhelling nog iets groter zijn, maar vooral dat de noordhelling uitgesproken koud is vergeleken met de luchttemperatuur.

Tabel 12 : Temperaturen op een noord- en zuidhelling in stuifzand (Stoutjesdijk, 1959).

Diepte (cm)	temperatuur (°C)		
	noord (28°)	zuid (28°)	vlak
0	4.4	25.0	13.5
-2	4.2	18.0	10.8
-5	4.2	15.3	9.4
-10	4.2	11.0	7.7

Bij lage zonnestand wordt de maximale stralingsintensiteit ontvangen op zeer steile hellingen, zodat in de winter verticale vlakken dichtbij de ideale expositie komen.

De invloed van de expositie op de vegetatieontwikkeling is algemeen bekend. Zuidhellingen zijn de meest geschikte habitat voor organismen uit zuidelijker streken en noordhellingen voor organismen uit noordelijker streken. Verschillen tussen de noord- en zuidhellingen weerspiegelen zich ook in de bodemvorming.

De oriëntatie van de hellingen tegenover de richting van de invallende neerslag bepaalt hoeveel neerslag elke helling zal ontvangen.

De vegetatie kan microklimaatverschillen zowel accentueren als nivelleren. Bij de begroeiing op stuifduinen onderzocht in Nederland is het verschil tussen noord- en zuidhelling aanvankelijk een zichzelf versterkend proces. De noordhelling raakt al spoedig begroeid met struikhei en kraaihei met een dikke mos- en ruwe humuslaag, terwijl een zuidhelling met een open buntgrasgezelschap met dunne moslaag en weinig of geen humus begroeid raakt. Hierdoor worden de verschillen tussen de noord- en zuidhelling aanzienlijk versterkt. De ontwikkeling van bos op alle exposities doet microklimaatverschillen bij de grond sterk afnemen. Alle verschillen tussen noord en zuid zijn dus onder het bos geringer.

De inclinatie van de helling zal het effect van de expositierichting moduleren : het verschil tussen steile noord- en zuidhellingen is groter dan tussen flauw hellende noord- en zuidhellingen. Bij zeer steile hellingen gaat ook de invloed van de neerslag een rol spelen : er valt minder regen op het substraat.

## 1.6 DE INVLOED VAN DE VEGETATIE OP HET MICROKLIMAAT

De literatuur hieronder werd voornamelijk ontleend aan Barkman & Stoutjesdijk (1987).

### 1.6.1 DE STRALINGS- EN TOTALE ENERGIEBALANS VAN HET BODEMOPPERVLAK

Voor de algemene beschrijving van de stralings- en totale energiebalans wordt verwezen naar § 1.5.1.

Voor een bodem met vegetatie verlopen de energieomzettingen niet meer in een scherp gedefinieerd oppervlak maar in een min of meer dikke laag. Deze energieomzettingen bepalen de temperatuur en vochtigheid op verschillende niveaus in de vegetatie.

De zonnestraling wordt onder vegetatie over een diepere dikte geabsorbeerd, vooral bij een losse oneffen vegetatie, hierdoor zullen de temperaturen minder snel stijgen dan op kale grond.

Een gedeelte van de inkomende korte golfstraling wordt in verschillende mate, afhankelijk van de vegetatie, gereflecteerd. Weilanden en hooilanden reflecteren ongeveer evenveel (12-30%) als een zandbodem; bossen reflecteren minder (5-20%) en komen meer overeen met tuinaarde en donkere akkergrond. Stuifzanden met grijze lichenenbegroeiing of met donkergroene haarmosvelden hebben een kleiner albedo dan kaal zand (zie tabel 8).

Tabel 13 illustreert de warmtehuishouding onder 4 verschillende vormen van bodembedekking : dode hei, grasland, zand en humus. De netto ontvangen straling  $R_{net}$  is veel hoger voor het gras (505.5) dan voor de ruwe humus (336) en het zand (420), ondanks de lagere totaal ontvangen straling ( $R_z + R_{atm} = 1126.5$ ) en de hogere reflectie ( $R_r = 421$ ). Dit is te wijten aan de lagere temperaturen van het gras en daardoor de geringere uitstraling ( $R_{em}$ ). Ook de dode hei heeft een lage uitstraling ( $R_{em}$ ) door de lage bereikte temperaturen en een laag albedo wat resulteert in een hoge netto straling. Humus heeft niet alleen een gering albedo, maar ook een geringe warmtecapaciteit en een gering geleidingsvermogen. Dit leidt tot zeer hoge temperaturen overdag en zeer lage 's nachts aan het oppervlak. De uitstraling ( $R_{em}$ ) bereikt in zo'n geval dan ook hoge waarden ( $R_{em} = 853$ ).

Onder vegetatie wordt een groot deel van de beschikbare energie ( $R_{net}$ ) besteed aan verdamping. De transpiratie door planten veroorzaakt een geringere opwarming, dus lagere temperaturen onder vegetatie dan op kale grond. De vegetatie voert water uit de diepere lagen van de bodem aan en kan zo nog meer afkoelend werken. In het bos kan er zelfs 's nachts nog lichte verdamping zijn. Een dorre vegetatie of extreem gesteld een kaal zandoppervlak, verdampt zeer weinig of niets, vergeleken met een groene vegetatie; in zo'n geval wordt dan het grootste deel van de  $R_{net}$  als voelbare warmte ( $H$ ) aan de lucht overgedragen. In onderstaand voorbeeld is de verdamping van het zandoppervlak en de droge humus nihil, het hoogst is ze onder grasland. Uitwisseling van energie van het oppervlak met de lucht is voor het grasland klein en wordt het hoogst onder de dode hei. De hoeveelheid warmte die een verhit bodemoppervlak aan de lucht afgeeft is afhankelijk van het temperatuursverschil oppervlakte-lucht en van de windsnelheid. Fijne takjes en blaadjes hebben een hoog warmteoverdrachtgetal. De lossere structuur van de vegetatie doet dus de warmtehuishouding van het aardoppervlak sterk veranderen. Warmteoverdracht van het oppervlak ( $B$ ) naar de diepere bodemlagen is het belangrijkste voor kaal zand en het kleinste onder grasland.

Tabel 13 : Warmtehuishouding van dode hei, grasland, zandoppervlak en kaal heidehumus (in  $W.m^{-2}$ )(Barkman & Stoutjesdijk, 1987).

	dode hei	grasland	zand	humus
oppervlakteT (°C)	24.4 op 40 cm	18.9 op 45 cm	51.6	77.0
input				
Rz	762	839	832	909
Ratm	316	287.5	371	371
totaal	1078	1126.5	1203	1280
output				
Rr	48	200	154	91
Rem	460	421	629	853
B	20	12.5	252	112
H+LE	550	492.5	168	224
totaal	1078	1126.5	1203	1280
Rnet	570	505.5	420	336

## 1.6.2 HET MIKROKLIMAAT

Het microklimaat wordt beïnvloed door de vegetatie. Vegetatie geeft schaduw, verandert de lichtkwaliteit, remt de wind, maakt de lucht door verdamping vochtiger en tempert temperatuurschommelingen.

### 1.6.2.1 Het actieve oppervlak

Het actieve oppervlak is het niveau waar de meeste absorptie, reflectie en uitstraling plaatsvindt, neerslag wordt er in de eerste plaats geïntercepteerd en de grootste windremming treedt er op. Op dit oppervlak grijpt de grootste omzetting van energie en massa plaats. Voor een kaal oppervlak is het actieve oppervlak de bodem. In bossen en struwelen wordt dit actieve oppervlak verschoven van de bodem naar een hoger niveau. Een dicht bos heeft een actief oppervlak in het kronendak, ijle bossen hebben een tweede actieve oppervlak op de grond, soms nog een derde op de boomstammen. Indien het bos nog een struiklaag bevat kan ook daar een actief oppervlak voorkomen.

### 1.6.2.2 De temperatuur

Een onbegroeide duinzandbodem vertoont maximumtemperaturen aan het bodemoppervlak en de dagelijkse temperatuurschommelingen zijn daar het grootst vermits het actieve oppervlak het bodemoppervlak zelf is.

In het geval van een lage open vegetatie, bijvoorbeeld verspreide pollen van duinriet met een maximale hoogte van 40 cm, wordt het actieve oppervlak verschoven naar de top van de strooisellaag. De strooisellaag bedroeg 4 cm, en op veel plaatsen bereikte de zonnestraling deze laag. De temperatuur was hier gemiddeld 22°C hoger dan op 1.5m.

Onder struweel - fig. 17 illustreert de temperatuurkrommen voor een duindoornvegetatie waarvan het bodemoppervlak bedekt is met de resten van duinriet - worden de temperatuurschommelingen van het bodemoppervlak in grote mate gedempt. Eveneens liggen de gemiddelde temperaturen op alle diepten in de bodem veel lager. *Ligustrum vulgare* is een voorbeeld van een begroeiing met

een zeer dicht kronendak, terwijl de ruimte daaronder zeer open is. De maximumtemperatuur werd bereikt aan de top van de vegetatie, ruim 5°C boven de luchttemperatuur. De bodemtemperatuur onder de liguster veranderde weinig in de loop van de dag, in tegenstelling tot die van nabijgelegen open zand.

Bossen zijn koeler dan het open veld gedurende het gehele jaar. Dit komt omdat het actieve oppervlak in een bos, waar maximumtemperaturen optreden, zich bevindt in de kroon. In ijle bossen treden overdag twee temperatuurmaxima op, in het kronendak en op de grond, in een dicht bos slechts één in het kronendak. In het onbebladerde bos is het bodemoppervlak vaak een duidelijke warmtebron voor de lucht erboven, in het dicht bebladerde bos blijft de bodem vaak koeler dan de lucht erboven.

'S nachts is de temperatuur op de bodem niet veel hoger of zelfs lager dan in het kronendak. Dit komt omdat in vrijwel alle bossen de koude lucht naar de bodem zakt, daardoor wordt de bosbodem kouder dan men zou verwachten en in de boomtoppen niet zo koud als aan de grond in het vrije veld.

Een onbegroeide bodem speelt een belangrijke rol in het warmteuitwisselingsproces. In een bos draagt de bodem weinig bij tot het nachtelijke energiebudget : de bodem koelt niet beneden de luchttemperatuur af vermits de bodem ongeveer dezelfde temperatuur als het kronendak heeft. Dauwvorming treedt hier dan ook niet op, wel op de kronen.

Minimumtemperaturen worden genoteerd in de kruinen van de bomen, naar beneden toe neemt de temperatuur verder af, de temperatuursamplituden zijn gering.

Overdag zakt de verwarmde lucht van het kronendak niet naar beneden, de afgekoelde lucht 's nachts wel : het effect is dat de gemiddelde temperatuur in een schaduwrijk bos 'zomers ongeveer 4°C lager is dan buiten het bos. Bij loofverliezende bossen wordt de zonnestraling tegengehouden als deze het sterkst is ('s zomers); de nachtelijke uitstraling wordt juist het minst tegengehouden als deze het sterkst is ('s winters). Loofbossen zijn dus over het gehele jaar genomen waarschijnlijk nog koeler dan de altijdgroene bossen.

In het voorjaar kan het in een loofbos veel warmer worden dan in het open veld : opwarming aan de oppervlakte zal veel groter zijn, doordat humus een kleinere volumewarmte en een kleiner warmtegeleidingsvermogen heeft dan de minerale grond. De opgewarmde grond zal minder afkoelen door convectie, omdat er minder wind is dan in het open veld. Deze extra warmte zou van belang zijn voor de vroege ontwikkeling van veel voorjaarsplanten. Voor het microklimaat en voor de ondergroei is het van groot belang op welk tijdstip de bomen in blad komen. Het humustype en het onderliggende bodemtype spelen verder ook een rol.

Vertikale verschillen van temperatuur en vochtigheid zijn veel groter in een struweel dan in een bos : ondanks het feit dat de intensiteit van de zonnestraling vrij laag was. dit kan verklaard worden door de wind die in het struweel veel zwakker is nl. ongeveer 5% van die boven de toppen tegenover 20% voor een bos.

### 1.6.2.3 Neerslag :

Bomen kunnen zeer veel neerslag in de kroon vasthouden en deze via stammen, takken en gaten in de kroon zeer ongelijk over de bodem verdelen. De hoeveelheid neerslag die wordt vastgehouden en verdampt vanaf het bladoppervlak - de interceptie - is afhankelijk van de

toestand van de boom, de dichtheid van de kronen en het aantal bladeren. Naaldbomen houden dus meer regen vast dan breedbladige loofbomen.

Ook de hoeveelheid neerslag per regenbui beïnvloedt de interceptie : bij een kleine bui blijft alle neerslag in de kruin hangen en verdampt weer. De neerslag die niet door de kronen vastgehouden wordt, valt gedeeltelijk door de kroon naar beneden (throughfall), of vloeit langs de twijgen en takken naar beneden (stemflow). Open plekken in het bos door omgevallen bomen en het voorkomen van verschillende species, leiden tot ongelijke verdeling van de neerslag en bepaalde vegetatiepatronen in de ondergroei.

In bossen treedt vrijwel geen dauwvorming op, wel op de kronen. In het bos kan er zelfs nog een geringe verdamping optreden, terwijl buiten het bos sterke dauwval optreedt. In heldere nachten is de evaporatie in het bos aanzienlijk hoger dan daarbuiten.

#### 1.6.2.4 Luchtvochtigheid

Door de gemiddeld lagere temperatuur en de hogere absolute vochtigheid (transpiratie van kruiden, struiken en bomen) is de relatieve vochtigheid in een bos hoger en het verzadigingsdeficiet lager dan in het open veld. De luchtvochtigheid in bossen zal groter zijn naarmate de bodem vochtiger is, het bos groter en dichter is en de diverse vegetatielagen beter ontwikkeld zijn.

De dampspanning kan in bossen 2 maxima vertonen : een maximum in de kronen en één dichtbij de grond, dat zelfs hoger kan zijn dan in de kronen dankzij de verdamping van de kruiden en de bodem.

Voor een ligusterstruweel is de dampspanning in het bladerdak weinig hoger dan boven de liguster en blijft de dampspanning vrij constant tot aan de bodem, een indicatie dat de bodem geen bron van vochtigheid is. Het verzadigingsdeficiet tussen de vegetatietoppen was hoger dan daarboven, omdat door de verhoogde temperatuur  $e_{\max}$  sterker toeneemt dan de dampspanning. In een Calamagrostisvegetatie is de dampspanning op 10 cm hoogte boven het bodemoppervlak weinig hoger dan op 1.5m; op 5 cm neemt de dampspanning dan sterk toe en bereikt daar de hoogste waarden. Het verzadigingsdeficiet varieert sterk naargelang de verschillende graslandtypes : bij hoog dicht grasland is het verzadigingsdeficiet sterk verlaagd (hoge RH), bij droog grasland juist sterk verhoogd (lage RH) omdat door de hoge temperatuur de maximale dampspanning veel sterker toeneemt dan de werkelijke dampspanning.

#### 1.6.2.5 Windsnelheid

Boven vlak terrein gelden de volgende algemene principes : er is een afname van windsnelheid met de afnemende hoogte, de afname is sterk nabij de grond. In de vegetatie ondergaat de windsnelheid een aanzienlijke reductie. Deze kan geleidelijk verlopen in meer open vegetaties, of meer abrupt waar een dicht kronendak aanwezig is. Indien de vegetatie daaronder meer open is kan de windsnelheid weer toenemen, dicht bij de grond neemt de windsnelheid dan weer af. Relatief gezien worden in open bos hogere windsnelheden ( voor eikenbos 20% van die boven de toppen) genoteerd dan in lagere vegetaties omdat de open ruimten tussen de stammen veel minder weerstand bieden tegen luchtbeweging dan de dichtbijeendaande dunne stengels van een lagere vegetatie. Ook is er een grotere grilligheid van de luchtbeweging in een soortgelijk bos. Een 15 m hoog eikenbos vertoont geringe verschillen in temperatuur en dampspanning in verticale zin door de vrij sterke luchtbeweging in het bos.

In een ligusterstruweel worden de laagste windsnelheden gemeten in het kronendak, al was de windsnelheid daaronder nauwelijks hoger. De wind in een wilgenstruweel, 5 m hoog, is zeer zwak (5% van die boven de toppen).

Hogere holle struwelen laten een toenemende invloed zien van de wind onder het kronendak. Een ijle vegetatie begroeiing van *Calamagrostis* remt de luchtbeweging al sterk af. De temperatuur op 5 en 10 cm hoogte is veel hoger dan boven een warm zandoppervlak bij vergelijkbare omstandigheden. Er zal dus weinig uitwisseling van energie optreden tussen de opeenvolgende luchtlagen



## 1.7 VARIABILITEIT VAN HET KLIMAAT

Klimaatveranderingen ook van slechts korte duur kunnen de overlevingskansen van diverse biota ingrijpend beïnvloeden. Ze leiden tot voortdurende sterfte van populaties, degeneratie van levensgemeenschappen en lokaal verdwijnen van ecologische nissen (De Raeve, 1991).

Literatuur betreffende klimaatveranderingen is zowel in de wetenschappelijke als in de vulgariserende pers overvloedig. Wegens de beperkte duur van deze opdracht steunt deze korte paragraaf voornamelijk op de publicatie van Schietecat (1990).

De klimatologische waarnemingsreeksen tonen aan dat klimaat fluctueert in de loop der jaren. De luchttemperatuur te Ukkel steeg, naargelang het seizoen, tussen 1910 en 1930 (zie § 1.3.4.), terwijl de neerslag in 1910 een plotse stijging ten opzichte van zijn gemiddelde waarde kende (zie § 1.3.6.) (Sneyers et al., 1990)

Over geheel Europa begon de stijgingstendens in de luchttemperatuur tussen 1920 en 1930. Voor de ganse noordelijke hemisfeer werd een opwarming van ongeveer 0.5 °C waargenomen tussen 1900 en 1940. Daarna nam de gemiddelde temperatuur met ongeveer 0.3 °C af tussen 1941 en 1979 om vanaf 1980 opnieuw een stijgende tendens te vertonen (Schietecat, 1990).

Een belangrijk aspect van de klimaatverandering is de wijziging in zowel de gemiddelde toestand als in zijn spreiding. Hierdoor zou de frequentie kunnen veranderen van bijvoorbeeld intensieve neerslag, hoge windsnelheden, tijdsduur van droogteperiodes.

Klimaatmodellen, gesteund op de onderstelling dat het CO<sub>2</sub>-gehalte tegen 2065 toeneemt tot 600 ppm, tonen een wereldwijde gemiddelde temperatuurstijging van 1.5 tot 4.5 °C. De regionale verdeling van deze temperatuursvariëaties zal nochtans niet uniform zijn. Zo verwacht men in de tropen kleinere temperatuursvariëaties dan op de gematigde en hogere breedten. Een warmere wereld zou waarschijnlijk een stijging van het zeeniveau veroorzaken door thermische expansie van het zeewater en door het smelten van gletsjers en poolijs op het land. Het is moeilijk de stijging van het zeeniveau te schatten omdat we niet zeker zijn van de voorspelde temperatuurstijging en van de veranderingen in het patroon van de sneeuwval vooral over Antarctica. Het globale zeepeil steeg deze eeuw al met 10 tot 15 cm. Door verdere opwarming verwacht men een verdere rijzing van 20 cm tegen het jaar 2030 en met 65 cm tegen 2100 (WMO, nr. 741, 1990). Belangrijke gevolgen van klimaatveranderingen voor het kustecosysteem Stijgende zeespiegels veroorzaken een verhoogde kusterosie. Het grondwater in kustgebieden zal onderhevig zijn aan een hogere kans op verzilting (IUCC, 1993).

## **1.8 BEKNOPTE WOORDENLIJST**

**albedo (oppervlakte albedo)** : verhouding van de gereflecteerde kortgolvlige inkomende zonnestraling van het bodem- en vegetatieoppervlak en de totale kortgolvlige ontvangen zonnestraling. Ze wordt meestal in % of als een fractie van 1 uitgedrukt.

**conductie** : overdracht van energie door middel van moleculaire beweging zonder enige invloed van externe beweging.

**convectie** : massabewegingen in een atmosfeer ontstaan door verschillen in dichtheid van de luchtmassas of -lagen. Opwarming van de lucht vanuit het bodemoppervlak is een veel voorkomende oorzaak.

**dempingsdiepte** : is de diepte in de bodem waar de amplitude van de temperatuurschommeling (dagelijks of jaarlijks) nul wordt. Dempingsdiepte wordt ook gedefinieerd als de diepte in de bodem waarbij de amplitude van de temperatuurschommelingen is afgenomen tot  $1/e$  (= 0.37) maal de waarde aan de oppervlakte (op dagelijkse of jaarlijkse basis).

**Latente warmte of verdampingswarmte (latent heat)** : hoeveelheid energie die geabsorbeerd (vrijkomt) wordt bij verdamping (condensatie) per massa eenheid water.

**Relatieve vochtigheid** : is de verhouding van de waargenomen dampdruk tot de grootste mogelijke druk bij overeenkomstige temperatuur van de lucht; is uitgedrukt in % of nog  $RH =$  verhouding uitgedrukt in % tussen hetgeen de lucht bevat en kan bevatten aan waterdamp.

**Specifieke warmte (specific heat)** : aantal warmte eenheden nodig (vrijgegeven) om de temperatuur te doen toenemen (afnemen) met  $1^{\circ}\text{C}$  voor 1 gr massa van het absorberende materiaal. Dit wordt uitgedrukt in  $\text{cal.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$  of  $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Voor water bedraagt dit  $1 \text{ cal.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$  en voor zand  $\text{cal.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

**Verzadigingsdeficiet** : het verschil tussen de grootst mogelijke druk van waterdamp bij de temperatuur van het ogenblik en de (huidige dampdruk); in millibar.

**Voelbare warmte (sensible heat)** : warmte energie die gebruikt wordt voor het opwarmen van de lucht in de atmosfeer. Dit kan gemeten worden door een temperatuurmeting.

**Volumewarmte** : volgens Barkman hetzelfde als warmtecapaciteit

**warmtegeleidbaarheid of warmtegeleidingsvermogen** :  $\lambda$  : hoeveelheid energie die doorstroomt per s en per  $\text{cm}^2$ , over een afstand van 1 cm indien de temperatuursgradient  $1^{\circ}\text{C}$  is. Dit wordt uitgedrukt in  $\text{cal.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

**warmtecapaciteit** : warmte-hoeveelheid die nodig is (afgegeven wordt) om de temperatuur met  $1^{\circ}\text{C}$  te doen stijgen (afnemen) van  $1\text{ cm}^3$  bodem (water, lucht ...). Dit wordt uitgedrukt in  $\text{cal.cm}^3.\text{K}^{-1}$  of  $\text{J.m}^3.\text{K}^{-1}$ .

**warmteoverdrachtscoëfficiënt** : hoeveelheid warmte die aan de lucht wordt afgegeven tegenover het temperatuursverschil tussen twee niveau's. Hiervoor wordt dikwijls het bodemoppervlak en de lucht op een niveau waar de temperatuur sterk met de hoogte verandert (1.50 m).

H : Hoeveelheid warmte die een verhit bodemoppervlak aan de lucht afgeeft. Dit wordt uitgedrukt in  $\text{W.m}^{-2}$  of  $\text{J.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$

$$H = \alpha \cdot \Delta T$$

$\alpha$  : warmteoverdrachtscoëfficiënt, uitgedrukt in  $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ )

$\Delta T$  : temperatuurverschil tussen de bodemoppervlak en de lucht

## 1.9 BIBLIOGRAFIE

- Alexandre, J., M. Erpicum & C. Vernemmen, 1992. Het klimaat, 87-127. In : Denis, J. (ed). Geografie van België. Gemeentekrediet, pp. 623.
- Bagnold, R.A., 1954. The physics of blown sands and desert dunes. Methuen and Co, London, pp. 265.
- Barkman, J.J., 1958. Phytosociology and Ecology of Cryptogamic Epiphytes. Van Gorcum, Assen, pp. 627.
- Barkman, J.J. & Ph. Stoutjesdijk, 1987. Microklimaat, vegetatie en fauna. Pudoc, Wageningen, pp. 223.
- Bodeux, A., 1975. De vochtigheid van de lucht in België. Boekdeel I : Inleiding en verklarende tekst van de boekdelen II tot VIII. K.M.I., België, Miscellanea Serie B, nr. 30.
- Bodeux, A., 1975. De vochtigheid van de lucht in België. Boekdeel IV : De Relatieve vochtigheid. K.M.I., België, Miscellanea Serie B, nr. 33.
- Bodeux, A., 1975. De vochtigheid van de lucht in België. Boekdeel VI : Het verzadigingsdeficiet van de lucht in waterdamp. K.M.I., België, Miscellanea Serie B, nr. 35.
- Bodeux, A., 1976. De windsnelheid en windrichting in België. K.M.I., België, Miscellanea, serie B, nr. 42.
- Bodeux, A., 1977. De frekwentie van de mist in België. K.M.I. van België. Miscellanea, serie B, nr. 44, pp. 40.
- Bodeux, A., 1984. De belangrijkste kenmerken van de neerslag te Koksijde, Melsbroek en St.-Hubert. K.M.I. België, Publicaties, serie B, Nr 29.
- De Backer, S.M., 1963. Etudes microclimatiques. Opuscule II. Dunes littorales - Oostduinkerke août 1951 et juillet-août 1952. K.M.I. België, Publicaties, serie A, nr 39, pp. 24.
- Depuydt, F., 1967. Bijdrage tot de geomorfologische en fytogeografische studie van het domaniaal natuurreservaat De Westhoek. Publicaties van de Dienst Domaniale Natuurreservaten en Natuurbescherming. Werek nr. 3, pp. 101.
- Dingens, P. & C. Vernemmen, 1964. De klimaatsclassificatie van C.W. Thornthwaite toegepast op België en het Groot-Hertogdom Luxemburg. Natuurwet. Tijdschr., 45, 145-198.
- Dogniaux, R., 1971. Distribution du rayonnement solaire en Belgique. K.M.I., België, Publicaties, serie A, nr 71.

- Dogniaux, R., 1979. Verdeling van de zonneshijnduur en van de zonnestraling in België. K.M.I. België, Miscellanea serie B, nr 51.
- Dupriez, G.L. & R. Sneyers, 1979. Les nouvelles cartes pluviométriques de la Belgique. K.M.I. België, Publicaties, serie A, nr. 103, pp. 17.
- Dupriez, G.L. & R. Sneyers, 1978, 1982. Les normales du réseau pluviométrique Belge, K.M.I. België, Publicaties, serie A, nr. 101.
- Gellens-Meulenberghs, F. & D. Gellens, 1992. L'évapotranspiration potentielle en Belgique : variabilité spatiale et temporelle. K.M.I. België. Publicaties Serie A, nr. 130, pp. 38.
- Haecon, 1989. Hydro-meteo waarnemingen voor de Vlaamse kust. Atlas. Rapport in opdracht van de Diensten van de Vlaamse Executieve, openbare werken en verkeer. Bestuur der waterwegen en van het zeezezen. Dienst der kust. Ropprt ZHA732, 89.2577.
- Haecon, 1995. Haalbaarheid naar de kustveiligheid toe van een partiële verwijdering van de duinvoetversterking voor het Staatsnatuurreservaat "De Westhoek" te De Panne. Studie uitgevoerd in opdracht van Ministerie Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, pp. 69.
- Hoffmann, M., 1993. Verspreiding, fytosociologie en ecologie van epifytengemeenschappen in Oost- en West-Vlaanderen. Doctoraatsverhandeling, Faculteit Wetenschappen, groep plantkunde, RUG, pp.
- K.M.I., België, 1993. Gegevensbestanden. Belgische waarnemingen, pp. 86.
- K.M.I., België, 1985 tot 1995. Maandbericht. Klimatologische waarnemingen, deel 2.
- Landsberg, S.Y., 1956. The orientation of dunes in Britain and Denmark in relation to wind. The Geographical Journal, Vol. CXXII, pp. 176-189.
- Landuyt, L. & G.D. Schietecat, 1992. Klimaatgemiddelden en weerextremen in België. Meteorologische documentatie, K.M.I., België, pp. 255.
- Lebbe, L., 1978. Hydrogeologie van het duingebied ten westen van De Panne. Doctoraatsverhandeling, Faculteit Wetenschappen, Aard- en Delfstofkunde, RUG, pp. 164.
- Mahauden, M. & L. Lebbe, 1982. Hydrogeologische studie van en rondom het gebied van de geplande waterwinning "Ter Yde" te Koksijde (Oostduinkerke). Lab. Toegepaste Geologie, RUG, pp. 52, appendix.
- Ministerie van Openbare Werken. Bestuur der Waterwegen. Dienst der Kust. ASICON. Stormrapport voor de periode van 26.02.90 t.e.m. 2.03.90.

Ministerie van Openbare Werken. Bestuur der Waterwegen. Dienst der Kust. ASICON. Rapport betreffende de storm van 25.01.90.

Ministerie van de Vlaamse gemeenschap. Departement Leefmilieu en Infrastructuur. Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen. Dienst der Kusthavens. OMS. Stormverslag 21 februari 1993.

Ministerie van de Vlaamse gemeenschap. Departement Leefmilieu en Infrastructuur. Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen. Dienst der Kusthavens. OMS. Tropos b.v.b.a.. Stormverslag 27 op 28 januari 1994.

Ministerie van de Vlaamse gemeenschap. Departement Leefmilieu en Infrastructuur. Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen. Dienst der Kusthavens. OMS. Tropos b.v.b.a., rapport 9401. Stormverslag 26 januari 1994.

Ministerie van de Vlaamse gemeenschap. Departement Leefmilieu en Infrastructuur. Administratie Waterwegen en Zeewezen. Afdeling Waterwegen Kust. Directie Kust en Zee. Storm 95.002. Stormverslag 31 december 1994 tot 3 januari 1995.

Oke, T.R., 1987. Boundary layer climates. Methuen : London and New York, 2nd ed., pp. 435.

Poncelet, L. & H.Martin, 1947. Hoofdtrekken van het Belgisch klimaat. K.M.I. België, Verhandelingen, XXVI, 265 pp.

Poncelet, L., 1951. Aperçu sur le climat du littoral belge. K.M.I. België, Mengelingen, aflev., XLIII, pp. 23.

Poncelet, L., 1957. Klimaat van België. Atlas van België, pp. 42.

Schietecat, G.D., 1990. Bijdragen tot de studie van de klimaatveranderingen. K.M.I. België, Publicaties, serie A, nr. 124, pp. 80.

Smith, M, 1991. Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop requirements. FAO Land and Water Development Division, Rome, pp. 45.

Sneyers, R., 1973. Sur la densité optimale des réseaux météorologiques, Arch. Met. Geoph. Biokl., 21, 1, pp. 17-24.

Sneyers, R. & M. Vandiepenbeeck, 1981, 1985. Les normales du réseau thermométrique belge. K.M.I. België, Publicaties, serie A, nr. 106, pp. 23.

Sneyers, R. & M. Vandiepenbeeck, 1982. La durée d'insolation a Uccle et en Belgique. K.M.I. België, Publicaties serie B, nr. 118.

Sneyers, R., M. Vandiepenbeeck, R. Vanlierde & G.R. Demarée. Climatic changes in Belgium as appearing from the homogenized series of observations made in Brussels-Uccle (1833-1988), pp.

- 17-20. In : Schietecat, G.D. (ed.). Bijdragen tot de studie van de klimaatsveranderingen. K.M.I. België, pp. 80.
- Sneyers, R. & M. Vandiepenbeeck, 1995. Notice sur le climat de la Belgique, K.M.I., Wetenschappelijke en Technische Publicatie, 002, pp. 62.
- Stoutjesdijk, Ph., 1959. Heaths and Inland Dunes of the Veluwe. Wentia 2 : 1-96.
- Stoutjesdijk, Ph., 1961. Micrometeorological measurements in vegetations of various structure. Proceedings van de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen C 64 : 171-207.
- Thorntwaite, C.W., 1948. An approach toward a Rational Classification of Climate. Geogr. Rev., 38, 55-94.
- Vandiepenbeeck, M., 1990. Le climat, pp. 5-16. In : Schietecat, G.D. (ed.). Bijdragen tot de studie van de klimaatsveranderingen. K.M.I. België, pp. 80.
- Verlinden, E., 1927. Sur la distribution de la pluie en Belgique. Memoires, volume II, pp. 50.
- Vernemmen, C. & A. Van Der Burght, 1987. Typologie de la variation saisonniere des régimes pluviométriques en Belgique. In : Erpicum, M. (ed.). Actes des Journées de climatologie, 5-7 nov., 1987, pp. 291-306.
- Vulto, J.C. & P.J.M. van der Aart, 1983. Salt spray and its influence on the vegetation of the coastal dunes of Voorne and Goeree (the Netherlands) in relation to man-made changes in coastal morphology. Verhandelingen van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afd. Natuurkunde. Reeks 81 : 65-73.

## *Appendix 1*

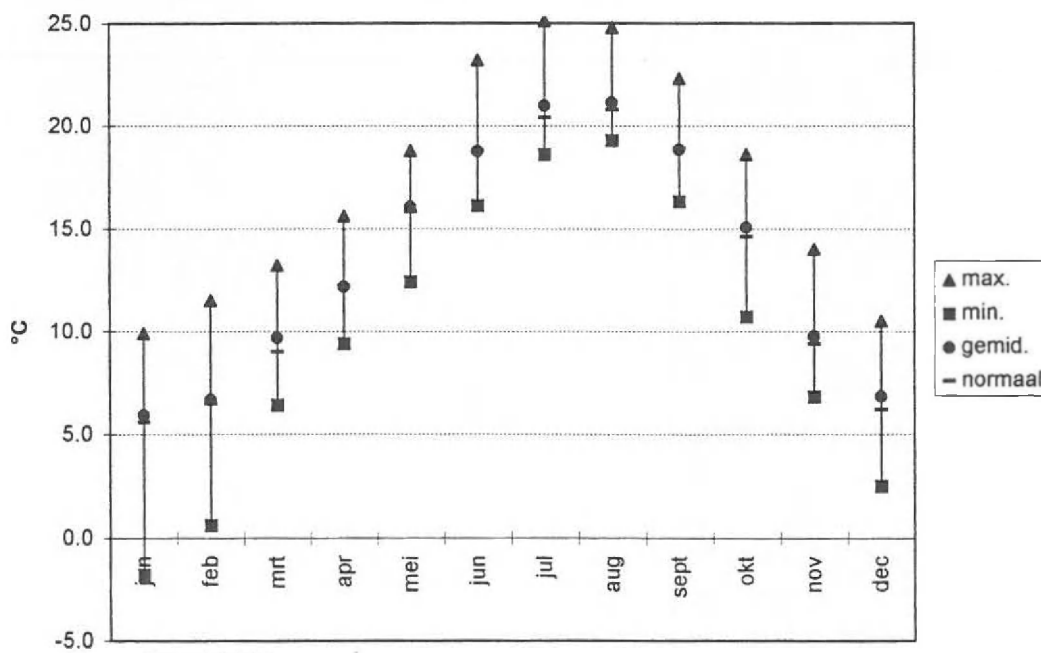
Tabellen en grafieken met maandelijks gegevens voor minimum-, maximum-, gemiddelde temperatuur, neerslag, relatieve vochtigheid, gemiddelde zonneshijnduur en gemiddelde windsnelheid voor de periode 1957-1995 en de normalen, potentiële en actuele evapotranspiratie, deficit, surplus voor de periode 1985-1995 voor Koksijde



Tabel 1 : Koksijde Gemiddelde maximum temperatuur (°C)

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	gemid.	bron
1957	6.8	8.6	13.2	11.9	13.9	20.8	21.5	20.3	16.8	14.8	9.1	6.4	13.7	Lebbe, 1978
1958	6.2	8.7	7.8	10.6	16.3	18.4	20.6	20.6	20.1	14.3	8.4	7.9	13.3	Lebbe, 1979
1959	5.4	5.2	11.9	14.2	17.4	20.4	23.3	23.0	22.3	17.9	9.1	7.9	14.8	Lebbe, 1980
1960	6.5	7.2	9.7	12.4	17.2	19.6	19.5	20.1	18.3	14.0	11.1	5.8	13.5	Lebbe, 1981
1961	5.5	10.0	12.2	15.0	15.2	19.3	20.2	20.3	21.3	15.9	8.6	5.8	14.1	Lebbe, 1982
1962	6.8	6.8	6.4	11.1	13.5	17.9	19.1	19.5	18.1	15.3	7.6	3.9	12.2	Lebbe, 1983
1963	-1.8	0.8	9.4	12.4	14.2	18.5	20.3	19.3	17.6	14.1	11.8	2.5	11.6	Lebbe, 1984
1964	3.9	7.4	6.7	12.4	18.7	19.2	20.9	21.2	20.7	13.1	10.1	5.9	13.4	Lebbe, 1985
1965	6.0	5.2	9.5	11.7	15.8	18.9	18.6	20.2	17.9	16.2	7.3	8.1	13.0	Lebbe, 1986
1966	3.5	9.1	9.7	12.3	15.9	20.1	19.1	20.0	18.6	14.4	7.7	7.8	13.2	Lebbe, 1987
1967	6.3	8.6	10.7	11.4	16.7	18.6	22.9	21.3	18.8	15.5	8.2	7.1	13.8	Lebbe, 1988
1968	6.4	4.6	10.1	14.1	14.2	19.4	20.2	20.2	18.8	16.0	8.0	3.7	13.0	Lebbe, 1989
1969	7.5	4.3	7.8	12.5	16.8	18.5	21.6	21.6	20.0	18.6	10.6	3.3	13.6	Lebbe, 1990
1970	5.9	6.4	6.9	9.6	16.9	21.7	19.9	21.2	20.2	15.5	11.5	5.9	13.5	Lebbe, 1991
1971	6.2	7.3	7.9	11.4	17.3	17.2	22.2	22.3	19.7	16.6	9.8	8.1	13.8	Lebbe, 1992
1972	4.9	7.3	11.9	11.5	15.5	16.7	19.8	19.9	16.9	14.7	9.7	7.0	13.0	Lebbe, 1993
1973	5.9	6.6	10.5	10.5	16.7	19.8	20.3	23.4	20.0	14.4	9.7	7.3	13.8	Lebbe, 1994
1974	8.6	8.3	9.1	13.3	15.9	18.3	19.4	21.3	16.9	10.7	9.9	10.5	13.5	Lebbe, 1995
1975	9.5	8.1	7.8	11.5	14.1	18.5	21.5	23.4	19.3	13.2	9.0	6.3	13.5	Lebbe, 1996
1976	7.8	6.8	8.4	11.7	18.4	23.2	24.0	23.0	18.9	14.9	9.7	4.6	14.3	Lebbe, 1997
1977	5.8	8.6	11.2	11.1	15.5	16.8	19.6	20.2	17.8	16.4	10.2	8.4	13.5	KMI
1978	5.9	5.2	10.3	10.8	14.7	18.6	19.2	20.0	18.1	16.1	10.5	5.0	12.9	KMI
1979	1.1	2.9	8.4	12.1	15.7	17.5	20.5	19.7	18.5	15.5	10.2	8.5	12.6	KMI
1980	3.9	8.6	8.2	11.2	15.6	18.3	18.7	21.0	19.8	13.6	8.2	7.3	12.9	KMI
1981	6.9	5.7	11.9	11.7	16.5	17.0	19.6	20.6	19.5	12.8	10.9	4.2	13.1	KMI
1982	4.7	7.1	9.5	11.7	17.7	20.3	22.4	20.8	21.1	14.0	11.2	6.5	13.9	KMI
1983	9.0	4.5	9.3	12.3	14.5	19.1	23.3	21.9	18.0	15.1	10.7	7.3	13.8	KMI
1984	7.2	5.9	7.8	12.3	12.4	17.3	20.7	21.6	17.3	14.9	12.0	7.5	13.1	KMI
1985	1.5	4.2	7.6	12.2	15.1	17.6	21.7	19.8	19.6	15.4	6.8	8.6	12.5	Maandbericht
1986	5.8	0.6	8.5	9.4	16.8	20.5	20.7	19.3	16.3	15.9	10.8	8.6	12.8	Maandbericht
1987	1.3	5.6	6.9	15.5	13.8	17.1	20.6	20.9	19.4	15.3	9.4	6.8	12.7	Maandbericht
1988	8.6	7.6	9.0	13.2	17.4	17.0	19.5	20.6	17.3	15.0	9.5	9.3	13.7	Maandbericht
1989	7.3	8.4	12.0	10.1	17.9	18.6	22.1	21.6	19.9	16.3	9.5	7.5	14.3	Maandbericht
1990	5.7	11.5	12.3	12.5	17.4	18.2	21.0	23.3	17.7	16.6	10.0	6.9	14.4	Maandbericht
1991	5.8	4.2	12.3	13.0	12.7	16.1	21.5	22.3	19.6	14.0	8.4	5.9	13.0	Maandbericht
1992	5.2	8.0	10.2	12.6	18.6	18.6	21.2	21.1	18.2	13.0	12.6	7.8	13.9	Maandbericht
1993	9.9	6.8	11.6	15.6	18.8	20.4	21.0	20.8	18.5	13.4	6.8	9.5	14.4	Maandbericht
1994	8.9	6.5	11.7	12.9	16.4	20.0	24.7	22.6	18.0	15.4	14.0	10.2	15.1	Maandbericht
1995	9.6	11.4	10.9	13.2	18.1	17.9	25.1	24.8	18.8	18.2	12.0	4.4	15.4	KMI
max.	9.9	11.5	13.2	15.6	18.8	23.2	25.1	24.8	22.3	18.6	14.0	10.5		
min.	-1.8	0.6	6.4	9.4	12.4	16.1	18.6	19.3	16.3	10.7	6.8	2.5		
gemid.	5.9	6.7	9.7	12.2	16.1	18.8	21.0	21.2	18.8	15.1	9.8	6.8		
normaal	5.6	6.5	9	12.2	15.8	18.8	20.4	20.8	18.9	14.6	9.4	6.2		

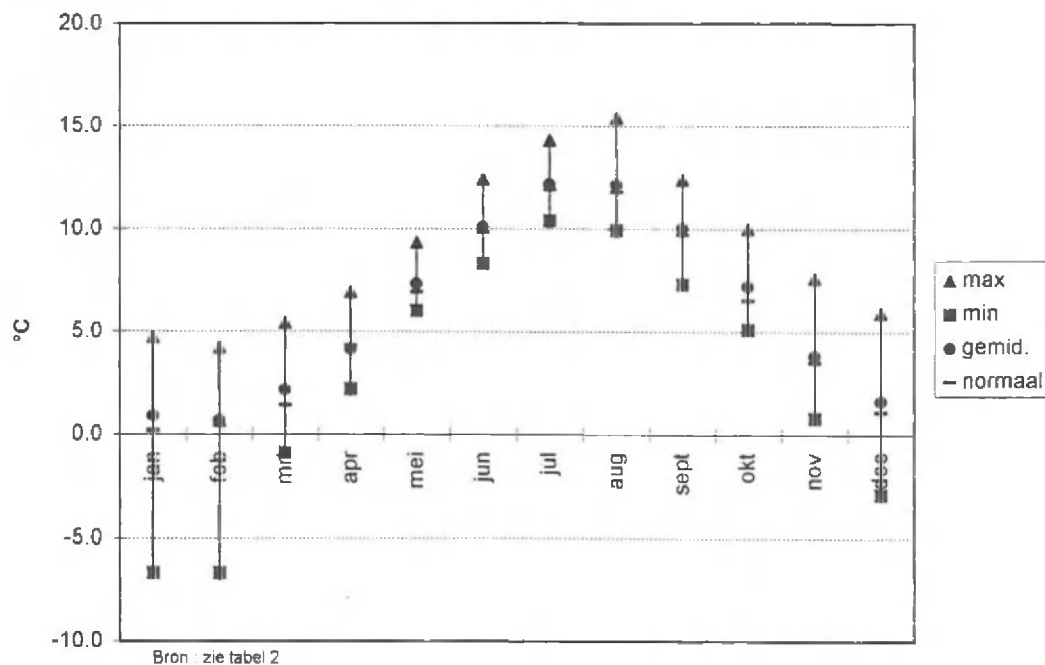
Fig. 1 : Gemiddelde Maximum Temperatuur Koksijde 1957-1995



Tabel 2: Koksijde Gemiddelde minimum temperatuur (°C)

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	gemid.	bron
1957	2.3	3.3	4.0	4.4	6.6	10.4	13.3	12.5	10.6	7.7	4.6	1.0	6.7	Lebbe,1978
1958	1.3	2.3	-0.4	3.2	6.9	9.0	11.4	12.7	12.4	9.1	3.6	3.0	6.2	Lebbe,1978
1959	0.5	0.8	3.6	5.7	8.4	9.4	11.8	12.9	9.2	6.9	2.9	2.9	6.3	Lebbe,1978
1960	1.2	1.0	2.5	5.1	7.2	10.7	11.4	11.9	9.6	8.1	5.8	1.7	6.4	Lebbe,1978
1961	1.2	3.3	3.6	6.9	7.0	9.6	11.4	12.0	12.4	8.0	3.3	-0.7	6.5	Lebbe,1978
1962	2.0	1.5	-0.5	4.6	6.6	8.4	10.4	10.9	9.1	7.0	3.0	-2.4	5.1	Lebbe,1978
1963	-6.7	-5.3	2.3	4.5	6.4	10.4	10.9	11.3	10.9	7.0	5.4	-2.9	4.5	Lebbe,1978
1964	-0.8	1.9	0.7	4.6	8.1	9.5	11.5	11.9	9.6	5.1	5.0	0.5	5.6	Lebbe,1978
1965	1.4	0.8	1.3	4.4	7.4	10.0	11.3	11.2	9.0	5.7	1.1	3.4	5.6	Lebbe,1978
1966	-2.1	3.8	3.2	4.6	6.8	10.9	10.8	11.1	9.3	7.8	2.4	2.9	6.0	Lebbe,1978
1967	1.4	2.2	3.6	3.8	6.9	10.1	11.8	11.5	10.2	8.7	2.2	1.5	6.2	Lebbe,1978
1968	0.9	-0.1	2.7	3.0	6.8	9.7	11.0	13.5	10.8	10.0	2.7	-1.6	5.8	Lebbe,1978
1969	3.3	-0.6	1.3	3.5	7.8	9.8	13.1	13.2	10.4	8.3	3.8	-1.4	6.0	Lebbe,1978
1970	1.3	0.8	0.8	4.0	7.7	10.8	11.7	11.4	10.2	8.1	5.2	0.2	6.0	Lebbe,1978
1971	0.6	1.5	0.3	4.2	8.6	9.4	12.7	12.7	8.5	5.2	3.4	3.2	5.9	Lebbe,1978
1972	-0.1	1.1	1.5	5.7	7.4	8.3	12.7	11.2	8.4	5.2	4.5	1.7	5.6	Lebbe,1978
1973	1.4	1.7	0.5	3.1	6.9	9.8	12.0	12.2	10.4	6.0	3.7	1.7	5.8	Lebbe,1978
1974	3.9	2.3	2.4	4.6	6.3	9.7	11.3	10.9	8.9	5.5	4.4	5.9	6.3	Lebbe,1978
1975	4.7	0.0	2.7	4.4	7.5	9.4	12.8	13.3	11.3	6.0	2.7	1.4	6.4	Lebbe,1978
1976	3.6	3.0	0.1	3.5	7.5	11.7	14.2	13.1	10.8	8.5	4.7	-0.6	6.7	Lebbe,1978
1977	0.9	1.9	2.9	2.4	7.2	10.1	13.0	11.3	8.6	7.4	5.0	3.0	6.1	KMI
1978	1.1	-1.0	2.6	2.2	8.1	10.2	10.6	11.0	10.5	7.6	3.6	0.3	5.6	KMI
1979	-4.3	-1.7	1.4	3.5	6.0	9.8	12.0	11.0	8.3	7.0	3.4	4.4	5.1	KMI
1980	-1.3	2.4	1.6	3.5	6.1	9.6	11.4	12.3	10.2	5.2	2.5	1.9	5.5	KMI
1981	2.7	-1.3	5.4	4.5	7.9	10.4	12.3	12.2	9.9	6.3	5.1	-0.1	6.3	KMI
1982	-1.2	0.4	1.6	3.7	6.8	12.4	13.5	12.7	10.2	8.3	5.7	1.7	6.3	KMI
1983	3.7	-2.3	1.9	3.4	6.8	11.5	14.2	13.9	10.0	7.0	3.1	1.8	6.3	KMI
1984	1.5	-0.1	0.6	2.3	6.8	9.8	11.5	12.5	10.4	7.7	6.0	2.3	5.9	KMI
1985	-5.7	-3.9	0.9	4.8	8.3	10.2	11.8	10.8	9.6	6.5	0.8	4.1	4.9	Maandbericht
1986	1.0	-6.7	0.7	2.6	6.6	10.7	11.7	9.9	7.3	7.9	4.7	3.3	5.0	Maandbericht
1987	-3.8	0.1	-0.9	5.5	6.1	9.8	12.3	12.5	10.7	6.8	4.5	1.8	5.5	Maandbericht
1988	3.6	2.1	3.6	3.8	8.3	10.7	11.0	11.5	10.3	7.6	2.9	5.7	6.8	Maandbericht
1989	1.9	2.2	4.3	3.2	7.9	9.3	13.4	12.5	11.6	9.4	1.8	1.7	6.6	Maandbericht
1990	3.0	4.2	4.0	3.4	7.3	9.1	10.5	12.2	9.2	8.3	3.4	2.0	6.4	Maandbericht
1991	0.8	-2.8	4.8	3.8	6.9	8.8	13.2	11.7	9.6	6.8	3.4	0.1	5.6	Maandbericht
1992	-0.4	1.5	4.0	3.9	8.6	11.7	12.5	12.8	9.8	5.6	6.1	2.3	6.5	Maandbericht
1993	3.2	2.0	2.1	6.3	9.3	10.9	12.7	12.1	10.2	6.7	0.8	3.6	6.7	Maandbericht
1994	3.6	0.0	4.6	5.5	8.2	9.8	14.3	13.5	10.1	5.6	7.6	3.3	7.2	Maandbericht
1995	2.5	3.9	1.9	5.0	6.9	10.7	14.3	15.4	11.7	8.5	4.3	-1.3	7.0	KMI
max	4.7	4.2	5.4	6.9	9.3	12.4	14.3	15.4	12.4	10.0	7.6	5.9		
min	-6.7	-6.7	-0.9	2.2	6.0	8.3	10.4	9.9	7.3	5.1	0.8	-2.9		
gemid.	0.9	0.7	2.2	4.1	7.3	10.1	12.1	12.1	10.0	7.2	3.8	1.6		
normaal	0.2	0.4	1.4	4.3	6.9	9.8	11.9	11.8	9.7	6.5	3.5	1.1		

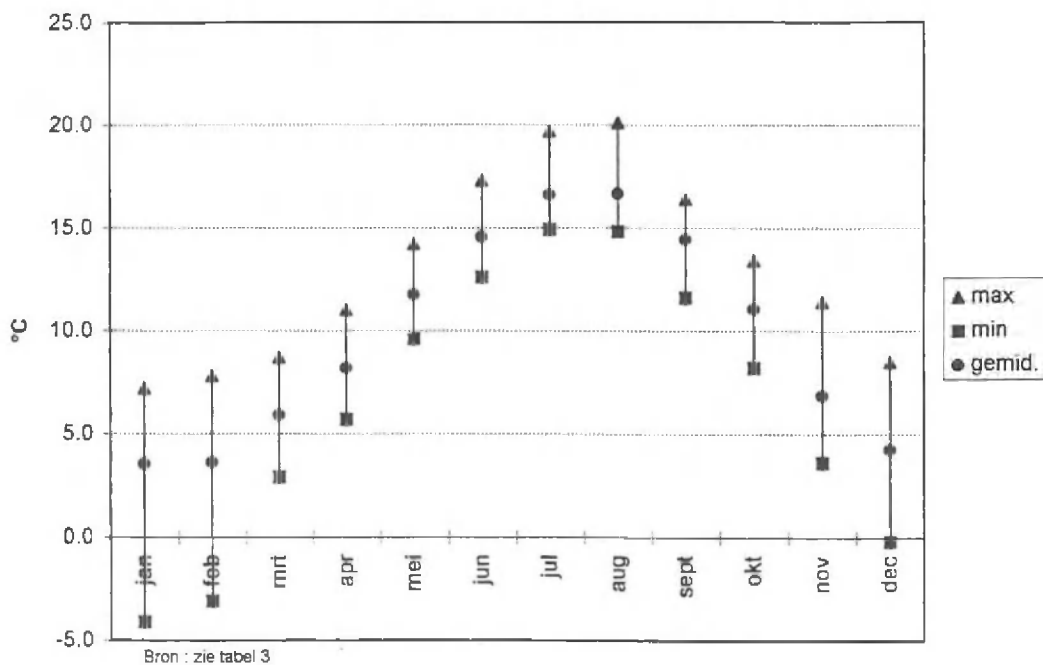
Fig. 2 : Gemiddelde Minimum Temperatuur Koksijde 1957-1995



Tabel 3 : Koksijde Gemiddelde temperatuur (°C)

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	gemid.	bron
1957	4.6	5.9	8.7	8.4	10.5	16.1	17.5	16.4	13.8	11.2	6.9	3.5	10.3	Lebbe, 1978
1958	4.0	5.6	3.6	6.8	11.8	14.0	16.1	16.5	16.4	11.2	5.9	5.5	9.8	Lebbe, 1979
1959	3.1	1.9	7.5	9.8	12.8	15.1	17.8	17.9	15.8	12.2	6.1	5.6	10.5	Lebbe, 1980
1960	4.1	4.2	6.0	8.8	12.4	15.3	15.5	16.0	13.7	10.9	8.4	3.9	9.9	Lebbe, 1981
1961	3.3	6.8	7.6	10.8	11.4	14.9	16.0	16.3	16.4	11.8	6.1	2.8	10.4	Lebbe, 1982
1962	4.4	4.1	2.9	7.7	10.1	13.4	15.1	15.4	13.6	11.0	5.4	0.8	8.7	Lebbe, 1983
1963	-4.1	-2.2	5.6	8.3	10.5	14.4	15.8	15.1	14.1	10.6	8.6	-0.2	8.0	Lebbe, 1984
1964	1.8	4.5	3.6	8.5	13.3	14.6	16.4	16.4	14.9	8.9	7.5	3.4	9.5	Lebbe, 1985
1965	3.8	2.8	5.0	7.8	11.7	14.3	14.9	15.7	13.2	10.6	4.5	6.0	9.2	Lebbe, 1986
1966	0.7	6.4	6.5	8.5	11.6	15.6	15.0	15.6	13.8	11.2	5.0	5.5	9.6	Lebbe, 1987
1967	3.9	5.2	7.3	7.8	11.8	14.2	17.7	16.5	14.5	12.2	5.3	4.4	10.1	Lebbe, 1988
1968	3.9	2.2	6.4	8.7	10.6	14.8	15.8	16.7	14.8	13.0	5.6	1.5	9.5	Lebbe, 1989
1969	5.7	1.9	4.4	8.0	12.2	14.3	17.5	17.4	15.5	13.2	7.4	1.3	9.9	Lebbe, 1990
1970	3.6	3.7	3.9	6.8	12.6	16.3	15.9	16.4	15.2	11.9	8.5	3.5	9.9	Lebbe, 1991
1971	3.4	4.9	4.2	7.8	12.7	13.5	17.6	17.2	14.2	10.6	6.7	5.9	9.9	Lebbe, 1992
1972	2.4	4.0	6.3	8.5	11.3	12.7	16.0	15.7	12.7	10.0	7.2	4.3	9.3	Lebbe, 1993
1973	3.7	4.1	5.7	7.0	11.9	15.2	16.3	17.7	15.0	10.1	6.7	4.5	9.8	Lebbe, 1994
1974	6.3	5.4	5.7	8.7	11.2	14.3	15.5	16.2	13.0	8.2	7.4	8.5	10.0	Lebbe, 1995
1975	7.2	3.7	5.5	7.9	10.5	14.3	17.2	18.6	15.2	9.7	6.0	4.0	10.0	Lebbe, 1996
1976	5.6	3.5	4.0	7.2	12.5	17.3	19.0	18.1	14.4	11.4	7.2	1.9	10.2	Lebbe, 1997
1977	3.4	5.2	7.3	7.2	11.4	13.3	16.2	15.8	13.6	11.9	7.6	5.7	9.9	Mahauden et al., 1982
1978	3.6	2.4	6.8	6.9	11.2	14.2	15.0	15.5	14.4	11.9	7.1	2.8	9.3	Mahauden et al., 1982
1979	-1.4	0.6	5.1	8.0	11.0	13.6	15.0	15.3	13.7	11.4	7.0	6.5	8.8	Mahauden et al., 1982
1980	1.4	5.5	5.3	7.7	11.1	14.0	15.0	16.7	15.3	9.7	5.6	4.9	9.4	Mahauden et al., 1982
1981	4.9	2.2	8.7	8.1	12.2	13.7	16.0	16.4	14.7	9.6	6.0	2.1	9.7	KMI
1982	1.8	3.8	5.6	7.8	12.3	16.3	18.0	16.7	15.7	11.2	8.4	4.1	10.1	KMI
1983	6.4	1.1	5.6	7.9	10.7	15.3	18.8	17.9	14.0	11.1	6.9	4.6	10.0	KMI
1984	4.4	2.9	4.3	7.3	9.6	13.6	16.2	17.1	13.9	11.3	9.0	4.9	9.5	KMI
1985	-2.1	-0.3	3.9	8.6	11.5	13.8	16.6	15.3	14.5	10.6	3.8	6.5	8.6	Maandbericht
1986	3.5	-3.1	4.2	5.7	12.0	15.5	18.5	14.8	11.6	11.8	6.0	6.1	8.9	Maandbericht
1987	-1.4	2.8	3.1	10.3	10.1	13.4	16.5	16.4	15.1	10.9	7.0	4.3	9.0	Maandbericht
1988	6.3	5.0	6.4	8.5	12.9	13.8	15.2	15.8	13.8	11.1	6.0	7.7	10.2	Maandbericht
1989	4.6	5.3	8.2	6.8	13.0	14.6	17.8	17.1	15.6	12.8	5.4	4.5	10.5	Maandbericht
1990	5.7	7.8	8.4	8.3	12.6	13.9	15.9	18.3	13.9	12.4	7.0	4.7	10.7	Maandbericht
1991	3.4	0.7	6.4	8.3	9.8	12.6	17.3	17.1	15.0	10.5	6.0	3.3	9.4	Maandbericht
1992	2.6	4.7	7.1	8.4	13.9	15.3	16.9	17.0	14.1	9.5	9.6	4.9	10.3	Maandbericht
1993	6.8	4.4	6.9	11.0	14.2	16.1	16.8	16.6	14.5	10.0	3.6	3.9	10.4	Maandbericht
1994	6.6	3.5	8.6	9.1	12.4	15.4	19.7	18.0	14.2	10.7	11.4	7.1	11.4	Maandbericht
1995	6.1	7.7	6.4	9.1	12.5	14.3	19.7	20.1	15.3	13.4	8.1	1.6	11.2	KMI
max	7.2	7.8	8.7	11.0	14.2	17.3	19.7	20.1	16.4	13.4	11.4	8.5		
min	-4.1	-3.1	2.9	5.7	9.6	12.6	14.9	14.8	11.6	8.2	3.6	-0.2		
gemid.	3.5	3.6	5.9	8.2	11.7	14.5	16.6	16.7	14.4	11.1	6.9	4.3		

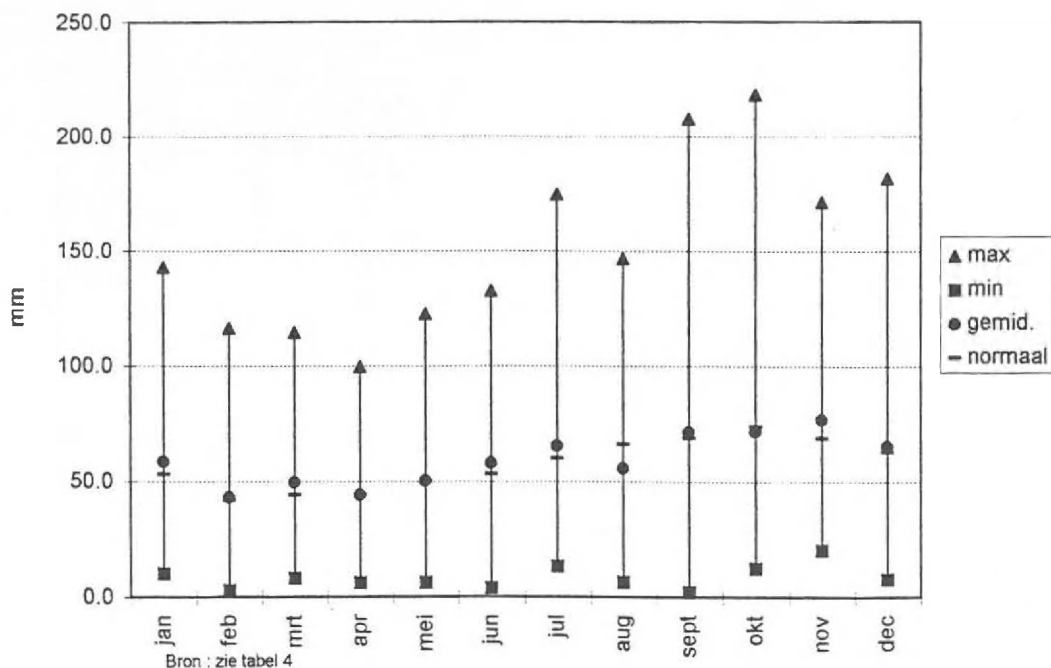
Fig. 3 : Gemiddelde Temperatuur Koksijde 1957-1995



Tabel 4 : Koksijde Maandelijkse neerslag (mm)

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	totaal	bron
1957.0	27.2	116.3	30.9	31.6	49.2	7.7	73.9	82.0	111.2	47.2	52.4	24.8	654.4	Lebbe
1958.0	69.5	87.6	46.6	36.0	42.4	108.4	105.4	92.4	57.5	72.2	66.4	66.4	850.8	Lebbe
1959.0	89.3	5.8	35.4	58.8	7.1	19.9	62.1	33.0	2.1	83.5	46.9	112.9	556.8	Lebbe
1960.0	63.7	44.6	46.2	17.3	65.4	31.1	66.2	116.8	119.9	100.0	171.3	83.7	926.2	Lebbe
1961.0	88.1	53.6	16.2	53.9	26.9	53.3	97.4	36.0	25.9	119.7	66.0	70.5	707.5	Lebbe
1962.0	58.9	47.5	51.9	31.9	43.7	6.6	49.7	53.8	59.4	57.3	68.6	53.9	583.2	Lebbe
1963.0	11.7	11.7	39.1	52.2	56.6	69.5	50.6	62.7	64.0	64.1	98.8	24.2	605.2	Lebbe
1964.0	10.2	19.6	47.2	55.0	29.7	116.7	13.2	21.4	49.0	116.9	82.6	103.4	664.9	Lebbe
1965.0	50.3	9.8	56.5	62.1	49.4	43.0	104.2	111.8	103.4	12.4	65.2	120.2	788.3	Lebbe
1966.0	40.4	68.6	23.2	59.3	27.2	84.1	111.5	89.1	19.5	82.0	157.8	96.4	859.1	Lebbe
1967.0	28.2	43.2	47.1	48.6	64.3	19.2	14.2	64.5	52.9	93.0	37.2	64.7	577.1	Lebbe
1968.0	56.8	61.7	36.4	37.2	33.9	34.8	92.0	62.4	113.9	66.7	35.0	34.4	665.2	Lebbe
1969.0	39.1	82.4	70.3	46.5	122.5	75.0	43.8	146.7	4.8	13.9	108.2	80.9	834.1	Lebbe
1970.0	51.6	57.7	46.0	23.0	10.3	30.3	65.5	24.3	77.3	54.5	84.0	52.5	577.0	Lebbe
1971.0	46.7	24.7	33.5	29.5	59.5	132.4	13.5	29.3	22.2	26.9	99.1	7.8	525.1	Lebbe
1972.0	40.2	42.4	24.5	52.0	62.8	68.0	100.3	19.3	79.5	13.5	57.5	43.7	603.7	Lebbe
1973.0	27.3	34.7	11.2	60.7	72.0	19.0	61.6	15.7	95.2	73.7	31.4	32.0	534.5	Lebbe
1974.0	55.1	39.7	26.6	8.8	35.0	44.3	60.3	91.1	115.2	218.1	141.3	43.6	879.1	Lebbe
1975.0	69.0	15.6	83.8	48.1	40.9	53.2	45.6	71.8	96.6	28.1	138.4	36.0	727.1	Lebbe
1976.0	29.9	28.6	20.7	6.1	10.3	12.0	24.1	11.4	126.8	55.7	107.6	36.1	469.3	Lebbe
1977.0	84.7	61.0	59.2	54.7	46.4	62.6	38.8	68.2	20.8	35.4	122.7	36.9	691.4	Mahauden et al.
1978.0	60.6	24.3	46.4	32.4	49.7	75.2	55.2	21.5	38.8	12.8	27.6	129.2	573.9	Mahauden et al.
1979.0	57.0	41.3	80.2	42.8	79.3	52.1	25.0	74.1	38.6	23.9	76.4	109.6	702.3	Mahauden et al.
1980.0	44.1	47.1	64.2	45.1	33.5	71.6	174.7	37.4	19.8	93.4	38.0	53.2	722.1	Mahauden et al.
1981.0	60.4	16.3	112.0	18.0	94.1	94.2	50.9	43.5	86.9	183.0	41.3	74.0	874.6	Leten
1982.0	46.0	12.6	30.3	14.3	39.5	110.0	37.6	48.1	40.8	113.0	60.7	62.2	615.1	Leten
1983.0	59.4	38.8	44.6	99.5	72.1	50.1	38.7	33.7	119.0	56.1	45.1	30.2	687.3	Leten
1984.0	107.0	38.8	63.6	27.8	93.3	33.3	93.1	38.4	160.0	78.8	57.2	40.9	832.2	Leten
1985.0	89.9	7.6	67.3	44.8	82.3	89.7	88.2	75.0	13.5	36.4	83.8	76.3	754.8	Maandbericht
1986.0	97.1	2.8	84.0	71.8	27.3	36.9	35.4	91.6	46.3	101.6	91.6	95.8	782.2	Maandbericht
1987.0	32.5	28.9	68.9	27.9	52.4	101.3	83.8	109.8	59.6	87.9	107.7	28.3	789.0	Maandbericht
1988.0	143.0	96.5	114.4	50.7	54.2	3.7	94.4	71.3	112.3	71.5	44.8	36.6	893.4	Maandbericht
1989.0	27.4	50.3	58.1	70.5	6.2	83.2	51.8	18.6	43.8	86.2	30.8	84.4	611.3	Maandbericht
1990.0	64.1	102.3	16.1	55.9	19.9	48.4	26.4	23.6	42.5	91.0	89.8	68.2	648.2	Maandbericht
1991.0	61.1	21.7	24.9	64.6	47.3	92.2	102.9	6.5	50.6	38.8	161.9	33.7	706.2	Maandbericht
1992.0	11.7	26.5	84.7	62.6	88.4	55.9	68.8	94.3	49.0	86.1	73.7	51.0	752.7	Maandbericht
1993.0	76.7	43.7	8.0	27.6	45.3	44.5	85.6	21.6	207.7	91.7	62.0	181.5	895.9	Maandbericht
1994.0	76.2	39.2	50.8	67.5	84.2	57.9	86.2	36.7	83.5	90.5	20.4	121.9	815.0	Maandbericht
1995.0	126.3	86.4	64.0	24.1	35.2	68.2	60.4	25.3	164.0	20.8	46.2	46.9	767.8	Maandbericht
max	143.0	116.3	114.4	99.5	122.5	132.4	174.7	146.7	207.7	218.1	171.3	181.5	926.2	
min	10.2	2.8	8.0	6.1	6.2	3.7	13.2	6.5	2.1	12.4	20.4	7.8	469.3	
gemid.	58.4	43.1	49.6	44.1	50.2	57.9	65.5	55.8	71.6	71.8	76.9	65.4	710.4	
normaal	53.0	42.0	44.0	44.0	50.0	53.0	60.0	66.0	69.0	74.0	69.0	63.0	687.0	

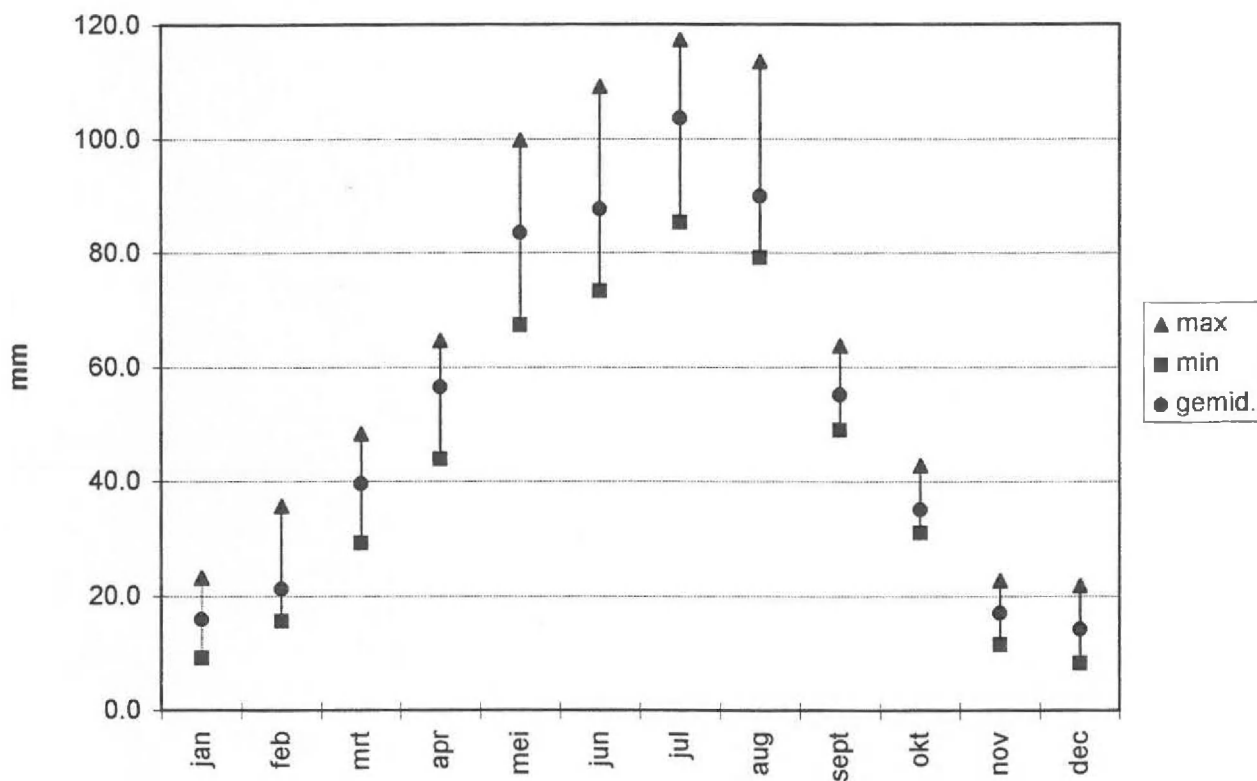
Fig. 4 : Maandelijks Neerslag Koksijde 1957-1995



Tabel 5 : Koksijde potentiële evapotranspiratie berekend volgens de gemodificeerde Penman-Monteith methode (mm)

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	totaal
1985	9.1	15.8	29.2	59.1	69.3	84.0	106.2	79.1	54.1	33.8	20.9	17.0	577.6
1986	21.8	20.1	33.2	43.8	87.7	103.4	100.8	81.7	50.5	36.9	20.7	21.8	622.4
1987	13.0	17.3	33.3	62.5	74.3	73.2	97.8	81.1	57.1	32.9	17.1	8.4	568.0
1988	15.6	29.0	37.7	59.8	81.7	79.5	85.3	85.1	50.7	31.8	15.1	16.7	588.0
1989	11.3	21.9	44.3	46.9	99.7	96.6	108.8	92.8	60.5	42.7	13.3	12.8	651.6
1990	16.1	35.6	48.2	64.6	93.3	80.3	107.0	101.9	63.7	40.5	15.8	15.8	682.8
1991	15.4	15.5	38.3	60.9	67.3	75.3	93.9	92.4	58.2	35.1	16.4	11.0	579.7
1992	10.2	18.2	36.9	54.5	96.8	85.9	95.1	81.8	54.8	34.5	22.6	8.2	599.5
1993	17.8	16.2	41.8	57.7	77.9	91.8	114.4	88.3	49.6	33.1	11.5	20.6	620.7
1994	21.6	17.5	44.0	57.3	79.3	109.1	117.3	90.9	48.9	31.0	15.4	15.1	647.4
1995	23.1	26.4	47.7	53.7	91.2	85.6	112.3	113.5	58.3	32.8	18.9	8.2	671.7
max	23.1	35.6	48.2	64.6	99.7	109.1	117.3	113.5	63.7	42.7	22.6	21.8	682.8
min	9.1	15.5	29.2	43.8	67.3	73.2	85.3	79.1	48.9	31.0	11.5	8.2	568.0
gemid.	15.9	21.2	39.5	56.4	83.5	87.7	103.5	89.9	55.1	35.0	17.1	14.1	619.0

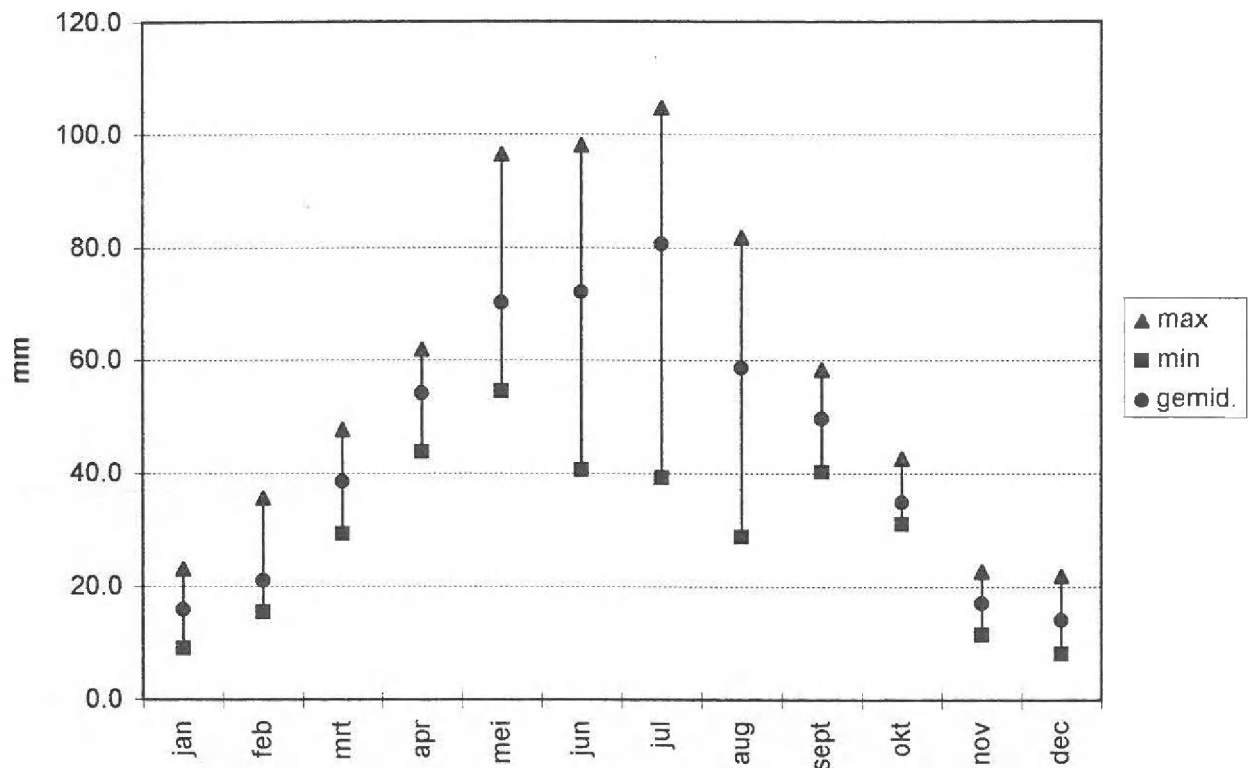
**Fig. 5 : Gemiddelde Potentiële evapotranspiratie  
Koksijde 1985-1995**



Tabel 6 : Koksijde actuele evapotranspiratie (mm)

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	totaal
1985	9.1	15.5	29.2	58.1	69.3	84.0	104.7	78.4	40.3	33.8	20.9	17.0	560.3
1986	21.8	18.7	33.2	43.8	72.6	63.5	48.9	81.7	47.3	36.9	20.7	21.8	510.9
1987	13.0	17.3	33.3	57.1	66.3	73.2	94.9	81.1	57.1	32.9	17.1	8.4	551.7
1988	15.6	29.0	37.7	59.4	76.2	40.6	85.3	76.7	50.7	31.8	15.1	16.7	534.8
1989	11.3	21.9	44.3	46.9	66.9	88.1	66.7	28.8	45.2	42.7	13.3	12.8	488.9
1990	16.1	35.6	43.6	61.9	54.5	57.1	39.2	29.2	43.4	40.5	15.8	15.8	452.7
1991	15.4	15.5	37.4	60.9	63.8	75.3	93.9	64.1	53.7	35.1	16.4	11.0	542.5
1992	10.2	18.2	36.9	54.5	96.5	79.7	84.6	81.8	52.7	34.5	22.6	8.2	580.4
1993	17.8	16.2	36.7	46.1	60.0	58.9	91.5	30.3	49.6	33.1	11.5	20.6	472.3
1994	21.6	17.5	44.0	57.3	79.3	98.0	102.2	55.1	48.9	31.0	15.4	15.1	585.4
1995	23.1	26.4	47.7	49.7	67.1	75.0	74.9	37.8	58.3	32.1	18.9	8.2	519.2
max	23.1	35.6	47.7	61.9	96.5	98.0	104.7	81.8	58.3	42.7	22.6	21.8	585.4
min	9.1	15.5	29.2	43.8	54.5	40.6	39.2	28.8	40.3	31.0	11.5	8.2	452.7
gemid.	15.9	21.1	38.5	54.2	70.2	72.1	80.6	58.6	49.7	34.9	17.1	14.1	527.2

**Fig. 6 : Gemiddelde Actuele Evapotranspiratie  
Koksijde 1985-1995**



Tabel 7 : Koksijde deficiet (mm)

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	totaal
1985		0.3		1.0			1.5	0.7	13.8				17.3
1986		1.4			15.1	39.9	51.9		3.2				111.5
1987				5.4	8.0		2.9						16.3
1988				0.4	5.5	38.9		8.4					53.2
1989					32.8	8.5	42.1	64.0	15.3				162.7
1990			4.6	2.7	38.8	23.2	67.8	72.7	20.3				230.1
1991			0.9		3.5			28.3	4.5				37.2
1992					0.3	6.2	10.5		2.1				19.1
1993			5.1	11.6	17.9	32.9	22.9	58.0					148.4
1994						11.1	15.1	35.8					62.0
1995				4.0	24.1	10.6	37.4	75.7		0.7			152.5

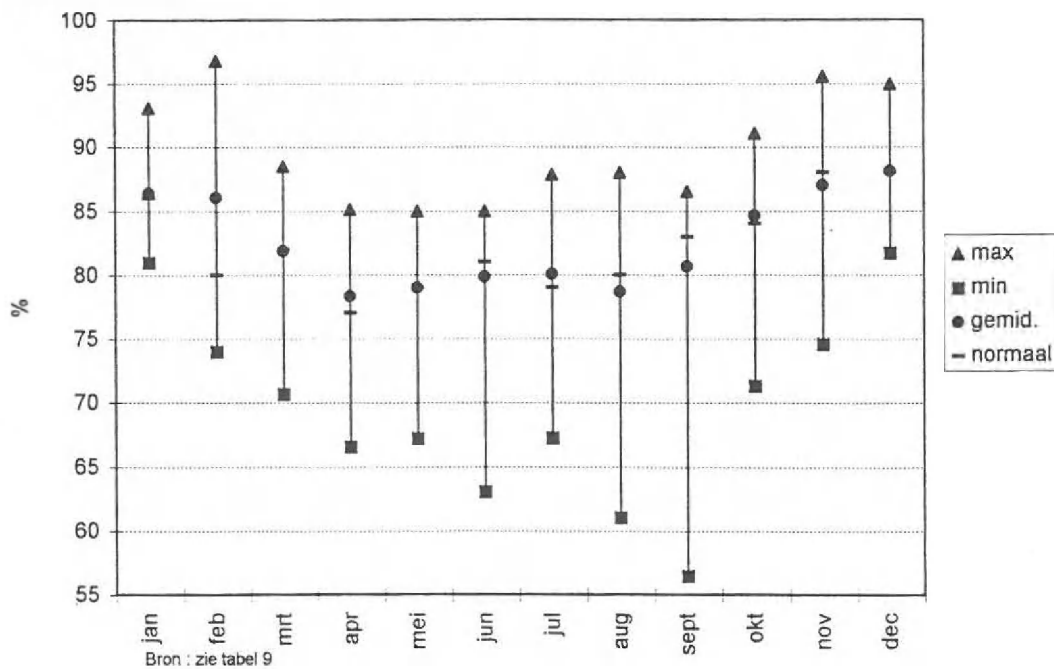
Tabel 8 : Koksijde surplus (mm)

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	totaal
1985	80.8		30.2			4.4					18.9	59.3	193.6
1986	75.3		34.9	28.0							60.1	74.0	272.3
1987	19.5	11.6	35.6					2.5	2.5	55.0	90.6	19.9	237.2
1988	127.4	67.5	76.7							37.5	29.7	19.9	358.7
1989	16.1	28.4	13.8	23.6								40.4	122.3
1990	48.0	66.7									28.3	52.4	195.4
1991	45.7	6.2									88.5	22.7	163.1
1992	1.5	8.3	47.8	8.1						12.9	51.1	42.8	172.5
1993	58.9	27.5							67.2	58.6	50.5	161.9	424.6
1994	54.9	21.7	6.8	10.2	4.9					19.6	5.0	106.8	229.9
1995	103.2	60.0	16.3						14.5		16.0	38.7	248.7

Tabel 9 : Koksijde Relatieve vochtigheid (%)

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	gemid.	bron
1957	81	88	85	84	78	72	83	74	85	89	81	89	82	Lebbe, 1978
1958	89	97	80	79	81	82	83	86	82	89	92	84	85	Lebbe, 1978
1959	84	91	84	79	75	72	73	77	56	73	90	89	79	Lebbe, 1978
1960	87	84	86	71	80	80	67	72	86	88	86	90	81	Lebbe, 1978
1961	88	89	82	85	75	77	77	78	86	86	88	87	83	Lebbe, 1978
1962	83	84	84	84	75	76	81	81	69	88	93	82	82	Lebbe, 1978
1963	93	92	87	85	84	85	72	86	87	80	81	87	85	Lebbe, 1978
1964	88	91	87	74	83	84	84	82	82	89	96	95	86	Lebbe, 1978
1965	90	86	88	85	79	82	82	71	84	82	87	83	83	Lebbe, 1978
1966	84	93	73	76	81	85	75	72	86	91	89	88	83	Lebbe, 1978
1967	83	87	78	78	67	81	80	81	76	87	92	90	82	Lebbe, 1978
1968	92	88	71	78	83	84	83	88	76	83	92	91	84	Lebbe, 1978
1969	91	80	86	67	82	79	86	73	84	84	85	92	82	Lebbe, 1978
1970	86	82	76	78	78	63	80	83	68	85	86	92	80	Lebbe, 1978
1971	85	85	82	72	81	82	80	80	79	85	88	92	83	Lebbe, 1978
1972	83	90	79	80	82	84	87	81	72	71	84	89	82	Lebbe, 1978
1973	92	87	81	81	80	79	79	78	82	86	75	82	82	Lebbe, 1978
1974	88	88	89	76	75	82	82	82	85	87	89	84	84	Lebbe, 1978
1975	87	89	86	85	83	84	88	83	84	87	92	90	86	Lebbe, 1978
1976	81	88	78	75	76	77	71	61	82	88	81	87	79	Lebbe, 1978
1977	89	84	79	73	74	80	78	79	78	84	82	89	82	Mahauden et al., 1982
1978	82	87	79	77	82	75	80	76	77	81	87	92	81	Mahauden et al., 1982
1979	85	88	82	75	79	82	82	79	79	85	85	87	82	Mahauden et al., 1982
1980	89	88	82	76	74	78	81	77	78	80	85	87	81	Mahauden et al., 1982
1981	88	85	86	81	83	81	84	83	84	87	85	87	85	Meteo-wing
1982	87	81	76	75	82	81	81	82	83	86	86	87	82	Meteo-wing
1983	83	78	84	82	84	81	81	81	82	81	88	86	83	Meteo-wing
1984	83	84	84	76	85	81	79	81	85	87	88	89	84	Meteo-wing
1985	86	80	86	77	85	82	79	81	83	84	82	87	83	Maandbericht
1986	83	74	84	83	76	78	79	78	83	84	86	84	81	Maandbericht
1987	83	86	80	77	78	85	80	81	83	86	88	91	83	Maandbericht
1988	88	80	82	78	79	81	82	80	85	87	87	88	83	Maandbericht
1989	89	85	80	81	75	79	79	77	81	82	88	88	82	Maandbericht
1990	88	79	78	75	79	80	77	75	75	83	88	87	80	Maandbericht
1991	86	86	85	77	81	82	84	80	82	84	89	89	84	Maandbericht
1992	91	88	84	79	77	85	82	81	83	84	87	92	84	Maandbericht
1993	88	89	79	82	85	84	81	77	86	85	90	86	84	Maandbericht
1994	85	86	81	79	79	70	80	79	86	87	91	89	83	Maandbericht
1995	84	84	76	81	74	81	79	74	82	87	86	90	82	Maandbericht
max	93	97	89	85	85	85	88	88	87	91	96	95		
min	81	74	71	67	67	63	67	61	56	71	75	82		
gemid.	86	86	82	78	79	80	80	79	81	85	87	88		
normaal	86	80	82	77	79	81	79	80	83	84	88	88		

Fig. 9 : Gemiddelde Relatieve Vochtigheid Koksijde 1957-1995

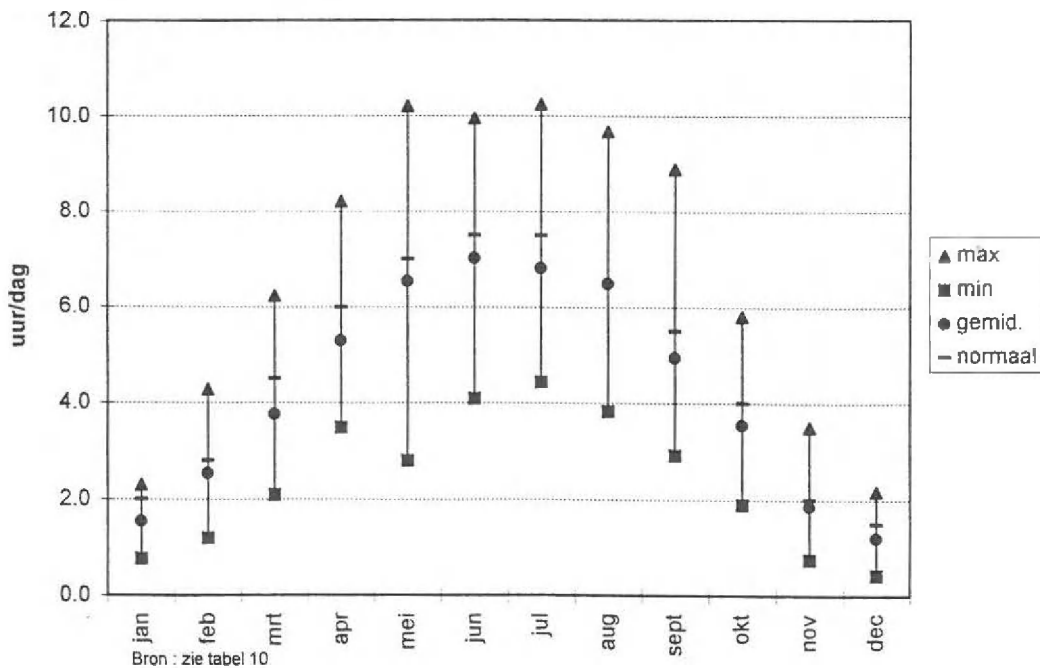




Tabel 10 : Koksijde Gemiddelde zonneshijnduur (uur/dag)

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	gemid.	bron
1957	1.9	1.9	3.8	6.3	8.2	9.9	6.4	6.3	2.9	2.8	1.1	1.5	4.4	Lebbe, 1978
1958	1.0	1.3	5.3	6.5	6.3	6.4	6.8	3.8	5.8	2.5	1.1	0.6	4.0	Lebbe, 1978
1959	1.8	2.8	4.0	4.7	8.0	9.4	10.2	8.3	8.9	5.2	1.6	0.5	5.5	Lebbe, 1978
1960	1.6	2.9	3.1	4.9	5.1	8.2	6.2	6.0	3.9	2.2	1.3	0.4	3.8	Lebbe, 1978
1961	1.6	2.0	6.2	3.5	8.3	8.6	6.3	5.5	4.2	4.0	1.2	2.1	4.5	Lebbe, 1978
1962	2.0	3.0	4.4	4.6	5.3	9.1	5.7	6.1	5.1	4.3	0.8	2.2	4.4	Lebbe, 1978
1963	2.2	3.3	3.9	5.5	6.6	6.7	7.0	5.2	4.5	3.4	2.1	1.8	4.3	Lebbe, 1978
1964	1.4	2.3	2.6	5.4	7.4	7.7	8.3	7.8	7.3	3.9	2.0	1.4	4.8	Lebbe, 1978
1965	1.7	2.5	4.0	4.5	6.6	6.5	5.2	6.6	5.0	5.8	2.9	0.9	4.3	Lebbe, 1978
1966	1.6	1.2	3.5	3.8	6.9	7.2	5.0	7.8	6.1	3.0	1.6	0.8	4.0	Lebbe, 1978
1967	2.0	3.1	4.6	5.7	5.8	7.3	8.9	6.2	4.1	3.5	1.8	1.3	4.5	Lebbe, 1978
1968	0.8	2.1	4.2	6.5	5.5	5.9	5.6	4.3	4.7	2.1	1.5	0.7	3.7	Lebbe, 1978
1969	0.9	1.8	3.0	7.4	5.6	8.6	5.8	5.5	6.4	4.4	1.6	0.6	4.3	Lebbe, 1978
1970	1.0	3.2	3.4	3.7	5.6	9.2	5.0	6.6	5.7	3.1	1.6	1.4	4.2	Lebbe, 1978
1971	1.3	2.2	4.2	4.9	7.1	5.7	8.4	5.4	7.0	5.0	2.4	1.0	4.5	Lebbe, 1978
1972	1.4	2.1	5.3	4.4	5.5	5.8	4.4	6.0	5.4	4.3	1.6	1.6	4.0	Lebbe, 1978
1973	1.0	2.0	5.6	4.5	5.4	8.8	5.8	7.2	5.3	3.9	2.6	1.5	4.5	Lebbe, 1978
1974	1.8	2.5	2.8	6.9	6.5	7.0	6.0	7.1	4.3	2.2	1.4	1.0	4.1	Lebbe, 1978
1975	0.9	4.3	2.1	3.9	5.3	8.4	7.0	7.9	4.5	3.3	1.4	1.4	4.2	Lebbe, 1978
1976	1.7	2.2	4.7	7.1	7.7	9.9	8.8	9.7	4.3	2.0	1.0	1.6	5.1	Lebbe, 1978
1977	1.7	2.4	3.8	5.9	7.0	4.1	5.9	5.3	4.2	3.8	2.4	1.4	4.0	Mahauden et al., 1982
1978	1.3	1.7	3.6	4.7	5.5	6.6	5.3	7.2	5.0	3.7	2.8	0.6	4.0	Mahauden et al., 1983
1979	1.5	1.3	3.4	4.7	7.3	5.2	6.8	6.2	6.0	3.1	2.4	1.3	4.1	Mahauden et al., 1984
1980	1.6	2.2	2.2	4.8	8.1	6.4	5.3	5.9	5.4	3.8	1.9	1.7	4.1	Mahauden et al., 1985
1981	2.0	2.9	2.2	4.9	5.3	4.9	5.8	6.7	5.2	2.3	1.8	0.8	3.7	Meteo-wing
1982	1.9	2.8	4.7	6.2	7.8	6.6	6.4	5.7	5.7	1.9	2.0	0.9	4.4	Meteo-wing
1983	1.6	3.6	2.8	4.6	3.7	7.2	7.9	7.0	4.1	4.2	1.7	1.8	4.2	Meteo-wing
1984	2.2	2.8	2.7	7.4	2.8	7.4	6.4	6.9	3.3	3.5	2.2	1.5	4.1	Meteo-wing
1985	1.2	3.9	2.6	4.8	5.5	6.1	8.7	6.5	5.4	4.3	2.3	1.1	4.4	Maandbericht
1986	1.6	3.8	4.0	3.9	7.7	8.5	7.5	6.0	5.2	3.3	2.2	1.3	4.6	Maandbericht
1987	1.6	2.4	3.1	5.7	5.8	4.4	6.9	5.3	4.7	3.7	1.3	1.4	3.9	Maandbericht
1988	1.8	2.6	2.3	6.8	5.9	4.4	5.2	6.7	3.6	3.3	2.1	0.6	3.8	Maandbericht
1989	2.2	3.3	3.7	3.8	10.1	8.6	8.2	6.7	4.7	3.6	3.5	1.0	5.0	Maandbericht
1990	1.2	3.5	4.7	8.2	10.2	4.5	8.8	7.9	4.0	3.5	2.2	0.8	5.0	Maandbericht
1991	2.3	2.6	4.0	6.4	4.8	4.8	6.5	8.0	5.1	3.1	1.3	1.5	4.2	Maandbericht
1992	1.0	2.6	2.7	4.7	9.1	6.6	6.5	4.9	4.5	3.5	1.7	1.8	4.1	Maandbericht
1993	1.4	1.2	4.8	5.1	6.1	7.3	6.1	5.9	3.6	4.6	2.7	0.6	4.1	Maandbericht
1994	1.5	2.2	3.4	4.8	5.7	7.7	9.1	6.2	3.4	4.3	1.7	1.3	4.3	Maandbericht
1995	1.4	2.4	5.3	4.6	7.7	5.9	8.3	8.9	4.4	4.1	1.8	1.2	4.7	Maandbericht
max	2.3	4.3	6.2	8.2	10.2	9.9	10.2	9.7	8.9	5.8	3.5	2.2		
min	0.8	1.2	2.1	3.5	2.8	4.1	4.4	3.8	2.9	1.9	0.8	0.4		
gemid.	1.6	2.5	3.8	5.3	6.5	7.0	6.8	6.5	4.9	3.6	1.9	1.2		
normaal	2.0	2.8	4.5	6.0	7.0	7.5	7.5	6.5	5.5	4.0	2.0	1.5		

Fig. 10 : Gemiddelde Zonneshijnduur Koksijde 1957-1995

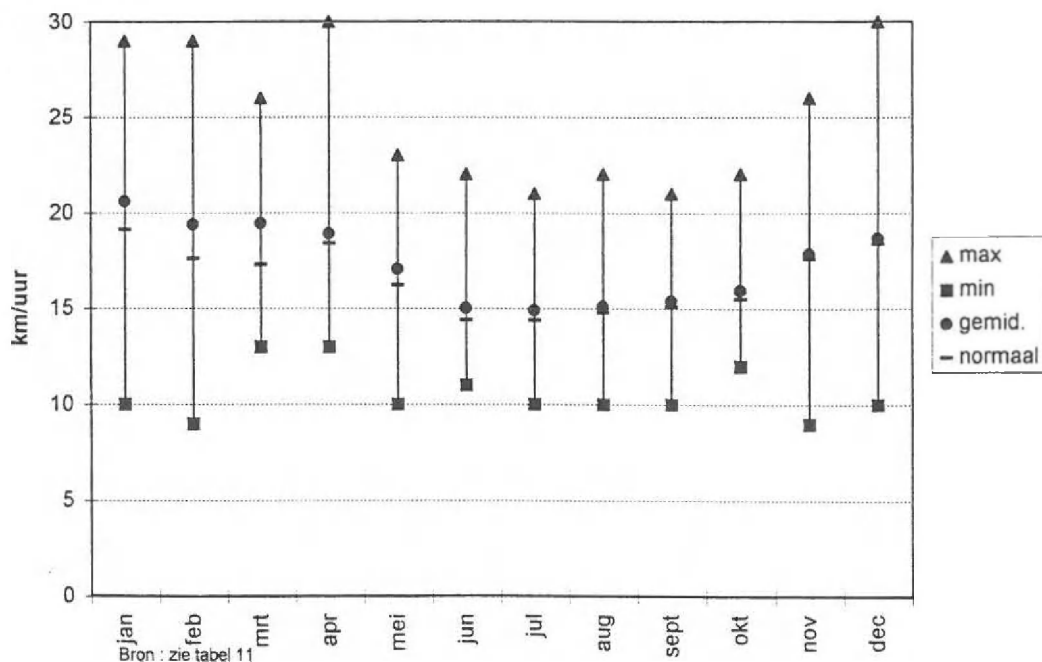


Tabel 11 Koksijde windsnelheid (km/uur) op 10 m hoogte

jaar	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	gemid.	bron
1957	24	20	21	21	21	15	15	22	21	14	18	18	19	Lebbe, 1978
1958	29	24	17	19	16	16	12	13	14	17	9	14	17	Lebbe, 1979
1959	22	9	13	16	18	14	14	12	17	16	19	22	16	Lebbe, 1980
1960	18	10	16	18	10	12	15	12	13	14	19	21	15	Lebbe, 1981
1961	19	17	15	13	18	11	12	20	13	18	19	18	16	Lebbe, 1982
1962	22	25	16	21	19	15	18	22	15	12	15	19	18	Lebbe, 1983
1963	17	11	21	14	15	15	10	14	13	13	18	10	14	Lebbe, 1984
1964	10	14	15	17	18	11	15	13	14	12	15	19	14	Lebbe, 1985
1965	19	15	14	15	16	13	15	16	17	15	16	23	16	Lebbe, 1986
1966	15	20	19	14	15	11	13	14	14	12	17	21	15	Lebbe, 1987
1967	18	23	25	24	23	22	10	10	10	18	12	15	18	Lebbe, 1988
1968	25	15	26	17	17	16	15	16	16	16	14	14	17	Lebbe, 1989
1969	19	19	17	22	17	15	13	17	13	12	24	16	17	Lebbe, 1990
1970	16	23	23	30	15	13	19	17	17	22	24	14	19	Lebbe, 1991
1971	25	15	26	17	17	16	15	16	16	16	14	14	17	Lebbe, 1992
1972	16	15	17	25	19	14	14	15	13	16	20	17	17	Lebbe, 1993
1973	13	19	14	20	16	13	13	13	15	14	20	18	16	Lebbe, 1994
1974	21	20	14	17	15	16	16	15	20	21	22	30	19	Lebbe, 1995
1975	24	14	18	17	21	18	17	12	17	14	17	14	17	Lebbe, 1996
1976	27	16	18	19	17	14	15	17	13	16	17	17	17	Lebbe, 1997
1977	18	19	19	24	20	16	21	12	15	15	26	19	19	Mahauden et al., 1982
1978	22	20	23	18	16	16	14	15	19	14	18	19	18	Mahauden et al., 1983
1979	20	17	24	19	16	14	14	15	14	13	19	25	18	Mahauden et al., 1984
1980	17	16	19	19	18	15	17	15	15	18	23	24	18	Mahauden et al., 1985
1981	22	18	24	19	16	18	15	13	15	20	22	19	18	Meteo-wing
1982	19	15	22	20	15	14	15	16	13	17	20	20	17	Meteo-wing
1983	28	21	20	18	18	16	13	16	19	19	15	21	19	Meteo-wing
1984	26	21	17	16	17	14	13	11	16	16	17	18	17	Meteo-wing
1985	10*	9*	18	24	18	16	9*	8*	8*	13	20	21	19	Maandbericht
1986	27	18	20	19	19	16	15	15	13	17	20	25	19	Maandbericht
1987	15	16	18	14	21	15	14	14	15	16	17	13	16	Maandbericht
1988	19	25	23	18	16	17	17	15	18	16	13	19	18	Maandbericht
1989	14	21	21	18	15	14	14	15	14	19	14	16	16	Maandbericht
1990	23	29	22	20	15	15	17	15	17	19	16	21	19	Maandbericht
1991	20	16	18	22	19	19	15	14	15	18	21	18	18	Maandbericht
1992	16	17	23	19	16	15	15	17	16	20	23	16	18	Maandbericht
1993	23	15	16	17	18	13	17	15	15	16	15	25	17	Maandbericht
1994	24	15	25	20	15	17	12	14	16	15	14	22	17	Maandbericht
1995	25	22	22	17	14	16	13	17	15	13	15	14	17	Maandbericht
max	29	29	26	30	23	22	21	22	21	22	26	30		
min	10	9	13	13	10	11	10	10	10	12	9	10		
gemid.	21	19	19	19	17	15	15	15	15	16	18	19		
normaal	19.1	17.6	17.3	18.4	16.2	14.4	14.4	14.8	15.1	15.5	17.6	18.4		

\*: waarnemingen zijn niet betrouwbaar en werden niet opgenomen in de berekening voor: de maandelijkse maximum, minimum en gemiddelde waarde

Fig. 11 : Gemiddelde Windsnelheid Koksijde 1957-1995



## *Appendix 2*

Tabellen met de berekeningen van de potentiële evapotranspiratie volgens de gemodificeerde Penman-Monteith methode en van de waterbalans voor Koksijde voor de periode 1985 - 1995







Tabel 2 Koksijde waterbalansberekening met PET berekend volgens de gemodificeerde Penman-Monteith methode  
5 hoogte(m) Bodemreserve=100 mm

R : neerslag (mm)

T gemid. : gemiddelde maandelijkse temperatuur (°C)

ETo : maandelijkse potentiële evapotranspiratie voor een referentiegewas (mm)

APWL : accumulated potential water loss

STOR : stand van de bodemreserve met maximum capaciteit 100 mm (mm)

D STOR : aanvulling of uitputting van de bodemreserve (mm)

AET : maandelijkse actuele evapotranspiratie (mm)

DEF : deficit (mm)

SUR : surplus (mm)

Date	R	Tmean	ETo	RF-ETo	APWL	STOR	D STOR	AET	DEF	SUR	jaar	
jan 85	89.9	-2.1	9.1	80.8	0.0	100.0	0.0	9.1	0.0	80.8		
feb 85	7.6	0.2	15.8	-8.2	-8.2	92.1	-7.9	15.5	0.3	0.0		
mrt 85	67.3	4.3	29.2	38.1	0.0	100.0	7.9	29.2	0.0	30.2		
apr 85	44.8	8.5	59.1	-14.3	-14.3	86.7	-13.3	58.1	1.0	0.0		
mei 85	82.3	11.7	69.3	13.0	-1.3	98.7	12.0	69.3	0.0	0.0		
jun 85	89.7	13.9	84.0	5.7	0.0	100.0	1.3	84.0	0.0	4.4		
jul 85	88.2	16.8	106.2	-18.0	-18.0	83.5	-16.5	104.7	1.5	0.0		
aug 85	75.0	15.3	79.1	-4.1	-22.1	80.2	-3.4	78.4	0.7	0.0	754.8	r
sept 85	13.5	14.6	54.1	-40.6	-62.7	53.4	-26.8	40.3	13.8	0.0	577.6	pet
okt 85	36.4	11.0	33.8	2.6	-58.0	56.0	2.6	33.8	0.0	0.0	560.2	aet
nov 85	83.8	3.8	20.9	62.9	0.0	100.0	44.0	20.9	0.0	18.9	17.4	def
dec 85	76.3	6.4	17.0	59.3	0.0	100.0	0.0	17.0	0.0	59.3	193.6	sur
jan 86	97.1	3.4	21.8	75.3	0.0	100.0	0.0	21.8	0.0	75.3	216.4	sur85-86
feb 86	2.8	-3.1	20.1	-17.3	-17.3	84.1	-15.9	18.7	1.4	0.0		
mrt 86	84.0	4.6	33.2	50.8	0.0	100.0	15.9	33.2	0.0	34.9		
apr 86	71.8	6.0	43.8	28.0	0.0	100.0	0.0	43.8	0.0	28.0		
mei 86	27.3	11.7	87.7	-60.4	-60.4	54.7	-45.3	72.6	15.1	0.0		
jun 86	36.9	15.6	103.4	-66.5	-126.9	28.1	-26.6	63.5	39.9	0.0		
jul 86	35.4	16.2	100.8	-65.4	-192.3	14.6	-13.5	48.9	51.9	0.0		
aug 86	91.6	14.6	81.7	9.9	-136.6	25.5	10.9	81.7	0.0	0.0	782.2	r
sept 86	46.3	11.8	50.5	-4.2	-140.8	24.5	-1.0	47.3	3.2	0.0	622.4	pet *
okt 86	101.6	11.9	36.9	64.7	-11.4	89.2	64.8	36.9	0.0	0.0	510.9	aet
nov 86	91.6	7.8	20.7	70.9	0.0	100.0	10.8	20.7	0.0	60.1	111.5	def
dec 86	95.8	6.0	21.8	74.0	0.0	100.0	0.0	21.8	0.0	74.0	272.3	sur
jan 87	32.5	-1.3	13.0	19.5	0.0	100.0	0.0	13.0	0.0	19.5	200.8	sur86-87
feb 87	28.9	2.9	17.3	11.6	0.0	100.0	0.0	17.3	0.0	11.6		
mrt 87	68.9	3.0	33.3	35.6	0.0	100.0	0.0	33.3	0.0	35.6		
apr 87	27.9	10.5	62.5	-34.6	-34.6	70.8	-29.2	57.1	5.4	0.0		
mei 87	52.4	10.0	74.3	-21.9	-56.5	56.8	-13.9	66.3	8.0	0.0		
jun 87	101.3	13.5	73.2	28.1	-16.4	84.9	28.0	73.2	0.0	0.0		
jul 87	83.8	16.5	97.8	-14.0	-30.4	73.8	-11.1	94.9	2.9	0.0		
aug 87	109.8	16.7	81.1	28.7	0.0	100.0	26.2	81.1	0.0	2.5	789.0	r
sept 87	59.6	15.1	57.1	2.5	0.0	100.0	0.0	57.1	0.0	2.5	568.0	pet
okt 87	87.9	11.1	32.9	55.0	0.0	100.0	0.0	32.9	0.0	55.0	551.8	aet
nov 87	107.7	7.0	17.1	90.6	0.0	100.0	0.0	17.1	0.0	90.6	16.2	def
dec 87	28.3	4.3	8.4	19.9	0.0	100.0	0.0	8.4	0.0	19.9	237.2	sur
jan 88	143.0	6.1	15.6	127.4	0.0	100.0	0.0	15.6	0.0	127.4	442.1	sur87-88
feb 88	96.5	4.9	29.0	67.5	0.0	100.0	0.0	29.0	0.0	67.5		
mrt 88	114.4	6.3	37.7	76.7	0.0	100.0	0.0	37.7	0.0	76.7		
apr 88	50.7	8.5	59.8	-9.1	-9.1	91.3	-8.7	59.4	0.4	0.0		
mei 88	54.2	12.9	81.7	-27.5	-36.6	69.4	-22.0	76.2	5.5	0.0		
jun 88	3.7	13.9	79.5	-75.8	-112.4	32.5	-36.9	40.6	38.9	0.0		
jul 88	94.4	15.3	85.3	9.1	-87.7	41.6	9.1	85.3	0.0	0.0		
aug 88	71.3	15.9	85.1	-13.8	-101.5	36.2	-5.4	76.7	8.4	0.0	893.4	r
sept 88	112.3	13.8	50.7	61.6	-2.2	97.8	61.6	50.7	0.0	0.0	588.0	pet
okt 88	71.5	11.3	31.8	39.7	0.0	100.0	2.2	31.8	0.0	37.5	534.7	aet

Date	R	Tmean	ETo	RF-ETo	APWL	STOR	D	STOR	AET	DEF	SUR	jaar	
nov 88	44.8	6.2	15.1	29.7	0.0	100.0	0.0	15.1	0.0	29.7		53.3	def
dec 88	36.6	7.5	16.7	19.9	0.0	100.0	0.0	16.7	0.0	19.9		358.7	sur
jan 89	27.4	4.6	11.3	16.1	0.0	100.0	0.0	11.3	0.0	16.1		169.0	sur88-89
feb 89	50.3	5.3	21.9	28.4	0.0	100.0	0.0	21.9	0.0	28.4			
mrt 89	58.1	8.2	44.3	13.8	0.0	100.0	0.0	44.3	0.0	13.8			
apr 89	70.5	6.7	46.9	23.6	0.0	100.0	0.0	46.9	0.0	23.6			
mei 89	6.2	12.9	99.7	-93.5	-93.5	39.3	-60.7	66.9	32.8	0.0			
jun 89	83.2	14.0	96.6	-13.4	-106.9	34.3	-4.9	88.1	8.5	0.0			
jul 89	51.8	17.8	108.8	-57.0	-163.9	19.4	-14.9	66.7	42.1	0.0			
aug 89	18.6	17.1	92.8	-74.2	-238.1	9.2	-10.2	28.8	64.0	0.0	611.3		r
sept 89	43.8	15.8	60.5	-16.7	-254.8	7.8	-1.4	45.2	15.3	0.0	651.6		pet
okt 89	86.2	12.9	42.7	43.5	-66.7	51.3	43.5	42.7	0.0	0.0	489.0		aet
nov 89	30.8	5.7	13.3	17.5	-37.4	68.8	17.5	13.3	0.0	0.0	162.6		def
dec 89	84.4	4.6	12.8	71.6	0.0	100.0	31.2	12.8	0.0	40.4	122.3		sur
jan 90	64.1	4.4	16.1	48.0	0.0	100.0	0.0	16.1	0.0	48.0	155.1		sur89-90
feb 90	102.3	7.9	35.6	66.7	0.0	100.0	0.0	35.6	0.0	66.7			
mrt 90	16.1	8.2	48.2	-32.1	-32.1	72.5	-27.5	43.6	4.6	0.0			
apr 90	55.9	8.0	64.6	-8.7	-40.8	66.5	-6.0	61.9	2.7	0.0			
mei 90	19.9	12.4	93.3	-73.4	-114.2	31.9	-34.6	54.5	38.8	0.0			
jun 90	48.4	13.7	80.3	-31.9	-146.1	23.2	-8.7	57.1	23.2	0.0			
jul 90	26.4	15.8	107.0	-80.6	-226.7	10.4	-12.8	39.2	67.8	0.0			
aug 90	23.6	17.8	101.9	-78.3	-305.0	4.7	-5.6	29.2	72.7	0.0	648.2		r
sept 90	42.5	13.5	63.7	-21.2	-326.2	3.8	-0.9	43.4	20.3	0.0	682.8		pet
okt 90	91.0	12.5	40.5	50.5	-61.1	54.3	50.4	40.5	0.0	0.0	452.8		aet
nov 90	89.8	6.7	15.8	74.0	0.0	100.0	45.7	15.8	0.0	28.3	230.0		def
dec 90	68.2	4.5	15.8	52.4	0.0	100.0	0.0	15.8	0.0	52.4	195.4		sur
jan 91	61.1	3.3	15.4	45.7	0.0	100.0	0.0	15.4	0.0	45.7	132.6		sur90-91
feb 91	21.7	0.7	15.5	6.2	0.0	100.0	0.0	15.5	0.0	6.2			
mrt 91	24.9	8.6	38.3	-13.4	-13.4	87.5	-12.5	37.4	0.9	0.0			
apr 91	64.6	8.4	60.9	3.7	-9.2	91.2	3.8	60.9	0.0	0.0			
mei 91	47.3	9.8	67.3	-20.0	-29.2	74.7	-16.5	63.8	3.5	0.0			
jun 91	92.2	12.5	75.3	16.9	-8.8	91.6	16.9	75.3	0.0	0.0			
jul 91	102.9	17.4	93.9	9.0	0.0	100.0	8.4	93.9	0.0	0.6			
aug 91	6.5	17.0	92.4	-85.9	-85.9	42.4	-57.6	64.1	28.3	0.0	706.2		r
sept 91	50.6	14.6	58.2	-7.6	-93.5	39.3	-3.1	53.7	4.5	0.0	579.7		pet
okt 91	38.8	10.4	35.1	3.7	-84.4	43.0	3.7	35.1	0.0	0.0	542.6		aet
nov 91	161.9	5.9	16.4	145.5	0.0	100.0	57.0	16.4	0.0	88.5	37.1		def
dec 91	33.7	3.0	11.0	22.7	0.0	100.0	0.0	11.0	0.0	22.7	163.7		sur
jan 92	11.7	2.4	10.2	1.5	0.0	100.0	0.0	10.2	0.0	1.5	177.5		sur91-92
feb 92	26.5	4.8	18.2	8.3	0.0	100.0	0.0	18.2	0.0	8.3			
mrt 92	84.7	7.1	36.9	47.8	0.0	100.0	0.0	36.9	0.0	47.8			
apr 92	62.6	8.3	54.5	8.1	0.0	100.0	0.0	54.5	0.0	8.1			
mei 92	88.4	13.6	96.8	-8.4	-8.4	91.9	-8.1	96.5	0.3	0.0			
jun 92	55.9	15.2	85.9	-30.0	-38.4	68.1	-23.8	79.7	6.2	0.0			
jul 92	68.8	16.9	95.1	-26.3	-64.7	52.4	-15.8	84.6	10.5	0.0			
aug 92	94.3	17.0	81.8	12.5	-43.2	64.9	12.6	81.8	0.0	0.0	752.7		r
sept 92	49.0	14.0	54.8	-5.8	-49.0	61.3	-3.7	52.7	2.1	0.0	599.5		pet
okt 92	86.1	9.3	34.5	51.6	0.0	100.0	38.7	34.5	0.0	12.9	580.3		aet
nov 92	73.7	9.4	22.6	51.1	0.0	100.0	0.0	22.6	0.0	51.1	19.2		def
dec 92	51.0	5.1	8.2	42.8	0.0	100.0	0.0	8.2	0.0	42.8	172.5		sur
jan 93	76.7	6.6	17.8	58.9	0.0	100.0	0.0	17.8	0.0	58.9	193.2		sur92-93
feb 93	43.7	4.4	16.2	27.5	0.0	100.0	0.0	16.2	0.0	27.5			
mrt 93	8.0	6.9	41.8	-33.8	-33.8	71.3	-28.7	36.7	5.1	0.0			
apr 93	27.6	11.0	57.7	-30.1	-63.9	52.8	-18.5	46.1	11.6	0.0			
mei 93	45.3	14.1	77.9	-32.6	-96.5	38.1	-14.7	60.0	17.9	0.0			
jun 93	44.5	15.7	91.8	-47.3	-143.8	23.7	-14.4	58.9	32.9	0.0			
jul 93	85.6	22.4	114.4	-28.8	-172.6	17.8	-5.9	91.5	22.9	0.0			
aug 93	21.6	16.5	88.3	-66.7	-239.3	9.1	-8.7	30.3	58.0	0.0	896.9		r
sept 93	207.7	14.4	49.6	158.1	0.0	100.0	90.9	49.6	0.0	67.2	620.7		pet
okt 93	91.7	10.1	33.1	58.6	0.0	100.0	0.0	33.1	0.0	58.6	472.3		aet



Date	R	Tmean	ETo	RF-ETo	APWL	STOR	D	STOR	AET	DEF	SUR	jaar	
nov 93	62.0	3.8	11.5	50.5	0.0	100.0	0.0	0.0	11.5	0.0	50.5	148.4	def
dec 93	182.5	6.6	20.6	161.9	0.0	100.0	0.0	0.0	20.6	0.0	161.9	424.6	sur
jan 94	76.5	6.3	21.6	54.9	0.0	100.0	0.0	0.0	21.6	0.0	54.9	436.7	sur93-94
feb 94	39.2	3.3	17.5	21.7	0.0	100.0	0.0	0.0	17.5	0.0	21.7		
mrt 94	50.8	8.2	44.0	6.8	0.0	100.0	0.0	0.0	44.0	0.0	6.8		
apr 94	67.5	9.2	57.3	10.2	0.0	100.0	0.0	0.0	57.3	0.0	10.2		
mei 94	84.2	12.3	79.3	4.9	0.0	100.0	0.0	0.0	79.3	0.0	4.9		
jun 94	57.9	14.9	109.1	-51.2	-51.2	59.9	-40.1	98.0	11.1	0.0	0.0		
jul 94	86.2	19.5	117.3	-31.1	-82.3	43.9	-16.0	102.2	15.1	0.0	0.0		
aug 94	36.7	18.1	90.9	-54.2	-136.5	25.5	-18.4	55.1	35.8	0.0	0.0	815.3	r
sept 94	83.5	14.1	48.9	34.6	-50.9	60.1	34.6	48.9	0.0	0.0	0.0	647.4	pet
okt 94	90.5	10.5	31.0	59.5	0.0	100.0	39.9	31.0	0.0	0.0	19.6	585.4	aet
nov 94	20.4	10.8	15.4	5.0	0.0	100.0	0.0	15.4	0.0	0.0	5.0	62.0	def
dec 94	121.9	6.8	15.1	106.8	0.0	100.0	0.0	15.1	0.0	0.0	106.8	229.9	sur
jan 95	126.3	6.1	23.1	103.2	0.0	100.0	0.0	23.1	0.0	0.0	103.2	310.9	sur94-95
feb 95	86.4	7.7	26.4	60.0	0.0	100.0	0.0	26.4	0.0	0.0	60.0		
mrt 95	64.0	6.4	47.7	16.3	0.0	100.0	0.0	47.7	0.0	0.0	16.3		
apr 95	24.1	9.1	53.7	-29.6	-29.6	74.4	-25.6	49.7	4.0	0.0	0.0		
mei 95	35.2	12.5	91.2	-56.0	-85.6	42.5	-31.9	67.1	24.1	0.0	0.0		
jun 95	68.2	14.3	85.6	-17.4	-103.0	35.7	-6.8	75.0	10.6	0.0	0.0		
jul 95	60.4	19.7	112.3	-51.9	-154.9	21.2	-14.5	74.9	37.4	0.0	0.0		
aug 95	25.3	20.1	113.5	-88.2	-243.1	8.8	-12.5	37.8	75.7	0.0	0.0	767.8	r
sept 95	164.0	15.3	58.3	105.7	0.0	100.0	91.2	58.3	0.0	14.5	14.5	671.7	pet
okt 95	20.8	13.4	32.8	-12.0	-12.0	88.7	-11.3	32.1	0.7	0.0	0.0	519.1	aet
nov 95	46.2	8.1	18.9	27.3	0.0	100.0	11.3	18.9	0.0	0.0	16.0	152.6	def
dec 95	46.9	1.6	8.2	38.7	0.0	100.0	0.0	8.2	0.0	0.0	38.7	248.7	sur

