

CONTENTS

LIST OF FIGURES	iv
LIST OF TABLES	viii
LIST OF ACRONYMS	x
ACKNOWLEDGEMENTS	xi
ABSTRACT	xiii
SAMENVATTING	xviii
RESUMEN	xxiv
1. INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Problem definition	1
1.3 Objectives of the research	21
1.4 Study area	21
1.5 Research methodology	24
1.6 Structure of the dissertation	27
2. METHODS AND MODELS TO ANALYSE CLIMATE CHANGE AND CHANGES IN WATER RESOURCES	29
2.1 Introduction	30
2.2 Methods for testing climate change and climate variability	30
2.3 Modelling of climate change	34
2.4 Modelling of water resources	38
2.5 Modelling of the impact of climate change on water resources	42
2.6 Conclusions	44
3. CHANGES IN SURINAME'S CLIMATE AND INFLUENCES ON WATER RESOURCES	46
3.1 Introduction	48
3.2 Data used	51
3.3 Methodology	58
3.4 Results and discussions	65
3.4.1 Changes in rainfall	65
3.4.2 Changes in river discharge	82
3.4.3 Relation SSTAs-rainfall and SSTAs-river discharge anomalies	83
3.4.4 Changes in temperature	85
3.4.5 Changes in evaporation	86
3.4.6 Sea level trends	86

3.5 Impact of climate change and climate variability on the water resources in Suriname	89
3.5.1 Impact on surface water resources	89
3.5.2 Impact on groundwater resources	90
3.6 Conclusions	93
4. RAINFALL VARIABILITY IN SURINAME IN RELATION TO GLOBAL OCEANIC-ATMOSPHERIC PROCESSES	96
4.1 Introduction	97
4.2 Data and methods	98
4.3 Results and discussion	100
4.3.1 Variability of rainfall	100
4.3.2 Relationship between rainfall anomalies and Atlantic and Pacific SSTAs	104
4.4 Conclusions	109
5. CHANGES AND VARIATION IN THE DISCHARGE REGIME OF THE UPPER SURINAME RIVER BASIN	111
5.1 Introduction	112
5.2 Data and methodology	114
5.2.1 Data	114
5.2.2 Methodology	118
5.3 Results and discussion	124
5.3.1 Analysis of long-term changes in the river discharges	124
5.3.2 River discharge variability and sea surface temperature relationship	125
5.4 Conclusions	130
6. SCENARIOS FOR FUTURE CLIMATE CHANGE IN SURINAME	132
6.1 Introduction	133
6.2 Study area and data	134
6.3 Methods	136
6.4 Results and discussions	138
6.4.1 Observed and modelled precipitation and temperature	138
6.4.2 Scenarios of future precipitation and temperature change	141
7.5 Conclusions	144

7. MODELLING HYDROLOGICAL RESPONSE OF THE UPPER-SURINAME RIVER BASIN TO CLIMATE CHANGE	146
7.1 Introduction	147
7.2 Study area and data used	150
7.2.1 Selected catchment	150
7.2.2 Data collection	150
7.3 Methodology	152
7.3.1 Description of the WetSpa model	152
7.3.2 Data processing	157
7.3.3 Climate change scenarios	160
7.4 Results and analyses	161
7.4.1 Calibration and validation results of the WetSpa model	161
7.4.2 Climate change scenarios simulation	165
7.4.3 Climate change impact on the Upper-Suriname river basin	171
7.5 Conclusions	172
8. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	174
8.1 General	174
8.2 Conclusions and limitations	174
8.3 Recommendations for future research	179
BIBLIOGRAPHY	182

LIST OF FIGURES

1.1	Simplified Earth-Atmosphere climate system.	2
1.2	Greenhouse gas CO ₂ equivalent emissions in year 2000.	3
1.3	World values for population, land use and energy, using IPCC SRES Emissions Scenarios and based on the MINICAM model.	5
1.4	Global mean temperature over land and ocean from 1880-2006.	5
1.5	Schematic overview of the components of the global climate system including the hydrological cycle.	9
1.6	(a) Long-term monthly temperature and (b) the annual temperature at station Cultuurtuin (1971-1999).	10
1.7	(a) Long-term monthly precipitation and (b) the annual precipitation at station Cultuurtuin (1900-1999).	11
1.8	A schematic overview of the oceanic-atmospheric processes that influence the climate of Suriname.	13
1.9	Contour map of annual precipitation totals (mm) and the monthly precipitation totals (mm) per station during a 25-year period (1961-1985) in Suriname.	14
1.10	Conceptual model of the effects of greenhouse gases on the global hydrological cycle and possible impacts in Suriname.	16
1.11	Water resources systems and idealized groundwater flow direction in the northern part of Suriname, and most of the economic sectors in this area.	17
1.12	Idealized north-south section of the aquifers in Paramaribo (Suriname) with groundwater flow directions and brackish water intrusion.	18
1.13	(a) The study area Suriname, (b) the Upper-Suriname river basin.	22
1.14	Research model	25
2.1	Fictitious time series showing (a) trend, (b) shift and (c) periodicity.	31
2.2	Schematic procedure for determining climate change and climate variability in meteorological and hydrological time series.	32
2.3	Schematic representation of the hydrological cycle on the land phase.	38
2.4	GIS-Hydrological modelling integration methods.	41
3.1	Movement of the Inter-tropical Convergence Zone (ITCZ) above Suriname.	50
3.2	Observed monthly rainfall at Cultuurtuin (Paramaribo) and observed monthly SSTs in the TNA, TSA, and Niño 3+4	50

	regions for the period of 1961-1985.	
3.3	Location of the selected meteorological and hydrological stations in Suriname.	55
3.4	Time series of spatial mean SST anomalies with respect to 1961-1985 climatology in the (a) TNA region (5.5°-23.5°N, 15°-57.5°W), (b) TSA region (0°-20°S, 10°E-30°W) and (c) Niño 3+4 region (5°N-5°S, 160°E-150°W).	55
3.5	Anomalies in annual river discharge and anomalies in annual precipitation for the period 1961-1985 at the different stations.	58
3.6	Anomalies in annual rainfall compared to normal years, during El Niño and La Niña years at station Cultuurtuin (1900-1999).	73
3.7	Contour map of trend of annual precipitation (mm/year) in Suriname, 1961-1985.	77
3.8	(a) Correlation of the annual rainfall between each rainfall station and the average of all the stations (Pearson's coefficient, 5% level of significance), (b) temporal scores (EOF 1).	78
3.9	(a) Anomaly in annual rainfall at the Cultuurtuin station and (b) anomaly in annual river discharge at the Pokigron station for the period of 1961-1985.	80
4.1	Sea surface temperature (SST) area indices for the Tropical Northern Atlantic (TNA), the Tropical Southern Atlantic (TSA), the Extreme Eastern Tropical Pacific /ENSO SST (Pacific Niño 1+2) and the East Central Pacific/ENSO SST (Pacific Niño 3.4).	99
4.2	(a) Average seasonal total precipitation (mm) in Suriname, 1961-1985 during December-February (DJF), March-May (MAM), June-August (JJA) and September-November (SON), (b) trend in seasonal precipitation (25 mm/years) during DJF, MAM, JJA, SON.	102
4.3	(a) Spatial loadings (EOF-1) of the annual rainfall anomalies at 12 rainfall stations, (b) temporal scores (EOF-1).	104
4.4	Lag correlation coefficient of the precipitation anomalies (1961-1985) at station Cultuurtuin for December-February (DJF), March-May (MAM), June-August (JJA) and September-November (SON) with the (a) TNA SSTAs, (b) TSA SSTAs, (c) Niño 1+2 SSTAs, (d) Niño 3+4 SSTAs, (e) Atlantic Niño SSTAs and (f) Tropical Atlantic dipole SSTAs.	107
5.1	Observed monthly mean river discharges of the Upper-Suriname River including Standard Deviation (SD), Coefficient of Variation (CV) and Coefficient of Skewness (CSK) at (a) Semoisie and (b) Pokigron (1952-1985).	115

5.2	Time series of observed annual mean river discharges (m^3/s) in the Upper-Suriname River catchment at station (a) Semoisie and (b) Pokigron during a 34 years' period (1952-1985).	116
5.3	Time series of observed monthly mean rainfall (mm) at station Brownsweg and Tafelberg during a 25 years' period (1961-1985).	117
5.4	Time series of (a) SSTAs in the TNA region (5.5°N - 23.5°N , 15°W - 57.5°W), (b) SSTAs in the TSA region (0°S - 20°S , 10°E - 30°W), (c) SSTAs in the Niño 1+2 region (0°S - 10°S , 90°W - 80°W), (d) SSTAs in the Niño 3+4 region (5°N - 5°S , 160°E - 150°W), (e) SSTAs in the Atlantic Niño region (3°S - 3°N , 20°W - 0°), (f) SSTAs in the TA region = TNA-TSA SST (TNA: 5°N - 25°N , 55°W - 15°W ; TSA: 0°S - 20°S , 30°W - 10°E).	120
5.5	Monthly variation of observed SST in the TNA, TSA, Niño 1+2 and Niño 3+4 regions, and the monthly observed discharge at Pokigron for the period 1952-1985.	126
5.6	Lag correlation coefficient of the river discharge anomalies for December-February (DJF), March-May (MAM), June-August (JJA) and September-November (SON) with the (a) TNA SSTAs, (b) TSA SSTAs, (c) Niño 1+2 SSTAs, (d) Niño 3+4 SSTAs, (e) Atlantic Niño SSTAs for the period of 1952-1985.	128
6.1	Procedure for constructing climate scenarios for use in impact assessment.	134
6.2	Selected grid cells in and around the study area Suriname for five AO-GCMs.	135
6.3	Model structure of the MAGICC/SCENGEN model.	137
6.4	(a) Average observed baseline precipitation (1981-2000) from five AOGCMs, modelled data for individual GCMs and measured data (1961-1985) from selected stations in Suriname, (b) average observed baseline temperature (1961-1990) from five AOGCMs, modelled data for individual GCMs and measured data (1971-1985) from selected stations in Suriname.	140
6.5	(a) Future monthly average temperature in Suriname, reference to the measured temperature data (1971-1985), (b) future monthly average precipitation in Suriname, reference to the measured precipitation data (1961-1985).	142
7.1	The Upper-Suriname river basin and network of hydro-meteorological stations.	149
7.2	Mean monthly precipitation (P), pan evaporation (E_o), potential evapotranspiration (PET) and river discharge (Q_{pok}) in the Upper-Suriname River basin.	151

7.3	Schematic representation of the different components of the WetSpa model at a pixel cell level.	155
7.4	Idealized hydrograph and components of the river flow during two rainfall events.	155
7.5	Mean daily observed and simulated river discharge and simulated base flow at Pokigron for 1982 (semi-distributed model).	163
7.6	Comparison of the ranked value of the daily observed and simulated mean flows at Pokigron (1978-1983).	164
7.7	Observed precipitation (1975-1983) in the Upper-Suriname river basin, modelled observed baseline precipitation (1981-2000) and simulated future precipitation (2050, 2080) predicted by GCMs climate scenarios.	166
7.8	Observed temperature (1973-1985) near the Upper-Suriname river basin (station Tafelberg), modelled observed baseline temperature (1961-1990) and simulated future temperature (2050, 2080) predicted by GCMs climate scenarios.	166
7.9	Estimated pan evaporation (1975-1983) in the Upper-Suriname river basin and estimated future pan evaporation (GCM scenarios: 2050, 2080).	168
7.10	Mean monthly values of river discharge, surface runoff and base flow of the Upper-Suriname river basin for the period 1978-1983 and the future period 2080 (GCM scenarios).	168

LIST OF TABLES

1.1	Estimated world values of some major greenhouse gases concentrations for the years 1750/1800 and 1998/2005.	4
1.2	Characteristics of the seven main rivers of Suriname.	19
2.1	Variables influencing the dominant hydrological processes in a river basin.	40
3.1	Characteristics of (a) meteorological stations and (b) hydrological stations.	52
3.2	(a) Observed average monthly rainfall (mm) and (b) average monthly temperature ($^{\circ}\text{C}$) at selected meteorological stations in Suriname.	67
3.3	Linear trends (mm/year) in monthly and annual average rainfall at different meteorological stations in Suriname from 1900-1961 and from 1985-1999.	69
3.4	Maximum and minimum deviation in monthly rainfall during El Niño and La Niña years at different meteorological stations, reference to normal years.	71
3.5	Change in annual rainfall and river discharge for the period 1961-1985 at different gauge stations and the Kendall's τ , Pearson's r and Spearman's ρ correlation coefficient at a 95% reliability level. β_1 is the rate of change in the variable.	75
3.6	Results of the Runs test, serial correlation coefficient and the Von Neumann ratio for the annual rainfall and river discharge during 1961-1985.	81
3.7	Determination of the change point year in the time series of the annual rainfall and river discharge during 1961-1985 at different stations using the Linear Regression test (LRT), the Cumulative Deviation test (CDT), the Worsley Likelihood Ratio test (WLRT) and the Standard Normal Homogeneity test (SNHT) at a 95% confidence interval.	82
3.8	The highest cross-correlation coefficient c_k (with 95% confidence interval) between the annual SSTs in the TNA, TSA and Niño 3+4 region with the annual rainfall anomalies and river discharge anomalies for the period 1961-1985.	83
3.9	Linear trend ($^{\circ}\text{C}/\text{year}$) in monthly, average (ave), maximum (max) and annual temperature at different meteorological stations in Suriname from 1971 to 1985/1999.	87
3.10	Extreme events in Suriname.	91
4.1	The highest cross correlation coefficient c_k (with 95% confidence interval) (a) between the monthly time series of SSTs in the TNA, TSA, Niño 1+2 and Niño 3+4 region (1961-1985) and (b) the highest lag correlation coefficient of the monthly SSTs for the December-February (DJF),	108

	March-May (MAM), June-August (JJA) and September-November (SON) period for the same regions (1961-1985).	
5.1	Hydrological characteristics of the Upper-Suriname River Basin.	117
5.2	Results of different statistical tests on the river discharges at Semoisie and Pokigron (1952-1985) at a 5% level of significance.	123
5.3	The highest lagged cross correlation coefficient c_k (with 95% confidence interval; $k = 0-12$ months) (a) between the monthly SSTAs in the TNA, TSA, Niño 1+2 and Niño 3+4 region and (b) the highest lag correlation coefficient of the monthly SSTAs for the December-February (DJF), March-May (MAM), June-August (JJA) and September-November (SON) period for the same regions.	127
6.1	Characteristics of the five AOGCMs.	136
6.2	Projections of seasonal and annual changes in temperature ($^{\circ}\text{C}$) and precipitation (mm) across Suriname according to the P50 emission scenario using average experiments results of five AOGCMs.	143
6.3	Projections of monthly changes in temperature ($^{\circ}\text{C}$) and precipitation (mm) across Suriname according to the P50 emission scenario using average experiments results of five AOGCMs.	143
7.1	Main hydrological processes and components per grid cell and equations of the WetSpa model.	153
7.2	Global input parameters in WetSpa.	156
7.3	Evaluation criteria for the model performance.	158
7.4	Default parameters characterizing the soil in the study area.	159
7.5	Default parameters characterizing the land use in the study area.	159
7.6	Model performance for the calibration/validation period (1975-1983) for the Upper-Suriname River basin at station Pokigron.	162
7.7	Observed and simulated total water balance of the Upper-Suriname river basin for the period 1978-1983.	164
7.8	(a) Total annual water balance components for the current (1978-1983) and future periods (GCM scenarios for 2050, 2080), (b) change in mean monthly precipitation, total river discharge, surface runoff and base flow for future periods (GCM scenarios for 2050, 2080).	169
7.9	Changes in annual water balance components in percentage for future periods caused by the following hypothetical scenarios (a) $T+2^{\circ}\text{C}$ $P\pm 10\%$, $P\pm 30\%$, $P\pm 50\%$ and (b) $T+4^{\circ}\text{C}$ $P\pm 10\%$, $P\pm 30\%$, $P\pm 50\%$.	170

LIST OF ACRONYMS

AOGCM	Atmospheric – Ocean General Circulation Model
EJ	ExaJoule (10^{18})
ENSO	El Niño Southern Oscillation
GCM	Global Circulation Model or Global Climate Model
GIS	Geographic Information System
HFC	Hydrofluorocarbons
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ITCZ	Inter Tropical Convergence Zone
NSP	Normaal Surinaams Peil
NOA	North Atlantic Oscillation
PCA	Principal Component Analyses
PDO	Pacific Decadal Oscillation
RCM	Regional Circulation Models
SACZ	South Atlantic Convergence Zone
SLR	Sea Level Rise
SRES	Special Report Emission Scenario
SST	Sea Surface Temperature
SSTA	Sea Surface Temperature Anomalies
TAV	Tropical Atlantic Variability
TAMG	Tropical Atlantic Zonal Equatorial Mode

ACKNOWLEDGEMENTS

After working on my four-years PhD programme and meanwhile also working as a full-time lecturer and researcher at the Anton de Kom University of Suriname, one can imagine how happy I am to finish this part of my study. Many people and organizations have contributed to this research. First and foremost, I would like to thank the promoter, Prof. dr. ir. F. De Smedt of the Vrije Universiteit Brussels (Belgium) and the co-promoter Dr. ir. S. Naipal of the University of Suriname, for allowing me to conduct my PhD research in an area that is not only challenging, but also a “hot” research topic in the field of water resources: “The Impact of Climate Change and Climate Variability on Water Resources in Suriname”. Their advice, guidance and constructive suggestions during this study are gratefully acknowledged.

The financial support was mainly provided by the Research and Development Fund of the University of Suriname and the Ministry of Education and Community Development. I also gratefully acknowledge the sponsorship of data provided by the Suriname Meteorological Service (Ministry of Public Works), the Hydraulic Research Division (Ministry of Public Works), the Soil Surveying Department (Ministry of Natural Resources), the Bureau for Hydroelectric Power Works (Ministry of Natural Resources), the Bauxite Institute Suriname (Ministry of Natural Resources), the Suriname Aluminium Company LLC, the Suriname Maritime Authority (Ministry of Transport, Telecommunication and Tourism) and the Center of Natural Resources and Assessment. The National Center for Atmospheric Research (USA) is thanked for providing the MAGICC/SCENGEN climate model, Dr. Y. B. Liu for providing the WetSpa model, Mr. P. Stepanek for providing the AnClim statistical software, Dr. R. Knodt for providing the MODSTAT statistical software, Dr. R. Carr for providing the XLStatistics software, GISsat NV Suriname and the Environmental Research Institute Inc ESRI (USA) for providing the ArcGIS 8x software to the Faculty of Technology.

Furthermore, I would also like to thank Dr. ir. M. J. Booij of the University Twente (the Netherlands), Dr. C. Wang of the NOAA Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (USA), Dr. G. Alessandra of the International Research Institute for Climate and Society (USA), Dr. G. van Oldenborgh of the Royal Netherlands Meteorological Institute (the Netherlands), Dr. S. Mason of the International Research Institute for Climate Prediction IRI - Columbia University (USA) and a few anonymous reviewers, for their constructive suggestions on my research papers.

I enjoyed the privilege of participating in and conducting presentations at national and international conferences and workshops. This has resulted in

an increase in new contacts world-wide, but was also crucial for successfully embedding the work of this thesis in an international context.

I would also wish to express my sincere thanks to the co-research institution, the Vrije Universiteit Brussel, Department Hydrology and Hydraulic Engineering for providing office facilities, literature, and assistance from local scientists, especially to Prof. dr. ir. F. De Smedt, Dr. O. Batelaan, J. Corly and Dr. Y. B. Liu.

My sincere appreciation goes to my friends in Belgium, K. Simoens & J. Eerdeken and children, G. van Damme & S. van Pelt and children, and F. Cockx, for their support and the wonderful time that we had together. Finally, my heartfelt gratitude is extended to my parents, my brother and my wife for their support.

To conclude, I am grateful to the members of the PhD jury: Prof. dr. ir. F. H. De Smedt (Vrije Universiteit Brussel, Belgie), Dr. S. Naipal (Anton de Kom University of Suriname), Prof. Dr. J. Notholt (University of Bremen, Duitsland), Becker, C. Dipl.Met. (Meteorologische Dienst Suriname), Mr. Dr. M. Hoever (Anton de Kom University of Suriname) and Prof. Dr. K. van der Wolf (Anton de Kom University of Suriname).

Riad J. Nurmohamed
5 March, 2008

ABSTRACT

In the recent years, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), which is a scientific body of the United Nations, has expressed its concern about the tremendous negative effects of increasing levels of greenhouse gases in the atmosphere ("global warming") on human life on Earth. During the last 100 years (1906-2005), the Earth's mean annual temperature has already risen with 0.3°C to 0.6°C and the rate of the total sea level rise has increased from 1.8 mm/year (during 1961-2003) to 3.1 mm/year (during 1993-2003). According to simulations of global circulation models and the emissions scenarios (SRES), the Earth's surface temperature will likely increase with 1.1 to 6.4°C by 2100, compared to 1980-1999 and the annual precipitation is expected to change between -50 and 50%, depending on the location on the earth's surface, and the mean sea level is expected to rise up to 59 cm by 2100, compared to 1980-1999. It is believed that the historical changes in temperature in the last 100 years have affected different components of the global hydrological cycle (e.g. evaporation, wind speed, precipitation) and have caused changes in precipitation patterns in the world, resulting in frequent floods and droughts over the last 50 years. The simulated future climate change will enhance these events, but also the intensity of extreme events (e.g. hurricanes, El Niño events), while sea level rise will cause permanent flooding of low lying areas and saltwater intrusion in coastal lakes and rivers, as well as groundwater aquifers.

Suriname lies in the tropical region (30°N-30°S) where there is a complex oceanic-atmospheric system determining the weather and climate. There is also little known about climate changes in this region. Annual temperature series at station Cultuurtuin (Paramaribo) have shown that there is an increase of about 0.8°C (1971-1999) and the annual precipitation at the same station has dropped by 14% (about 300 mm) (1900-1999). However, only precipitation shows positive and negative trends, depending on the location of the station and length of the time series, throughout Suriname. Since 1900 about 12 and 13 significant dry periods (droughts) and wet periods (floods) respectively occurred in large areas in Suriname. The flood in May and June 2006 in the interior of Suriname has caused a socio-economic damage of about SRD 111.10⁶. This event was caused by a disturbance in the trough in the upper level of the atmosphere in combination with the Inter tropical Convergence Zone (ITCZ) in the lower atmosphere. It is believed that the simulated changes in the world's climate (increase in temperature, changes in precipitation) will change the amount of fresh water resources in Suriname and will affect many socio-economic activities in Suriname such as agriculture, fisheries, hydropower, ecosystems, biodiversity, land use and forestry. Management of water resources systems for different activities will need to be adjusted.

The objective of this research is therefore: to analyze the impact of global climate change and climate variability on the water resources in Suriname. The main research questions that will be answered in this research are:

- Did the climate change in Suriname and which processes are responsible ?
- What will be the amount of future climate change in Suriname ?
- How much will water resources change in the Upper-Suriname river basin ?

Climate change analyses were performed throughout Suriname (about 164,000 km²) using about 11 rainfall data series (1961-1985 or longer), 7 temperature series (1971-1985 or longer) and 4 river discharge series (1961-1985 or longer). Because of the available resources (observations, maps, PC, financial means, time), the importance of the Afobakka hydropower station and the many socio-economic activities (e.g. agriculture, tourists activities) engaged in by the local communities in this area, the Upper-Suriname river basin (about 7,860 km²) was selected to study the influence of climate change and variability on water resources (surface flow and base flow).

Statistical tests were used (1) to investigate the existence of changes in historical precipitation, temperature and river discharges, (2) to analyze the spatial and inter-annual variability in precipitation and (3) to analyze the influence between large scale climate features (e.g. El Niño) in the Pacific and Atlantic Ocean and precipitation in Suriname. For this purpose the Climate Predictability Tool v.5.04, the Modstat statistical software v.2.04, the AnClim software for time series analysis v.4.7.31, the XLStatistics workbook for data analysis v.5 and the KNMI Climate Explorer were used. To determine how precipitation and temperature will change in the future (year 2050 and 2080), results from five global circulation models (CCSR96, CSI296, ECH498, HAD300, GFDL90) were used. The results are taken from the Magicc/Scengen 4.1 climate model. The WetSpa hydrological model was used to determine how future projections of temperature and precipitation will affect the different water balance components in the Upper-Suriname river basin (year 2050 and 2080). For this purpose, GCM based and hypothetical climate change scenarios were used.

The results in this study have shown that the majority of the precipitation time series (9 out of 11) do not show a significant trend at a 95% confidence level. No significant trends were found in temperature and river discharge series. The climatological analyses however do indicate that positive trends occur in the annual temperature, and positive or negative trends in the annual precipitation and river discharge, depending on the location. Precipitation has

changed with -8% to 44% and the river discharge has changed with about -35% to 12%. The annual temperature has slightly increased with about 1°C. For consistency, the above results are only for the period 1961-1985 and depend on the location of the hydro-meteorological station in Suriname. These results may not be fully representative for climate change analyses because of the shortness of the hydro-meteorological data series.

Spatial sea surface temperature-precipitation analysis has shown that extreme changes in sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Ocean cause a delay in the movement of the Inter-tropical Convergence Zone (ITCZ) above Suriname and result in prolonged (very) wet or dry periods. This is the case for example during some El Niño and La Niña events. Not all extreme events could be explained in this study with the available data sources and methods. The different changes in shifts in the hydro-meteorological observations and the past events (floods, droughts) do indicate slight changes in the climate, but they may have rather been caused by large scale climate variability in the tropical region, than large scale global climate change.

Global circulation models (GCM) have shown that, if emissions of greenhouse gases are going to increase in the future, especially carbon dioxide doubles by year 2100, the mean annual temperature in Suriname will increase with 2.6°C (reference to 1981-2000) and the mean annual precipitation will decrease with about 4.7% (reference to 1961-1990) by year 2080. These values are average values for Suriname on the whole. The temperature is expected to increase in all months and the highest temperature increase will be in August (about 3.5°C by 2080). Precipitation will increase between January-April, with maximally 30% in March by 2080, and decrease between May-December with maximally 24% in June by 2080. These results indicate that wet en dry seasons may become wetter or drier than now and measures will have to be taken for water resources management. Although the GCMs give a good insight into the monthly changes in temperature and precipitation, the obtained results may not fully represent climate change in Suriname. Due to the limitations of GCMs such as low resolution, uncertainty in emission scenarios, simplified equations for some climate processes, they are not yet able to produce realistic precipitation outputs. It can be concluded that the future changes in temperature and precipitation in Suriname will have significant impacts on the society.

The outputs of the GCMs have shown that in the Upper-Suriname river basin (7,860 km²), the annual temperature is expected to increase with about 3.2°C and the annual precipitation is expected to decrease with about 3% by 2080. The monthly precipitation in the Upper-Suriname river basin will drop in

January-March and August-December, and increase in April-July by 2080. The WetSpa hydrological model has shown that under these GCM climate scenarios, the annual river discharge will decrease in the basin with about 35% by 2080. When applying hypothetical climate scenarios to the WetSpa model (the annual temperature increases with 2°C and the annual precipitation changes with 0% to 50%), the river discharge changes with -16% to 75%. When precipitation changes with 0% to -50%, the annual river discharge changes with -16% to -84%. If temperature increases with 4°C and precipitation changes with 0% to 50%, the river discharge changes with -29.3% to 57% and if precipitation changes with 0% to -50%, the river discharge changes with -29.3% to -87.5%. It is expected that maximum and minimum river discharges will change even more than the mean annual river discharge. It is therefore expected that floods may increase especially during the long rainy season, and droughts may increase especially during the long dry season.

Based on the future simulations in water resources, it can be concluded that there will be a need to develop a water resources management plan for this basin with respect to the different water users e.g. hydropower generation at Afobakka and the local community. The obtained results of future changes in water resources in the Upper-Suriname river basin are however still uncertain, due to shortness of observed meteorological and hydrological data, accuracy of physical maps and data, uncertainties in the GCM climate scenarios, the assumptions made in the WetSpa model and the lack of a complete understanding of the climate system e.g. change in evapotranspiration in relation with increase in temperature.

In order to improve our understanding and the results for climate change in Suriname, it is necessary to continue the collection of hydro-meteorological variables. Besides precipitation and temperature, more variables such as wind speed, evaporation and evapotranspiration, water levels, should be collected, the quality of the observations should be improved and the density of stations should be increased. Long-term observations may help to better understand the influence of climate processes in the climate in Suriname, especially extreme events. Another advantage of such data sets is that for impact studies on river basin scale, the application of regional climate models and downscaling techniques might be useful, rather than global climate models. The WetSpa model will need to be improved with respect to the simulation of mean, low and high river flows and it will be necessary to apply field parameters of the study area for land use and soil to the model, rather than literature values. Special attention will have to be paid to the estimation of evapotranspiration, as it is one of the major inputs in the WetSpa model and it was also shown that a small change in evapotranspiration may cause a large change in water balance components of the basin. In the framework

of climate change impacts on water resources, the effects of a changing land use due to temperature increase should also be analyzed. This study has finally also shown that small changes in precipitation influence the river flows in the Upper-Suriname river basin significantly. It is therefore recommended to develop water resources scenarios for water users and designers of hydraulic works, but also early drought and flood warning systems in this river basin that is of great important to Suriname.

Riad J. Nurmohamed
5 March, 2008

SAMENVATTING

Gedurende de afgelopen jaren heeft het *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), een wetenschappelijk orgaan van de Verenigde Naties, haar bezorgdheid geuit over de enorme negatieve effecten van steeds hoger wordende niveaus van broeikasgassen in de atmosfeer ("global warming") op het menselijk leven op aarde. Gedurende de afgelopen 100 jaar (1906-2005) steeg de gemiddelde jaarlijkse temperatuur van de aarde met 0,3°C tot 0,6°C en de zeespiegel steeg wereldwijd met 1,8 mm per jaar (tijdens 1961-2003) tot 3,1 mm per jaar (tijdens 1993-2003). Volgens simulaties van wereldwijde circulatiemodellen en de scenario's van de uitstoot van broeikasgassen (SRES), zal de gemiddelde temperatuur van het aardoppervlak tegen 2100 waarschijnlijk stijgen met 1,1 tot 6,4°C, vergeleken met de periode 1980-1999. De jaarlijkse neerslag zal naar verwachting veranderen tussen -50 en 50%, afhankelijk van de plaats op het aardoppervlak en men verwacht dat tegen 2100 de gemiddelde zeespiegel zal stijgen tot 59 cm, vergeleken met de periode 1980-1999. Men gelooft dat de historische veranderingen in de temperatuur gedurende de afgelopen 100 jaar de verschillende componenten van de wereldwijde hydrologische cyclus hebben beïnvloed (bijv. verdamping, windsnelheid, neerslag) en veranderingen hebben veroorzaakt in de neerslagpatronen in de wereld, hetgeen gedurende de afgelopen 50 jaar heeft geleid tot grotere overstromingen en droogten. De gesimuleerde klimaatsverandering in de toekomst zal deze gebeurtenissen bevorderen, maar ook de intensiteit van extreme weersomstandigheden zoals orkanen, El Niño enz., terwijl de stijging van de zeespiegel blijvende overstroming van laag gelegen gebieden en verzilting in zwampen en rivieren langs de kust en in het grondwater zal veroorzaken.

Suriname ligt in de tropische regio (30° N - 30° S) waar er een complex oceanisch-atmosferisch systeem is dat het weer en het klimaat bepaalt. Er is ook minder bekend over de klimaatsveranderingen in deze regio. De jaarlijkse temperatuurmetingen op het station aan de Cultuurtuin (Paramaribo) heeft aangetoond dat er tussen 1971-1999 een stijging is van ongeveer 0,8°C en dat de jaarlijkse neerslag op datzelfde station verminderde tussen 1900 en 1999 met 14% (met ongeveer 300 mm). Echter, alleen neerslag toont positieve en negatieve tendensen door heel Suriname heen. Vanaf 1900 hebben zich ongeveer 12 significante droge perioden (droogten) en 13 duidelijk natte perioden (met overstromingen) in grote gebieden van Suriname voorgedaan. De overstromingen in mei en juni 2006 in het binnenland van Suriname hebben een sociaal-economische schade van ongeveer 111,10⁶ miljoen SRD veroorzaakt. Deze gebeurtenis werd veroorzaakt door een storing in de trog in de hoogste lagen van de atmosfeer in combinatie met de Inter Tropische Convergence Zone (ITCZ) in de lagere

lagen van de atmosfeer. Men gelooft dat de gesimuleerde veranderingen in het wereldklimaat (temperatuurstijging, veranderingen in de neerslag) de zoetwatervoorraden in Suriname zal veranderen en ook alsgevolg hiervan vele sociaal-economische activiteiten in Suriname, zoals de landbouw, de visserij, de waterkracht, de ecosystemen, de biodiversiteit, het grondgebruik en de bosbouw, zullen aantasten. Het beheer van de waterloopstelsels voor verschillende activiteiten zal moeten worden aangepast.

Het doel van dit onderzoek is daarom: *het analyseren van de invloed van klimaatsveranderingen en het effect van de veranderlijkheid van het klimaat op de watervoorraden in Suriname*. De voornaamste vragen die in dit onderzoek beantwoord zullen worden zijn:

- Is het klimaat in Suriname veranderd en welke processen zijn verantwoordelijk hiervoor?
- Wat zal de omvang van toekomstige klimaatsverandering in Suriname zijn?
- In hoeverre zullen watervoorraden in het stroomgebied van de Boven-Suriname rivier veranderen?

Er werden analyses m.b.t. klimaatsverandering over geheel Suriname (ongeveer 164.000 km²) verricht, met gebruikmaking van 11 reeksen neerslaggegevens tussen 1961-1985 of langer van 11 meetstations, 7 reeksen van temperatuurmetingen tussen 1971-1985 of langer van 7 meetstations en vier reeksen van data over rivierafvoer tussen 1961-1985 of langer van 4 meetstations. Vanwege de beschikbare hulpmiddelen (observaties, kaarten, PC, financiële middelen, tijd), het belang van de waterkrachtcentrale te Afobaka en de vele sociaal-economische activiteiten (bijv. landbouw, toeristenactiviteiten) door de lokale gemeenschappen in dit gebied, werd het stroomgebied van de Boven-Surinamerivier (dat een oppervlakte beslaat van ongeveer 7.860 km²) uitgekozen om de invloed van klimaatsverandering en -veranderlijkheid op de watervoorraden te onderzoeken.

Er werden statistische testen gebruikt (1) om het bestaan van veranderingen in de neerslag over de afgelopen jaren, de temperatuur en rivierafvoeren te onderzoeken, (2) om de veranderlijkheid van neerslag op verschillende locaties en tussen opeenvolgende jaren te analyseren en (3) om de invloed tussen grotere weerssystemen (bijv. El Niño) in de Grote Oceaan en de Atlantische Oceaan en de neerslag in Suriname te analyseren. Te dien einde werden de *Climate Predictability Tool* v.5.04, de Modstat statistische software v.2.04, de AnClim software voor tijdserie-analyse v.4.7.31, het XLStatistics werkboek voor gegevensanalyse v.5 en het KNMI *Climate Explorer* gebruikt. Om te bepalen hoe de neerslag en de temperatuur in de toekomst zullen veranderen (tegen jaar 2050 en 2080), werden resultaten

van vijf wereldwijde circulatiemodellen (CCSR96, CSI296, ECH498, HAD300, GFDL90) gebruikt. De resultaten werden genomen uit het Magicc/Scengen 4.1 klimaatmodel. Het WetSpa hydrologisch model werd gebruikt om vast te stellen hoe toekomstige projecties van temperatuur en neerslag de verschillende componenten van de waterbalans in het stroomgebied van de Boven-Surinamerivier zullen beïnvloeden. Voor dit doel werden er op GCM-gebaseerde en hypothetische klimaatsveranderingsscenario's gebruikt.

De resultaten van dit onderzoek hebben aangetoond dat de meerderheid van de neerslagmetingen over een langere tijd (9 van de 11) geen duidelijke trend tonen op een betrouwbaarheidsniveau van 95%. Er werden geen duidelijke tendensen gevonden in de temperatuur- en rivierafvoerreeksen. De klimatologische analyses geven echter wel aan dat er positieve tendensen zijn in de jaarlijkse temperatuur, en positieve of negatieve tendensen in de jaarlijkse neerslag en waterafvoer van de rivier, afhankelijk van de locatie van het station. De neerslag is veranderd met -8% tot 44% en de rivierafvoer is veranderd met ongeveer -35% tot 12%. De jaarlijkse temperatuur is lichtelijk gestegen met ongeveer 1°C. Ten behoeve van de duidelijkheid gelden de bovengenoemde resultaten alleen voor de periode 1961-1985 en zijn afhankelijk van de locatie van het hydro-meteorologisch station in Suriname. Deze resultaten zijn misschien niet volledig representatief voor analyses inzake klimaatsveranderingen vanwege de korte tijdspanne van de hydro-meteorologische datareeksen.

Een analyse van de temperatuur van en de neerslag op een uitgestrekt gebied van het zeeoppervlak heeft aangetoond dat extreme veranderingen in de temperatuur van het zeeoppervlak in de Grote en de Atlantische oceaan, een vertraging veroorzaken van de beweging van de Inter Tropische Convergence Zone (ITCZ) boven Suriname hetgeen leidt tot langdurige (hele) natte of droge perioden. Dit is bijvoorbeeld het geval tijdens sommige perioden van El Niño en La Niña-gebeurtenissen. Niet alle extreme klimatologische gebeurtenissen konden met de beschikbare gegevensbronnen en methoden in dit onderzoek uitgelegd worden. De verschillende veranderingen in verschuivingen in de hydro-meteorologische waarnemingen en de gebeurtenissen van de afgelopen tijd (overstromingen, droogten) geven wel lichte veranderingen in het klimaat aan, maar deze zijn misschien eerder veroorzaakt door een klimaatsveranderlijkheid op grote schaal in de tropische regio dan door grote klimaatsveranderingen in de wereld.

Wereldwijde Circulatiemodellen (GCM) hebben aangetoond dat indien de uitstoot van broeikasgassen in de toekomst stijgt, vooral het kooldioxidegehalte tegen het jaar 2100 verdubbeld zal zijn, de gemiddelde

jaarlijkse temperatuur in Suriname met $2,6^{\circ}\text{C}$ zal stijgen (ten opzichte van de periode 1981-2000) en tegen het jaar 2080 zal de gemiddelde jaarlijkse neerslag met ongeveer 4,7% dalen (ten opzichte van de periode 1961-1990). Deze waarden zijn gemiddelde waarden voor geheel Suriname. Naar verwacht wordt, zal de temperatuur in alle maanden stijgen en de hoogste temperatuurstijging zal in augustus plaatsvinden (ongeveer $3,5^{\circ}\text{C}$ tegen 2080). De neerslag zal tegen 2080 tussen januari en april met maximaal 30% in maart stijgen, en tussen mei en december met maximaal 24% in juni verminderen. Deze resultaten tonen aan dat de natte en droge tijden natter of droger kunnen worden dan deze nu zijn en dat er maatregelen getroffen zullen moeten worden voor een optimaal waterbeheer. Hoewel de GCM's een goed inzicht geven in de maandelijkse veranderingen in temperatuur en neerslag, zijn de verkregen resultaten misschien niet volledig representatief voor de klimaatsverandering in Suriname. Vanwege de beperkingen van de GCM's, zoals een lage resolutie, onzekerheid m.b.t. de uitstootscenario's, vereenvoudigde vergelijkingen voor sommige klimatologische processen, is men nog niet in staat realistische neerslagresultaten te produceren. Geconcludeerd kan worden dat de toekomstige veranderingen in de temperatuur en de neerslag in Suriname duidelijke gevolgen op de samenleving zullen hebben.

De resultaten van de GCM's hebben aangetoond dat tegen het jaar 2080 in het stroomgebied van de Boven-Surinamerivier (7.860 km^2 groot), de jaarlijkse temperatuur naar verwachting met ongeveer $3,2^{\circ}\text{C}$ zal stijgen en de jaarlijkse neerslag naar verwachting met ongeveer 3% zal verminderen. De maandelijkse neerslag in het Boven-Surinamerivier gebied zal tegen het jaar 2080 in de periode januari tot maart en augustus tot december verminderen en stijgen in april tot juli. Het WetSpa hydrologisch model heeft aangetoond dat bij deze GCM-klimaatscenario's, de jaarlijkse rivierafvoer in het stroomgebied tegen het jaar 2080 met ongeveer 35% zal verminderen. Bij het toepassen van hypothetische klimaatscenario's op het WetSpa-model (de jaarlijks temperatuur stijgt met 2°C en de jaarlijkse neerslag verandert met 0% tot 50%), verandert de rivierafvoer met -16% tot 75%. Wanneer de neerslag verandert met 0% tot -50%, verandert de jaarlijkse rivierafvoer met -16% tot -84%. Indien de temperatuur stijgt met 4°C en de neerslag verandert met 0% tot 50%, verandert de rivierafvoer met -29.3% tot 57% en indien de neerslag verandert met 0% tot -50%, verandert de rivierafvoer met -29.3% tot -87.5%. Verwacht wordt dat de maximale en de minimale waterafvoer van de rivier zelfs meer dan de gemiddelde jaarlijkse rivierafvoer zal veranderen. Daarom zijn de verwachtingen dat tijdens de grote regentijd, de overstromingen eventueel toenemen in hoeveelheid en aantal en de droogten eventueel langer dan normaal zullen aanhouden vooral tijdens de grote droge tijd.

Op basis van de simulaties in toekomstige waterbalans, kan worden geconcludeerd dat er een behoefte zal bestaan om een waterbeheersplan voor dit stroomgebied te ontwikkelen met betrekking tot de verschillende watergebruikers bijv. de waterkrachtopwekking te Afobaka en de lokale gemeenschap. De verkregen resultaten van toekomstige veranderingen in watervoorkomens in het stroomgebied van de Boven-Surinamerivier zijn echter nog onzeker, vanwege de korte periode waarin de geobserveerde meteorologische en hydrologische gegevens zijn verkregen, de betrouwbaarheid van fysieke kaarten en gegevens, onzekerheden in de GCM-klimaatscenario's, de vooronderstellingen gedaan in het WetSpa-model en het gebrek aan een volledig inzicht in het klimaatstelsel, bijv. verandering in evapotranspiratie met betrekking tot de verhoging in de temperatuur.

Teneinde onze kennis over de gevolgen van klimaatverandering in Suriname te vergroten, is het noodzakelijk om door te gaan met het verzamelen van hydro-meteorologische variabelen. Behalve neerslag en temperatuur, dienen er meer variabelen, zoals windsnelheid, verdamping en evapotranspiratie, alsook waterniveaus te worden verzameld; de kwaliteit van de waarnemingen dient te worden verbeterd en het aantal meetstations per oppervlakte-eenheid dient te worden verhoogd. Lange-termijnwaarnemingen zouden kunnen helpen om de invloed van klimatologische processen in Suriname beter te begrijpen, vooral de extreme gebeurtenissen. Een ander voordeel van dergelijke data-reeksen is, dat voor impactstudies op het niveau van het stroomgebied van de rivier, het toepassen van regionale klimaatmodellen en 'downscaling' technieken misschien nuttig zijn, in plaats van wereld-klimaatmodellen.

Het WetSpa-model zal verbeterd moeten worden voor wat betreft het simuleren van minimum en maximum rivierenafvoeren en het zal noodzakelijk zijn om veldparameters van het onderzoeksgebied voor landgebruik en bodemsoorten te gebruiken in het model, in plaats van waarden uit de literatuur te gebruiken. Er zal speciale aandacht moeten worden gevestigd op de schatting van evapotranspiratie, aangezien het een van de belangrijkste inputs is in het WetSpa-model en het was ook aangetoond dat een kleine verandering in de evapotranspiratie een grote verandering in de componenten van de waterbalans van het stroomgebied kan veroorzaken. Binnen het raamwerk van de impacts van klimaatveranderingen op watervoorraden, dienen de effecten van een veranderend landgebruik vanwege temperatuurstijging ook te worden geanalyseerd. Dit onderzoek heeft tot slot ook aangetoond dat kleine veranderingen in neerslag, de rivierstromen in het stroomgebied van de Boven-Surinamerivier aanzienlijk beïnvloeden. Het wordt daarom aanbevolen om scenario's voor de watervoorraden te ontwikkelen voor

watergebruikers en ontwerpers van waterbouwkundige werken, maar ook waarschuwingssystemen voor droogten en overstromingen in dit zo belangrijke stroomgebied van Suriname.

Riad Nurmohamed
5 Maart, 2008

RESUMEN

En años recientes, el Panel Intergubernamental en cambios climáticos (IPCC), cuerpo científico de las Naciones Unidas, ha expresado su preocupación por los grandes efectos negativos del aumento de los niveles de gases invernaderos en la atmósfera (“calentamiento global”) en la vida humana de la tierra. Durante los últimos 100 años (1906-2005), la temperatura anual de la tierra ha aumentado de 0.3°C a 0.6°C y la proporción de la subida total del nivel del mar ha aumentado de 1.8mm/año (durante 1961-2003) a 31mm/año (durante 1993-2003). De acuerdo a los modelos de simulación de modelos de circulación global y las emisiones de escenarios (SRES), la temperatura de la superficie de la tierra probablemente aumentará de 1.1 a 6.4°C en 2100, relativo a 1980-1999. Se espera un cambio en la precipitación anual entre -50 y 50%, dependiendo de la ubicación en la superficie terrestre. Se espera que el nivel medio del mar va subir hasta 59cm. en 2100, relativo a 1980-1999. Se cree que los cambios históricos en temperatura en los últimos 100 años, han afectado diferentes componentes del ciclo global hidrológico (pe.Evaporación, velocidad del viento, precipitación) y ha ocasionado cambios en los modelos de precipitación en el mundo, resultando en frecuentes inundaciones y sequías en los últimos 50 años. El futuro cambio de clima simulado agravará dichos sucesos, pero también la intensidad de casos extremos (pe. Huracanes, acontecimientos de El Niño), mientras que la subida del nivel del mar causará inundaciones permanentes de áreas bajas e intrusión de agua salada en lagos costeros y ríos, y fluidos acuáticos.

Suriname está en la región tropical (30°N-30°S) donde hay un sistema oceánico-atmosférico complejo que determina el tiempo y el clima. Hay también poco conocimiento sobre cambios de clima en esta región. La serie de temperatura anual en la estación de Cultuurtuin (Paramaribo) ha mostrado que hay un aumento de más o menos 0.8°C (1971-1999) y la precipitación anual, en la misma estación, ha reducido en un 14% (más o menos 300mm) (1900-1999). Sin embargo, solo la precipitación muestra tendencias positivas y negativas a lo largo de Suriname. Desde 1900, han ocurrido, en grandes sectores de Suriname, alrededor de 12 y 13 períodos secos significantes (sequías) y períodos de lluvia (inundaciones), respectivamente. Las inundaciones en Mayo y Junio de 2006 en el interior de Suriname, ha ocasionado un daño socio-económico de alrededor de SRD.111.10(6). Este hecho fue causado por un disturbio en la depresión en el nivel más alto de la atmósfera en combinación con la Zona de Convergencia Inter Tropical (ITCZ) en la atmósfera más baja. Se cree que los cambios simulados en el clima mundial (aumento de temperatura, cambios en precipitación), cambiará la cantidad de recursos de agua fresca en Suriname y afectará varias actividades socio-económicas, tales como la

agricultura, pesca, planta eléctrica, ecosistemas, biodiversidad, uso de la tierra y silvicultura. Será necesario adaptar el sistema de manejo de los recursos hídricos para diversas actividades.

El objetivo de esta investigación es: Analizar el impacto del cambio global climático y variación del clima en los recursos hídricos en Suriname. Las preguntas principales que serán respondidas en esta investigación son:

- Cambió el clima de Suriname y qué procesos son los responsables?
- Cuál será el porcentaje de futuros cambios de clima en Suriname?
- Hasta qué punto cambiarán los recursos hídricos en la Cuenca más alta del río Suriname arriba?

Se realizaron análisis de cambios climáticos en todo Suriname (alrededor de 164.000 km²) usando datos de una serie de 11 caídas de agua (1961-1985 o más), 7 series de temperatura (1971-1985, o más) y series de aportes de 4 ríos (1961-1985 o más). Se eligió la Cuenca del río Suriname (cerca de 7.860 km²) para estudiar la influencia del cambio climático y la variación de recursos hídricos (flujo superficial y flujo basal) debido a los recursos disponibles (observaciones, mapas, ordenador, finanzas, tiempo), la importancia de la planta hidroeléctrica de Afobakka y varias actividades socio-económicas (pe. Agricultura, actividades de turismo) de la comunidad local en esta área.

Se usó pruebas estadísticas, (1) para investigar la existencia de cambios en precipitación histórica, temperatura y aportes de río, (2) para analizar la variación de precipitación especial e inter anual y (3) para analizar la influencia entre figuras de clima de larga escala (ej. El Niño) y los océanos Pacífico y Atlántico y la precipitación en Suriname.

Para este propósito se usaron: la Herramienta Pronóstico de Clima v.5.04, el software Modulador Estadístico v.2.04, el software AnClim para análisis de series de tiempo v.4.7.31, el libro de trabajo XL Estadísticas para análisis de datos v.5 y el Explorador de Clima KNMI. Los resultados de 5 modelos de circulación global (CCSR96, CS1296, ECH498, HAD300, GFDL90) han sido usado para determinar cómo cambiará la precipitación y la temperatura en el futuro (año 2050 y 2080). Los resultados fueron tomados del modelo Magicc/Scengen 4.1. El modelo hidrológico WetSpa se usó para determinar cómo las futuras proyecciones de temperatura y precipitación afectarán los diversos componentes de balance de agua en la Cuenca del río Suriname arriba (año 2050 y 2080). Para este fin se usó escenarios GCM y cambio hipotético de clima.

Los resultados de este estudio mostraron que la mayoría de las series del tiempo de precipitación (9 de 11) no muestran tendencia significativa a un

nivel confidente de 90% y tampoco se encontró tendencias significantes de temperatura y series de aportes del río. Los análisis climatológicos indican que hay tendencias positivas en la temperatura anual, y tendencias positivas y negativas en la precipitación anual y aportes del río. La precipitación ha cambiado de -8% a 44% y el aporte de río ha cambiado -35% a 12%. La temperatura anual ha aumentado levemente en más o menos 1°C. Para conformidad, los resultados anteriores son solo por el período 1961-1985 y dependen de la ubicación de la estación hidro-meteorológica en Suriname. Puede que estos resultados no sean completamente representativos para análisis de cambio climático, debido a la falta de una serie de datos hidro meteorológicos.

El análisis de temperatura-precipitación del área especial marítima, ha mostrado que los cambios extremos en la temperatura de la superficie del mar en los océanos Pacífico y Atlántico, produce un retraso en el movimiento de la Zona de Convergencia Inter Tropical (ITCZ) sobre Suriname y produce periodos prolongados (muy) de lluvia y secos. Por ejemplo durante El Niño y La Niña. Con los datos y métodos disponibles, no se podría explicar todos los casos extremos en este estudio. Los diversos cambios de dirección en las observaciones hidro meteorológicas y los hechos pasados (inundaciones, sequías) indican leves cambios en el clima, pero pudieron ser causados por la variación climática de larga escala en la región tropical que por el cambio climático de larga escala global.

Los modelos globales de circulación (GCM) han mostrado que si la emisión de gases invernaderos va a aumentar en el futuro, especialmente el dióxido de carbón en el año 2100, el medio de temperatura anual en Suriname aumentará en un 2.6°C (con referencia a 1981-2000) y el medio anual de precipitación disminuirá en alrededor de un 4.7% (con referencia a 1961-1990) en el año 2080. Dichos valores son porcentajes para todo Suriname. Se espera que la temperatura aumente en todos los meses y el aumento mayor será en Agosto (3.5°C en 2080). La precipitación aumentará entre Enero-Abril, con un máximo de 30% en Marzo de 2080 y disminuirá entre Mayo-Diciembre con un máximo de 24% en Junio de 2080. Estos resultados indican que las estaciones de lluvia y las secas pueden llegar a ser de más lluvia y más sequía que ahora y deberán tomarse medidas para el manejo de los recursos hídricos. Aunque el GCM da una buena perspectiva en los cambios de temperatura y precipitación mensuales, los resultados obtenidos pueden no representar completamente el cambio climático en Suriname. Debido a las limitaciones de GCM, tales como baja resolución, inseguridad en la emisión de escenarios y ecuaciones simplificadas para algunos procesos climáticos, aún no están capacitados de producir una cantidad realista de precipitación. Se puede concluir que los futuros cambios

en temperatura y precipitación en Suriname tendrá impactos significantes en la sociedad.

Los resultados del GCM han mostrado que en la Cuenca del río Suriname arriba (7.860 km²), se espera un aumento de temperature anual de 3.2°C y una disminución de la precipitación anual de 3% en 2080. En 2080 la precipitación reducirá en Enero-Marzo y Agosto-Diciembre, y aumentará en Abril-Julio. El modelo hidrológico WetSpa mostró que bajo estos escenarios climáticos GCM, el aporte anual disminuirá en la Cuenca en más o menos 35% en 2080. Al aplicar escenarios climáticos hipotéticos al modelo WetSpa (temperatura anual aumenta en un 2% y la precipitación anual cambia de 0% a 50%), el aporte del río cambia de un -16% a 75%. Cuando la precipitación cambia de 0% a -50%, el aporte anual del río cambia de -16% a -84%. Si la temperatura aumenta en 4°C y la precipitación cambia de 0% a 50%, el aporte del río cambia de -29% a 57%. Si la precipitación cambia de 0% a -50%, el aporte cambia de -29,3% a -87,5%. Se espera que el máximo y el mínimo de aporte cambia aún más que el promedio anual. Por eso se espera que las inundaciones aumenten, especialmente durante la estación larga de lluvia y las sequías pueden aumentar, especialmente durante la estación seca larga. Basado en las simulaciones futuras en recursos hídricos, se puede concluir que habrá necesidad de desarrollar un plan de gerencia de dichos recursos para esta Cuenca con respecto a los diversos usuarios, la generación de la planta eléctrica de Afobakka y la comunidad local. Sin embargo, los resultados obtenidos de cambios futuros en los recursos hídricos en la Cuenca del río Suriname arriba, son inciertos, debido a la falta de datos meteorológicos e hidrológicos observados, precisión de mapas físicos y data, inseguridades en los escenarios climáticos de GCM, la suposición hecha en el modelo WetSpa y la falta de una completa comprensión del sistema climático, e.o. el cambio en la evapotranspiración en relación con el aumento en temperatura.

Riad J. Nurmohamed
Paramaribo, 5 Marzo, 2008